

**EVALUASI PERILAKU SEISMIC BERBAGAI JENIS KOLOM
STRUKTURAL MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL
DYNAMIC ANALYSIS (IDA)***

SKRIPSI

OLEH:

**MATTHEW SINDHUTAMA
218110011**



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

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

xxii

Document Accepted 7/8/26

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

Access From (repositori.uma.ac.id)7/8/26

**EVALUASI PERILAKU SEISMIK BERBAGAI JENIS KOLOM
STRUKTURAL MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL
DYNAMIC ANALYSIS (IDA)***

SKRIPSI

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



Oleh:

**MATTHEW SINDHUTAMA
218110011**

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

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Evaluasi Perilaku Seismik Berbagai Jenis Kolom Struktural Menggunakan Metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA)
Nama : Matthew Sindhutama
NPM : 218110011
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:
Komisi Pembimbing



Samudra Rahman Sidik Husliwan, S.T., M.T.
Pembimbing


Dekan
Prodi. Teknik

Ilham Pratomo, S.T., M.T.
Program Studi

Tanggal Lulus : 5 Maret 2026

HALAMAN PERNYATAAN

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

Medan, 5 Maret 2026



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Matthew Sindhutama
NPM : 218110011
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Evaluasi Perilaku Seismik Berbagai Jenis Kolom Struktural Menggunakan Metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 5 Maret 2026
Yang menyatakan

(Matthew Sindhutama)

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Medan. Pada tanggal 9 Oktober 2002 dari Ayah Sindhunata Agustian dan Ibu Misna. Penulis merupakan putra ke 1 dari 2 bersudara. Tahun Penulis lulus dari SMA/SMK 2021 dan pada tahun 2022 terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Lalu bekerja sebagai seorang arsitek *interior designer* di Designaturegroup pada tahun 2022. Pada tahun 2025 Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Hotel Sapadia.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang maha kuasa atas segala karunia-Nya sehingga Skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam skripsi ini ialah struktural bangunan dengan judul Evaluasi Perilaku Seismik Berbagai Jenis Kolom Struktural Menggunakan Metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Samsul A Rahman Sidik Hasibuan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada teman – teman teknik sipil 2021 dan juga para dosen yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krtitik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

(Matthew Sindhutama)

ABSTRAK

Indonesia memiliki tingkat kerentanan gempa bumi tinggi akibat posisinya di pertemuan tiga lempeng tektonik, sehingga desain bangunan tahan gempa, khususnya kolom sebagai elemen utama, menjadi krusial untuk mencegah kerugian ekonomi dan ancaman keselamatan jiwa. Penelitian ini mengintegrasikan analisis non-linear menggunakan *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) untuk mengevaluasi performa berbagai jenis kolom (persegi, persegi panjang, dan bulat) dengan variasi kolom terhadap suatu bangunan. Penelitian dilakukan dengan membuat variasi kolom 70 cm (70 x 70 cm, Ø79, dan 81.5 x 60 cm) dan 40 cm (40 x 40 cm, Ø45, dan 46 x 35 cm) terhadap suatu bentuk bangunan lalu membandingkan efisiensi setiap kolom satu sama lain dengan melakukan prosedur IDA melalui aplikasi SAP2000 dan Microsoft Excel dalam pengolahan data. Hasil penelitian menunjukkan dari ketiga kolom tersebut kolom persegi merupakan kolom yang paling efisien dalam menahan *drift*, apabila kolom persegi panjang dihiraukan dikarenakan kolom persegi panjang hanya kuat di 1 sisi saja apabila dikombinasikan antara vertical dan horizontal dengan baik maka kolom persegi panjang merupakan pilihan yang bagus dan dalam sisi keruntuhan pada ukuran besar kolom Ø79 merupakan yang paling efisien dan pada ukuran kecil kolom 40 x 40 adalah kolom yang paling efisien, semakin besar ukuran maka efisiensi akan hampir mirip.

Kata kunci: *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), Fragility Curve, Efisiensi Kolom

ABSTRACT

Indonesia has a high level of earthquake vulnerability due to its position at the meeting of three tectonic plates, so that the design of earthquake-resistant buildings, especially columns as the main element, is crucial to prevent economic losses and threats to human safety. This study integrates non-linear analysis using Incremental Dynamic Analysis (IDA) to evaluate the performance of various types of columns (square, rectangular, and round) with column variations on a building. The study was conducted by creating variations of 70 cm columns (70 x 70 cm, Ø79, and 81.5 x 60 cm) and 40 cm (40 x 40 cm, Ø45, and 46 x 35 cm) on a building form and then comparing the efficiency of each column with each other by performing the IDA procedure through the SAP2000 application and Microsoft Excel in data processing. The results of the study show that of the three columns, the square column is the most efficient column in resisting drift, if the rectangular column is ignored because the rectangular column is only strong on one side if it is combined between vertical and horizontal well then the rectangular column is a good choice and in terms of collapse in large sizes the Ø79 column is the most efficient and in small sizes the 40 x 40 column is the most efficient column, the larger the size the efficiency will be almost similar.

Keywords: Incremental Dynamic Analysis (IDA), Fragility Curve, Column Efficiency.

DAFTAR ISI

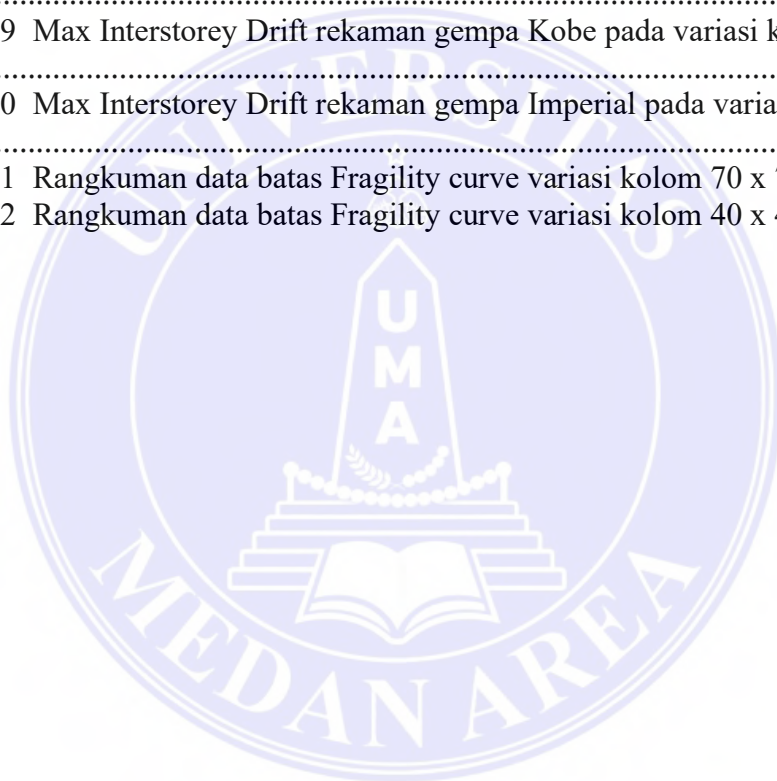
	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
RIWAYAT HIDUP	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR RUMUS.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Peneliti Terdahulu.....	5
2.2. Perbedaan Peneliti Terdahulu.....	8
2.3. Struktur Bangunan & Sistem Kolom	9
2.3.1. Kolom Beton Bertulang.....	10
2.4. Penentuan Dimensi Elemen Struktur Kolom	12
2.4.1. Perhitungan Volume Kolom	13
2.5. Jenis – Jenis Pembebanan	14
2.6. Perilaku Struktur Terhadap Beban Gempa.....	16
2.7. Metode Analisis Seismik.....	19
2.7.1. Analisis Linear & Non-Linear.....	20
2.7.2. <i>Incremental Dynamic Analysis</i> (IDA)	22
2.8. Parameter Kinerja Struktur dalam IDA	24
2.8.1. <i>Intensity Measure</i> (IM)	24
2.8.2. <i>Damage Measure</i> (DM)	25
2.8.3. <i>Interstorey Drift Ratio</i> (IDR)	26
2.8.4. <i>Fragility Curve</i>	27
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 29
3.1. Deskripsi Penelitian	29
3.1.1. Pendekatan Penelitian	29
3.1.2. Tahapan Penelitian.....	30
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	31
3.3. Metode Penelitian	31

3.3.1. Hasil Plotting Incremental Dynamic Analysis (IDA).....	34
3.4. Analisis Data	36
3.4.1. Dimensi Struktur.....	36
3.4.2. Data Material	36
3.4.3. Perhitungan Beban Mati dan Hidup	37
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1. Hasil dan Pembahasan	38
4.1.1. Hasil Rangkuman <i>Displacement</i> dan <i>Drift Ratio</i> terhadap IM	38
4.1.2. Hasil Rangkuman <i>Max Interstorey Drift Ratio</i> terhadap IM	44
4.1.3. Hasil Rangkuman Interpolasi Gempa	46
4.1.4. Hasil Rangkuman <i>Fragility Curve</i>	48
4.1.5. Hasil Plotting Grafik Fragility Curve	78
4.1.6. Hasil Plotting Grafik IM vs DM	83
4.1.7. Hasil Plotting Grafik <i>Storey vs Interstorey Drift Ratio</i>	86
4.2. Pembahasan	98
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	107
5.1. Kesimpulan.....	107
5.2. Saran	108
 DAFTAR PUSTAKA.....	xviii
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Perbedaan dengan peneliti terdahulu	8
Tabel 2 Beban mati berdasarkan (PPIUG:1983 tabel 2.1).....	14
Tabel 3 Beban hidup berdasarkan (PPIUG:1983 tabel 3.1).....	15
Tabel 4 Dimensi struktur kolom dan balok pada penelitian	36
Tabel 5 Beban mati dan hidup pada pelat dan pelat atap/dak.....	37
Tabel 6 Beban mati pada balok	37
Tabel 7 Data drift pada kolom bulat Ø45 cm pada gempa Chi-chi.....	38
Tabel 8 Data drift pada kolom bulat Ø45 cm pada gempa Kobe.....	38
Tabel 9 Data drift pada kolom bulat Ø45 cm pada gempa Imperial.	39
Tabel 10 Data drift pada kolom 46 x 35 cm pada gempa Chi-chi	39
Tabel 11 Data drift pada kolom 46 x 35 cm pada gempa Kobe.....	39
Tabel 12 Data drift pada kolom 46 x 35 cm pada gempa Imperial.	40
Tabel 13 Data drift pada kolom 40 x 40 cm pada gempa Chi-chi	40
Tabel 14 Data drift pada kolom 40 x 40 cm pada gempa Kobe.....	40
Tabel 15 Data drift pada kolom 40 x 40 cm pada gempa Imperial.	41
Tabel 16 Data drift pada kolom bulat Ø79 cm pada gempa Chi-chi.....	41
Tabel 17 Data drift pada kolom bulat Ø79 cm pada gempa Kobe.....	41
Tabel 18 Data drift pada kolom bulat Ø79 cm pada gempa Imperial	42
Tabel 19 Data drift pada kolom 81.5 x 60 cm pada gempa Chi-chi	42
Tabel 20 Data drift pada kolom 81.5 x 60 cm pada gempa Kobe.....	42
Tabel 21 Data drift pada kolom 81.5 x 60 cm pada gempa Imperial	43
Tabel 22 Data drift pada kolom 70 x 70 cm pada gempa Chi-chi	43
Tabel 23 Data drift pada kolom 70 x 70 cm pada gempa Kobe.....	43
Tabel 24 Data drift pada kolom 70 x 70 cm pada gempa Imperial.....	44
Tabel 25 Max Interstorey Drift rekaman gempa Chi-chi pada variasi kolom 70 x 70	44
Tabel 26 Max Interstorey Drift rekaman gempa Kobe pada variasi kolom 70 x 70.	44
Tabel 27 Max Interstorey Drift rekaman gempa Imperial pada variasi kolom 70 x 70	45
Tabel 28 Max Interstorey Drift rekaman gempa Chi-chi pada variasi kolom 40 x 40	45
Tabel 29 Max Interstorey Drift rekaman gempa Kobe pada variasi kolom 40 x 40	46
Tabel 30 Max Interstorey Drift rekaman gempa Imperial pada variasi kolom 40 x 40.	46
Tabel 31 Hasil interpolasi gempa pada kolom bulat 79 cm.....	47
Tabel 32 Hasil interpolasi gempa pada kolom 81.5 x 60 cm.....	47
Tabel 33 Hasil interpolasi gempa pada kolom 70 x 70 cm.....	47
Tabel 34 Hasil interpolasi gempa pada kolom bulat 45 cm.....	47
Tabel 35 Hasil interpolasi gempa pada kolom 46 x 35 cm.....	47
Tabel 36 Hasil interpolasi gempa pada kolom 40 x 40 cm.....	48
Tabel 37 Hasil fragility curve pada kolom 81.5 x 60 cm	48
Tabel 38 Hasil fragility curve pada kolom bulat 79 cm	55

Tabel 39	Hasil fragility curve pada kolom 70 x 70 cm	65
Tabel 40	Hasil fragility curve pada kolom bulat 45 cm	72
Tabel 41	Hasil fragility curve pada kolom 46 x 35 cm	74
Tabel 42	Hasil fragility curve pada kolom 40 x 40 cm	76
Tabel 43	Rangkuman data batas Fragility curve variasi kolom 70 x 70 cm	99
Tabel 44	Rangkuman data batas Fragility curve variasi kolom 40 x 40 cm	99
Tabel 45	Max Interstorey Drift rekaman gempa Chi-chi pada variasi kolom 70 x 70	100
Tabel 46	Max Interstorey Drift rekaman gempa Kobe pada variasi kolom 70 x 70	101
Tabel 47	Max Interstorey Drift rekaman gempa Imperial pada variasi kolom 70 x 70	102
Tabel 48	Max Interstorey Drift rekaman gempa Chi-chi pada variasi kolom 40 x 40	103
Tabel 49	Max Interstorey Drift rekaman gempa Kobe pada variasi kolom 40 x 40	104
Tabel 50	Max Interstorey Drift rekaman gempa Imperial pada variasi kolom 40 x 40	104
Tabel 51	Rangkuman data batas Fragility curve variasi kolom 70 x 70 cm	105
Tabel 52	Rangkuman data batas Fragility curve variasi kolom 40 x 40 cm	106



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Jenis – jenis kolom beton bertulang	11
Gambar 2 Fragility Curve	28
Gambar 3 Define Load Cases.....	32
Gambar 4 Load Case Data	33
Gambar 5 Hasil dari Analisa IDA pada 1 titik	33
Gambar 6 Kurva Fragility Curve.....	35
Gambar 7 Intensity Measure (PGA) vs Damage Measure (Max Drift Ratio) ..	35
Gambar 8 Storey vs Interdrift Ratio	36
Gambar 9 Hasil fragility curve kolom bulat 79 cm.....	79
Gambar 10 Hasil fragility curve kolom 81.5 x 60 cm	79
Gambar 11 Hasil fragility curve kolom 70 x 70 cm.....	80
Gambar 12 Hasil fragility curve kolom bulat 45 cm.....	80
Gambar 13 Hasil fragility curve kolom 46 x 35 cm.....	81
Gambar 14 Hasil fragility curve kolom 40 x 40 cm.....	81
Gambar 15 Hasil fragility curve variasi kolom 40 x 40 cm.....	82
Gambar 16 Hasil fragility curve variasi kolom 70 x 70 cm.....	82
Gambar 17 Hasil IM vs DM variasi kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Chi-chi	83
Gambar 18 Hasil IM vs DM variasi kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Kobe..	84
Gambar 19 Hasil IM vs DM variasi kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Imperial	84
Gambar 20 Hasil IM vs DM variasi kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Chi-chi	85
Gambar 21 Hasil IM vs DM variasi kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Kobe..	85
Gambar 22 Hasil IM vs DM variasi kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Imperial	86
Gambar 23 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom bulat 79 cm terhadap gempa Chi-chi	86
Gambar 24 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 81.5 x 60 cm terhadap gempa Chi-chi.....	87
Gambar 25 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Chi-chi.....	87
Gambar 26 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom bulat 79 cm terhadap gempa Kobe.....	88
Gambar 27 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 81.5 x 60 cm terhadap gempa Kobe.....	88
Gambar 28 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Kobe.....	89
Gambar 29 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom bulat 79 cm terhadap gempa Imperial	89
Gambar 30 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 81.5 x 60 cm terhadap gempa Imperial	90
Gambar 31 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Imperial	90

Gambar 32 Hasil Perbandingan Storey vs Interstorey Drift variasi kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Chi-chi.....	91
Gambar 33 Hasil Perbandingan Storey vs Interstorey Drift variasi kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Kobe.....	91
Gambar 34 Hasil Perbandingan Storey vs Interstorey Drift variasi kolom 70 x 70 cm terhadap gempa Imperial.....	92
Gambar 35 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom bulat 45 cm terhadap gempa Chi-chi.....	92
Gambar 36 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 46 x 35 cm terhadap gempa Chi-chi.....	93
Gambar 37 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Chi-chi.....	93
Gambar 38 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom bulat 45 cm terhadap gempa Kobe.....	94
Gambar 39 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 46 x 35 cm terhadap gempa Kobe.....	94
Gambar 40 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Kobe.....	95
Gambar 41 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom bulat 45 cm terhadap gempa Imperial.....	95
Gambar 42 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 46 x 35 cm terhadap gempa Imperial.....	96
Gambar 43 Hasil Storey vs Interstorey Drift kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Imperial.....	96
Gambar 44 Hasil Perbandingan Storey vs Interstorey Drift variasi kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Chi-chi.....	97
Gambar 45 Hasil Perbandingan Storey vs Interstorey Drift variasi kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Kobe.....	97
Gambar 46 Hasil Perbandingan Storey vs Interstorey Drift variasi kolom 40 x 40 cm terhadap gempa Imperial.....	98

DAFTAR RUMUS

	Halaman
Rumus 1 Rumus penentuan dimensi balok berdasarkan rumus empiris	13
Rumus 2 Rumus penentuan kolom berdasarkan ukuran balok	13
Rumus 3 Rumus penentuan volume persegi & persegi panjang.....	13
Rumus 4 Rumus penentuan volume bulat	14
Rumus 5 Rumus penentuan drift ratio (%)	26
Rumus 6 Rumus penentuan fragility curve.....	27



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Denah lt. 1-3 keseluruhan variasi kolom.....	xx
Lampiran 2 Denah lt. dak keseluruhan variasi kolom	xxi
Lampiran 3 Aksonometri bangunan.....	xxii



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerentanan gempa bumi yang sangat tinggi karena letaknya berada di pertemuan tiga lempeng tektonik aktif (Naryanto, H. S., 2019). Kondisi geologis ini menyebabkan bangunan dan infrastruktur di Indonesia harus dirancang untuk mampu menahan beban gempa secara efektif. (Rismawati, R., 2021). Kegagalan struktur akibat gempa bukan hanya menyebabkan kerugian ekonomi, tetapi juga berpotensi mengancam keselamatan jiwa (Muflih, G. Z., dkk, 2025). Oleh karena itu, perencanaan dan desain struktur bangunan tahan gempa menjadi salah satu aspek paling penting dalam dunia teknik sipil, khususnya dalam pemilihan elemen-elemen struktural utama seperti kolom.

Secara khusus, kolom sebagai komponen vertikal yang akan menjadi penopang beban dalam bangunan memegang peran kunci dalam menjamin stabilitas struktur (Komarudin, K., dkk, 2023). Terdapat berbagai bentuk dan jenis material kolom yang umum digunakan, seperti kolom beton bertulang berbentuk bulat atau persegi, kolom baja, dan kolom komposit. Masing-masing jenis kolom memiliki karakteristik mekanis yang berbeda, baik dari segi kekakuan, kekuatan, maupun daktilitas.

Keunikan dari pendekatan dalam penelitian ini adalah integrasi antara analisis perilaku struktur terhadap beban gempa secara non-linear dalam berbagai skenario seperti variasi kolom, variasi ukuran, dan bentuk bangunan. Dengan memanfaatkan metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), penelitian ini tidak

hanya mengukur performa struktur berdasarkan parameter *drift* dan kapasitas keruntuhan, tetapi juga mengevaluasi bagaimana perbedaan jenis, bentuk kolom, dan jenis bangunan memengaruhi kestabilan suatu struktur. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi praktis bagi perencana struktur dalam menentukan alternatif desain yang paling optimal dan efisien dalam konteks bangunan tahan gempa.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada kombinasi pendekatan analisis perilaku struktur menggunakan *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) terhadap berbagai bentuk dan jenis kolom (persegi, persegi panjang, dan bulat) dengan spesifikasi tulangan dan volume yang sama. Belum banyak penelitian yang mengkaji keterkaitan langsung antara performa seismik non-linear antar ketiga jenis kolom serta bentuk bangunan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengambilan keputusan teknis pada desain struktur tahan gempa.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan fokus kajian dalam penelitian ini, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan utama yang menjadi dasar dilaksanakannya penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku struktur bangunan terhadap *drift & fragility curve* yang menggunakan kolom berbentuk bulat, persegi, dan persegi panjang ketika dianalisis menggunakan metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) ?
2. Jenis kolom manakah yang memberikan kinerja seismik paling optimal berdasarkan hasil analisis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) ?

1.3. Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan dari penelitian ini dirancang untuk menjawab permasalahan-permasalahan tersebut secara sistematis dan terukur, yang secara umum dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Menganalisis dan membandingkan respons struktur terhadap gempa dengan menggunakan kolom bulat, persegi, dan persegi panjang melalui *Incremental Dynamic Analysis* (IDA).
2. Mengidentifikasi jenis kolom dengan kinerja seismik paling efisien berdasarkan parameter IDA (misalnya: *Peak Ground Acceleration* (PGA), pergeseran (*drift*), dan lainnya).

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat, baik dari segi teoritis maupun aplikatif. Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Meningkatkan pemahaman terhadap berbagai macam bentuk dan jenis bangunan terhadap kestabilan bangunan.
2. Memberikan pedoman tambahan dalam alternatif struktural kolom.

1.5. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis dalam penelitian ini, maka diperlukan pembatasan ruang lingkup agar kajian yang dilakukan tetap terarah dan tidak melebar ke luar konteks utama. Oleh karena itu, batasan-batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut :

1. Model bangunan yang digunakan hanya bangunan irregular dengan berbentuk H.

2. Bagian struktural bangunan hanya berfokus pada bagian kolom.
3. Jenis kolom yang diamati adalah persegi, pipih, dan bulat.
4. Luas bangunan yang ditetapkan tidak melebihi 20 m x 20 m.
5. Menganalisis struktur gedung setelah menerima beban gempa menggunakan SAP2000v22 berdasarkan peraturan pembebanan gempa SNI 1726 – 2019.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Peneliti Terdahulu

Sebagai landasan teoritis dan referensi dalam mendukung pelaksanaan penelitian ini adapun hasil-hasil dari beberapa penelitian sebelumnya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mutiara Puspahati dkk (2016) dengan judul penelitian Asesmen Kerapuhan Seismik Jembatan dengan *Incremental Dynamic Analysis* : Penelitian ini melakukan asesmen terhadap kerapuhan seismik jembatan beton bertulang tipe single *pier* yang dirancang sebagai jembatan layang tol di kawasan urban. Struktur yang dikaji memiliki variasi geometri berupa tinggi *pier* dan panjang bentang. Tiga parameter utama yang dianalisis meliputi *hazard*, *demand*, dan *capacity*. Beberapa tipe desain digunakan sebagai model dasar dalam analisis dinamis non-linear. Pendekatan *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) diterapkan untuk mengetahui kapasitas struktur terhadap intensitas gempa yang bervariasi. Sebanyak tujuh data gempa besar digunakan sebagai input seismik (*demand*). Hasil analisis membandingkan pengaruh geometri terhadap kerapuhan seismik dan kesesuaiannya dengan peraturan RSNI.
2. Niam A. Wibowo dkk (2016) dengan judul penelitian Aplikasi *Incremental Dynamic Analysis* untuk Penilaian Kerentanan Dan Resiko Seismik Jembatan : Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja seismik jembatan dengan IDA guna memperoleh gambaran risiko struktur akibat variasi intensitas gempa. Hasilnya berupa kurva IDA yang menunjukkan distribusi

tanggap struktur, yang kemudian dianalisis secara probabilistik menggunakan fungsi kerapuhan (*fragility function*). Definisi tingkat kerusakan (*damage limit states*) digunakan untuk menentukan batas kerapuhan struktur, sehingga probabilitas kerusakan akibat gempa selama masa layan dapat dievaluasi secara kuantitatif.

3. Aufar Abdi dkk (2022) dengan judul penelitian Studi Kerentanan Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Akibat Gempa Di Kota Banda Aceh : Gedung KANWIL BRI Banda Aceh telah mengalami sejumlah gempa besar, termasuk gempa kembar Simeulue I (8,3 SR) pada 11 April 2012. Evaluasi ulang kerentanan struktur dilakukan dengan memodelkan ulang gedung di SAP2000, kemudian dianalisis menggunakan beban *Pushover* dan *Time History*, serta mengacu pada standar ATC-40, ASCE-41, dan *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Hasil *pushover* menunjukkan gedung berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* berdasarkan spektrum respons Banda Aceh. Dari analisis IDA terhadap gempa Simeulue I, diperoleh kurva kerapuhan dengan probabilitas *Slight Damage* sebesar 97,27%, *Moderate* 86,08%, *Extensive* 37,3%, dan *Collapse* 0,0004%.
4. Fathur Rahman dkk (2022) dengan judul penelitian Kurva Kerapuhan Berbasis *Incremental Dynamic Analysis* pada Bangunan Tipikal Puskesmas di Kota Banda Aceh terhadap Bahaya Gempa : Bangunan tipikal Puskesmas di Banda Aceh diperoleh melalui asesmen visual pada 11 lokasi, lalu dianalisis menggunakan *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) berbasis Non-Linear *Time History* (NLTH) dengan 8 data gempa. Kurva IDA dibentuk menggunakan PGA sebagai *Intensity Measure* dan *drift ratio*

sebagai *damage measure*, yang kemudian menghasilkan kurva kerapuhan (*fragility curve*). Hasil menunjukkan bahwa pada PGA 0,6g, probabilitas kerusakan mencapai 100% untuk kategori *slight* dan *moderate damage*, serta 75% untuk *extensive damage*. Penelitian ini memberikan informasi penting mengenai kapasitas struktur dan strategi mitigasi untuk bangunan tipikal Puskesmas di wilayah rawan gempa.

5. Afif Prasetyo Darsono (2018) dengan judul penelitian *Performance Analysis Of Steel Structure Of Horizontal Irregularity Building Due To Effect Of Earthquake Vibration* : Ketersediaan lahan yang semakin terbatas memaksa pembangunan vertikal, namun wilayah Indonesia juga rawan gempa, sehingga penting untuk menganalisis kinerja struktur bangunan tidak beraturan horizontal terhadap beban gempa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi struktur bangunan dengan bentuk L, T, dan U menggunakan analisis dinamik non-elastis dan metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Struktur yang dianalisis memiliki 4 lantai dengan elevasi 4 meter per lantai dan diasumsikan berada di tanah sedang (spektrum respons Kota Padang). Analisis mempertimbangkan waktu getar, perpindahan, simpangan lantai, dan ketidakaturan torsi. Hasil analisis menunjukkan penyimpangan bangunan berbentuk L sebesar 60,2 m, T sebesar 68,8 m, dan U sebesar 51,8 m dengan skala gempa 1.
6. Junisa Arini Patrisia (2017) dengan judul penelitian Evaluasi Reliabilitas Struktur Gedung Thamrin 9-Tower 1 Terhadap Beban Gempa Mcer Dengan *Incremental Dynamic Analysis* : Optimasi struktur Thamrin 9 Tower 1 yang terdiri dari 72 lantai telah dilakukan dengan *Performance Based Design* dan

perlu diverifikasi keandalannya. Karena gaya gempa dan kapasitas tahanan struktur bersifat probabilistik, tingkat keandalan dihitung dengan probabilitas keruntuhan (*probability of collapse*). Metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) diterapkan pada 14 set data gempa untuk menentukan kapasitas struktur terhadap gaya gempa MCER. Probabilitas keruntuhan dihitung menggunakan metode risk integral berdasarkan teorema probabilitas total, dan hasilnya menunjukkan bahwa optimasi desain gedung Tower 1 memenuhi risiko tertarget sesuai ketentuan SNI.

7. Zu Irfan dkk (2022) dengan judul penelitian *Development Of Fragility curve Based On Incremental Dynamic Analysis Curve Using Ground Motion Aceh Earthquake* : Aceh telah mengalami beberapa gempa besar, termasuk gempa 26 Desember 2004 (9,3 SR), sehingga diperlukan evaluasi bangunan eksisting terhadap kerentanan gempa. Penelitian ini mengevaluasi kinerja seismik bangunan di Banda Aceh melalui kurva kerapuhan berbasis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Objek yang ditinjau meliputi beberapa TVE, sekolah, dan masjid. IDA digunakan untuk memprediksi kinerja struktur dari beberapa rekaman gempa, lalu dianalisis untuk membentuk kurva kerapuhan sebagai dasar penilaian seismik.

2.2. Perbedaan Peneliti Terdahulu

Perbedaan analisis penulis atau evaluasi struktur gedung bertingkat menggunakan metode *Incremental Dynamic Analysis* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan dengan peneliti terdahulu

No	Pencipta Jurnal	Judul Artikel	Perbedaan
1	Mutiara Puspahati dkk, 2016	Asesmen Kerapuhan Seismik Jembatan dengan <i>Incremental Dynamic Analysis</i>	Pengamatan dengan metode IDA terhadap struktur jembatan

Lanjutan Tabel 1. Perbedaan dengan peneliti terdahulu

No	Pencipta Jurnal	Judul Artikel	Perbedaan
2	Niam A. Wibowo dkk, 2016	Aplikasi <i>Incremental Dynamic Analysis</i> Untuk Penilaian Kerentanan Dan Resiko Seismik Jembatan	Pengamatan dengan metode IDA terhadap struktur jembatan sedangkan penulis gedung
3	Aufar Abdi dkk, 2022	Studi Kerentanan Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Akibat Gempa Di Kota Banda Aceh	Berfokus pada berbagai metode analisa gempa bumi terhadap bangunan
4	Fathur Rahman dkk, 2022	Pengembangan Kurva Kerapuhan Berbasis <i>Incremental Dynamic Analysis</i> pada Bangunan Tipikal Puskesmas di Kota Banda Aceh terhadap Bahaya Gempa	Berfokus pada keseluruhan struktur bangunan sedangkan penulis berfokus pada kolom saja
5	Afif Prasetyo Darsono, 2018	Analisis Kinerja Struktur Baja Gedung Tidak Beraturan Horizontal Bila Mengalami Beban Getaran Gempa	Berfokus pada struktur jenis material baja sedangkan penulis mencakup kolom konvensional
6	Junisa Arini Patrisia dkk, 2017	Evaluasi Reliabilitas Struktur Gedung Thamrin 9-Tower 1 Terhadap Beban Gempa Mcer Dengan <i>Incremental Dynamic Analysis</i>	Berfokus pada keseluruhan struktur bangunan sedangkan penulis berfokus pada kolom saja
7	Zu Irfan dkk, 2022	<i>Development Of Fragility curve Based On Incremental Dynamic Analysis Curve Using Ground Motion Aceh Earthquake</i>	Berfokus pada keseluruhan struktur bangunan sedangkan penulis berfokus pada kolom saja

2.3. Struktur Bangunan & Sistem Kolom

Struktur bangunan merupakan susunan elemen-elemen struktural yang dirancang untuk menahan dan menyalurkan beban, baik vertikal maupun lateral, ke pondasi secara aman (Zaman, I. N., & Gutama, R. L, 2024). Dalam sistem struktur, Kolom merupakan batang tekan vertikal dari rangka/frame struktural yang memikul beban dari balok. Kolom berfungsi menyalurkan seluruh beban – beban yang berasal dari balok yang diteruskan ke pondasi (Amalia, 2020). Kolom memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas dan kekuatan keseluruhan bangunan,

terutama saat struktur mengalami beban lateral akibat gempa atau angin (Kumar, S., & Hasibuan, S. A. R. S., 2025). Sistem kolom yang digunakan dalam bangunan sangat bervariasi tergantung pada jenis material, bentuk penampang, serta metode konstruksinya. Umumnya, kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, antara lain kolom beton bertulang berbentuk persegi dan bulat, kolom baja, dan kolom komposit yang menggabungkan sifat unggul dari baja dan beton.

Setiap tipe kolom memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing dalam hal kekuatan tekan, kekakuan, daktilitas, serta efisiensi pelaksanaan di lapangan. Pemilihan sistem kolom yang tepat sangat berpengaruh terhadap performa struktur secara keseluruhan, terutama dalam menghadapi beban ekstrem seperti gempa bumi, sehingga perlu dilakukan kajian mendalam terhadap perilaku masing-masing jenis kolom dalam konteks desain struktur tahan gempa.

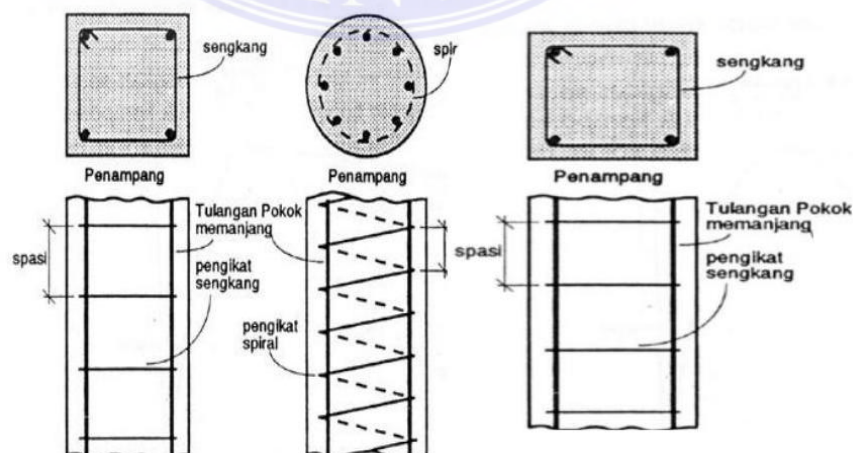
Kolom merupakan salah satu komponen penting dalam suatu bangunan karena kolom bertugas untuk menyalurkan beban dari atas ke struktur bawah dan seterusnya. Kolom didefinisikan berdasarkan ukuran dan bentuknya, walaupun kolom merupakan bagian struktural bangunan kolom juga dapat dilihat sebagai bagian dari arsitektural bangunan. Pada contohnya bangunan arsitektural yang menggunakan kolom berbentuk bulat sebagai keindahan dalam bangunan ataupun kolom persegi panjang yang digunakan pada rumah kompleks ataupun villa pada zaman modern untuk menyembunyikan kolom pada dinding.

2.3.1. Kolom Beton Bertulang

Kolom beton bertulang merupakan salah satu elemen struktural vertikal yang paling umum digunakan dalam konstruksi bangunan, beberapa jenis kolom ini dapat dilihat pada Gambar 1. Kolom jenis ini tersusun dari beton sebagai material

utama yang diperkuat dengan tulangan baja untuk meningkatkan kekuatannya, khususnya terhadap gaya tarik dan lentur. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi, tetapi lemah terhadap gaya tarik, sehingga diperlukan tulangan baja untuk menahan gaya tarik yang terjadi akibat beban eksentrik atau momen lentur (Alim, M. M., & Ujjianto, M., 2023). Dalam penerapannya, kolom beton bertulang dapat dibuat dalam berbagai bentuk penampang seperti persegi, persegi panjang, bulat, hingga bentuk khusus sesuai kebutuhan desain dan efisiensi ruang.

Kekuatan kolom beton bertulang sangat dipengaruhi oleh karakteristik material penyusunnya, yaitu mutu beton dan jenis serta jumlah tulangan baja. Mutu beton dinyatakan dalam satuan MPa dan merepresentasikan kekuatan tekan beton pada umur 28 hari, sedangkan kekuatan baja tulangan tergantung pada jenis baja yang digunakan, seperti baja lunak ($f_y = 240$ MPa) atau baja mutu tinggi ($f_y \geq 400$ MPa). Selain itu, distribusi tulangan longitudinal dan transversal (sengkang) juga sangat menentukan perilaku kolom, terutama dalam kondisi pembebanan aksial tinggi dan beban lateral akibat gempa. Rasio tulangan yang tidak tepat atau distribusi yang tidak merata dapat menyebabkan kolom mengalami keruntuhan dini atau kegagalan getas.



Gambar 1. Jenis – jenis kolom beton bertulang, (Dipohusudo, 1994)

Dalam dunia konstruksi, kolom beton bertulang digunakan secara luas pada bangunan bertingkat, gedung perkantoran, hunian, dan struktur jembatan karena keandalannya dalam menahan beban vertikal dan lateral. Kolom ini juga memberikan fleksibilitas dalam perencanaan arsitektural karena dapat dicor di tempat sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Di wilayah rawan gempa seperti Indonesia, kolom beton bertulang menjadi pilihan utama karena dapat dirancang dengan daktilitas yang memadai untuk menyerap energi gempa. Sistem perkuatan geser dan confinement pada zona plastis juga dapat diterapkan untuk meningkatkan ketahanan terhadap gaya seismik (Tumpu, M., Jamal, M., dkk, 2023).

Salah satu keunggulan utama dari kolom beton bertulang adalah ketersediaan material yang melimpah serta kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan. Kolom jenis ini juga mampu bekerja secara monolitik dengan elemen struktural lain, seperti balok dan pelat, sehingga mendukung integritas keseluruhan sistem struktur. Dari segi biaya, kolom beton bertulang umumnya lebih ekonomis dibandingkan kolom baja penuh, terutama untuk bangunan bertingkat rendah hingga menengah. Meski demikian, tantangan tetap ada, khususnya dalam pengendalian mutu pengecoran dan penempatan tulangan di lapangan. Hal ini penting agar kolom dapat berfungsi sesuai perencanaan struktural dan memberikan performa optimal sepanjang umur layan bangunan.

2.4. Penentuan Dimensi Elemen Struktur Kolom

Dalam sebuah perencanaan struktur dibutuhkan *pleminary design* yang bertujuan untuk memulai/menentukan awalan dimensi struktur yang akan digunakan. Seiring perkembangan zaman ada beberapa rumus yang dipakai oleh

seorang teknik sipil dalam menentukan dimensi awalan design suatu elemen, salah satunya yaitu : Metode Empiris (*Rule of Tihumb*), penentuan kolom berdasarkan balok dan sistem *trial and error* (dimana ukuran kolom disimulasikan satu – satu hingga mencapai kekuatan struktur yang diinginkan). Ketiga cara tersebut sering dipakai oleh seorang teknik sipil sebagai acuan awal penentuan dimensi dalam design yang rumusnya dapat dilihat pada persamaan (1) dan (2).

Berdasarkan rumus empiris :

$$n \times p \times l \times 1000 \frac{kg}{m^2} = \frac{1}{3} \times K - beton \times A \quad (1)$$

n = Jumlah lantai + atap (dianggap $\frac{1}{2}$, dikarenakan tidak ada beban hidup)

p = Panjang bentang antar kolom (m)

l = Lebar bentang antar kolom (m)

1000 kg/m^2 = Asumsi beban yang dipikul /m²

$K\text{-beton}$ = Kekuatan Beton (kg/ m²)

A = Luas penampang beton (m²)

Berdasarkan dimensi balok :

$$\text{Dimensi Kolom} = \text{Lebar Balok} + 10 \text{ cm} \quad (2)$$

2.4.1. Perhitungan Volume Kolom

Tujuan dalam penelitian ini yaitu membandingkan berbagai jenis kolom yang ditentukan berdasarkan efisiensi kolom terhadap gempa, oleh karena itu diperlukan perbandingan yang adil dan setara. Pada penelitian ini agar perbandingan menjadi *valid* maka volume setiap kolom harus disamakan, ditunjukkan pada persamaan (3) dan (4).

Perhitungan volume kolom persegi dan persegi panjang :

$$V = p \times l \times t$$

(3)

p = Panjang (m)

l = Lebar (m)

t = Tinggi (m)

Perhitungan volume kolom bulat :

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

(4)

$$\pi = 3,14159265358979323846....$$

r = Jari – jari lingkaran (m)

t = Tinggi (m)

2.5. Jenis – Jenis Pembebanan

Perencanaan pembebanan pada struktur ini berdasarkan Peraturan Pembebanan Untuk Gedung (PPUIG) 1983 yaitu :

1. Beban Mati (DL)

Beban mati adalah berat dari semua bagian suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (PPIUG, 1983). Beban mati berdasarkan bahan bangunan untuk bangunan tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban mati berdasarkan (PPIUG:1983 tabel 2.1)

Bahan Bangunan	Besar Beban
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton	2.200 kg/m ³
Beton bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (kelas 1)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan batu merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1.650 kg/m ³

Lanjutan - Tabel 2. Beban mati berdasarkan (PPIUG:1983 tabel 2.1)	
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400kg/m ³
Komponen Gedung	
Adukan per cm tebal dari semen	21 kg/m ²
Adukan percm tebal dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan batu merah satu bata	450 kg/m ²
Dinding pasangan batu merah setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
Dinding pasangan batako berlubang tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
Tanpa lubang tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku untuk semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis) dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
Untuk kaca, dengan tebal 3-4 mm	10 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit bentang maksimum 5 m dan beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 g/m ²

2. Beban Hidup (LL)

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727:2018). Beban hidup dapat diuraikan menjadi beberapa macam bentuk yang akan dijelaskan pada Tabel 3 berikut :

Tabel 3. Beban hidup berdasarkan (PPIUG:1983 tabel 3.1)

Bahan Bangunan	Besar Beban
Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²

Tabel 3. Beban hidup berdasarkan (PPIUG:1983 tabel 3.1)

Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang yang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²
Lantai ruang dansa	500 kg/m ²
Lantai dan balkon dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan lainlain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pergelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung dengan tempat duduk tetap	400 kg/m ²
Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk	500 kg/m ²
Beban hidup pada lantai gedung	Besar Beban
Tangga, bordes tangga dan gang yang disebut dalam c	300 kg/m ²
Tangga, bordes tangga, gang yang disebut dalam d, e, f, dan g	500 kg/m ²
Lantai ruang pelengkap yang disebut dalam c, d, e, f, dan g	250 kg/m ²
Lantai untuk pabrik, bengkel: gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan sendiri, dengan minimum	400 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah	800 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²
Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap lantai hidup dari ruang yang berbatasan dengan minimum	300 kg/m ²

2.6. Perilaku Struktur Terhadap Beban Gempa

Gempa bumi (*earthquake*) adalah suatu gejala fisik yang ditandai dengan bergetarnya bumi dengan berbagai intensitas (Hadi, A. I., Farid, M., & Fauzi, Y., 2012). Getaran gempa dapat disebabkan oleh banyak hal antara lain peristiwa vulkanik, yaitu getaran tanah yang disebabkan oleh aktivitas desakan magma ke permukaan bumi atau meletusnya gunung berapi (Yulaelawati, E. (2008). Gempa yang terjadi akibat aktivitas vulkanik ini disebut gempa vulkanik. Gempa vulkanik terjadi di daerah sekitar aktivitas gunung berapi, dan akan menyebabkan mekanisme patahan yang sama dengan gempa tektonik (Himawan, 2005).

Gempa bumi merupakan beban dinamis yang bersifat tidak pasti dan sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, sumber gempa, serta karakteristik bangunan

(Salim, M. A., & Siswanto, A. B., 2018). Tidak seperti beban gravitasi (beban mati dan hidup) yang bersifat statis dan konstan, beban gempa berubah secara cepat dan tiba-tiba, menyebabkan gaya inersia pada massa bangunan. Akibatnya, struktur bangunan harus dirancang tidak hanya untuk menahan beban vertikal, tetapi juga untuk mampu merespons beban lateral yang ditimbulkan oleh gempa. Apabila tidak dirancang dengan benar, struktur dapat mengalami deformasi besar, keruntuhan lokal, hingga kegagalan total, yang berujung pada kerusakan fatal atau bahkan korban jiwa.

Respons struktur terhadap beban gempa tergantung pada kemampuan sistem struktur dalam menyerap dan meredam energi seismik yang masuk. Pada Gambar 1 menunjukkan pendekatan terhadap respon struktur gempa yang dibedakan menjadi pendekatan berbasis perpindahan & pendekatan berbasis gaya. Saat terjadi gempa, struktur mengalami perpindahan lateral (*drift*), rotasi elemen, dan distribusi internal gaya-gaya seperti momen lentur, gaya geser, dan gaya aksial (Hemdrawan, A., 2001). Struktur yang baik harus memiliki daktilitas yang cukup agar dapat mengalami deformasi plastis tanpa langsung runtuh. Selain itu, konsep *overstrength* atau kekuatan lebih juga diperhitungkan dalam perencanaan agar struktur tidak hanya memenuhi batas kekuatan minimum. Elemen-elemen struktur seperti kolom dan balok harus mampu mendisipasi energi melalui sendi plastis atau deformasi terkontrol untuk mencegah keruntuhan getas (Wuaten, H. M., 2021).

Perilaku struktur terhadap gempa juga dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti konfigurasi geometrik, jenis dan kualitas material, sistem penahan gaya lateral (misalnya sistem rangka terbuka, dinding geser, atau bracing), serta distribusi massa dan kekakuan antar lantai. Kolom sebagai elemen utama penopang

vertikal memegang peranan penting karena mempengaruhi kekakuan dan stabilitas global struktur. Jenis kolom seperti beton bertulang, baja, maupun komposit memiliki karakteristik perilaku gempa yang berbeda-beda. Selain itu, detailing sambungan dan kualitas konstruksi sangat menentukan apakah struktur mampu berperilaku daktail sesuai dengan perencanaan.

Dalam merancang struktur tahan gempa, pendekatan berbasis kinerja (*performance-based design*) semakin sering digunakan, di mana struktur dievaluasi tidak hanya berdasarkan kekuatan, tetapi juga pada tingkat kerusakan dan fungsi pascagempa (Fitriono, G., 2019). Struktur harus mampu memenuhi kriteria batas layan (*serviceability limit state*) dan mencegah keruntuhan pada batas ultimit (*collapse prevention*). Standar-standar seperti SNI 1726:2019, ASCE 7, atau FEMA P-58 memberikan panduan dalam perhitungan beban gempa dan evaluasi kinerja struktur. Pendekatan ini menuntut pemodelan yang lebih realistis dan memperhitungkan respons non-linear dari elemen struktur terhadap berbagai tingkat intensitas gempa.

Dalam konteks penelitian ini, penggunaan metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) menjadi penting karena mampu memodelkan perilaku non-linear struktur terhadap gempa dengan intensitas yang terus meningkat. IDA memberikan gambaran rinci tentang hubungan antara *Intensity Measure* (IM) dan tingkat *Damage Measure* (DM), termasuk titik-titik kritis seperti saat struktur mulai mengalami kerusakan signifikan hingga potensi keruntuhan total. Melalui IDA, dapat diketahui seberapa besar kapasitas dan ketangguhan struktur dengan berbagai jenis kolom, sehingga menjadi alat evaluasi yang sangat berguna dalam

membandingkan performa seismik dan mendukung pengambilan keputusan dalam desain struktur tahan gempa.

2.7. Metode Analisis Seismik

Analisis seismik merupakan bagian penting dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan, terutama di wilayah yang memiliki potensi gempa tinggi seperti Indonesia (Hakim, 2024). Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memahami perilaku struktur ketika mengalami beban gempa, baik dalam bentuk deformasi, gaya internal, maupun kerusakan potensial. Beban gempa yang bersifat dinamis dan tidak teratur menuntut pendekatan perhitungan yang lebih kompleks dibanding beban statik biasa. Oleh karena itu, metode analisis seismik harus mampu memperhitungkan respons inersia, efek dinamis, serta kontribusi non-linearitas dari material dan sistem struktur.

Secara umum, terdapat beberapa metode yang digunakan dalam analisis seismik bangunan. Metode yang paling sederhana adalah Analisis Statik Ekuivalen, yang mengasumsikan gaya gempa sebagai gaya lateral statik yang dihitung berdasarkan massa dan ketinggian bangunan. Untuk bangunan yang lebih kompleks, digunakan Analisis Respons Spektrum, yang memperhitungkan respon dinamis struktur terhadap spektrum percepatan gempa tertentu. Di sisi lain, metode Analisis Riwayat Waktu Linier dan Non-Linier digunakan untuk mengevaluasi perilaku struktur terhadap input gempa aktual dalam bentuk data percepatan tanah. Salah satu pendekatan paling rinci dan canggih adalah *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), yang menganalisis kinerja struktur terhadap skenario gempa yang ditingkatkan secara bertahap, memberikan pemahaman lebih dalam tentang kapasitas dan keruntuhan struktur.

Metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) bekerja dengan cara menerapkan data gempa dalam bentuk riwayat waktu ke model struktur secara bertahap, dimulai dari intensitas rendah hingga mencapai titik keruntuhan. Dalam proses ini, dua parameter utama digunakan, yaitu *Intensity Measure* (IM) seperti *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau *Spectral Acceleration* (Sa), dan *Damage Measure* (DM) seperti perpindahan puncak atau *inter-story drift ratio*. Hasil dari IDA biasanya berupa kurva yang menggambarkan hubungan antara IM dan DM, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik batas layan (*performance limits*), menganalisis tingkat keparahan kerusakan, serta membentuk *fragility curve* yang menggambarkan probabilitas keruntuhan struktur terhadap tingkat gempa tertentu.

Pemilihan metode IDA dalam penelitian ini didasarkan pada keunggulannya dalam mengevaluasi perilaku struktur secara komprehensif dan realistis terhadap beban gempa. Berbeda dengan metode linier yang hanya menunjukkan estimasi kekuatan awal, IDA mampu merepresentasikan respons non-linier, kerusakan progresif, serta titik keruntuhan aktual suatu struktur. Hal ini sangat penting dalam membandingkan performa struktur dengan jenis kolom yang berbeda beton bertulang, baja, komposit, serta variasi bentuk penampang (persegi dan bulat) karena masing-masing memiliki karakteristik respons yang unik terhadap gempa. Dengan menggunakan IDA, perbedaan kapasitas daktilitas, disipasi energi, dan stabilitas struktur akibat variasi kolom dapat dianalisis secara detail, mendukung penilaian yang lebih akurat terhadap kinerja seismik dan efisiensi desain.

2.7.1. Analisis Linear & Non-Linear

Dalam rekayasa struktur, pendekatan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi respons struktur terhadap beban dibedakan menjadi dua kategori

utama, yaitu analisis linear dan analisis non-linear. Pemilihan metode ini sangat bergantung pada jenis struktur, tingkat ketelitian yang diinginkan, serta besar dan sifat beban yang bekerja pada struktur. Dalam konteks perencanaan struktur tahan gempa, pemahaman terhadap kedua pendekatan ini sangat penting karena masing-masing memiliki keunggulan dan keterbatasan, terutama dalam merepresentasikan perilaku aktual struktur saat terjadi gempa besar yang dapat menyebabkan kerusakan atau bahkan kegagalan total.

Analisis linear merupakan metode yang paling umum digunakan dalam tahap awal perencanaan struktur. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa hubungan antara gaya dan deformasi adalah linier, artinya struktur akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan, sesuai dengan hukum Hooke (Anwar, I. M., 2024). Selain itu, analisis ini menganggap bahwa struktur tetap berada dalam kondisi elastis sepanjang waktu, dan tidak memperhitungkan perubahan kekakuan akibat retak atau leleh pada material. Metode ini relatif sederhana, cepat, dan cukup akurat untuk struktur yang dirancang agar tetap dalam batas elastis, terutama jika beban gempa yang dipertimbangkan tidak terlalu besar.

Sebaliknya, analisis non-linear mempertimbangkan perilaku struktur yang lebih kompleks dan realistis. Dalam pendekatan ini, respons struktur tidak lagi mengikuti hubungan linier antara gaya dan deformasi, melainkan mencerminkan kondisi plastis, pembentukan sendi plastis, degradasi kekakuan, hingga potensi keruntuhan. Analisis non-linear sangat penting untuk memahami perilaku sebenarnya dari struktur, terutama saat menghadapi gempa kuat yang dapat menyebabkan deformasi besar dan kerusakan pada elemen-elemen struktur. Pendekatan ini juga memungkinkan evaluasi kapasitas struktur melewati batas

elastis, serta kemampuan disipasi energi dan daktilitas sistem struktur secara keseluruhan.

Dalam konteks analisis struktur terhadap beban gempa, perbedaan antara pendekatan linear dan non-linear menjadi sangat signifikan. Analisis linear hanya memberikan gambaran awal dan konservatif mengenai kapasitas struktur, tetapi tidak mampu menunjukkan perilaku pasca-elastis atau potensi keruntuhan. Oleh karena itu, dalam studi perilaku seismik yang bertujuan untuk menilai performa struktur secara rinci terutama menggunakan metode seperti *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) analisis non-linear menjadi pendekatan utama yang harus digunakan. Dengan mempertimbangkan efek non-linearitas, hasil analisis menjadi lebih realistis dan mampu memberikan gambaran yang akurat terhadap tingkat kerusakan serta batas kemampuan struktur dalam menghadapi gempa dengan berbagai intensitas.

2.7.2. *Incremental Dynamic Analysis* (IDA)

Incremental Dynamic Analysis (IDA) merupakan metode analisis seismik yang paling mendalam dan komprehensif dalam mengevaluasi kinerja struktur terhadap berbagai tingkat intensitas gempa bumi. Metode ini dikembangkan untuk menjawab keterbatasan pendekatan konvensional dalam memperkirakan respons non-linier struktur ketika terpapar beban gempa besar yang berpotensi menyebabkan keruntuhan. IDA memungkinkan pengujian struktur secara progresif terhadap skenario gempa yang diintensifkan, sehingga perilaku struktur mulai dari kondisi elastis hingga keruntuhan total dapat dimodelkan secara realistis. Dalam konteks perancangan berbasis kinerja (*Performance-Based Seismic Design*), IDA menjadi alat utama untuk memastikan bahwa struktur mampu memenuhi target

performa tertentu, seperti tidak rusak dalam gempa ringan dan tetap berdiri dalam gempa besar.

Secara teknis, IDA dilakukan dengan menerapkan input gempa berupa data *time history* dari rekaman gempa nyata atau sintetis ke dalam model struktur. Rekaman ini kemudian diskalakan secara bertahap, mulai dari intensitas rendah hingga struktur mengalami keruntuhan global. Dua parameter utama yang digunakan dalam IDA adalah *Intensity Measure* (IM) dan *Damage Measure* (DM). IM umum digunakan adalah *Peak Ground Acceleration* pada periode dominan struktur, sedangkan DM dapat berupa *Interstorey Drift Ratio* (IDR), perpindahan lateral maksimum, atau rotasi plastis. Hasil dari setiap langkah analisis digunakan untuk membentuk kurva IDA (IM vs DM), yang memberikan gambaran evolusi respons struktur terhadap peningkatan intensitas gempa secara akurat.

Kurva hasil IDA tidak hanya menggambarkan respons struktur, tetapi juga memberikan informasi penting untuk menilai batas performa. Dari grafik tersebut, dapat diidentifikasi titik batas elastis, titik lunak, titik kerusakan sedang, hingga ambang keruntuhan. Ini memberikan panduan kuantitatif dalam menentukan tingkat keamanan dan kapasitas daktilitas struktur. Selain itu, hasil IDA dapat digunakan untuk membentuk *fragility curve*, yaitu kurva probabilitas kerusakan yang menunjukkan kemungkinan suatu struktur mencapai tingkat kerusakan tertentu pada intensitas gempa tertentu. *Fragility curve* sangat bermanfaat dalam analisis risiko seismik dan pengambilan keputusan dalam manajemen bencana serta penguatan struktur eksisting.

Dalam penelitian ini, metode IDA dipilih karena kemampuannya dalam membandingkan secara objektif dan mendalam perilaku struktur dengan variasi

jenis kolom (persegi, persegi panjang dan bulat). Dengan menggunakan IDA, respons aktual dari masing-masing konfigurasi kolom terhadap beban gempa dapat diamati secara menyeluruh serta kemungkinan terjadinya keruntuhan. Hal ini menjadikan IDA sebagai pendekatan yang tepat untuk menilai efektivitas dan efisiensi desain struktur berdasarkan parameter performa nyata, bukan semata berdasarkan asumsi elastis linier atau pendekatan statik.

2.8. Parameter Kinerja Struktur dalam IDA

Dalam proses analisis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), pemilihan dan penggunaan parameter kinerja yang tepat sangat penting untuk menggambarkan respons struktur terhadap gempa secara akurat. Parameter-parameter ini berfungsi sebagai indikator kuantitatif untuk menilai sejauh mana intensitas beban gempa memengaruhi tingkat kerusakan struktur. Tanpa parameter kinerja yang terdefinisi dengan jelas, hasil analisis IDA tidak akan mampu memberikan informasi yang memadai dalam menilai ketahanan struktur, membandingkan desain alternatif, atau menetapkan tingkat keamanan terhadap risiko seismik. Oleh karena itu, dua komponen utama yang selalu digunakan dalam IDA adalah *Intensity Measure* (IM) dan *Damage Measure* (DM).

2.8.1. *Intensity Measure* (IM)

Intensity Measure (IM) merupakan parameter yang menunjukkan besarnya intensitas gempa yang dikenakan pada struktur. IM biasanya dinyatakan dalam bentuk percepatan spektral (*Spectral Acceleration/Sa*) pada periode fundamental struktur dengan rasio redaman tertentu, misalnya $S_a(T_1, 5\%)$. Pilihan ini umum digunakan karena mewakili respons dinamis utama struktur terhadap beban gempa. Selain S_a , parameter lain yang dapat digunakan adalah *Peak Ground Acceleration*

(PGA) atau *Peak Ground Velocity (PGV)*, tergantung konteks dan kebutuhan analisis. Namun, dalam kebanyakan studi berbasis IDA, $S_a(T_1)$ dianggap paling relevan karena langsung berkaitan dengan karakteristik getaran alami struktur dan spektrum respons tanah.

2.8.2. *Damage Measure (DM)*

Damage Measure (DM) adalah parameter yang digunakan untuk menggambarkan tingkat kerusakan atau deformasi struktur sebagai akibat dari gempa. DM bisa berupa *Interstorey Drift ratio (IDR)*, yaitu perbandingan perpindahan relatif antar lantai dengan tinggi lantai tersebut, yang sangat representatif dalam mengukur kerusakan pada sistem rangka. Alternatif lain termasuk perpindahan puncak struktur, rotasi sendi plastis, atau bukaan retak pada elemen struktur. DM berperan penting dalam menunjukkan batas kemampuan struktur sebelum mencapai kondisi tidak layak huni atau keruntuhan. Dengan mencatat nilai DM pada setiap level IM, maka dapat dibentuk kurva IDA yang menunjukkan perkembangan kerusakan struktur terhadap peningkatan intensitas gempa. Berdasarkan nilai *Damage Measure*, tingkat kinerja struktur biasanya diklasifikasikan ke dalam beberapa *performance level*, yaitu *Operational Phase (OP)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Damage Control (DC)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*.

Operational Phase (OP) menunjukkan bahwa bangunan berfungsi normal tanpa kerusakan berarti pada elemen struktural maupun non-struktural, ***Immediate Occupancy (IO)*** berarti bangunan tetap aman untuk dihuni meskipun ada kerusakan minor dan kinerja struktur cukup baik sehingga fungsi utama bangunan bisa dilanjutkan tanpa penundaan signifikan, ***Damage Control (DC)*** menunjukkan tahap

kerusakan sedang, ada kerusakan pada beberapa komponen tetapi bangunan umumnya tetap berdiri dan berfungsi dengan penyesuaian atau pembatasan operasional, ***Life Safety*** (LS) menunjukkan struktur mengalami kerusakan namun masih menjaga margin keselamatan terhadap runtuhnya bagian-bagian penting, fokus utama adalah melindungi penghuni dan mencegah keruntuhan total, sedangkan ***Collpase Pervention*** (CP) adalah peringkat tertinggi untuk mencegah runtuh total, meskipun ada kerusakan signifikan dan parameter tersebut dapat diaplikasikan ke dalam suatu grafik seperti Gambar 2.

Sebagian besar elemen utama tetap fungsional untuk menjaga keselamatan dan mencegah runtuhnya bangunan secara total. Klasifikasi ini penting dalam IDA karena menjadi acuan dalam mengevaluasi apakah suatu desain struktur memenuhi standar keselamatan dan fungsi pascagempa. Dengan adanya parameter kinerja yang jelas, analisis IDA dapat memberikan informasi yang akurat dan mendalam untuk perbandingan berbagai jenis sistem kolom yang dikaji dalam penelitian ini.

2.8.3. *Interstorey Drift ratio* (IDR)

Interstorey Drift Ratio (IDR) adalah Rasio *drift* antar lantai mengukur perpindahan lateral relatif antar dua lantai berurutan di sebuah bangunan, umumnya dalam bentuk persentase dari tinggi lantai tersebut. Pada *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), parameter ini berfungsi sebagai indikator kinerja utama struktur ketika terkena gempa dengan intensitas yang ditingkatkan secara bertahap. IDA menyajikan plot rasio ini terhadap parameter intensitas seperti akselerasi spektral guna mendeteksi mekanisme runtuh dan tingkat batas kinerja, berikut rumus untuk menghitung *Interstorey Drift Ratio* (IDR) yang ditunjukkan pada persamaan (5) :

$$\text{Drift Ratio (\%)} = \frac{\text{Upstairs displacement} - \text{Downstairs Displacement}}{\text{Storey Height}} \times 100 \quad (5)$$

2.8.4. *Fragility Curve*

Fragility curve merupakan grafik yang menunjukkan peluang kerusakan struktur bangunan melampaui ambang batas tertentu disebabkan oleh berbagai tingkat intensitas gempa, misalnya *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau spektrum respons. Grafik ini umumnya mengadopsi bentuk lognormal serta mengklasifikasikan tingkat kerusakan menjadi *Operational Phase (OP)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Damage Control (DC)*, *Life Safety (LS)*, dan *Collapse Prevention (CP)*. Pada analisis seismik, kurva tersebut diperoleh melalui pendekatan seperti *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) guna mengukur tingkat kerentanan bangunan yang dapat dilihat pada Gambar 2 dengan rumus yang ditunjukkan pada persamaan (6).

Berikut rumus untuk menentukan *fragility curve* :

$$P(x) = \Phi\left(\frac{\ln X - \lambda}{\zeta}\right)$$

(6)

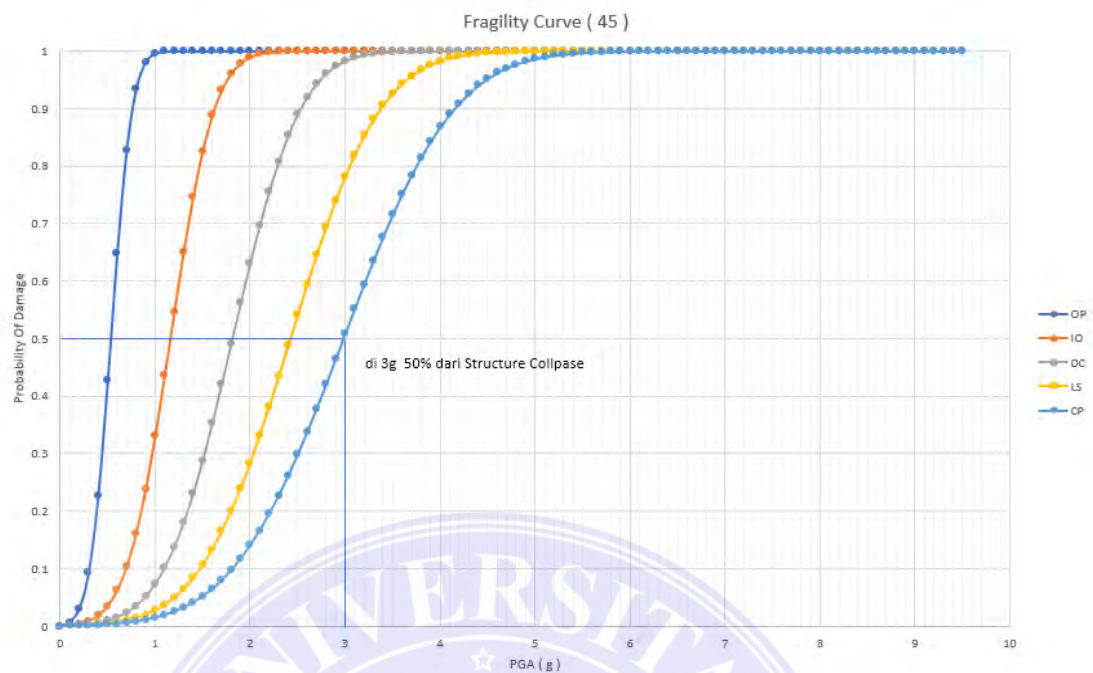
$P(x)$ = Probabilitas kumulatif bahwa variabel acak memiliki nilai kurang dari atau sama dengan x .

Φ = Melambangkan CDF dari distribusi normal standar (distribusi normal dengan rata-rata 0 dan simpangan baku 1).

$\ln X$ = Logaritma natural

λ = Parameter lokasi atau parameter ambang batas (*threshold*).

ζ = Parameter skala (atau deviasi standar dari logaritma variabel tersebut).



Gambar 2. *Fragility curve* (Analisis Penulis ,2025)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Deskripsi Penelitian

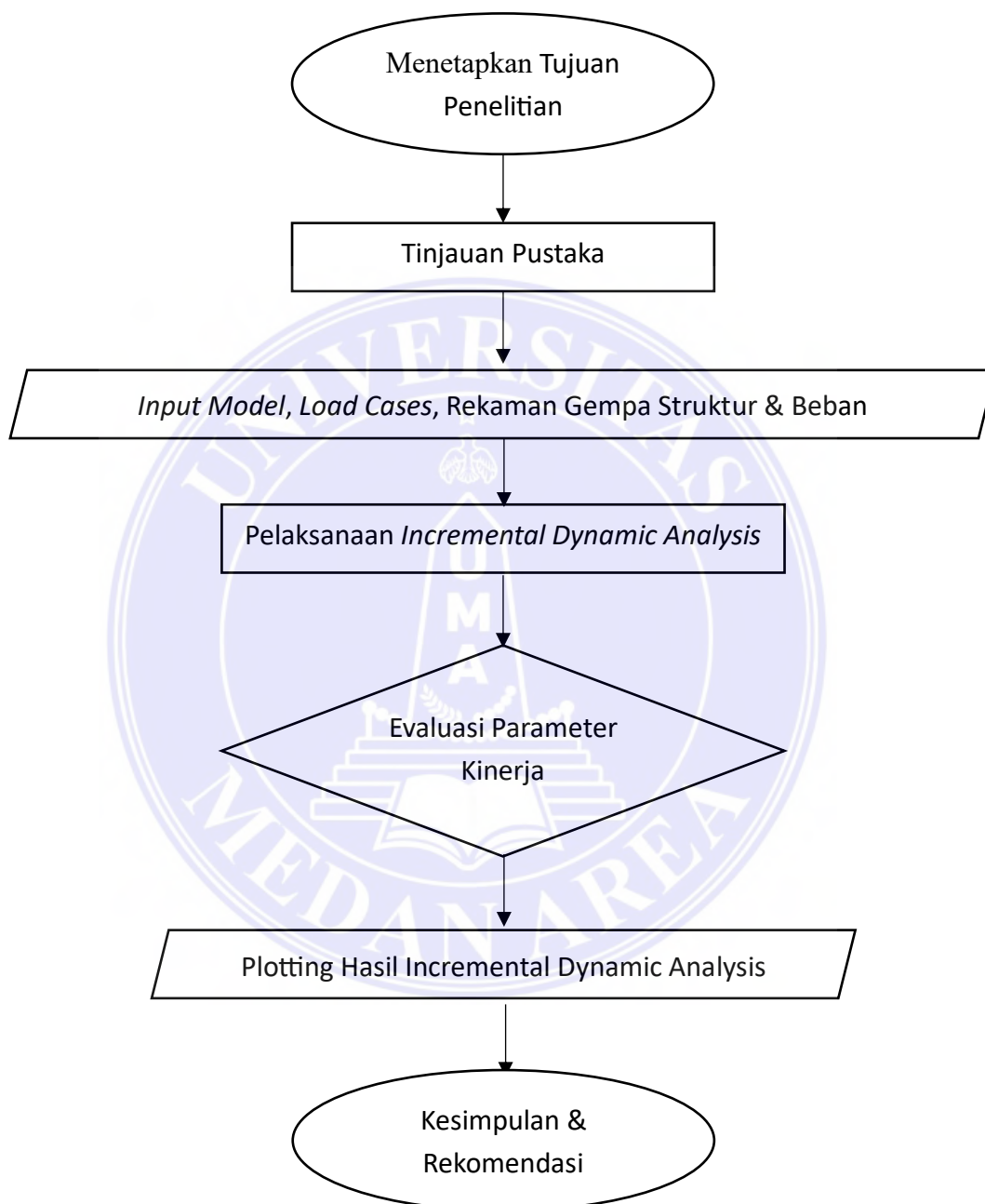
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perilaku struktur dari berbagai jenis kolom yang digunakan pada bangunan terhadap beban gempa melalui analisis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA). Jenis kolom yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi kolom dengan bentuk persegi, persegi panjang dan bulat. Dengan menggunakan IDA, penelitian ini akan mengkaji respons dinamis struktur pada berbagai tingkat intensitas gempa, mengidentifikasi titik keruntuhan, serta membandingkan kinerja setiap jenis kolom berdasarkan parameter-parameter kinerja seperti *drift* antar lantai dan deformasi.

3.1.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif dengan menggunakan *software* analisis struktural canggih (SAP2000) untuk simulasi seismik detail dan menghasilkan data komprehensif yang diperlukan dalam mengembangkan *Fragility curve* setiap jenis kolom secara akurat. Metode *Incremental Dynamic Analysis* (IDA) dipilih sebagai alat utama karena kemampuannya unggul menggambarkan respons struktur terhadap berbagai tingkat intensitas gempa secara dinamis dan berkelanjutan. Hasil IDA digunakan untuk mengevaluasi potensi keruntuhan serta menentukan kapasitas maksimal masing-masing sistem struktur terhadap beban gempa. Pendekatan ini bertujuan memberikan wawasan mendalam mengenai desain struktur, sehingga dapat diterapkan optimal dalam perencanaan dan pembangunan bangunan lebih aman.

3.1.2. Tahapan Penelitian

Berikut adalah tahapan penelitian dengan menggunakan SAP2000v22 sebagai pemodelan dan analisa struktur yang dapat dilihat dibawah ini :



3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

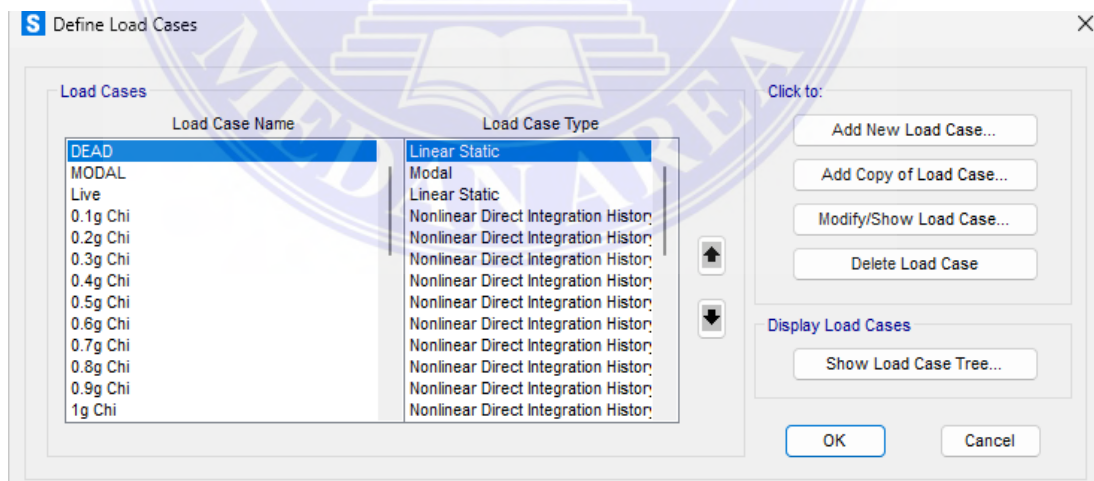
Lokasi penelitian berdasarkan ruang kosong lapangan sepak bola UMA yang diproyeksikan sebagai simulasi dalam penelitian perbandingan jenis kolom menggunakan *software*. Waktu penelitian dilaksanakan disekitar bulan agustus 2025 hingga desember dimana dalam 4 bulan melakukan penelitian dan pembelajaran mendalam tentang *Incremental Dynamic Analysis*.

3.3. Metode Penelitian

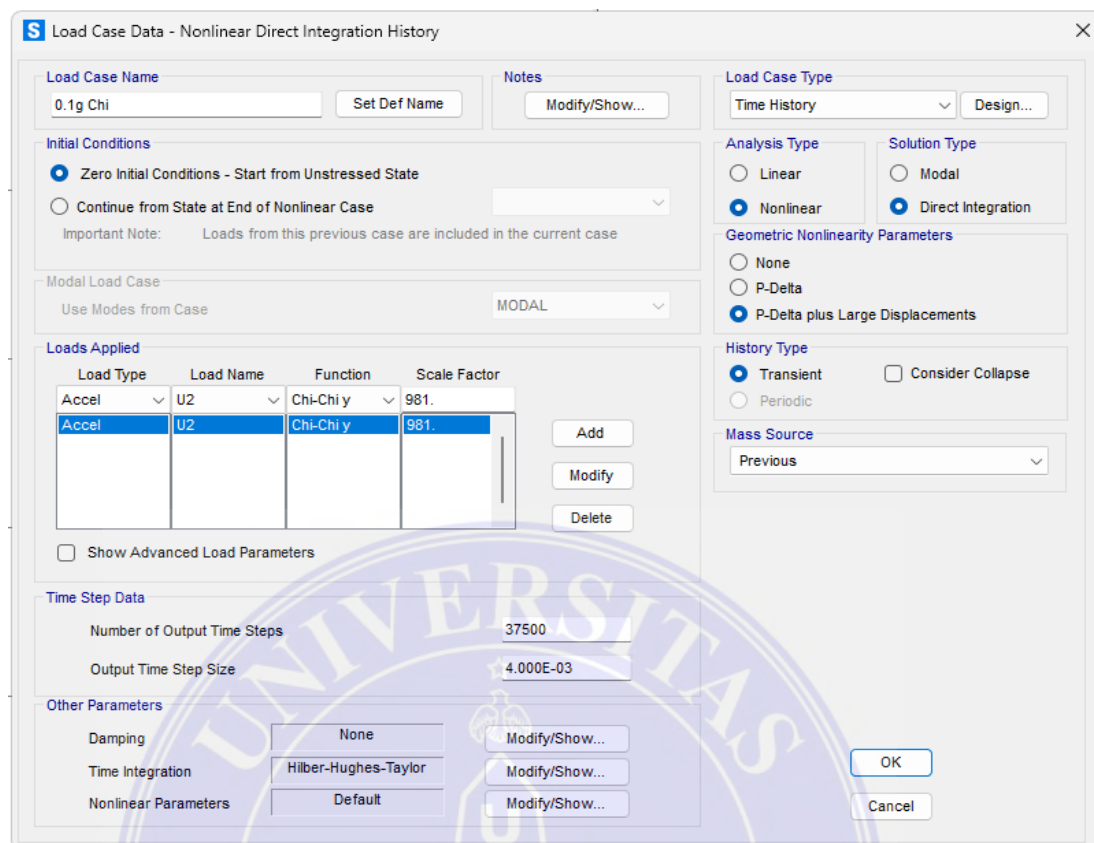
Sebelum melakukan perhitungan IDA, hal – hal berikut harus dipenuhi terlebih dahulu untuk mendapatkan hasil yang relevan, berikut langkah – langkah melaksanakan perhitungan di *software* SAP2000v22 (*Recent Advances in Materials, Mechanics and Structures*) (Saha & dkk (2022)) :

1. Perencanaan model gedung di *software* Autocad dan pemodelan bangunan di dalam SAP2000.
2. Pemilihan rekaman gempa (dapat diambil dari website : <https://ngawest2.berkeley.edu/>) dan masukkan semua atau beberapa pilihan rekaman gempa di *function – time history*.
3. Pemberian *Hinge* pada sturktur kolom dan balok : *Define – Section Properties – Hinge Properties* – Pada kolom (*Ductile, Interacting P-M2-M3* dan pada balok (*Ductile, Moment M3*) lalu select kolom ataupun balok dan *Assign - Frame – Hinges* lalu *relative length* dari balok dan kolom menjadi 0.1 dan 0.9.
4. Memasukkan skenario gempa : *Define - Load Cases - Add New* hingga ada 0.1g sampai yang diinginkan – Lalu sesuaikan dengan Gambar 3 dan 4.

5. Setelah semuanya telah dilakukan maka untuk melakukan perhitungan IDA beban mati dan hidup harus dimasukkan terlebih dahulu, setelah itu dengan cara *Analyze – Set Load Cases to Run* – Pilih pada 0.1g...dst untuk melakukan perhitungan IDA. Disarankan untuk melakukan satu per satu dikarenakan analisa IDA memakan waktu yang sangat lama sehingga spek komputer juga harus diperhatikan.
6. Lalu melalui *show deformed shaped – set case* ke kekuatan gempa yang diteliti – *envelope max/min – apply* – lalu klik kanan pada titik yang akan diteliti hingga muncul seperti Gambar 5 (pakai data yang diperlukan saja, apabila meneliti tentang *drift* maka hanya *trans* yang digunakan), setelah itu catat hasil tersebut kedalam microsoft excel.
7. Lakukan plotting grafik berdasarkan hasil data yang diperoleh.
8. Penyimpulan berdasarkan hasil data yang telah didapatkan.



Gambar 3. *Define Load Cases* (Analisis Penulis ,2025)



Gambar 4. Load Case Data (Analisis Penulis ,2025)

	Joint Object 66	Joint Element 66	
	1	2	3
Trans	-17.61678	0.02038	0.06937
Rotn	-9.468E-06	-0.00185	1.036E-05

Gambar 5. Hasil dari Analisa IDA pada 1 titik (Analisis Penulis ,2025)

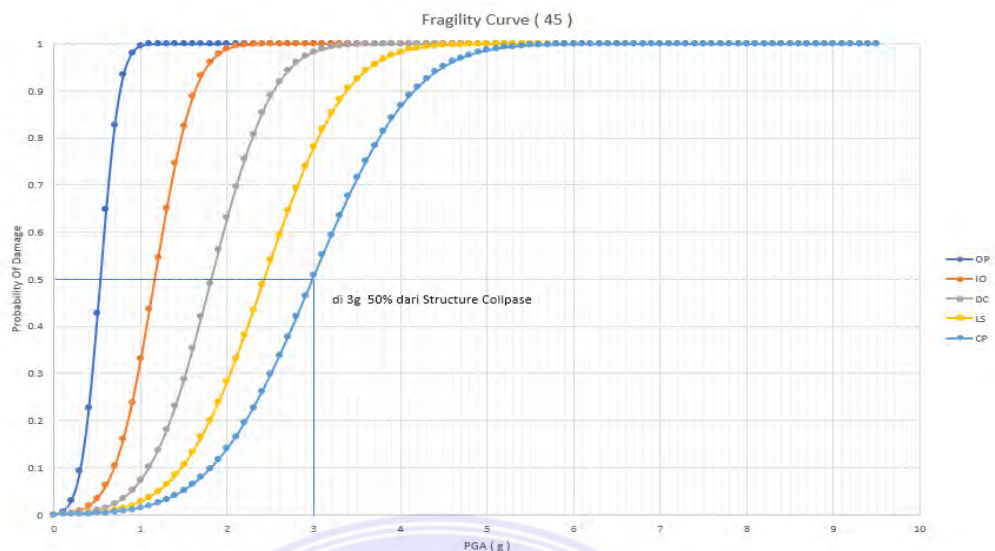
Untuk mempermudah perhitungan, disarankan untuk menggunakan *software* microsoft excel untuk perhitungan yang lebih akurat secara jumlah data dan efisiensi. Apabila terdapat beberapa rekaman gempa maka harus dilakukan interpolasi terlebih dahulu berdasarkan (*Damage Measure* dari OP, IO, DC, LS dan CP yaitu secara berurutan 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5) lalu gunakan rumus $FORECAST(x, known_ys, known_xs)$ dimana $FORECAST(Damage Measure, IM (PGA) range dari total data, Max Interstorey Drift range dari total data pada masing - masing$

rekaman gempa). Setelah didapatkan semua hasil dari setiap rekaman gempa maka hal selanjutnya yang dilakukan ada menentukan *Average/Mean* dari semua rekaman gempa dari berbagai rekaman gempa dan DM masing-masing. Setelah itu tentukan standar deviasi masing – masing DM dengan rumus $STDEV.P$ (semua rekaman gempa dalam DM tersebut). Setelah semuanya telah didapatkan maka dapat digunakan rumus berikut untuk melakukan *plotting fragility curve* $NORM.DIST(PGA, MEAN, STDEV, TRUE)$ yang akan ditunjukkan pada bab 4.

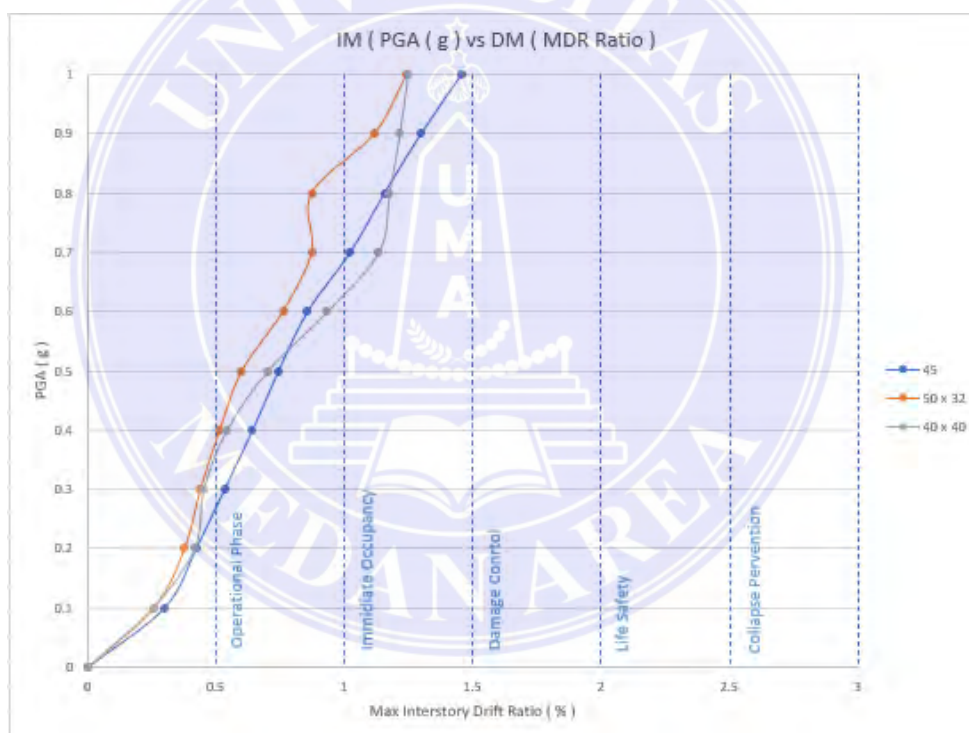
3.3.1. Hasil Plotting Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Dalam semua penelitian suatu plotting atau mentranskrip hasil data yang didapatkan kedalam grafik merupakan hal yang paling wajib dilakukan untuk melihat secara visual bagaimana suatu elemen bekerja, berikut hasil yang didapatkan dari *Incremental Dynamic Analysis* :

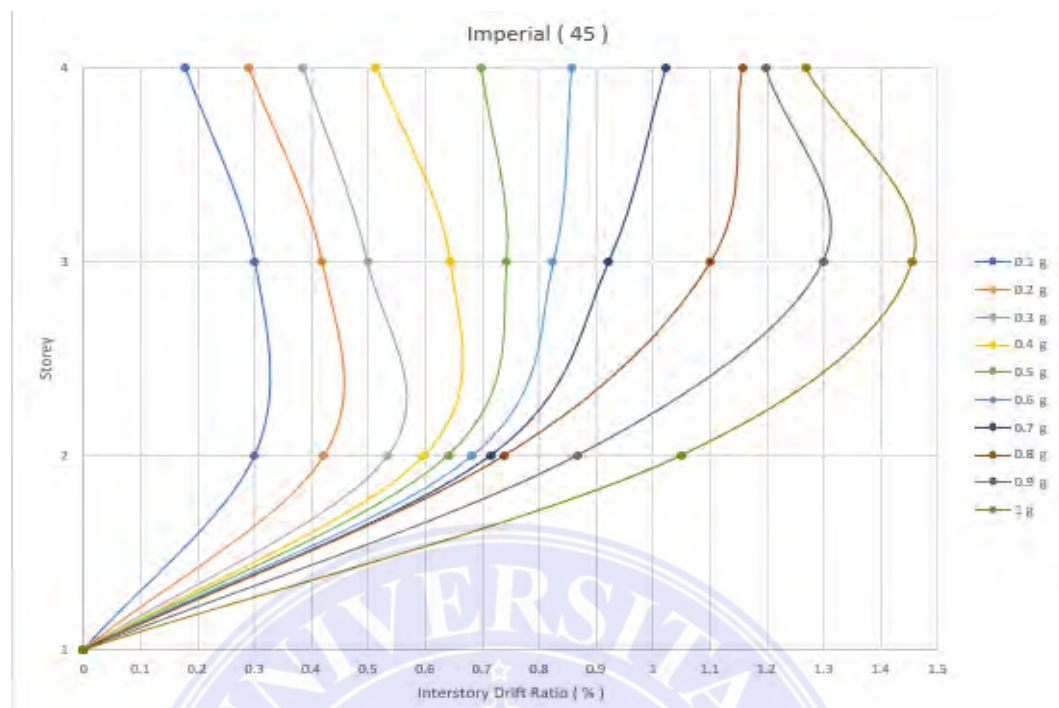
1. *Fragility curve (Probability of Damages vs Intensity Measure/PGA)*, yang dapat dilihat pada Gambar 6.
2. *Intensity Measure (PGA) vs Damage Measure (Max Drift Ratio)*, yang dapat dilihat pada Gambar 7.
3. *Storey vs Interdrift Ratio*, yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 6. Kurva *Fragility curve* (Analisis Penulis ,2025)



Gambar 7. *Intensity Measure (PGA) vs Damage Measure (Max Drift Ratio)* (Analisis Penulis ,2025)

Gambar 8. *Storey vs Interdrift Ratio* (Analisis Penulis ,2025)

3.4. Analisis Data

Dalam penelitian ini digunakan parameter bangunan yang ditampilkan pada sub – bab seperti dimensi struktur, data material dan lainnya sebagai berikut :

3.4.1. Dimensi Struktur

Dimensi struktur ditunjukkan pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Dimensi struktur kolom dan balok pada penelitian

Jenis	P x L	Tinggi	Tul. Pokok	Tul. Sengkan	Selimut	Volume
Persegi	70 x 70 cm	400 cm	12D22	Ø10-100 mm	4 cm	1.96 m ³
	40 x 40 cm	400 cm	10D16	Ø10-100 mm	4 cm	0.64 m ³
	81.5 x 60	400 cm	12D22	Ø10-100 mm	4 cm	1.956 m ³
Pipih	cm	400 cm	10D16	Ø10-100 mm	4 cm	0.644 m ³
	46 x 35 cm	400 cm	10D16	Ø10-100 mm	4 cm	0.644 m ³
Bulat	Ø79 cm	400 cm	12D22	Ø10-100 mm	4 cm	1.9606m ³
	Ø45 cm	400 cm	10D16	Ø10-100 mm	4 cm	0.636 m ³
Balok	50 x 30 cm	-	-	-	-	-
Pelat	-	12 cm	-	-	-	-

3.4.2. Data Material

Data material yang dipakai dalam penelitian sebagai berikut :

1. Mutu beton yang dipakai untuk komponen struktur mulai dari kolom, balok, pelat lantai dan dak atap digunakan mutu beton ($f'c$) = 30 MPa.
2. Mutu Baja Mutu baja yang dipakai untuk BJTS 420 MPa dan BJTP 240 Mpa.

3.4.3. Perhitungan Beban Mati dan Hidup

Perhitungan beban mati dan hidup dapat dilihat pada Tabel 5 (beban mati pelat lantai/atap dan beban hidup) dan Tabel 6 (beban mati pada balok) sebagai berikut :

Tabel 5. Beban mati dan hidup pada pelat dan pelat atap/dak.

Beban	Tebal (m)	Berat Jenis (kN/m^3)	Total (kN/m^2)
Beban Sendiri Pelat	0.12	24	2.88
Keramik + Spesi	0.02	20	0.4
Plafon	0.18		
Instalasi Listrik	0.4		
Pemipaan Air	0.25		
Total	4.11		
	Jenis		Total (kN/m^2)
Beban Hidup	Pabrik Ringan	6	

Tabel 6. Beban mati pada balok

Beban	Tinggi (m)	Berat Jenis (kN/m^3)	Total (kN/m^2)
Beban Dinding			
Pasangan Batu Bata ($\frac{1}{2}$ bata)	4 – 0.25	2.5	9.375

BAB V SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan melalui *Incremental Dynamic Analysis*, maka dapat disimpulkan yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis *Incremental Dynamic Analysis* (IDA), perilaku struktur menunjukkan bahwa kolom persegi merupakan jenis yang paling efisien dalam menahan perpindahan lateral (*drift*) dibandingkan kolom bulat dan persegi panjang. Kolom bulat cenderung memiliki rasio *drift* yang lebih tinggi, sementara kolom persegi panjang memiliki keterbatasan karena hanya kuat menahan beban pada satu sisi. Dalam aspek *fragility curve*, perilaku struktur dipengaruhi oleh dimensi; pada ukuran besar (70 cm), kolom bulat lebih unggul dalam menahan keruntuhan (0.029% lebih efisien dibandingkan kolom persegi), sedangkan pada ukuran kecil (40 cm), kolom persegi menunjukkan ketahanan terhadap keruntuhan yang lebih baik (0.11% lebih efisien dibandingkan dengan kolom bulat). Peningkatan dimensi kolom secara signifikan meningkatkan ketahanan seismik, namun efisiensinya akan mencapai titik *break even point* di mana perbedaan antar bentuk menjadi tidak terlalu kontras pada ukuran tertentu.
2. Secara keseluruhan, kolom persegi memberikan kinerja seismik paling optimal karena efisiensinya yang konsisten dalam menahan *drift* dan penggunaan material yang lebih ekonomis dibandingkan jenis lainnya. Namun, pemilihan kolom yang paling optimal untuk menahan keruntuhan bersifat situasional: kolom persegi (40 x 40) adalah yang terbaik untuk

ukuran kecil, sementara kolom bulat ($\varnothing 79$) menjadi pilihan paling optimal untuk ukuran besar jika mengabaikan variasi persegi panjang yang tidak stabil. Kolom persegi panjang dinilai paling tidak optimal dalam menahan keruntuhan karena karakteristik kekuatannya yang tidak merata, sehingga memerlukan kombinasi arah pemasangan yang kompleks untuk mencapai kestabilan bangunan yang setara dengan kolom persegi atau bulat.

5.2. Saran

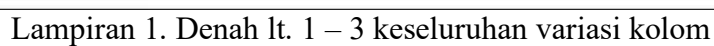
Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan yaitu sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini variasi bangunan tidak beragam dan hanya menggunakan 1 jenis bangunan untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan jenis variasi bangunan untuk melihat kondisi kolom pada jenis bangunan yang berbeda.
2. Variasi kolom pada penelitian ini hanya terbatas pada kolom konvensional, akan lebih menarik dan kompleks lagi apabila ditambahkan kolom baja dan komposit untuk melihat karakteristik masing-masing kolom pada gempa tertentu.
3. Penambahan variabel efisiensi harga dan sisi lemah setiap kolom dapat menyimpulkan lebih baik lagi bagaimana secara keseluruhan performa dari suatu kolom.

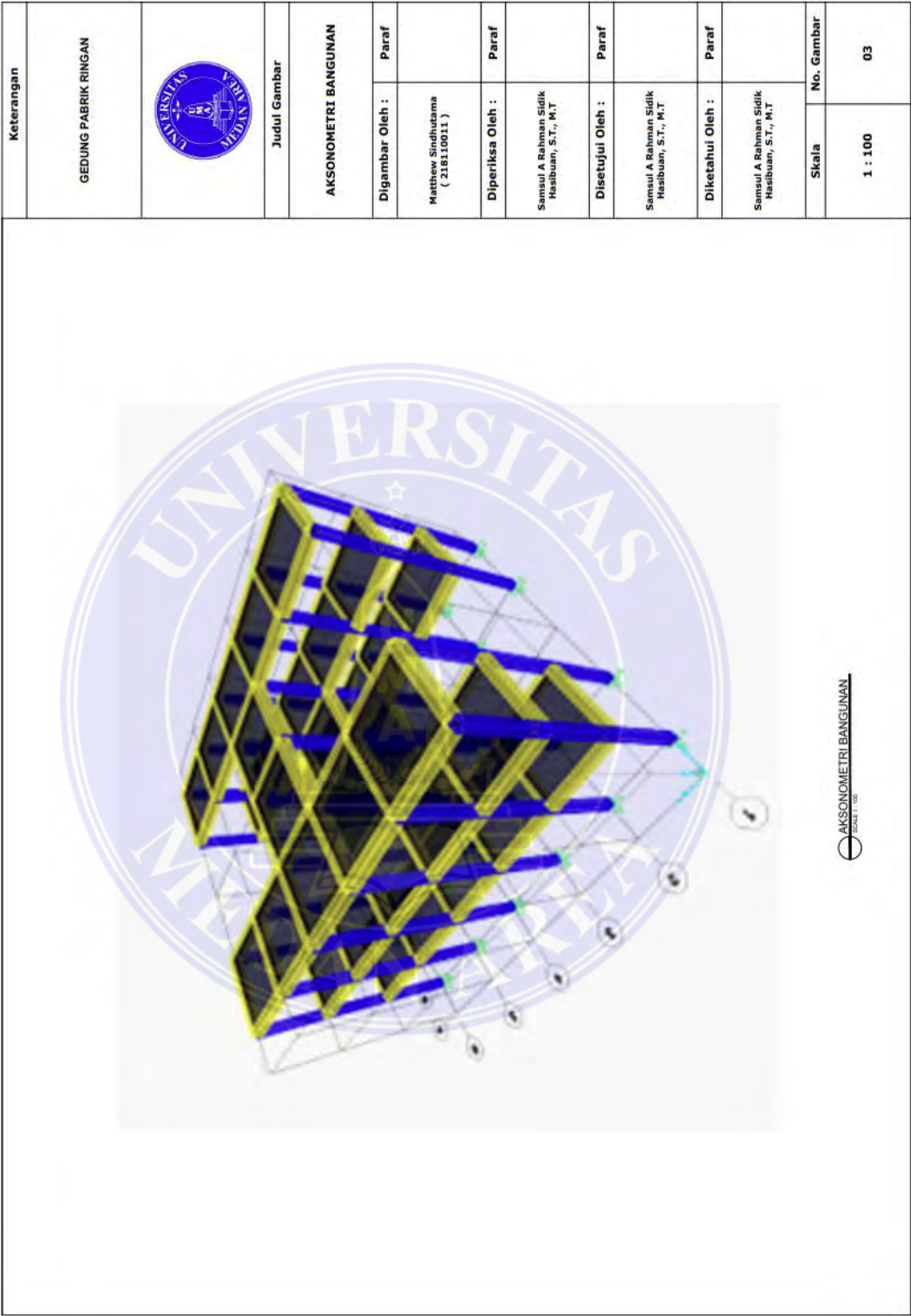
DAFTAR PUSTAKA

- Alim, M. M., & Ujianto, M. (2023, May). *Pengaruh Luas Baja Tulangan pada Kondisi Axial Forces terhadap Kapasitas Penampang Struktur Kolom Gedung Bertingkat Tinggi*. In Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS (pp. 98-105).
- Amalia (2020). *Perancangan kolom & pondasi beton bertulang untuk bangunan gedung*, Depok: PNJ Press.
- Anwar, I. M. (2024). *Analisis Kekuatan Side Ramp Door Kapal Lct Jhonny Xlv Menggunakan Metode Elemen Hingga= Analysis Of The Strength Of The Side Ramp Door Of Lct Jhonny Xlv Ship Using Finite Element Method (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin)*.
- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Badan Standarisasi Nasional (2018). SNI 1727-2018. *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*, Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional (2019). SNI 2847-2019. *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*, Jakarta: BSN.
- Fitriyono, G. (2019). *Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Grand Sungkono Lagoon Tower Caspian dengan Menggunakan Performance Based Design dan Dual System*. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Hadi, A. I., Farid, M., & Fauzi, Y. (2012). *Pemetaan percepatan getaran tanah maksimum dan kerentanan seismik akibat gempa bumi untuk mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu*. Jurnal Ilmu Fisika Indonesia, 1(2), 81-86.
- Hemdrawan, A. (2001). *Analisis Stabilitas Portal Baja Tanpa Pengaku dengan Variasi Faktor Panjang Efektif Kolom (Studi Komparasi 4 Formula)*.
- Komarudin, K., Adhar, L., & Nanda, M. P. (2023). *Perubahan Desain Bangunan Gedung 4 Lantai Dengan Menggunakan Konstruksi Beton*. Statika: Jurnal Teknik Sipil, 9(2), 12-20.

- Kumar, S., & Hasibuan, S. A. R. S. (2025). *Kajian Analisis Struktur Gedung 2D dengan Ketidakberaturan Vertikal Menggunakan Metode Nonlinear Pushover*. Sultra Civil Engineering Journal (SCiEJ), 6(1), 424-436.
- Muflih, G. Z., Kom, M., Umi Barokah, M. P., Zuhdi, R., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2025). *Buku Panduan Mitigasi Bencana Longsor*. Selat Media.
- Naryanto, H. S. (2019). *Analisis Bahaya, Kerentanan Dan Risiko Bencana Tsunami Di Provinsi Papua Barat Analysis For Hazard, Vulnerability And Tsunami Disaster Risk In West Papua Province*. Jurnal Alami (Issn: 2548-8635), 3(1).
- Rismawati, R. (2021). *Panduan Keselamatan Saat Gempa Bumi*. Diva Press.
- Saharani, G. K. (2020). *Analisis Pengaruh Tebal Lining Dan Shotcrete Terhadap Deformasi Pada Perkuatan Konstruksi Terowongan Kereta Cepat Jakarta-Bandung (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Bandung)*.
- Saha, S., Sajith, A. S., Sahoo, D. R., & Sarkar, P. (Eds.). (2022). *Recent Advances in Materials, Mechanics and Structures: Select Proceedings of ICMMS 2022*.
- Tumpu, M., Jamal, M., Syahrir, M., Pasanda, O. S., Lapian, F. E. P., Rustam, M. S. P. A., ... & Muliawan, I. W. (2023). *Infrastruktur berbasis mitigasi bencana*. TOHAR MEDIA.
- Wuaten, H. M. (2021). *Studi Eksperimental Retrofit Wire Mesh Dan Scc Pada Kolom Persegi Beton Bertulang Akibat Beban Siklik= Performance Of Retrofitted Square Reinforced Concrete Column Using Wire Mesh And Scc Subjected To Cyclic Load (Doctoral Dissertation, Universitas Hasanuddin)*.
- Yulaelawati, E. (2008). *Mencerdasi bencana: banjir, tanah longsor, tsunami, gempa bumi, gunung api, kebakaran*. Grasindo.
- Salim, M. A., & Siswanto, A. B. (2018). *Rekayasa Gempa*. K-Media, Yogyakarta.
- Zaman, I. N., & Gutama, R. L. (2024). *Analisis Perilaku Confined Masonry Dalam Menahan Beban Lateral Pada Bangunan Sederhana (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang)*.



Lampiran 2. Denah lantai dak keseluruhan variasi kolom



Lampiran 3. Aksonometri bangunan