

**PENILAIAN KAPASITAS STRUKTUR ATAS GEDUNG
ADMINISTRASI STADION KEBUN BUNGA MELALUI
ANALISIS STATIK NONLINEAR *PUSHOVER***

SKRIPSI

OLEH:

**SYAWALUDDIN EFENDI TAMBUNAN
218110080**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

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

Document Accepted 13/6/25

Access From (repository.uma.ac.id)13/6/25

**PENILAIAN KAPASITAS STRUKTUR ATAS GEDUNG
ADMINISTRASI STADION KEBUN BUNGA MELALUI
ANALISIS STATIK NONLINEAR *PUSHOVER***

SKRIPSI

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



Oleh:

**SYAWALUDDIN EFENDI TAMBUNAN
218110080**

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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Penilaian Kapasitas Struktur Atas Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga Melalui Analisis Statik Nonlinear *Pushover*
Nama : Syawaluddin Efendi Tambunan
NPM : 218110080
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



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



Dina Satriano, S.T., M.T.
Dekan

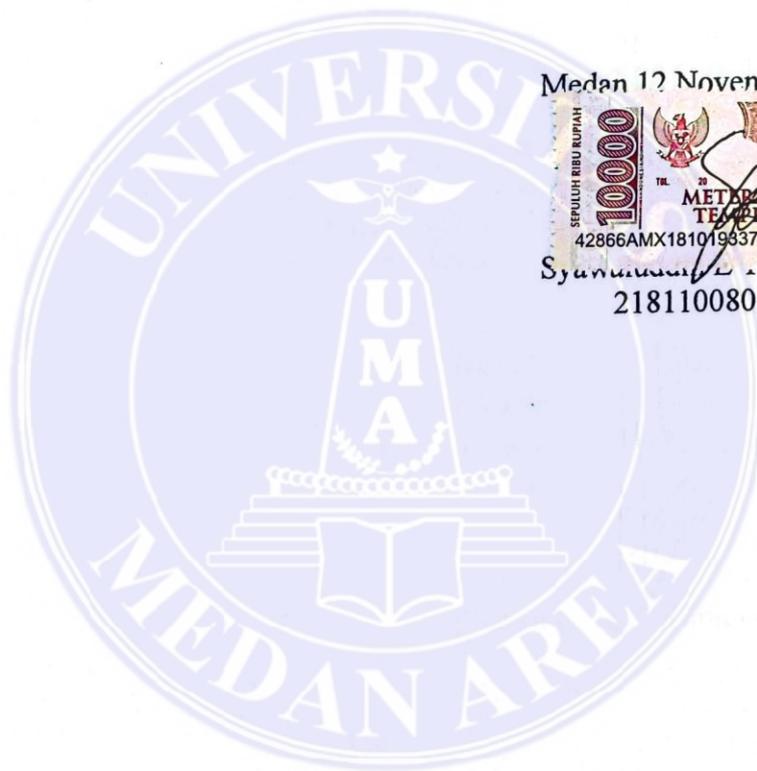


Siska Ernita Wulandari, S.T., M.T
Ka. Program Studi

Tanggal Lulus : 18 MARET 2025

HALAMAN PERNYATAAN

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



Medan 12 November 2024
Syawaluddin Efendi Tambunan
218110080

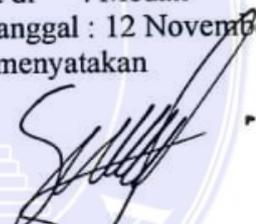
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Syawaluddin Efendi Tambunan
NPM : 218110080
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : *Penilaian Kapasitas Struktur Atas Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga Melalui Analisis Statik Nonlinear Pushover*. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 12 November 2024
Yang menyatakan


(Syawaluddin E Tambunan)

RIWAYAT HIDUP

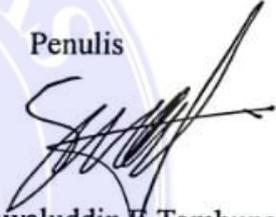
Penulis dilahirkan di Hutabalang Pada tanggal 17 Desember 2001 dari Ayah Bulusry Tambunan dan Ibu Nurmala Sari Penulis merupakan putra/i ke 1 dari 3 bersudara. Tahun 2019 Penulis lulus dari SMK Negeri 3 Sibolga dan pada tahun 2021 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Revitalisasi Stadion Kebun Bunga, Medan.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya dan kepada Nabi junjungan Muhammad SAW beserta keluarga sucinya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah Struktur dengan judul Penilaian Kapasitas Struktur Atas Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga Melalui Analisis Statik Nonlinear *Pushover*. 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 saya 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, kritik 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



(Syawaluddin E. Tambunan)

ABSTRAK

Indonesia terletak di zona seismik aktif, sehingga ketahanan struktur terhadap gempa menjadi aspek penting dalam desain dan evaluasi bangunan. Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga memerlukan analisis kapasitas struktur atasnya guna memastikan kinerjanya dalam menahan beban lateral akibat gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kapasitas struktur atas gedung administrasi Stadion Kebun Bunga menggunakan metode analisis statik nonlinear pushover berdasarkan standar ATC-40 dan SNI 1726:2019. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif berbasis simulasi dengan analisis menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk menghasilkan kurva kapasitas (pushover curve) dan pola pembentukan sendi plastis, yang menjadi dasar dalam menentukan tingkat kinerja struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gedung administrasi Stadion Kebun Bunga berada dalam kategori Damage Control (DC), yang berarti struktur mengalami deformasi terkendali dan masih dapat diperbaiki pasca gempa. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa pola sendi plastis berbeda antara arah X-X dan Y-Y, di mana arah X-X memiliki lebih sedikit kolom sehingga menahan beban lebih besar dibanding arah Y-Y. Berdasarkan temuan ini, direkomendasikan beberapa langkah perbaikan untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa, seperti penambahan elemen struktural pada kolom arah X, pemasangan sistem peredam energi, penggunaan material dengan daya tahan lebih baik pada bagian yang rentan terhadap kerusakan plastis, serta pemeriksaan dan perawatan berkala guna menjaga integritas struktur sesuai standar keselamatan. Dengan rekomendasi ini, diharapkan Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga dapat memenuhi standar keselamatan dan berfungsi optimal dalam menghadapi potensi gempa di masa depan.

Kata kunci: Analisis statik nonlinear pushover, kapasitas struktur, tingkat kinerja, SAP2000, ATC-40.

ABSTRACT

Indonesia is located in an active seismic zone, thus structural resilience to earthquakes is an essential aspect in the design and evaluation of buildings. The Administration Building of Kebun Bunga Stadium required an analysis of the capacity of its superstructure to ensure its performance in resisting lateral loads caused by earthquakes. This research aimed to assess the capacity of the superstructure of the administration building of Kebun Bunga Stadium using the nonlinear static pushover analysis method based on ATC-40 and SNI 1726:2019 standards. The research method used was a simulation-based quantitative approach with analysis conducted using SAP2000 software to generate the pushover curve and plastic hinge formation pattern, which became the basis for determining the structure's performance level. The research results showed that the administration building of Kebun Bunga Stadium was categorized under Damage Control (DC), meaning the structure experienced controlled deformation and could still be repaired after an earthquake. Further analysis showed that the pattern of plastic hinges differed between the X-X and Y-Y directions, where the X-X direction had fewer columns and thus bore more load compared to the Y-Y direction. Based on these findings, several improvement measures were recommended to enhance the building's earthquake resistance, such as adding structural elements to the columns in the X direction, installing energy dissipation systems, using materials with better durability in parts prone to plastic damage, as well as conducting regular inspections and maintenance to preserve structural integrity in accordance with safety standards. With these recommendations, it was expected that the Administration Building of Kebun Bunga Stadium would meet safety standards and function optimally in facing potential future earthquakes.

Keywords: Nonlinear Static Pushover Analysis, Structural Capacity, Performance Level, SAP2000, ATC-40



	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu.....	9
2.3 Konsep Dasar Analisis Pushover.....	11
2.3.1 Prinsip dasar analisis statik nonlinear.....	11
2.3.2 Parameter utama dalam analisis pushover.....	13
2.4 SAP2000 sebagai Perangkat Analisis Struktur	16
2.4.1 Fitur utama dalam analisis pushover.....	17
2.4.2 Keunggulan dan keterbatasan dibandingkan perangkat lunak yang lain.....	18
2.5 Evaluasi Kapasitas Struktur Gedung Bertingkat.....	20
2.5.1 Karakteristik struktur atas pada gedung bertingkat....	22
2.5.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas struktur	26
2.6 Pembebanan.....	27
2.6.1 Beban Mati (<i>Dead Load</i>)	27
2.6.2 Beban Hidup (<i>Live Load</i>).....	28
2.7 Standar dan Regulasi Terkait.....	29
2.7.1 SNI 1726:2019 tentang perencanaan ketahanan gempa	29
2.7.2 ATC-40 dalam evaluasi kapasitas struktur	40
2.8 Kinerja Seismik Bangunan	42
2.8.1 Metode penilaian kinerja struktur terhadap gempa	42
2.8.2 Kriteria tingkat kinerja bangunan berdasarkan	

	regulasi	43
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN		45
3.1 Metode Penelitian		45
3.1.1 Pendekatan penelitian (kuantitatif)		46
3.1.2 Jenis data yang digunakan.....		46
3.2 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian		47
3.3 Alat dan Bahan Penelitian		48
3.4 Metode Pengumpulan Data		49
3.4.1 Data eksisting dari proyek/konsultan		49
3.4.2 Proses pemodelan ulang dengan SAP2000		51
3.5 Metode Analisis Data		56
3.5.1 Simulasi analisis pushover dengan SAP2000		56
3.5.2 Evaluasi kapasitas elemen struktur berdasarkan kurva kapasitas.....		59
3.5.3 Penilaian kinerja struktur terhadap kriteria desain gempa.....		60
3.6 Kerangka Berpikir		62
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		63
4.1 Pembebanan Struktur		63
4.1.1 Berat Bangunan		64
4.1.2 Perhitungan Beban Gempa Static Ekuivalen (SNI 1716:2019).....		65
4.1.3 Menentukan Parameter Percepatan Batuan Dasar, yaitu S_s (pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (pada periode 1 detik).....		65
4.1.4 Menentukan Koefisien Situs		65
4.1.5 Menentukan Parameter Respon Spectrum Desain (SNI 1726 – 2019).....		66
4.1.6 Parameter Percepatan Spektral Gempa Besar atau MCER.....		66
4.1.7 Perhitungan Periode Pendekatan Fundamental.....		67
4.1.8 Perhitungan Periode Getar Alami Struktur		67
4.1.9 Perhitungan Koefisien Respon Seismik.....		68
4.1.10 Menghitung Gaya Seismik Lateral.....		69
4.2 Hasil Analisis		69
4.2.1 Hasil simulasi analisis pushover menggunakan SAP2000		69
4.2.1.1 Kurva kapasitas (<i>pushover Curve</i>)		70
4.2.1.2 Progresifitas pembentukan sendi plastis		71
4.2.1.3 <i>Story Displacement</i>		74
4.2.1.4 <i>Story Shear</i>		75
4.2.1.5 <i>Story Drift</i>		77
4.2.1.6 <i>Story Drift Ratio</i>		78
4.3 Pembahasan		79
4.3.1 Perbandingan kapasitas struktur berdasarkan analisis pushover		79
4.3.2 Evaluasi tingkat kinerja struktur terhadap		

standar yang berlaku	81
4.3.3 Implikasi hasil penelitian terhadap keamanan struktur bangunan	82
4.3.4 Rekomendasi perbaikan dan penguatan struktur dari hasil analisis.....	82
BAB IV. SIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Perbedaan Penelitian	9
Tabel 2 Ringkasan Prinsip Dasar Analisa <i>Statik Nonlinear</i>	13
Tabel 3 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa (SNI 1726-2019)	32
Tabel 4 Faktor keutamaan gempa (SNI 1726-2019 pada halaman 25).....	33
Tabel 5 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726-2019 Hal, 34).....	34
Tabel 6 Koefisien situs, F_v (SNI 1726-2019 Hal, 34)	35
Tabel 7 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726-2019)	37
Tabel 8 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons Percepatan pada periode 1 detik.	37
Tabel 9 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dihitung (SNI 1726-2019 Hal,71).....	37
Tabel 10 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2019 Hal,72)	39
Tabel 11 Tingkatan Kerja Bangunan (ATC-40)	41
Tabel 12 Spesifikasi Kolom.....	50
Tabel 13 Spesifikasi Balok.....	50
Tabel 14 Spesifikasi Pelat Lantai 2.....	50
Tabel 15 Spesifikasi Pelat Lantai 3.....	50
Tabel 16 Beban Mati Pelat Lantai 1.....	63
Tabel 17 Beban Mati Pelat Lantai 2.....	63
Tabel 18 Berat sendiri Struktur lantai 1	64
Tabel 19 Berat sendiri Struktur lantai 2	64
Tabel 20 Berat sendiri Struktur Balok lantai 3.....	65
Tabel 21 Periode Getar Alami Struktur	68
Tabel 22 Nilai <i>Displacement</i> arah X dan Y	74
Tabel 23 Nilai <i>Story Shear</i> arah X.....	75
Tabel 24 Nilai <i>Story Shear</i> arah Y	76
Tabel 25 Nilai <i>Story Drift</i> Arah X dan Y	77
Tabel 26 Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah X dan Y.....	78
Tabel 27 Perbandingan kapasitas struktur.....	80
Tabel 28 Batasan Simpang Pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40)	82

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Kurva Kapasitas (ATC-40 Volume 1, 1996)	15
Gambar 2 Percepatan Gempa Maksimum SNI 1726-2019 (BSN,SNI 1726-201	28
Gambar 3 Ss Gempa untuk Wilayah Medan SNI 1726-2019 (BSN, SNI 1726-2019	29
Gambar 4 S1 Gempa untuk Wilayah Medan SNI 1726-2019 (BSN, SNI 1726-2019	30
Gambar 5 Kurva Kriteria Kinerja (ATC-40 Volume 1, 1996).....	40
Gambar 6 Lokasi Penelitian	47
Gambar 7 Grid Denah Bangunan (SAP2000)	51
Gambar 8 Penginputan Jenis Material (SAP2000)	52
Gambar 9 Pembuatan <i>Section Properties</i> (SAP2000)	52
Gambar 10 Pemodelan Struktur (SAP2000)	53
Gambar 11 Penerapan Beban Gravitasi (SAP2000).....	53
Gambar 12 Penerapan Beban Lateral (SAP2000).....	54
Gambar 13 Penerapan Diafragma (SAP2000)	55
Gambar 14 Penerapan Tumpuan Jepit (SAP2000)	55
Gambar 15 Penerapan Sendi Plastis (SAP2000).....	56
Gambar 16 <i>Loadcase Pushover</i> Arah X.....	57
Gambar 17 <i>Loadcase Pushover</i> Arah Y.....	57
Gambar 18 Hasil <i>output curve pushover static nonlinerar</i> X.....	58
Gambar 19 Hasil <i>output curve pushover static nonlinerar</i> Y.....	59
Gambar 20 Diagram Alir Penelitian.....	61
Gambar 21 Mode 1.....	61
Gambar 22 Mode 2.....	61
Gambar 23 Mode 3.....	61
Gambar 24 Kurva Kapasitas Pushover Arah X (SAP2000).....	70
Gambar 25 Kurva Kapasitas Pushover Arah Y (SAP2000).....	71
Gambar 26 <i>Step by Step</i> Sendi Plastis Arah X (SAP2000).....	72
Gambar 27 <i>Step by Step</i> Sendi Plastis Arah Y (SAP2000).....	72
Gambar 28 Sendi Plastis Terbentuk Pada Arah X (SAP2000)	73
Gambar 29 Sendi Plastis Terbentuk Pada Arah Y (SAP2000)	73
Gambar 30 <i>Story Displacementst</i> Arah X dan Y	75
Gambar 31 <i>Story Shear</i> Arah X.....	76
Gambar 32 <i>Story Shear</i> Arah Y.....	77
Gambar 33 <i>Story Drift</i> Arah X dan Y	78
Gambar 34 <i>Drift Ratio</i> Arah X & Y.....	79

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara yang berada pada kawasan cincin api Pasifik memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi, sehingga aspek ketahanan struktur terhadap gempa menjadi faktor penting dalam perencanaan dan evaluasi bangunan. Dalam penelitian (Setiawan, 2021) menunjukkan bahwa Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasifik Earthquake Belt*) sehingga sangat rawan terhadap kejadian bencana alam seperti gempa bumi, hal tersebut berhubungan dengan letak geografis Indonesia yang terletak antara dua Samudra besar dan terletak di wilayah lempeng tektonik sehingga menyebabkan Indonesia mengalami gempa yang cukup sering.

Secara spesifik, gedung administrasi Stadion Kebun Bunga memerlukan evaluasi mendalam terkait kapasitas struktur atasnya untuk mengetahui sejauh mana bangunan mampu menahan beban lateral akibat gempa. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam menilai ketahanan struktur adalah analisis statik *nonlinear pushover*. Metode ini memungkinkan evaluasi perilaku inelastis suatu struktur dengan menerapkan beban lateral secara bertahap hingga bangunan mencapai titik leleh atau keruntuhan. Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam mengidentifikasi titik lemah struktur dan memberikan rekomendasi perbaikan atau perkuatan yang dibutuhkan. Hal ini juga dibahas dalam penelitian (Mustofa et al, 2024) yang menyatakan bahwa otensi gempa bumi yang tinggi di Indonesia mendorong perancangan bangunan agar tahan terhadap getaran gempa. Tingkat kerentanan terhadap gaya

lateral, terutama guncangan gempa, sangat erat kaitannya dengan ketinggian bangunan. Oleh karena itu, desain struktur bangunan bertingkat harus dirancang dengan menganalisis beban gempa dengan tujuan mencegah bangunan roboh dan mengurangi jumlah korban jiwa akibat gempa bumi.

Urgensi penelitian ini semakin tinggi mengingat bahwa peraturan ketahanan gempa di Indonesia terus berkembang, seperti yang tertuang dalam SNI 1726:2019. Evaluasi kapasitas struktur dengan metode pushover tidak hanya memberikan pemahaman tentang perilaku bangunan terhadap gempa, tetapi juga membantu memastikan bahwa bangunan tetap memenuhi persyaratan regulasi terbaru. Studi yang dilakukan oleh (Firdha et al, 2021) dalam evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat menunjukkan bahwa metode pushover dapat menentukan titik kinerja dan level keamanan struktur secara akurat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi berbasis analisis terhadap kondisi struktur gedung administrasi Stadion Kebun Bunga guna meningkatkan keselamatan dan kelayakan bangunan di masa mendatang.

Penelitian ini memiliki nilai kebaruan dalam penerapannya pada gedung administrasi stadion yang memiliki fungsi dan karakteristik bangunan yang tidak simetris khusus dibandingkan dengan bangunan bertingkat pada umumnya. Studi sebelumnya lebih banyak berfokus pada evaluasi gedung perkantoran atau gedung bertingkat dengan karakteristik yang berbeda. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih spesifik mengenai perilaku struktur bangunan publik terhadap beban lateral menggunakan pendekatan analisis *pushover* berbasis ATC-40 yang digunakan untuk menilai kapasitas struktur bangunan terhadap gempa. Penelitian yang dilakukan oleh (Laia, 2022)

menunjukkan bahwa metode *pushover* sangat bermanfaat dalam mengidentifikasi kekuatan struktural bangunan terhadap gempa dan membantu merencanakan langkah perkuatan jika diperlukan.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini mengevaluasi perilaku dan kinerja struktur gedung administrasi Stadion Kebun Bunga terhadap beban lateral, terutama gempa bumi. Analisis *statik nonlinear pushover* digunakan untuk menggambarkan respons struktur terhadap beban ekstrem, termasuk deformasi, distribusi gaya internal, dan potensi mekanisme keruntuhan dengan berpedoman pada ATC-40 untuk menilai kapasitas struktur bangunan terhadap gempa.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kapasitas struktur gedung administrasi Stadion Kebun Bunga dalam menopang beban, terutama beban lateral seperti gempa bumi, sesuai dengan standar keselamatan. Penelitian ini juga menganalisis perilaku struktur di bawah beban statik nonlinear menggunakan metode analisis statik nonlinear *pushover*. Diharapkan dapat diperoleh Gambaran mengenai respons struktur terhadap beban ekstrem, termasuk deformasi, distribusi gaya internal, dan potensi mekanisme keruntuhan. Secara keseluruhan, penelitian ini bertujuan memastikan kinerja yang aman dan andal dari struktur gedung administrasi serta memberikan dasar untuk pengambilan keputusan terkait perkuatan atau rehabilitasi jika diperlukan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini memberikan peneliti wawasan mendalam mengenai topik yang diteliti, memperluas pemahaman tentang teori dan praktik di bidangnya, serta melalui proses penelitian pula peneliti dapat mengembangkan keterampilan metodologis, analitis, dan teknis yang berguna untuk penelitian di masa depan.
2. Manfaat dari penelitian ini juga berdampak pada instansi, karena dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai dasar untuk merencanakan perbaikan atau penguatan struktur gedung agar lebih aman dan sesuai dengan standar terbaru.
3. Penelitian ini dapat menambah referensi ilmiah dalam bidang rekayasa struktur, khususnya dalam analisis kapasitas bangunan menggunakan metode statik nonlinear pushover, dan menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya mengenai evaluasi struktur bangunan, baik dalam konteks akademik maupun proyek real.

Dengan demikian, penelitian skripsi dengan judul "Penilaian Kapasitas Struktur Atas Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga Melalui Analisis Statik *Nonlinear Pushover*" dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan kualitas bangunan, serta mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang teknik sipil.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini akan fokus hanya pada struktur atas gedung saja, tanpa mencakup elemen lain seperti fondasi, dinding penahan, atau elemen luar lainnya.

2. Analisis yang dilakukan akan terbatas pada metode *pushover statik nonlinear*. Metode lain, seperti analisis dinamis atau metode analisis statis linear, tidak akan dibahas dalam penelitian ini.
3. Penelitian ini hanya berpedoman pada ATC-40 sebagai penilaian kapasitas struktur bangunan terhadap gempa.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain yang memiliki topik atau tema yang sama atau serupa dengan penelitian yang sedang dilakukan. Penelitian terdahulu dapat memberikan informasi yang berguna tentang apa yang telah dilakukan sebelumnya, apa yang telah ditemukan, dan apa yang masih perlu dilakukan.

Pada penelitian (Aulia et al, 2022), yang berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Pemodelan Struktur (3D) Berdasarkan Analisis Statik Beban Dorong (*Pushover Analysis*). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Hotel Jatiwangi di Majalengka menggunakan analisis pushover. Dengan memanfaatkan perangkat lunak SAP2000 versi 2021, studi ini menghasilkan kurva kapasitas yang menunjukkan titik kinerja gedung saat menerima beban gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa untuk pembebanan gempa arah-X, titik kinerja tercapai pada perpindahan 0,131 meter dengan gaya geser sebesar 3321,385 ton, sedangkan untuk arah-Y, perpindahan 0,121 meter dengan gaya geser 3102,548 ton.

Pada penelitian (Syarifa dan Jamal, 2023) yang berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Statik *Nonlinear* Beban Dorong (*Pushover*). Studi ini mengevaluasi kinerja struktur atas pada desain gedung perkantoran dengan menerapkan analisis pushover sesuai pedoman ATC-40. Penelitian ini menekankan pentingnya analisis statik nonlinear dalam menentukan kapasitas struktur dan memastikan bahwa desain memenuhi

standar kinerja yang ditetapkan, dari penelitian ini didapatkan hasil struktur gedung perkantoran memiliki kapasitas yang cukup untuk menahan beban lateral sesuai standar ATC-40, simulasi menunjukkan adanya kelemahan pada beberapa titik sendi plastis yang terbentuk lebih awal dari yang diperkirakan, rekomendasi diberikan untuk perkuatan pada beberapa elemen kritis guna menghindari mekanisme keruntuhan progresif.

Pada penelitian (Kurniawati, 2021), yang berjudul *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Nonlinear Static Pushover Analysis*. Penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja struktur Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro terhadap beban gempa. Dengan menggunakan analisis *pushover*, studi ini menentukan titik kinerja dan level kinerja gedung, memastikan bahwa struktur memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam standar perencanaan seismik. Didapatkan hasil pada penelitian ini adalah struktur Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019, hasil analisis menunjukkan bahwa titik kinerja gedung berada dalam batas aman, namun perlu dilakukan perkuatan pada beberapa elemen balok dan kolom, gedung dikategorikan memiliki tingkat kinerja *Life Safety* yang berarti masih dapat digunakan setelah gempa besar dengan sedikit kerusakan struktural.

Penelitian (Kadarusman et al, 2012), yang berjudul *Kajian Analisis Pushover untuk Performance Based Design pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono*. Penelitian ini mengkaji kinerja struktur Gedung A RSUD Kertosono menggunakan analisis *pushover*. Hasil studi menunjukkan bahwa analisis ini efektif dalam mengidentifikasi tingkat layan struktur serta mekanisme keruntuhan yang mungkin terjadi, sehingga dapat digunakan sebagai

dasar perencanaan kekuatan struktur, analisis pushover menunjukkan bahwa gedung memiliki ketahanan yang cukup terhadap beban gempa, beberapa kolom mengalami sendi plastis lebih awal, yang menunjukkan perlunya kekuatan pada elemen-elemen tersebut, studi ini menyimpulkan bahwa dengan modifikasi desain kekuatan pada titik-titik kritis, gedung dapat lebih tahan terhadap gempa besar.

Pada penelitian (Fathoni dan Desimaliana, 2024), yang berjudul Evaluasi Kinerja Struktur Tribun Barat Stadion RAA Adiwijaya Kabupaten Garut dengan Analisis Pushover Metode ATC-40. Studi ini menganalisis kinerja struktur tribun barat Stadion RAA Adiwijaya di Kabupaten Garut menggunakan metode analisis pushover sesuai dengan pedoman ATC-40. Penelitian ini menekankan pentingnya evaluasi kinerja struktur stadion untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan pengguna. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah struktur tribun memenuhi batasan *Immediate Occupancy* untuk skenario gempa ringan, dalam skenario gempa kuat, beberapa elemen struktural mengalami sendi plastis, tetapi tidak sampai menyebabkan keruntuhan total, direkomendasikan penggunaan sistem kekuatan tambahan pada kolom untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa besar.

Pada penelitian (Nasution et al, 2024), mengevaluasi kinerja struktur gedung bertingkat di Jakarta menggunakan analisis *pushover* sesuai *Basic Performance Objective for Existing Buildings* (BPOE). Penelitian menggunakan SAP2000 dengan pembebanan gempa BSE-1E dan BSE-2E berdasarkan ASCE 41-17. Hasil menunjukkan struktur gedung mampu menahan gaya gempa dengan simpangan antar tingkat di bawah batas izin.

Pada penelitian (Dewi dan Masagala, 2020) melakukan evaluasi kinerja

struktur gedung dengan metode *pushover* analysis sesuai pedoman ATC-40. Analisis statik *non-linear* dilakukan menggunakan SAP2000 dengan pembebanan sesuai standar yang berlaku. Hasil penelitian menunjukkan struktur gedung memenuhi kriteria kinerja ATC-40 dengan perpindahan dan *drift* dalam batas aman.

2.2 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu dalam hal metode analisis, standar yang digunakan, serta objek yang dikaji. Perbedaan ini menjadi dasar dalam mengembangkan penelitian agar lebih relevan dan sesuai dengan kondisi struktur yang dikaji. Perbedan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 yang telah disajikan.

Tabel 1. Perbedaan Penelitian

No	Penelitian Terdahulu	Fokus Penelitian	Metode	Perbedaan dengan Penelitian saya
1	Aulia et al (2022)	Evaluasi kinerja struktur Gedung Hotel Jatiwangi di Majalengka	Analisis <i>pushover</i> menggunakan SAP2000	Fokus pada gedung hotel bertingkat, sedangkan penelitian saya pada struktur atas gedung administrasi stadion dengan karakteristik beban dan fungsi yang berbeda dalam konteks operasional stadion.
2	Syarifa dan Jamal (2023)	Kinerja struktur gedung perkantoran sesuai pedoman ATC-40	Analisis statik <i>nonlinear pushover</i>	Penelitian saya lebih spesifik pada struktur gedung administrasi stadion, dengan perhatian utama pada perilaku struktur dalam

				mendukung aktivitas stadion, bukan gedung perkantoran.
3	Kurniawati (2021)	Evaluasi kinerja struktur Gedung B Rumah Sakit Muhammadiyah Metro terhadap beban gempa	Nonlinear <i>Static Pushover Analysis</i>	Berbeda pada objek penelitian, di mana penelitian saya mengkaji struktur administrasi stadion yang memiliki fungsi khusus dalam operasional stadion dan menghadapi jenis beban lateral berbeda.
4	Kadarusman et al (2012)	Kinerja struktur Gedung A RSUD Kertosono, identifikasi mekanisme keruntuhan	<i>Analisis pushover</i>	Penelitian saya berfokus pada struktur gedung administrasi stadion, dengan evaluasi lebih mendetail mengenai kapasitas struktur atas dalam mendukung beban operasional stadion, bukan hanya beban gempa.
5	Fathoni dan Desimaliana (2024),	Kinerja struktur tribun barat Stadion RAA Adiwijaya sesuai ATC-40	<i>Analisis pushover</i>	Fokus penelitian ini pada tribun stadion, sedangkan penelitian saya pada struktur gedung administrasi stadion, dengan perbedaan karakteristik struktural dan beban operasional.
6	Idham M.	Evaluasi	Analisis	Objek yang diteliti

Nasution dkk (2024)	Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan <i>Pushover Analysis</i>	adalah Gedung kantor 5 lantai. Sedangkan penulis meneliti gedung beringkat 3 lantai.
7	Maritza Syifa Syahira (2023) Judul Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan atc-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted).	Objek yang diteliti gedung perkantoran 4 lantai. Sedangkan penulis meneliti gedung administrasi 3 lantai.

2.3 Konsep Dasar Analisis *Pushover*

2.3.1 Prinsip dasar analisis statik *nonlinear*

Analisis statik *nonlinear* adalah metode yang digunakan untuk mempelajari perilaku struktur di bawah beban yang tidak linier. Berikut adalah beberapa prinsip dasar dari analisis ini:

a. *Nonlinearitas* Material

Material dapat menunjukkan perilaku nonlinier, seperti plastisitas, di mana respons material tidak proporsional terhadap beban yang diterapkan. Ini berarti bahwa setelah titik leleh tercapai, material tidak akan kembali ke bentuk awalnya.

b. Geometris Nonlinearitas

Ketika deformasi struktur signifikan, perubahan bentuk dan ukuran dapat mempengaruhi distribusi beban. Contohnya, fenomena seperti buckling atau perubahan dalam panjang elemen yang dapat mempengaruhi kekuatan struktur.

c. Metode Iteratif

Analisis statik nonlinear sering memerlukan metode iteratif, seperti metode Newton-Raphson, untuk menyelesaikan sistem persamaan yang tidak linier. Ini melibatkan pembaruan solusi secara bertahap sampai konvergensi tercapai.

d. Pengaruh Beban

Beban yang diterapkan dapat mempengaruhi perilaku struktur secara berbeda pada setiap tahap. Analisis perlu mempertimbangkan semua beban yang mungkin, termasuk beban permanen, beban hidup, dan beban lingkungan.

e. Kondisi Batas

Kondisi batas harus ditentukan dengan jelas, karena pengaruhnya terhadap perilaku struktur. Ini termasuk pengaturan tumpuan, sambungan, dan interaksi antar elemen.

f. Perilaku *Histeresis*

Dalam beberapa kasus, struktur menunjukkan perilaku histeresis, di mana respons terhadap beban berulang tidak sama saat beban diterapkan dan dihilangkan. Ini penting untuk analisis struktur yang mengalami siklus beban.

g. Pola Deformasi

Analisis harus mencakup pemantauan pola deformasi untuk mengidentifikasi titik kegagalan atau area kritis dalam struktur.

h. Output Analisis

Hasil dari analisis ini biasanya mencakup distribusi tegangan, deformasi, dan mode kegagalan, yang membantu dalam merancang struktur yang lebih aman dan efisien.

Prinsip dasar analisis statik nonlinear mencakup 8 poin prinsip dasar, seperti yang terlihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Ringkasan Prinsip Dasar Analisis Statik Nonlinear

No	Prinsip Dasar	Deskripsi
1	Nonlinearitas Material	Material menunjukkan plastisitas, respons tidak proporsional terhadap beban
2	Geometris <i>Nonlinearitas</i>	Deformasi signifikan mempengaruhi distribusi beban, seperti buckling
3	Metode Iteratif	Menggunakan metode Newton-Raphson untuk konvergensi solusi
4	Pengaruh Beban	Mempertimbangkan beban permanen, hidup, dan lingkungan
5	Kondisi Batas	Menentukan pengaturan tumpuan dan sambungan secara jelas
6	Perilaku Histeresis	Respons berbeda saat beban diterapkan dan dihilangkan
7	Pola Deformasi	Mengidentifikasi titik kegagalan melalui pola deformasi
8	Output Analisis	Distribusi tegangan, deformasi, dan mode kegagalan

2.3.2 Parameter utama dalam analisis *pushover*

Analisis *pushover* adalah metode yang digunakan untuk menilai kinerja struktur dalam kondisi beban lateral, seperti gempa bumi. Berikut adalah beberapa parameter utama dalam analisis *pushover*:

a. Model Struktur

Representasi matematis dari struktur yang mencakup elemen, material, dan geometri. Model ini harus mencerminkan perilaku fisik struktur dengan akurat.

b. Tipe Beban

Beban lateral yang diterapkan dalam analisis, biasanya berupa beban geser yang meningkat secara bertahap. Beban ini bisa berupa gaya seismik yang diwakili oleh faktor tertentu sesuai dengan standar yang berlaku.

c. Kurva Kapasitas

Kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya lateral maksimum (kapasitas) dan deformasi (*displacement*) pada struktur. Ini mencerminkan kemampuan struktur untuk menahan beban sebelum mencapai titik kegagalan. Kurva kapasitas tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

d. Titik Kegagalan

Titik di mana struktur mulai mengalami kerusakan yang signifikan. Ini dapat dianalisis melalui pengamatan deformasi dan perubahan dalam kurva kapasitas.

e. Distribusi Beban

Cara beban lateral didistribusikan ke elemen-elemen struktur. Distribusi ini dapat bervariasi, biasanya berdasarkan metode yang digunakan.

f. Deformasi Maksimum

Deformasi maksimum yang diizinkan pada struktur setelah mengalami beban. Ini penting untuk memastikan bahwa struktur tetap aman dan fungsional setelah pengaruh beban lateral.

g. Faktor Daya Reduksi Faktor yang digunakan untuk mengakui bahwa kapasitas struktural mungkin berkurang di bawah beban dinamis.

h. Kinerja Struktural

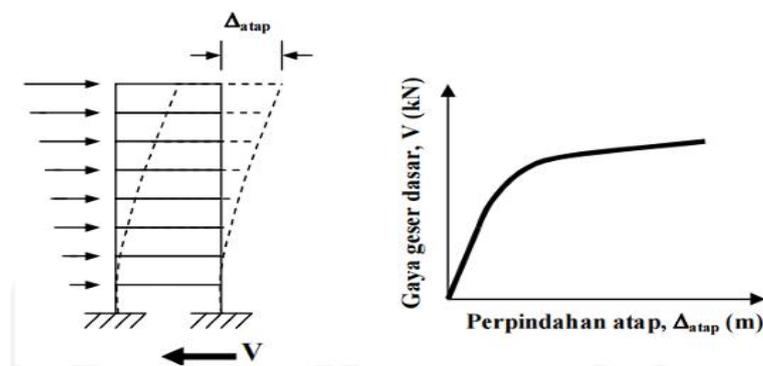
Evaluasi kinerja struktur berdasarkan hasil analisis, termasuk apakah struktur memenuhi kriteria keselamatan dan kenyamanan yang ditetapkan oleh standar.

i. Poin Pengukuran

Lokasi di mana deformasi dan gaya diukur selama analisis untuk menganalisis respons struktur secara menyeluruh.

j. Kriteria Pemodelan

Pedoman dan standar yang diikuti dalam pemodelan struktur dan analisis, seperti ATC 40 atau SNI.



Gambar 1. Kurva Kapasitas (ATC-40 Volume 1, 1996)

Pada analisis *pushover*, yang umumnya digunakan dalam rekayasa struktur (terutama dalam desain tahan gempa), terdapat beberapa persamaan yang digunakan untuk menganalisis respons struktur terhadap beban lateral yang meningkat secara bertahap hingga mencapai kondisi keruntuhan. Berikut adalah Persamaan beban lateral dan Persamaan kapasitas struktur dihitung sesuai Persamaan 1 dan 2.

a. Persamaan beban lateral

$$F_i = C_u w_i \frac{h_i}{H} \quad (1)$$

Dimana :

F_i = Gaya lateral pada tingkat

C_u = Koefisien respons seismik

w_i = Beban gravitasi di tingkat

H = Total tinggi bangunan

b. Persamaan kapasitas struktur

$$V_b = \sum F_i \quad (2)$$

Dimana :

V_b = Gaya geser dasar (*base shear*)

F_i = Gaya lateral pada setiap tingkat

2.4 SAP2000 sebagai Perangkat Analisis Struktur

SAP2000 adalah perangkat lunak yang menyediakan alat analisis statis dan dinamis untuk merancang dan mengevaluasi kinerja gedung di bawah berbagai kondisi beban, termasuk beban gravitasi, seismik, dan angin. Dengan antarmuka grafis yang intuitif dan kemampuan pemodelan 3D, SAP2000 memungkinkan peneliti untuk membuat model struktur gedung secara akurat,

menganalisis respons struktur terhadap beban, serta melakukan desain elemen struktural seperti balok, kolom, dan fondasi sesuai dengan berbagai standar dan kode yang berlaku.

Berbagai fitur utama yang dimiliki SAP2000 memungkinkan untuk mendukung analisis statis, dinamis, dan nonlinear untuk berbagai beban, termasuk seismik dan angin, pemodelan struktur dalam format tiga dimensi dengan antarmuka grafis yang intuitif, mendukung berbagai jenis material (beton, baja, kayu) dan elemen struktur (balok, kolom, plat, shell), dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak lain seperti ETABS dan SAFE untuk analisis yang lebih komprehensif, Mematuhi berbagai standar internasional dan lokal, seperti ASCE, AISC, dan ACI, serta Menyediakan alat untuk visualisasi hasil analisis dan menghasilkan laporan yang terperinci.

Pada penelitian ini memakai perangkat lunak SAP2000 untuk menilai bangunan penelitian.

2.4.1 Fitur utama dalam analisis pushover

Fitur-fitur yang terdapat pada analisis pushover yang terdapat pada SAP2000v22 mempunyai beberapa fitur, adalah sebagai berikut :

a. Model Struktur Nonlinear

Memungkinkan pemodelan perilaku nonlinear dari elemen struktur, termasuk efek keruntuhan dan deformasi plastis.

b. Kurva Kapasitas

Menghasilkan kurva kapasitas yang menunjukkan hubungan antara gaya lateral maksimum dan deformasi (*displacement*) struktur.

c. Distribusi Beban

Menggunakan distribusi beban yang sesuai, seperti distribusi beban tetap atau proporsional terhadap massa, untuk menganalisis respons struktur.

d. Poin Kegagalan

Memungkinkan identifikasi titik atau elemen dalam struktur yang mengalami kegagalan pertama selama analisis.

e. Analisis Berulang

Melakukan analisis berulang untuk berbagai tingkat beban lateral, memungkinkan evaluasi progresif dari kinerja struktur.

f. Evaluasi Kinerja

Menyediakan kriteria untuk mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan tingkat kerusakan dan deformasi.

g. Visualisasi Hasil

Menyediakan alat untuk memvisualisasikan deformasi, gaya, dan respons elemen struktur selama analisis.

h. Integrasi dengan *Software*

Dapat diintegrasikan dengan perangkat lunak analisis struktural lainnya untuk analisis yang lebih komprehensif.

i. Pengaruh Daya Reduksi

Mempertimbangkan faktor daya reduksi untuk mengevaluasi kapasitas struktur di bawah beban dinamis.

2.4.2 Keunggulan dan keterbatasan dibandingkan perangkat lunak lain.

Adapun keunggulan pada SAP2000 adalah sebagai berikut :

a. Antarmuka Pengguna yang Intuitif

SAP2000 memiliki antarmuka grafis yang mudah digunakan, memungkinkan pengguna baru untuk belajar dan memahami perangkat lunak dengan cepat.

b. Kemampuan Pemodelan 3D

Memungkinkan pemodelan struktur dalam tiga dimensi dengan fleksibilitas tinggi, yang sangat berguna untuk analisis struktur kompleks.

c. Analisis Nonlinear

Menyediakan alat untuk analisis nonlinear, termasuk perilaku material dan elemen yang kompleks, yang penting untuk evaluasi struktur di bawah kondisi ekstrem.

d. Dukungan untuk Berbagai Jenis Struktur

Dapat digunakan untuk menganalisis berbagai tipe struktur, termasuk gedung, jembatan, dan fondasi, dengan beragam material.

e. Kepatuhan terhadap Kode dan Standar

Mematuhi berbagai standar internasional dan lokal, menjadikannya pilihan yang baik untuk proyek di berbagai negara.

f. Visualisasi dan Pelaporan

Menyediakan alat untuk visualisasi hasil analisis dan menghasilkan laporan yang terperinci, membantu dalam komunikasi hasil kepada klien dan pemangku kepentingan.

Adapun keterbatasan-keterbatasan untuk software yang terdapat pada SAP2000, antara lain adalah sebagai berikut :

a. Keterbatasan dalam Simulasi Dinamis

Meskipun kuat dalam analisis statik dan dinamis, beberapa perangkat lunak lain mungkin menawarkan fitur simulasi dinamis yang lebih canggih.

b. Harga Lisensi

SAP2000 bisa menjadi mahal dibandingkan dengan beberapa perangkat lunak lain, terutama untuk pengguna individu atau perusahaan kecil.

c. Kompleksitas untuk Pengguna Baru

Meskipun intuitif, kompleksitas fitur yang tersedia dapat membuat pengguna baru merasa kewalahan saat mencoba memanfaatkan semua kemampuan perangkat lunak.

d. Keterbatasan Fitur Khusus

Beberapa perangkat lunak lain mungkin memiliki fitur khusus yang lebih baik untuk disiplin tertentu, seperti jembatan atau analisis geoteknik.

e. Dukungan untuk Analisis Terbatas

Meskipun mendukung berbagai jenis analisis, beberapa aplikasi spesifik mungkin lebih baik ditangani oleh perangkat lunak yang dirancang khusus untuk tujuan tersebut.

2.5 Evaluasi Kapasitas Struktur Gedung Bertingkat

Evaluasi kapasitas struktur gedung bertingkat adalah proses yang penting untuk memastikan bahwa gedung dapat menahan beban yang diharapkan, termasuk beban gravitasi, beban lateral (seperti angin dan gempa), dan beban lainnya. Berikut adalah langkah-langkah dan aspek penting dalam evaluasi kapasitas struktur gedung bertingkat:

1. Pengumpulan Data

Kumpulkan informasi tentang desain, material, dan kondisi bangunan, termasuk Gambar arsitektur dan struktural, spesifikasi material, dan catatan konstruksi.

2. Pemodelan Struktur

Tahap setelah pengumpulan data yang menjadi acuan untuk pembentukan gedung adalah pemodelan struktur sendiri, buat model struktur gedung menggunakan perangkat lunak analisis struktural (seperti SAP2000) untuk merepresentasikan elemen-elemen struktur seperti balok, kolom, dan dinding.

3. Analisis Beban

Tentukan beban yang bekerja pada struktur, termasuk:

- a. Beban gravitasi: berat sendiri, beban hidup, dan beban mati.
- b. Beban lateral: analisis beban angin dan beban seismik sesuai dengan standar yang berlaku.

4. Analisis Struktur

- a. Lakukan analisis statik dan dinamik pada model untuk menentukan respons struktur terhadap beban yang diterapkan.
- b. Gunakan metode analisis yang sesuai, seperti analisis pushover atau analisis respons dinamis.

5. 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.

6. Pemeriksaan Kegagalan

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

- a. Retrofit dan Perbaikan (jika diperlukan)

Jika kapasitas struktur tidak memadai, rencanakan dan desain solusi retrofit untuk meningkatkan kinerja, seperti penambahan elemen baru, penguatan material, atau modifikasi geometri.

- b. Pelaporan Hasil

Buat laporan yang merangkum temuan analisis, termasuk rekomendasi untuk perbaikan jika diperlukan, dan dokumentasikan semua hasil analisis.

2.5.1 Karakteristik struktur atas pada gedung bertingkat

Struktur atas gedung bertingkat adalah bagian dari bangunan yang berada di atas pondasi dan struktur bawah. Fungsinya adalah menahan dan menyalurkan beban dari lantai-lantai gedung ke struktur bawah hingga ke pondasi serta memastikan stabilitas terhadap berbagai gaya yang bekerja pada bangunan, berikut adalah karakteristik lengkap struktur atas pada gedung bertingkat, mencakup elemen-elemen utama, sistem struktur, material, serta aspek kestabilan dan keamanan.

Terdapat elemen-elemen pada stuktur atas bangunan, antara lain adalah :

- a. Kolom

Kolom adalah elemen vertikal yang menopang beban dari balok dan lantai di atasnya dan memiliki fungsi mendistribusikan beban ke pondasi, kolom terbuat dari beton bertulang, baja, atau material komposit dan semakin tinggi bangunan, semakin besar dimensi kolom untuk menahan gaya aksial dan momen.

b. Balok

Balok adalah elemen horizontal yang menahan beban dari lantai dan mendistribusikannya ke kolom bisa berupa balok utama atau balok anak dan material yang umum digunakan adalah beton bertulang dan baja.

c. Pelat lantai

Pelat lantai adalah struktur horizontal yang membentuk lantai setiap tingkat bangunan, pelat lantai memiliki fungsi untuk menerima beban langsung dari penghuni, perabot, dan peralatan dan jenis pelat lantai meliputi pelat beton konvensional, pelat pracetak, dan pelat baja komposit.

d. Atap

Atap adalah elemen pelindung bagian atas gedung dari cuaca dan faktor lingkungan, jenis atap dapat berupa atap datar (*flat roof*), atap kubah, atau atap kaca skylight dan material bervariasi seperti beton, baja, kaca, atau panel komposit.

Terdapat beberapa sistem struktur yang digunakan dalam gedung bertingkat, antara lain:

a. Sistem rangka kaku

Sistem rangka kaku menggunakan balok dan kolom yang disambung dengan sambungan kaku cocok untuk gedung bertingkat sedang serta efektif dalam menahan beban gravitasi dan lateral.

b. Sistem dinding geser

Sistem dinding geser sendiri memanfaatkan dinding beton bertulang untuk menahan gaya lateral dan banyak digunakan pada gedung tinggi untuk meningkatkan kestabilan.

Material yang digunakan dalam struktur atas harus memenuhi persyaratan kekuatan, durabilitas, dan efisiensi. Berikut adalah material utama:

a. Beton bertulang

Beton bertulang sendiri tahan terhadap tekanan dan beban berat banyak digunakan untuk kolom, balok, dan pelat lantai dan sangat cocok untuk gedung bertingkat menengah hingga tinggi.

b. Baja

Baja lebih ringan dan fleksibel dibandingkan beton, digunakan pada gedung pencakar langit dan struktur dengan bentang lebar dan cocok untuk bangunan dengan kebutuhan arsitektur yang lebih fleksibel.

c. Material komposit

Material komposit adalah material yang menggabungkan keunggulan beton (tahan tekan) dan baja (tahan tarik) serta efektif dalam meningkatkan efisiensi struktur.

Struktur atas juga harus memenuhi standar keamanan untuk menahan berbagai jenis beban, antara lain sebagai berikut :

a. Beban vertikal

Beban vertikal terbagi atas dua antara lain :

- 1) Beban mati (*dead load*), mencakup berat struktur sendiri, seperti beton, baja, dinding, dan atap.
- 2) Beban hidup (*live load*), mencakup Beban dari penghuni, perabot, dan aktivitas di dalam gedung.

b. Beban lateral

Beban lateral terbagi atas tiga antara lain :

- 1) Beban angin, semakin tinggi gedung, semakin besar gaya angin yang bekerja.
- 2) Beban gempa, bangunan harus dirancang sesuai standar seismik (misalnya SNI 1726:2019 untuk Indonesia).
- 3) Efek getaran, bangunan tinggi perlu mempertimbangkan efek osilasi akibat angin atau gempa.

Dalam pembangunan gedung bertingkat, efisiensi dan keberlanjutan menjadi faktor penting, antara lain :

a. Efisiensi material

Efisiensi material dalam arti penggunaan material ringan dan berkinerja tinggi untuk mengurangi beban struktur serta Struktur pracetak untuk mempercepat konstruksi (jika diperlukan).

b. Keberlanjutan

Pemanfaatan material ramah lingkungan seperti beton hijau dan baja daur ulang, desain ventilasi alami dan panel surya untuk mengurangi konsumsi energi serta sistem pengelolaan air hujan dan daur ulang limbah konstruksi.

2.5.2 Faktor-faktor yang memengaruhi kapasitas struktur

Kapasitas struktur adalah kemampuan suatu bangunan atau elemen struktural dalam menahan beban yang bekerja padanya tanpa mengalami kegagalan. Kapasitas ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik dari segi material, desain, lingkungan, maupun faktor eksternal lainnya. Berikut adalah faktor-faktor utama yang memengaruhi kapasitas :

a. Faktor material

Material yang digunakan dalam struktur sangat menentukan kekuatan dan daya tahannya. Beton memiliki kuat tekan tinggi tetapi lemah dalam tarik, sehingga sering dikombinasikan dengan tulangan baja atau digunakan dalam material komposit untuk meningkatkan kapasitas struktur.

b. Faktor geometris dan desain Struktur

Desain suatu struktur menentukan bagaimana beban didistribusikan dan seberapa besar kapasitasnya. Dimensi dan proporsi elemen struktur berpengaruh besar terhadap kekuatan bangunan. Kolom yang lebih besar memiliki kapasitas tekan lebih tinggi, sementara balok dengan rasio tinggi dan lebar yang seimbang lebih efektif menahan momen lentur.

c. Faktor Beban yang Bekerja pada Struktur

Beban struktur terdiri dari berbagai jenis yang harus diperhitungkan dalam perancangan. Beban mati mencakup berat sendiri elemen seperti kolom, balok, dan atap, sedangkan beban hidup berasal dari penghuni, perabot, dan aktivitas yang dapat berubah sesuai penggunaan.

d. Faktor Konstruksi dan Eksekusi Pembangunan

Kesalahan dalam konstruksi dapat menurunkan kapasitas struktur. Pengecoran beton yang buruk dapat menyebabkan retak, sementara penyambungan baja yang tidak sempurna mengurangi daya dukung.

e. Faktor Pemeliharaan dan Umur Struktur

Perawatan yang baik dapat memperpanjang umur dan kapasitas struktur. Inspeksi berkala diperlukan untuk mendeteksi retakan, korosi, atau deformasi serta mengevaluasi beban aktual dibandingkan dengan desain awal.

2.6 Pembebanan

2.6.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati pada struktur terdiri dari berbagai elemen seperti pelat lantai, balok, kolom, dinding, dan plesteran.

a. Pelat Lantai

Beban mati akibat pelat lantai dihitung berdasarkan tebal pelat dan berat jenis materialnya, sebagaimana dirumuskan dalam Persamaan 3:

$$q_{\{pelat\}} = t \times \gamma \tag{3}$$

b. Balok

Balok memiliki beban mati yang dihitung berdasarkan luas penampangnya dikalikan dengan berat jenis material, sebagaimana diperlihatkan dalam Persamaan 4 :

$$q_{\{balok\}} = (b \times h) \times \gamma \tag{4}$$

c. Kolom

Beban mati pada kolom dihitung dengan cara serupa seperti pada balok, yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 5 :

$$q_{\{kolom\}} = (b \times h) \times \gamma \quad (5)$$

d. Dinding Bata

Beban mati akibat dinding bata bergantung pada ketebalan dinding dan berat jenis materialnya. Perhitungan ini dapat dinyatakan dalam Persamaan 6 :

$$q_{\{dinding\}} = (t \times l) \times \gamma \quad (6)$$

e. 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 7 :

$$q_{\{plasteran\}} = (t \times l \times 2) \times \gamma \quad (7)$$

2.6.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup pada bangunan merupakan beban yang berubah-ubah, tergantung pada fungsi ruang. Beban ini ditentukan berdasarkan standar, seperti SNI 1727:2020.

Perhitungan beban hidup umumnya dihitung per satuan luas lantai dan dapat dinyatakan dengan Persamaan 8 :

$$q_{hidup} = w \quad (8)$$

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:

- a. Ruang hunian memiliki nilai beban hidup sebesar 2.0 kN/m^2 .
- b. Kantor memiliki rentang beban hidup antara $2.5 - 4.0 \text{ kN/m}^2$.

- c. Koridor publik dapat memiliki beban hidup sebesar 4.0 – 5.0 kN/m².
- d. Ruang kelas memiliki nilai beban hidup sebesar 3.0 kN/m²
- e. Teras atap memiliki nilai beban hidup sebesar 1.5 kN/m².

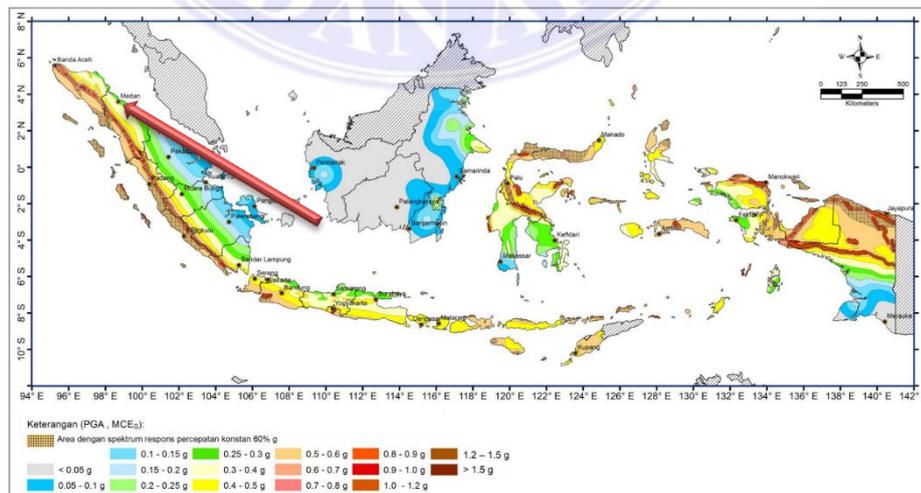
2.7 Standar dan Regulasi Terkait

Standar dan regulasi terkait berfungsi sebagai pedoman dalam memastikan bahwa desain, konstruksi, dan pemeliharaan struktur memenuhi kriteria keselamatan, kualitas, dan kinerja yang ditetapkan.

2.7.1 SNI 1726 : 2019 (Tentang perencanaan ketahanan gempa).

SNI 1726:2019 adalah standar nasional Indonesia yang mengatur tentang perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan. Standar ini dirancang untuk memberikan pedoman dalam merancang struktur bangunan agar mampu bertahan terhadap beban gempa.

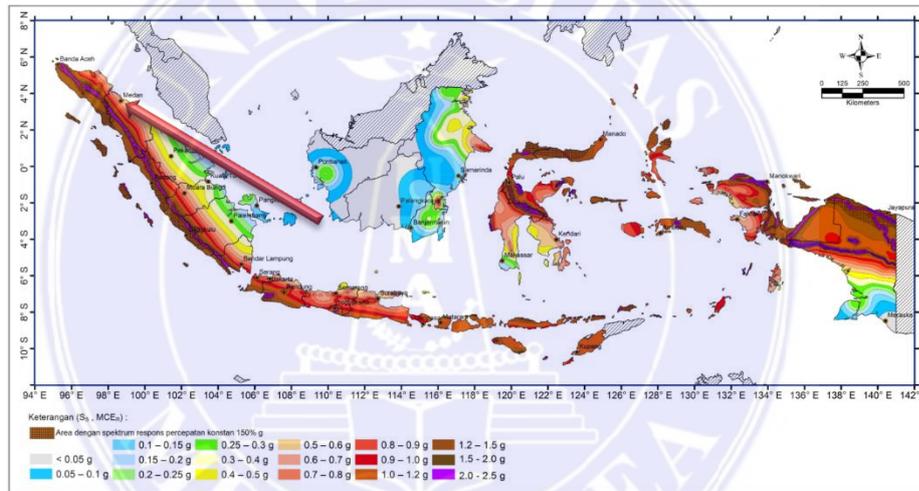
Berdasarkan peta pada titik lokasi Stadion Kebun Bunga Kota Medan didapatkan (Lintang = 3.588051 Bujur = 98.670700), parameter gerak tanah pada Gambar 2 diperoleh data respon spektrum gempa pada wilayah tersebut, sesuai dengan SNI 1726 – 2019.



Gambar 2. Percepatan Gempa Maksimum (SNI 1726-2019).

Percepatan Tanah Puncak (PGA) untuk Gempa Maksimum yang dipertimbangkan rata-rata geometrik (MCEG) di wilayah Indonesia ditentukan berdasarkan analisis bahaya gempa yang mempertimbangkan probabilitas terjadinya gempa dalam jangka waktu tertentu.

Nilai PGA ini berdasarkan pada SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung digunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan desain struktur bangunan tahan gempa. Peta nilai S_s gempa untuk wilayah medan dapat dilihat pada Gambar 3.

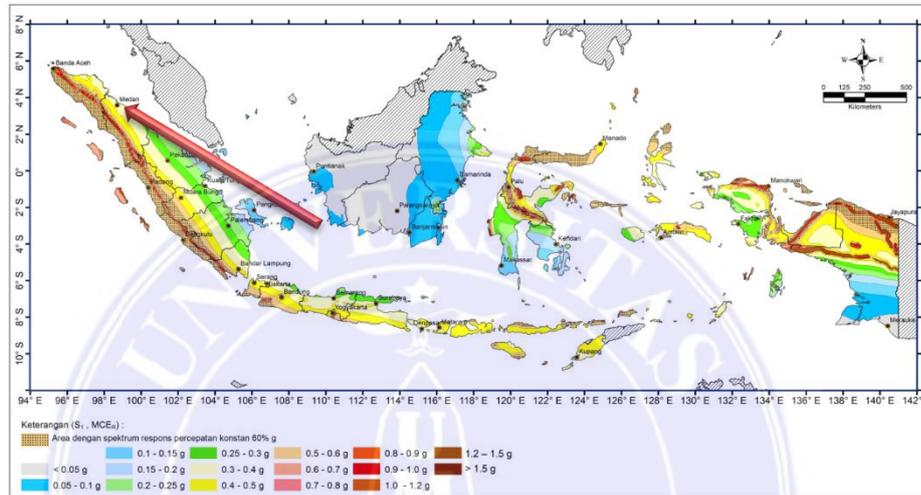


Gambar 3. S_s Gempa untuk Wilayah Medan (SNI 1726-2019)

Parameter gerak tanah S_s untuk gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) di wilayah Indonesia pada spektrum respons 0,2 detik dengan redaman kritis 5% ditentukan berdasarkan peta yang disusun dalam SNI 1726-2019. Peta ini memberikan nilai S_s yang bervariasi sesuai dengan lokasi geografis dan kelas situs tanah.

Pada Gambar 4 yaitu peta S_1 , merujuk pada parameter percepatan spektral untuk periode 1 detik, yang digunakan untuk menghitung respons struktur bangunan terhadap gempa, khususnya untuk bangunan yang lebih tinggi atau

dengan periode alami yang lebih panjang. Nilai S1 ini digunakan dalam perhitungan desain untuk menentukan akselerasi maksimum yang akan diterima oleh bangunan pada periode 1 detik. Dengan mengetahui nilai ini, peneliti dapat merancang struktur yang tahan gempa dan aman dalam menghadapi kemungkinan terjadinya gempa di wilayah tersebut.



Gambar 4. S1 Gempa untuk Wilayah Medan (SNI 1726-2019).

Selain itu, SNI 1726-2019 juga memberikan klasifikasi kategori risiko untuk gedung dan nongedung, yang bertujuan untuk menentukan tingkat risiko yang dihadapi oleh bangunan yang sedang diteliti. Klasifikasi ini sangat penting dalam konteks perencanaan dan evaluasi struktur, terutama dalam menghadapi beban gempa. Dengan memahami kategori risiko yang sesuai, peneliti dapat merancang bangunan dengan mempertimbangkan potensi dampak gempa, sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan ketahanan struktur. Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung terkait beban gempa yang bersumber dari SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Tabel 3, yang menyajikan informasi penting mengenai klasifikasi tersebut dan membantu dalam pengambilan keputusan yang tepat dalam perancangan dan rehabilitasi bangunan.

Tabel 3. Kategori risiko bangunan gedung dan Nongedung untuk beban empa (SNI 1726-2019).

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya. 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	III
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat</p>	

pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.

Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah ibadah
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat
- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat

IV

Tabel 4. Faktor keutamaan Gempa (SNI 1726-2019 pada halaman 25)

Kategori Risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Lokasi Stadion kebun bunga sendiri masuk kedalam kategori kelas situs SC (tanah keras) untuk hasil faktor keutamaan =1.0 dan kategori resiko II (SNI 1726-2019), maka dengan bantuan sistem penginputan data pada spektra indonesia, didapat faktor amplifikasi.

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCER di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2

detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan Persamaan 9 dan 10 berikut ini:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \tag{9}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \tag{10}$$

Dimana :

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Tabel 5. Koefisien Situs, F_a (SNI 1726-2019 Hal, 34)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s = 0,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS^a					

Sesuai dengan letak penelitian pada yaitu Stadion Kebun bunga Medan yang terdapat pada Tabel 5, yang masuk kedalam kategori tanah keras (SC) diperoleh koefisien Situs F_a adalah faktor yang digunakan dalam perhitungan desain bangunan tahan gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019. Koefisien ini

digunakan untuk mengoreksi nilai percepatan desain spektral berdasarkan jenis dan kondisi tanah di lokasi pembangunan. Setiap jenis tanah memiliki respons yang berbeda terhadap gelombang gempa, sehingga koefisien ini penting untuk memastikan bahwa perhitungan beban gempa yang diterima oleh bangunan lebih akurat sesuai dengan karakteristik tanah di tempat tersebut.

Koefisien Situs, F_v adalah faktor yang digunakan dalam perhitungan desain bangunan tahan gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019. Koefisien ini digunakan untuk mengoreksi nilai percepatan desain spektral pada periode 1 detik (untuk struktur dengan periode alami lebih panjang) berdasarkan jenis dan kondisi tanah di lokasi pembangunan. Koefisien F_v berfungsi untuk menyesuaikan respons bangunan terhadap gempa yang terjadi di tanah dengan karakteristik tertentu. SNI 1726-2019 juga mengatur koefisien situs F_v untuk perhitungan desain bangunan tahan gempa, dapat dilihat pada Tabel 6 berikut :

Tabel 6. Koefisien situs, F_v (SNI 1726-2019 Hal, 34)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^a					

Keterangan:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek, S_{ds} dan pada periode 1 detik, dan S_{d1} , harus ditentukan melalui Persamaan 11 dan 12 berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (11)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (12)$$

Dimana :

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} , dapat dilihat pada Persamaan 13 dan 14 untuk nilai periode T_0 dan periode T_s sebagai berikut.

$$T_0 = 0,2 \left(\frac{S_{d1}}{S_{ds}} \right) \quad (13)$$

$$T_s = \left(\frac{S_{d1}}{S_{ds}} \right) \quad (14)$$

Dimana :

$$T_0 = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$$

$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$$

Dalam SNI 1726:2019, kategori desain seismik ditentukan berdasarkan parameter respons percepatan spektral pada periode pendek (S_{DS}) yang diperoleh

dari perhitungan nilai S_s (percepatan spektral pada 0,2 detik) dan faktor koefisien situs F_a , dapat dilihat pada Tabel 7 berikut :

Tabel 7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (SNI 1726-2019)

Nilai SD_s	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_s < 0,167$	A	A
$0,167 \leq SD_s < 0,33$	B	C
$0,33 \leq SD_s < 0,50$	C	D
$0,50 \leq SD_s$	D	D

Dalam SNI 1726:2019, kategori desain seismik juga ditentukan berdasarkan parameter respons percepatan spektral pada periode 1 detik (SD_1) seperti yang terdapat pada Tabel 8. Nilai ini digunakan untuk menilai tingkat risiko seismik di suatu wilayah dan menentukan persyaratan desain struktur agar tahan terhadap gempa.

Tabel 8. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.

Nilai SD_1	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$SD_1 < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SD_1 < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SD_1 < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SD_1$	D	D

Dalam perancangan struktur tahan gempa, salah satu parameter penting yang harus diperhitungkan adalah waktu getar alami struktur atau periode fundamental, dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9. Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (SNI 1726-2019)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Berdasarkan desain parameter spektra pada Tabel 7 dan 8 dikategorikan desain seismik nya adalah C. Karena nilai $0,33 \leq SDs < 0,50$ dan nilai $0,133 \leq SD1 < 0,20$. Nilai SDs dan $SD1$ dihitung berdasarkan nilai Ss dan $S1$ dari peta gempa, serta faktor amplifikasi tanah Fa dan Fv , sesuai dengan rumus yang diatur dalam standar gempa.

Periode fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) dari Tabel 9 dan periode fundamental pendekatan, T_a , yang ditentukan sesuai 7.8.2.1. Sebagai alternatif dalam melakukan analisis untuk menentukan periode fundamental struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan periode bangunan pendekatan, T_a , yang dihitung sesuai 7.8.2.1.

Berdasarkan Pasal 7.8.2.1 SNI 1726:2019, Perhitungan pendekatan periode struktur dengan Persamaan 15 sebagai berikut :

$$T_a = C_t (h_n)^x \quad (15)$$

Dimana :

h_n = adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x yang ditentukan.

Nilai C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 10, sebagai rujukan dalam mendapatkan nilai parameter periode pendekatan C_t dan x sesuai dengan standar yang berlaku antara lain SNI (Standar Nasional Indonesia) 1726-2019 sebagai berikut :

$$T_{max} = T_a \cdot C_u \quad (16)$$

Tabel 10. Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2019 Hal,72)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

C_t (Koefisien Struktur) dan x adalah parameter yang digunakan dalam rumus pendekatan untuk menghitung periode fundamental alami (T) dari suatu bangunan berdasarkan tinggi dan sistem struktur yang digunakan. Parameter ini bergantung pada jenis sistem struktur yang digunakan dalam bangunan.

Geser dasar seismik merupakan gaya lateral total yang bekerja pada dasar struktur akibat gempa bumi. Besarnya geser dasar ini sangat penting untuk diperhitungkan dalam perencanaan struktur tahan gempa. Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Persamaan 17 berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (17)$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Gaya seismik lateral merupakan gaya yang bekerja secara horizontal pada struktur akibat gempa bumi, yang sangat berpengaruh pada stabilitas bangunan bertingkat.

Menurut Pasal 7.8.3 SNI 1726:2019, gaya seismik lateral harus dihitung dan didistribusikan secara merata pada setiap tingkat bangunan, dengan memperhitungkan massa tiap lantai dan ketinggian struktur. Gaya ini diperoleh dari geser dasar seismik dan didistribusikan sesuai dengan profil dinamis bangunan.

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari Persamaan 18 berikut:

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (18)$$

Dimana :

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal
 V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)
 w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur
 h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m)
 k = eksponen yang terkait dengan periode struktur

2.7.2 Pedoman ATC – 40 (dalam pedoman evaluasi kapasitas struktur).

ATC-40 adalah sebuah dokumen yang diterbitkan oleh *Applied Technology Council* (ATC) yang berfokus pada evaluasi dan perbaikan bangunan beton terhadap gempa bumi. Dokumen ini menjadi referensi penting dalam bidang teknik sipil, khususnya dalam perancangan dan analisis struktur seismik.

ATC-40 (*Applied Technology Council*) merupakan pedoman yang memberikan panduan tentang evaluasi kinerja seismik bangunan menggunakan

metode *pushover*. Pedoman ini membagi kinerja struktur menjadi tiga tingkatan kinerja yang berbeda, yaitu IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*), DC (*Damage Control*) dan CP (*Collapse Prevention*).

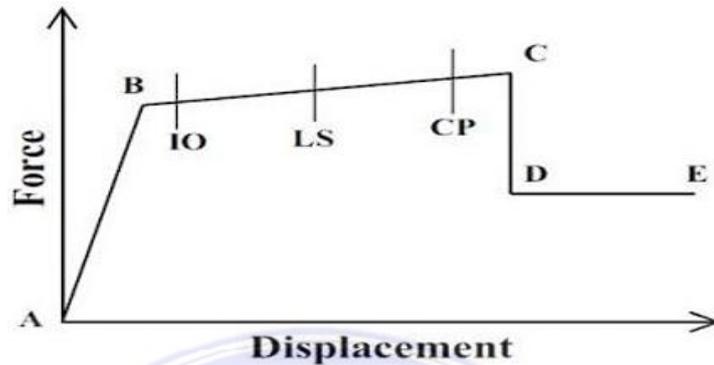
Pedoman ini memberikan instruksi yang jelas terkait prosedur analisis dan pengambilan keputusan terkait kondisi bangunan pasca-gempa, Tabel 11 dari kinerja bangunan berdasarkan ATC-40.

Tabel 11. Tingkatan Kerja Bangunan (ATC-40)

No	Tingkat Kinerja	Deskripsi
1	B	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
2	<i>Immediate Occupancy</i> (IO)	Bangunan harus tetap dapat dihuni setelah gempa dengan kerusakan minimal.
3	<i>Damage Control</i>	kerusakan pada struktur terkendali dan dapat diperbaiki.
4	<i>Life Safety</i> (LS)	Kerusakan pada bangunan diperbolehkan, namun tidak boleh menyebabkan korban jiwa.
5	<i>Collapse Prevention</i> (CP):	Bangunan boleh mengalami kerusakan berat, namun keruntuhan total harus dihindari.
6	C	Batas maksimum gaya geser yang masih ditahan gedung
7	D	Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir collapse.
8	E	Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

Gambar 5 menunjukkan Kurva yang digunakan bersama dengan kurva kapasitas struktur dari analisis *pushover* untuk menentukan respons bangunan

terhadap gempa dan mengevaluasi apakah bangunan masih dalam batas keamanan tertentu.



Gambar 5. Kurva Kriteria Kinerja (ATC-40 Volume 1, 1996)

2.8 Kinerja Seismik Bangunan

Kinerja seismik bangunan mengacu pada bagaimana sebuah bangunan merespons gempa bumi, termasuk seberapa baik bangunan tersebut dapat menahan gaya seismik tanpa mengalami kerusakan serius atau runtuh. Kinerja ini bergantung pada berbagai faktor seperti desain struktural, material yang digunakan, dan teknik konstruksi.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja seismik bangunan antara lain seperti desain struktural bangunan, material bangunan, sistem peredam getaran, fondasi dan tanah, detail konstruksi dan sambungan, dan penerapan peraturan bangunan.

2.8.1 Metode penilaian kinerja struktur terhadap gempa

Penilaian kinerja struktur terhadap gempa bertujuan untuk mengevaluasi apakah suatu bangunan dapat bertahan terhadap beban seismik dengan tingkat kerusakan yang dapat diterima, dan pada penelitian ini menggunakan metode analisis seismik nonlinear yaitu *pushover* analisis (analisis dorong) dengan menggunakan gaya lateral yang meningkat secara bertahap hingga struktur

mengalami kegagalan dan digunakan untuk mengetahui kapasitas maksimum struktur dan titik lelehnya.

2.8.2 Kriteria tingkat kinerja bangunan berdasarkan regulasi

Dalam penelitian ini peneliti memakai regulasi Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 mengatur tentang "Tata Cara Perhitungan Kinerja Bangunan Gedung terhadap Gempa." Kriteria tingkat kinerja bangunan dalam SNI ini mencakup beberapa aspek yang penting untuk memastikan keselamatan dan ketahanan bangunan terhadap gempa.

Terdapat beberapa kriteria utama dalam SNI 1726:2019, antara lain :

- a. Kinerja Dasar (*Life Safety*)
Bangunan harus dirancang untuk memberikan perlindungan dasar bagi penghuni dan tidak boleh terjadi keruntuhan yang mengancam nyawa, meskipun mungkin terjadi kerusakan yang signifikan.
- b. Kinerja Fungsional (*Immediate Occupancy*)
Bangunan harus tetap dapat digunakan segera setelah gempa dan Kerusakan harus minimal dan tidak mengganggu fungsi bangunan.
- c. Kinerja Terbatas (*Damage Control*)
Bangunan dirancang untuk menahan gempa tanpa kerusakan besar, tetapi mungkin tidak dapat digunakan segera setelah gempa.
- d. Kinerja Ekonomi
Pertimbangan biaya untuk perbaikan dan pemeliharaan pasca-gempa harus diperhitungkan.
- e. Kinerja Struktural

Bangunan harus memiliki sistem struktural yang mampu mendistribusikan beban gempa dengan baik.

f. Kinerja Non-Struktural

Elemen non-struktural (seperti dinding, plafon, dan peralatan) harus dirancang untuk menghindari kerusakan yang signifikan.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur Gedung administrasi stadion kebun bunga melalui metode analisis statik *nonlinear pushover* pada *software* SAP2000v.22, dan mengacu pada SNI 1726:2019 dan berpedoman pada ATC-40. Tahapan penelitian terdiri dari beberapa langkah utama, yaitu:

1. Studi literatur: Melakukan kajian terhadap teori dan pedoman yang berkaitan dengan evaluasi kinerja seismik, khususnya metode analisis *pushover* dan pedoman ATC-40.
2. Pengumpulan data struktur: Mengumpulkan data teknis gedung administrasi yang meliputi dimensi struktur, bahan material, dan detail elemen struktural seperti kolom, balok.
3. Pemodelan struktur: Membuat model struktur gedung administrasi dalam perangkat lunak SAP2000v.22 dengan memasukkan data yang telah dikumpulkan.
4. Penerapan beban: Menerapkan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup).
5. Analisis *Pushover*: Melakukan analisis *pushover* untuk mendapatkan kurva kapasitas bangunan dan mengevaluasi kinerja struktur pada berbagai Tingkat perpindahan lateral.
6. Evaluasi kinerja seismik: Berdasarkan hasil analisis *pushover*, mengevaluasi kinerja bangunan sesuai dengan pedoman ATC-40, yaitu

tingkat *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), *Damage Control* (DC), dan *Collapse Prevention* (CP).

7. Pelaporan hasil penelitian: Menyusun laporan hasil analisis dan memberikan rekomendasi teknis terkait perbaikan atau perkuatan struktur jika diperlukan.

3.1.1 Pendekatan Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif yang dimana pendekatan kuantitatif dalam evaluasi kinerja seismik bangunan menggunakan analisis numerik dan perhitungan matematis untuk mengukur respons struktur terhadap gempa. Metode ini memberikan hasil berbasis data dan angka yang lebih objektif dengan menggunakan metode analisis Statis nonlinier (*Pushover Analysis* - ATC-40).

3.1.2 Jenis data yang digunakan

Penelitian ini memakai data sekunder, data yang sudah dikumpulkan, diorganisir, dan dianalisis oleh pihak lain sebelum digunakan dalam penelitian baru, dan data diambil dari sumber yang sudah tersedia, seperti laporan, publikasi, atau basis data, yang bersumber dari laporan pemerintahan, dan artikel jurnal.

Dalam melakukan evaluasi kinerja seismik bangunan, berbagai jenis data diperlukan untuk memodelkan struktur, menentukan beban gempa, dan mengevaluasi respons struktur. Jenis data yang digunakan dapat dikategorikan sebagai berikut:

- a. Data Geometri Struktur: Data geometri struktur mencakup dimensi elemen struktur (balok, kolom, dinding geser, dll.), tinggi lantai, dan konfigurasi

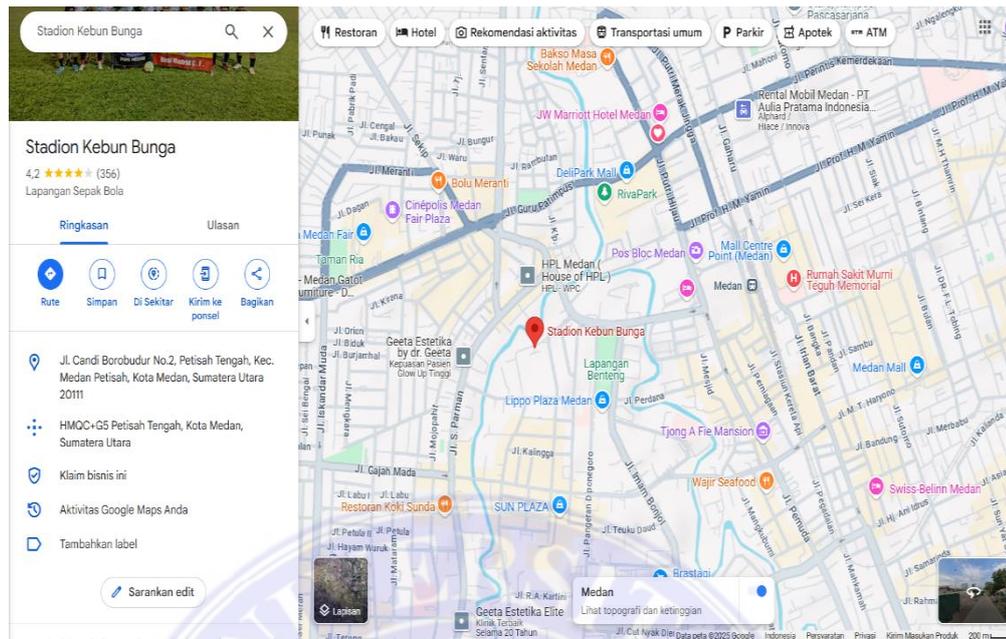
bangunan secara keseluruhan. Data ini biasanya diperoleh dari Gambar desain (as-built drawing) atau survei lapangan.

- b. **Data Material:** Data material mencakup properti material struktur, seperti kuat tekan beton, kuat leleh baja, modulus elastisitas, dan rasio Poisson. Data ini dapat diperoleh dari spesifikasi material, pengujian laboratorium, atau referensi standar.
- c. **Data Beban:** Data beban mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati dan beban hidup ditentukan berdasarkan standar yang berlaku, sedangkan beban gempa ditentukan berdasarkan analisis bahaya gempa dan respons spektrum. Beban gempa diperoleh dari kurva respons spektrum yang dibuat berdasarkan klasifikasi situs, periode panjang, dan parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa sesuai dengan SNI 1726:2019.
- d. **Data Tanah:** Data tanah mencakup jenis tanah, kepadatan tanah, dan parameter tanah lainnya yang mempengaruhi respons gempa. Parameter kecepatan gelombang penelitian ini masuk ke dalam kelas situs SC.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi pembangunan stadion kebun bunga ini terletak di jalan. Candi Borobudur No.2, Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara yang terlihat pada Gambar 6. Waktu pelaksanaan penelitian adalah 60 hari, yang dibagi dalam beberapa tahapan :

1. Pengumpulan data : 30 hari
2. Pengolahan data : 30 hari



Gambar 6. Lokasi Penelitian

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup berbagai data teknis dan parameter struktur bangunan, antara lain:

1. Perangkat keras seperti komputer dan laptop.
2. Data Teknis Struktur: Gambar teknis bangunan yang mencakup dimensi elemen struktural (kolom, balok, dan pelat lantai). Spesifikasi material juga diperoleh, meliputi kualitas beton, jenis baja tulangan, dan kekuatan bahan lainnya.
3. Data Seismik: Data gempa yang digunakan untuk menentukan beban lateral dalam analisis *pushover*. Data ini meliputi:
 - a. Peta percepatan tanah (PGA) untuk wilayah Sumatera Utara.
 - b. Spektrum respons gempa yang disesuaikan dengan standar SNI 1726.
4. Pedoman ATC-40: Pedoman ini menjadi acuan dalam mengevaluasi kinerja seismik bangunan, Pedoman ini menjadi acuan dalam

mengevaluasi kinerja seismik bangunan. ATC-40 memberikan prosedur untuk analisis *pushover*, termasuk bagaimana menilai tingkat kinerja bangunan pada berbagai tahap perpindahan lateral.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis data sekunder, dimana menggunakan data yang sudah ada dari tempat penelitian sebelumnya atau laporan untuk analisis lebih lanjut.

3.4.1 Data eksisting

Lokasi pembangunan berada di jalan Candi Borobudur No.2, Petisah Tengah, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara, dengan (Lintang = 3.588051 Bujur = 98.670700).

Nama Bangunan	:	Stadion Kebun Bunga Medan (yang ditinjau gedung administrasi)
Fungsi bangunan	:	Kantor Administrasi
Jumlah lantai	:	3 Lantai
Luasan Bangunan	:	270 M2
Tinggi bangunan	:	10,6 meter
Material Struktur	:	Struktur Beton Bertulang
Pemilik Pekerjaan	:	Dinas Perumahan, Kawasan Pemukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Medan
Waktu Pelaksanaan	:	5 mei 2023 – 25 oktober 2024
Kontraktor Pelaksana	:	PT. Permata Anugerah Yalapersada PT. Permata Lansekap Nusantara KSO
Manajemen Kontruksi (MK)	:	PT. Citra Diecona KSO PT. Ciria Jasa C.E.

Data material pada proyek pembangunan ini adalah :

Pile Cap,Tie Beam,Balok,Kolom & Pelat	:	F'c 25 Mpa
Lantai kerja	:	F'c 8,3 Mpa
BjTS 420B	:	Fy 420 Mpa

Data eksisting dari spesifikasi struktur meliputi spesifikasi kolom, spesifikasi balok dan spesifikasi pelat, telah disajikan pada Tabel 12,13,14 dan 15, Gambar detail telah disajikan dalam Lampiran.

Tabel 12. Spesifikasi Kolom

Elemen Struktur	Ukuran (mm)	Tumpuan	Lapangan	Tul utama
Kolom 1	500 x 500	D10-75	D10-150	12 D19
Kolom 2	600 x 600	D10-75	D10-150	16 D19
Kolom 2	400 x 600	D10-75	D10-150	14 D19

Keterangan :

Pada kolom, Gambar detail keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 13. Spesifikasi Balok

Elemen Struktur	Ukuran (mm)	1/4 Tumpuan	1/2 Lapangan
Balok 2	400 x 550	Sk. D10-75	Sk. D10-100
Balok 2.A	400 x 550	Sk. D10-75	Sk. D10-100
Balok 3	250 x 300	Sk. D10-75	Sk. D10-100

Keterangan :

Pada balok, ukuran tulangan serta jumlah dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel 14. Spesifikasi Pelat lantai 2

Elemen Struktur	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)
Pelat Lantai A	5,51	5,51	0,12
Pelat Lantai B	5,51	3,50	0,12
Pelat Lantai C	5,51	3,25	0,12
Pelat Lantai D	5,51	1,70	0,12
Pelat Lantai E	3,50	1,70	0,12
Pelat Lantai F	4,26	0,60	0,12
Pelat Lantai G	2,45	1,90	0,12

Tabel 15. Spesifikasi Pelat lantai 3

Elemen Struktur	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)
-----------------	-------------	-----------	-----------

Elemen Struktur	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)
Pelat Lantai A	5,51	5,51	0,12
Pelat Lantai B	5,51	3,50	0,12
Pelat Lantai C	5,50	1,00	0,12
Pelat Lantai D	3,50	1,00	0,12
Pelat Lantai E	2,46	1,90	0,12
Pelat Lantai F	1,32	0,82	0,12

Keterangan :

Pada pelat, Gambar detail keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran.

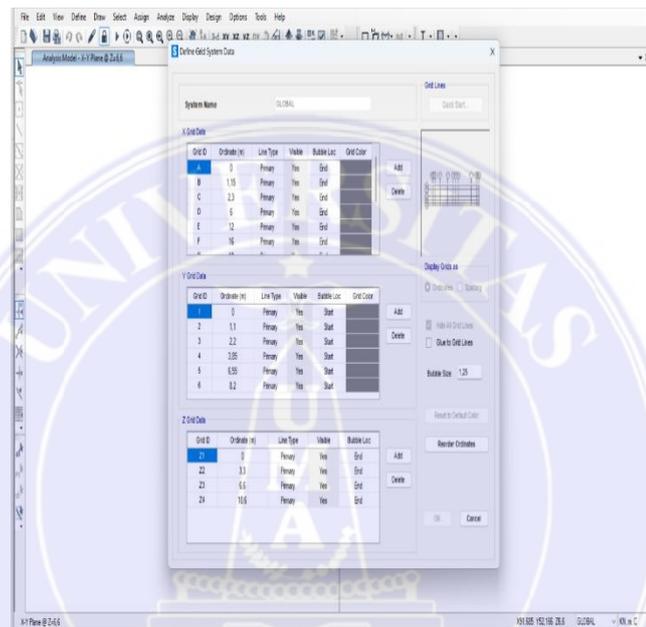
Berdasarkan data eksisting yang telah dikumpulkan, dapat disimpulkan bahwa kondisi awal bangunan mencerminkan karakteristik struktur yang ada sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Data ini menjadi dasar dalam mengevaluasi kapasitas dan kinerja struktur, terutama dalam menghadapi berbagai beban, termasuk beban gempa. Dengan memahami kondisi eksisting secara menyeluruh, langkah-langkah perencanaan, perkuatan, atau perbaikan dapat dilakukan secara lebih tepat guna memastikan keamanan dan fungsionalitas bangunan tetap terjaga. Selanjutnya, analisis mendalam akan dilakukan untuk menilai sejauh mana struktur ini mampu memenuhi standar keselamatan yang berlaku.

3.4.2 Proses pemodelan ulang dengan SAP2000

Penelitian ini memakai aplikasi yang dapat membantu dalam hal menganalisis struktur bangunan administrasi pada gedung stadion kebun bunga, Medan. Pemodelan struktur dalam hal ini menggunakan aplikasi SAP2000, berikut langkah-langkah memasukan data yang telah diperoleh sebelumnya ke SAP2000, sebagai berikut:

- a. Membuat grid pada SAP2000 sesuai denah bangunan

Gambar 7 menunjukkan grid pada SAP2000 sesuai denah bangunan adalah proses mendefinisikan garis-garis referensi dalam model struktur yang sesuai dengan tata letak bangunan sebenarnya. Grid ini digunakan sebagai acuan untuk menempatkan elemen-elemen struktur seperti kolom, balok, dan pelat dengan presisi sesuai perencanaan.

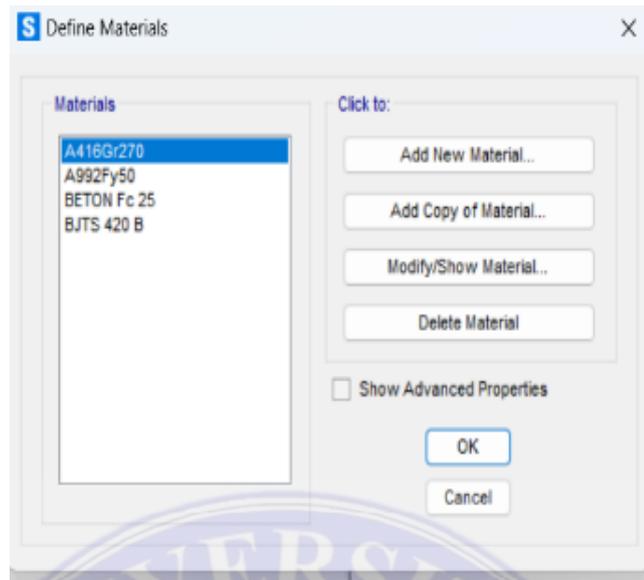


Gambar 7. Grid Denah Bangunan (SAP2000)

Grid denah digunakan sebagai referensi dalam mendefinisikan dimensi lebar, panjang dan tinggi bangunan seperti yang terlihat pada Gambar 7.

b. Penginputan Jenis Material

Jenis material yang di input sesuai data lapangan yaitu material beton bertulang dengan langkah : *define-add, new material*, kemudian input jenis material untuk beton dengan f_c 25 Mpa, untuk baja tulangan dengan menggunakan BJTD 40 yang digunakan untuk tulangan utama dan sengkang pada kolom, balok dan plat lantai.

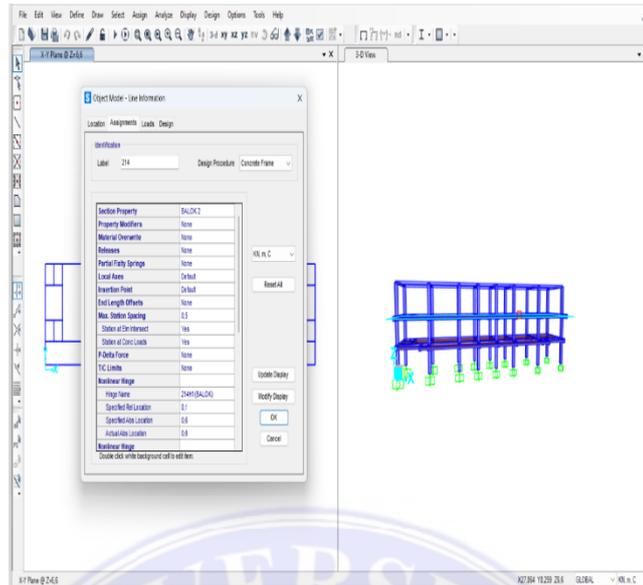


Gambar 8. Penginputan Jenis Material (SAP2000)

- c. Mendefinisikan dan memodelkan frame kolom, balok dan pelat yaitu penginputan data berupa dimensi pada setiap elemen struktur dan jumlah tulangan sesuai dengan data lapangan dengan langkah *define-frame sections* dapat dilihat pada Gambar 9, kemudian dilanjutkan dengan pemodelan atau penggambaran *section properties* mengikuti grid denah yang dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



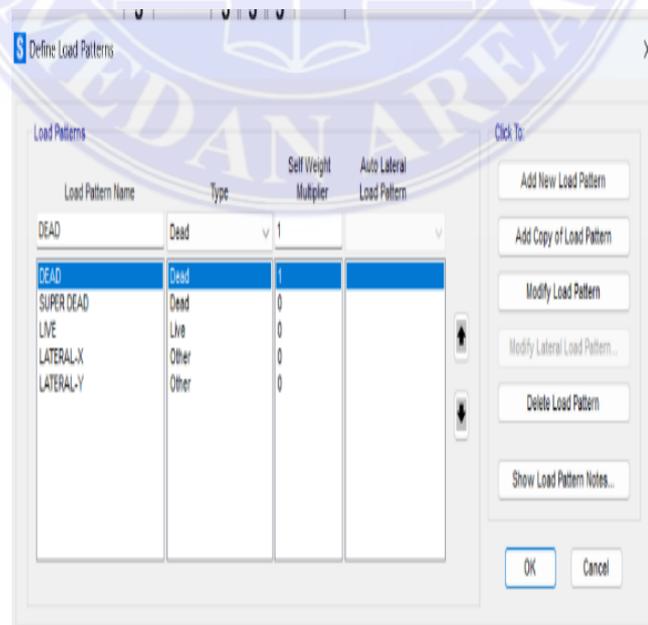
Gambar 9. Pembuatan *Section Properties* (SAP2000)



Gambar 10. Pemodelan Struktur (SAP2000)

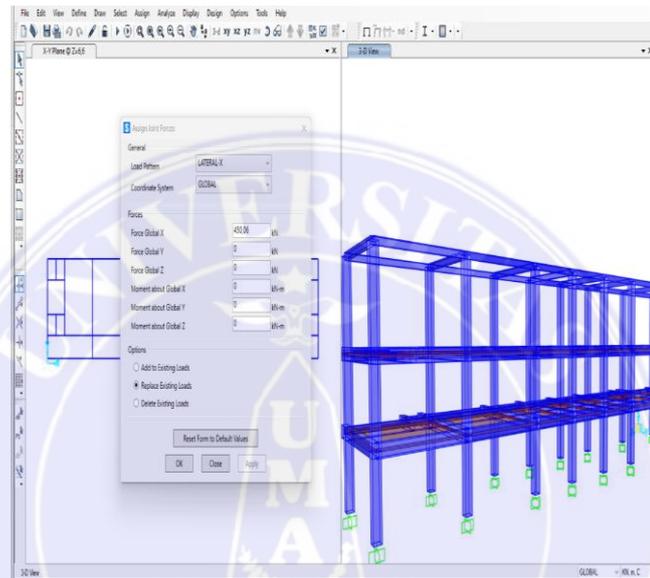
d. Penerapan beban Gravitasi dan Beban Lateral

Beban gravitasi meliputi beban mati (berat elemen struktural seperti balok, kolom, pelat, dan atap) serta beban hidup (penghuni, furnitur, dan perlengkapan). Beban gravitasi ini diaplikasikan sebagai gaya vertikal pada model bangunan, dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Penerapan Beban Gravitasi (SAP2000)

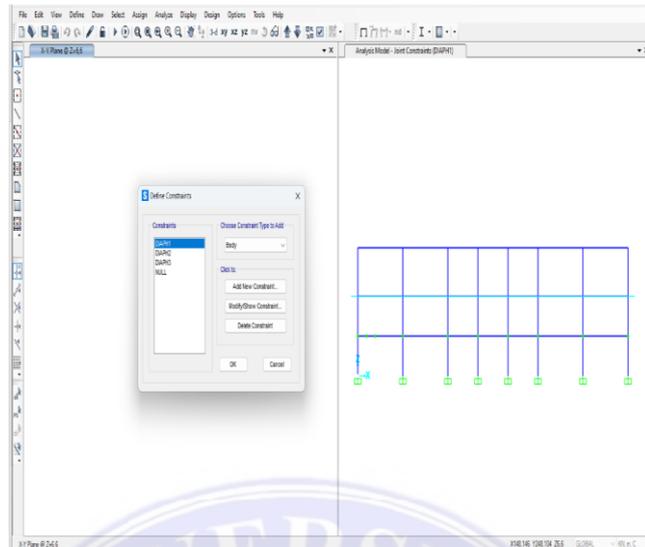
Beban gempa adalah beban lateral yang disebabkan oleh gempa dihitung menggunakan metode statik ekuivalen atau respons *spektrum* sesuai dengan SNI 1726. Data seismik regional digunakan untuk menentukan intensitas gaya gempa yang diterapkan secara bertahap dalam analisis *pushover*, dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



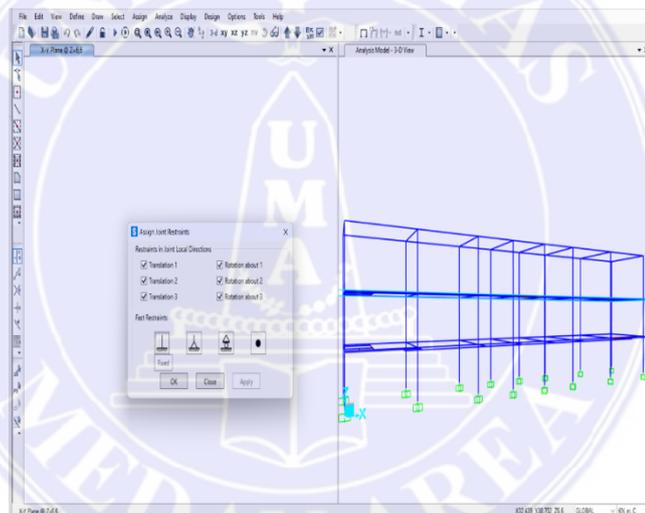
Gambar 12. Penerapan Beban Lateral (SAP2000)

e. Membuat *constraints* dan *restraints*

Pemodelan struktur gedung harus menetapkan diafragma pada setiap lantai gedung dengan langkah menandai seluruh titik pada masing masing lantai selanjutnya dilakukan langkah *define-joint constraints* terlihat pada Gambar 13 dan juga untuk menetapkan *restraints* jepit harus disesuaikan dengan data yang telah didapatkan dari lapangan dengan langkah menandai titik pada pondasi yang selanjutnya pilih *assign-joint restraints* yang terlihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 13. Penerapan Diafragma (SAP2000)



Gambar 14. Penerapan Tumpuan Jepit (SAP2000)

3.5 Metode Analisis Data

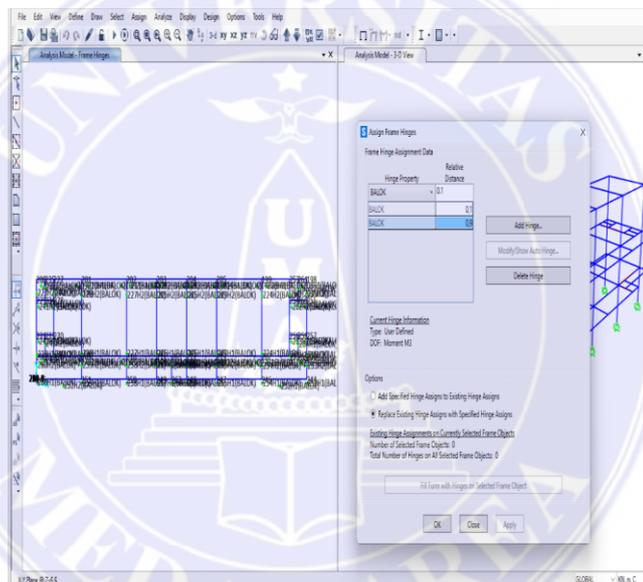
3.5.1 Simulasi analisis pushover dengan SAP2000

Setelah pemodelan struktur selesai dibuat, selanjutnya simulasi analisis pushover dengan SAP2000 melibatkan beberapa tahapan penting untuk mengevaluasi perilaku struktur bangunan terhadap beban lateral statik nonlinier yang *gradually* meningkat hingga mencapai kondisi keruntuhan. Berikut adalah

langkah-langkah utama dalam melakukan simulasi analisis *pushover* dengan SAP2000 :

a. Membuat *hinges* pada balok dan kolom (Sendi plastis)

Hinges pada balok dan kolom harus ditentukan terlebih dahulu dengan langkah *define-hinges properties* kemudian *add new* untuk kolom dan balok selanjutnya select masing-masing balok dan kolom selanjutnya *assign-frame-hingers* dengan *add* nilai 0,1 dan 0,9 untuk masing-masing kolom dan balok seperti pada Gambar 15 berikut.

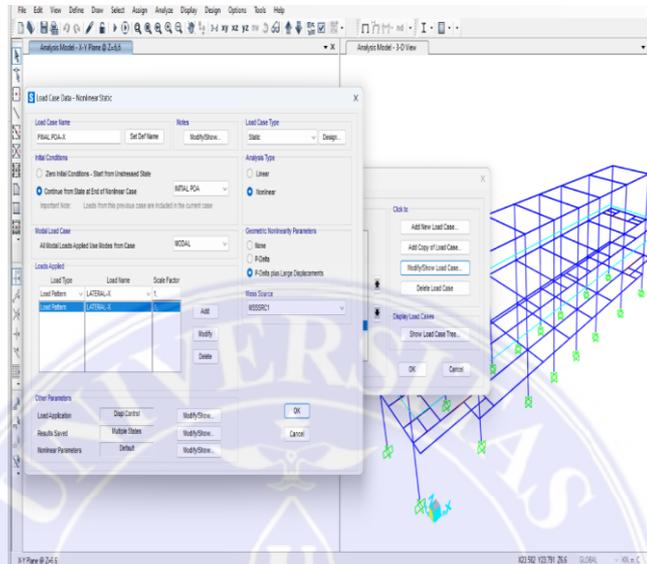


Gambar 15. Penerapan Sendi Plastis (SAP2000)

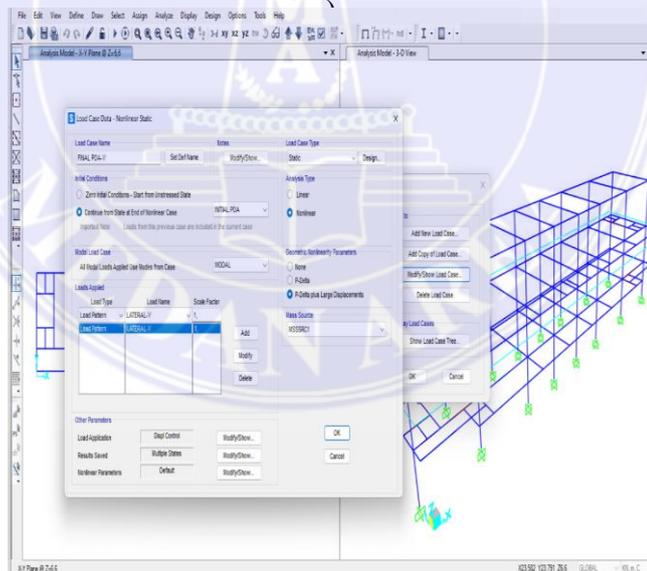
b. *Nonlinear load case* arah X dan Y

Untuk mengubah *load case static* linear menjadi *static nonlinear* langkah pertama yang diubah yaitu pada *define-load patterns* beban lateral x dan y diubah menjadi tipe *other* kemudian pada bagian *define-load case* beban yang ada pada *load patterns tipe load case* diubah menjadi *static nonlinear* dengan *initial conditions* dipilih sebagai *continue from state at and of nonlinear case* dengan *load case* tipe *static* kemudian dipilih *add*

untuk dilanjutkan lateral x dan pada bagian *modify/show* diterapkan *control* sesuai dengan persyaratan yang digunakan pada analisis yang dapat dilihat seperti pada Gambar 16 dan Gambar 17 berikut ini.



Gambar 16. Loadcase Pushover Arah X



Gambar 17. Loadcase Pushover Arah Y

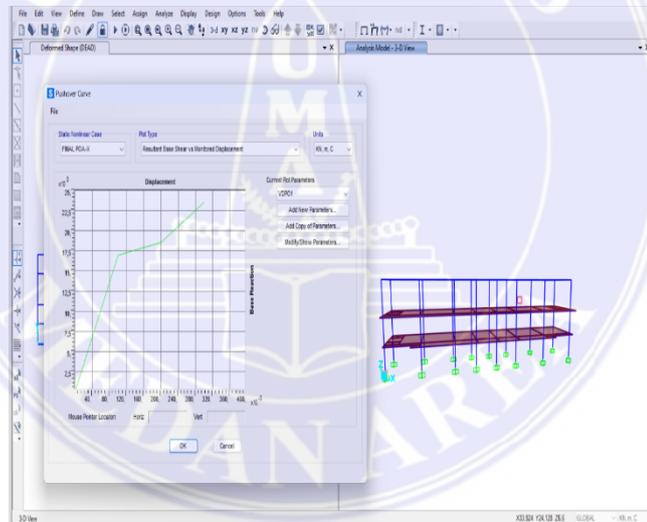
c. *Running Program*

Tahap akhir pada analisis program yaitu *running* program dengan langkah *analyze-set loads to running*.

3.5.2 Evaluasi kapasitas elemen struktur berdasarkan kurva kapasitas

Evaluasi kapasitas elemen struktur berdasarkan kurva kapasitas adalah proses menilai kemampuan struktur dalam menahan beban lateral sebelum mengalami kegagalan. Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap, yang digunakan untuk menentukan kinerja struktur, kapasitas daktilitas, serta kebutuhan perkuatan guna memastikan keamanan bangunan terhadap beban gempa.

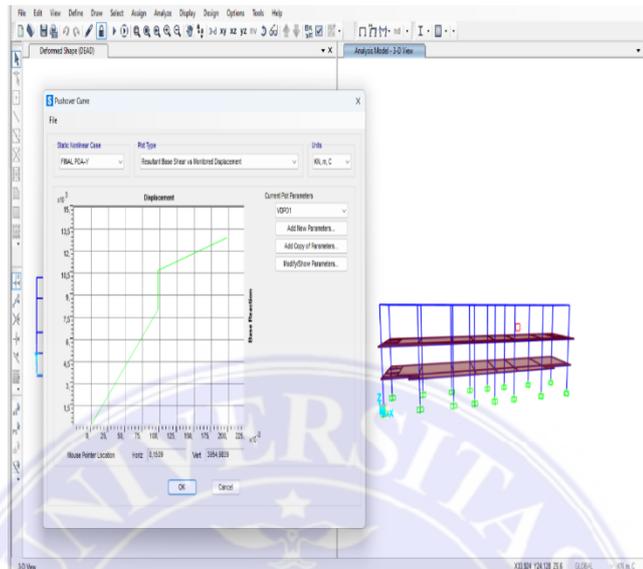
Setelah dilakukan simulasi analisis pushover dengan SAP2000 sampai pada tahap *running* selanjutnya *pushover* akan mengeluarkan output kurva kapasitas arah x dan arah y, dapat dilihat pada Gambar 18 dan 19.



Gambar 18. Hasil *output curve pushover static nonlinearar X*

Pada Gambar 18 kapasitas struktur titik tertinggi pada kurva menunjukkan kapasitas maksimum gaya geser dasar pada arah x yang dapat ditahan struktur dan kekakuan awal kemiringan awal kurva menunjukkan kekakuan struktur pada kondisi elastis pada kurva *pushover* batas elastis dan plastis juga memberikan perubahan kemiringan kurva menunjukkan titik di mana

struktur mulai berperilaku nonlinier (plastis) dan menggambarkan kemampuan struktur untuk mengalami deformasi plastis sebelum runtuh.



Gambar 19. Hasil output curve pushover static nonlinier Y

Pada Gambar 19 kapasitas struktur titik tertinggi pada kurva menunjukkan kapasitas maksimum gaya geser dasar pada arah y yang dapat ditahan struktur dan kekakuan awal kemiringan awal kurva menunjukkan kekakuan struktur pada kondisi elastis pada kurva *pushover* batas elastis dan plastis juga memberikan perubahan kemiringan kurva menunjukkan titik di mana struktur mulai berperilaku *nonlinier* (plastis).

3.5.3 Penilaian kinerja struktur terhadap kriteria desain gempa

SNI 1726:2019 mengacu pada kinerja struktur terhadap gempa berdasarkan konsep capacity design dan batasan drift antar lantai, berikut kriteria kinerja struktural pada SNI 1726:2019 :

- a. Beban Gempa Sering (*Frequent Earthquake*, 43 tahun) → Bangunan tetap berfungsi tanpa kerusakan signifikan.

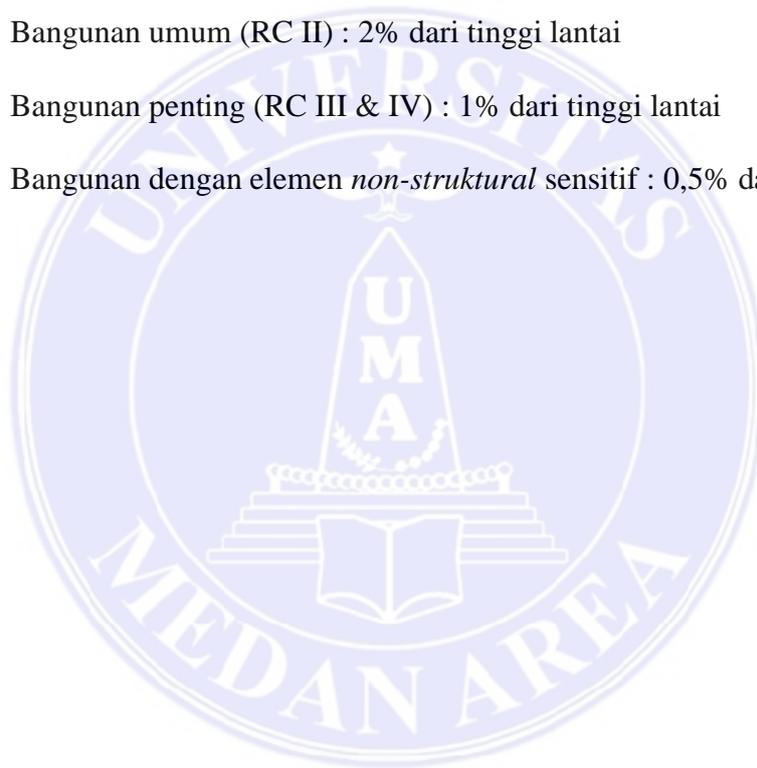
- b. Beban Gempa Desain (*Design Basis Earthquake*, 475 tahun) → Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak runtuh (*Life Safety*).
- c. Beban Gempa Maksimum (*Maximum Considered Earthquake*, 2.475 tahun) → Bangunan mengalami kerusakan parah tetapi tetap mencegah runtuh total (*Collapse Prevention*).

Untuk menghindari kegagalan elemen *non-struktural*, SNI 1726:2019 menetapkan batas drift sebagai berikut:

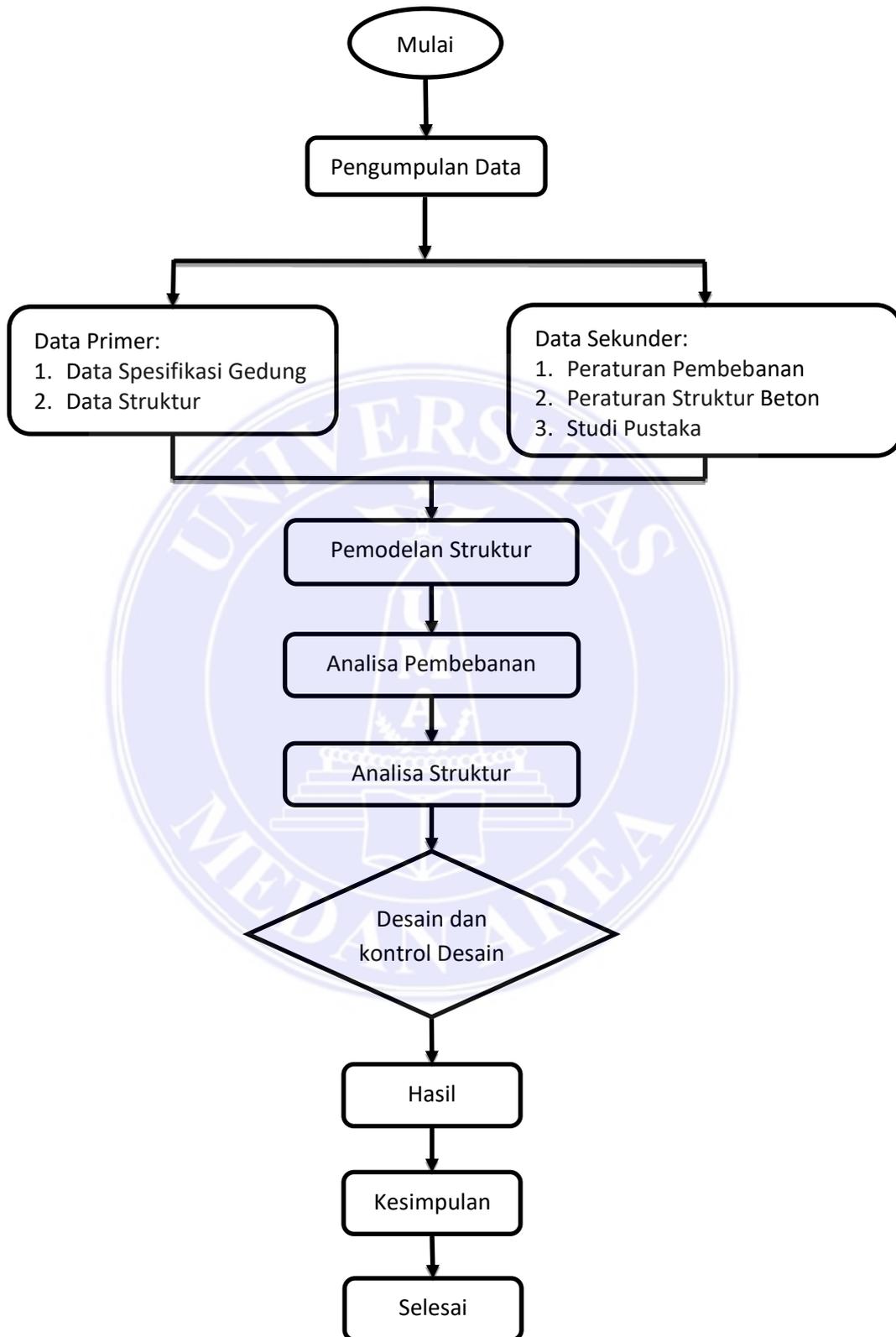
Bangunan umum (RC II) : 2% dari tinggi lantai

Bangunan penting (RC III & IV) : 1% dari tinggi lantai

Bangunan dengan elemen *non-struktural* sensitif : 0,5% dari tinggi lantai



3.6 Kerangka Berpikir



Gambar 20. Diagram Alir Penelitian

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai kapasitas struktur atas Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga menggunakan metode statik *nonlinear pushover*, dapat disimpulkan bahwa bangunan ini memiliki kapasitas yang cukup baik dalam menghadapi beban lateral akibat gempa. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur bangunan masuk dalam kategori *Damage Control (DC)*, yang berarti meskipun mengalami deformasi, bangunan masih dapat diperbaiki setelah terjadi gempa. Evaluasi lebih lanjut mengungkapkan bahwa terdapat perbedaan pola pembentukan sendi plastis antara arah X-X dan Y-Y, di mana arah X-X mengalami beban lebih besar karena jumlah kolom yang lebih sedikit dibanding arah Y-Y. Dengan demikian, struktur ini masih berada dalam batas aman, tetapi ada beberapa elemen kritis yang perlu diperkuat guna meningkatkan ketahanan terhadap gempa yang lebih besar.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan ketahanan Gedung Administrasi Stadion Kebun Bunga terhadap gempa, diperlukan penambahan elemen struktural pada kolom arah X guna meningkatkan kapasitas lateral serta pemasangan sistem peredam energi seperti damper seismik untuk mengurangi deformasi akibat beban lateral. Penggunaan material dengan daya tahan lebih tinggi juga penting, terutama pada elemen yang mengalami pembentukan sendi plastis lebih awal. Selain itu, pemeriksaan berkala harus dilakukan untuk memastikan struktur tetap sesuai dengan standar keselamatan, serta analisis lanjutan menggunakan metode dinamis direkomendasikan guna memahami respons bangunan terhadap gempa yang lebih

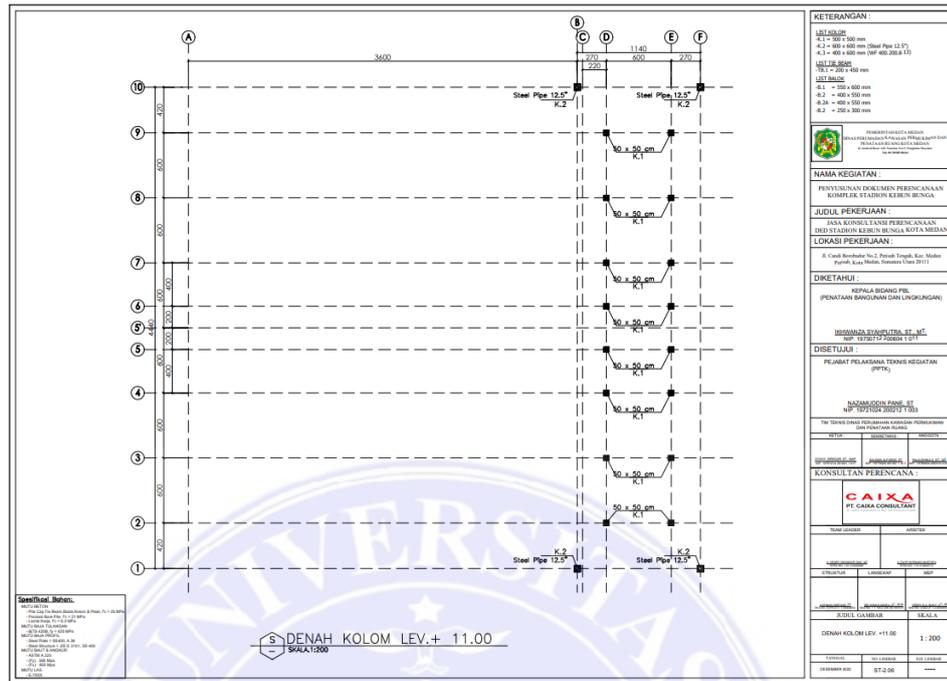
kompleks. Dengan langkah-langkah ini, gedung diharapkan lebih aman dan dapat berfungsi optimal dalam menghadapi potensi gempa di masa depan.



DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures (ASCE 7-16)*. ASCE.
- Applied Technology Council (ATC). (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40)*. ATC.
- Aulia, D. F., Sudarsono, I., & Mulyawati, F. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Pemodelan Struktur (3D) Berdasarkan Analisis Statik Beban Dorong (Pushover Analysis). *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 9(3), 248-252.
- Computers and Structures, Inc. (CSI). (2023). *SAP2000 integrated software for structural analysis and design, Version 25*. CSI.
- Computers and Structures, Inc. (CSI). (2023). *SAP2000 integrated software for structural analysis and design, Version 25*. CSI.
- Firdha, R. A., Isneini, M., Husni, H. R., & Widyawati, R. (2021). Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis (Studi Kasus: Gedung Rawat Inap Non-Bedah Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(4), 486-495.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 356)*. FEMA.
- 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.
- Firdha et al, (2021). Analisis kinerja struktur gedung bertingkat terhadap beban gempa dengan metode pushover analysis (studi kasus: Gedung rawat inap non-bedah rumah sakit umum daerah Dr. H. Abdul Moeloek). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(4), 486-495.
- IsyfaRhamdani, A., & Jamaludin, H. (2023). Pengelompokan Wilayah Menurut Kekuatan Gempa Bumi Menggunakan. *Jurnal Media Pratama*, 17(2), 149-158
- Kadarusman, R. A., Agoes, S. M. D., & Wibowo, A. (2012). *Kajian Analisis Pushover untuk Performance Based Design pada Gedung A Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kertosono* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Laia, (2022). *Analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa dengan metode pushover (studi kasus: Gedung BRI Sisingamangaraja Medan)* [Skripsi, Universitas Sumatera Utara].
- Kurniawati, R. (2021). **EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT MENGGUNAKAN NON LINEAR STATIC PUSHOVER ANALYSIS DENGAN CAPACITY SPECTRUM METHOD (CSM)**(Studi Kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro).

- Laia, B. A. I. (2022). *Analisis Kekuatan Bangunan Terhadap Gaya Gempa dengan Metode Pushover (Studi Kasus: Gedung Bri Sisingamangaraja Medan)* (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area).
- Mustofa, R. A., Bayzoni, B., Husni, H. R., & Isneini, M. (2024). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Pushover (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 12(1), 27-38.
- Nasution, I., & Fauzan, M. (2024). *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan Pushover Analysis*. 09(02), 199–210.
- 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*.
- Peraturan Badan Pusat Statistik Nomor 10 Tahun 2023 tentang Standar Data Statistik_1713339932.pdf*. (n.d.).
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2019). *SNI 1726:2019 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. BSN, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2020). *SNI 1727:2020 - Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2019). *SNI 2847:2019 - Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Syahira, M. S., & Jamal, A. U. (2023). 32. *Naskah Revisi Maritza Syifa Syahira _ Atika Ulfah Jamal_Makalah_5th-CEReForm*. 3(1), 40–51.
- Sattar, S., McAllister, T., Johnson, K., Segura, C., McCabe, S., Fung, J., Levitan, M., Harrison, K., Harris, J., Clavin, C., Abrahams, L., & Sylak-Glassman, E. (2018). *Research Needs to Support Immediate Occupancy Building Performance Objective Following Natural Hazard Events*. *Nist*, 1–95.
- Setiawan, D. B. (2021). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Pada Kondisi Batas Layan Dan Batas Ultimit Dengan Analisis Dinamik Metode Respon Spektrum (Studi Kasus: Gedung Fakultas Hukum Universitas Sam Ratulangi).



	K1 (500x500)		K2 (600x600)		K3 (400x600)	
KOLOM						
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TULANGAN UTAMA	12 D19		16D19		14D19	
SENGKANG	D10-75	D10-150	D10-75	D10-150	D10-75	D10-150

Lampiran 2. Denah Pembalokan dan Detail Penulangan Balok

