

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN
METODE ANALISIS *PUSHOVER*
(Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri
(RSPTN) Universitas Lampung)**

(Skripsi)

Oleh

**RAGAT AJI MUSTOFA
NPM 2015011028**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

EVALUATION OF HIGH-STORY BUILDING STRUCTURES PERFORMANCE WITH THE PUSHOVER ANALYSIS METHOD (Case Study: Building 6th of The State University Education Hospital (RSPTN) University of Lampung)

By

RAGAT AJI MUSTOFA

The high potential for earthquakes in Indonesia encourages the design of buildings to be resistant towards earthquake vibrations. The level of vulnerability to lateral forces, especially earthquake shocks, is closely related to the height of the building. Therefore, the design of multi-storey building structures must be designed by analyzing earthquake loads with the aim of preventing the building from collapsing and reducing the number of fatalities due to earthquakes.

This research takes a case study at Building 6th of the State University Education Hospital of University of Lampung using a performance-based seismic design approach, which involves the use of non-linear pushover analysis techniques based on ATC-40 (capacity spectrum method) and FEMA-356 (displacement coefficient method). The results of the pushover analysis are capacity curves, building displacement targets, building collapse schemes, and result of building performance evaluations against earthquake loads based on ATC-40 and FEMA-356 regulations.

The analysis results show that the level of building performance in the x-direction and y-direction with the maximum total drift ratio parameter based on ATC-40 and FEMA-356 is Immediate Occupancy, so it can be concluded that the building is still able to withstand when an earthquake occurs and the risk of human loss is very small.

Keywords: pushover analysis, earthquake, structural performance

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER* (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)

Oleh

RAGAT AJI MUSTOFA

Tingginya potensi gempa bumi di Indonesia mendorong perancangan bangunan agar memiliki ketahanan terhadap getaran gempa. Tingkat kerentanannya terhadap gaya lateral, terutama getaran gempa erat kaitanya dengan ketinggian bangunan. Oleh karena itu, perancangan struktur bangunan bertingkat harus didesain dengan menganalisis beban gempa dengan tujuan agar bangunan tidak mengalami keruntuhan dan dapat mengurangi jumlah korban jiwa akibat gempa bumi.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung menggunakan pendekatan perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance based seismic design*), yang melibatkan penggunaan teknik analisis *non-linear pushover* berdasarkan ATC-40 (*capacity spectrum method*) dan FEMA-356 (*displacement coefficient method*). Hasil analisis *pushover* berupa kurva kapasitas, target perpindahan gedung, skema keruntuhan gedung, dan hasil evaluasi kinerja gedung terhadap beban gempa berdasarkan peraturan ATC-40 dan FEMA-356.

Hasil analisis menunjukkan level kinerja gedung pada arah-x dan arah-y dengan parameter *maximum total drift ratio* berdasarkan ATC-40 dan FEMA-356 adalah *Immediate Occupancy*, sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa manusia sangat kecil.

Kata kunci: analisis *pushover*, gempa bumi, kinerja struktur

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN
METODE ANALISIS *PUSHOVER*
(Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri
(RSPTN) Universitas Lampung)**

Oleh

RAGAT AJI MUSTOFA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

**: EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG
BERTINGKAT DENGAN METODE ANALISIS
PUSHOVER (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah
Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri
(RSPTN) Universitas Lampung)**

Nama Mahasiswa

: Ragat Aji Mustofa

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015011028

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Bayzoni, S.T., M.T.

NIP 19730514 200003 1 001

Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.

NIP 19740530 200012 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Plt. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Sasana Putra, S.T., M.T.

NIP 19691111 200003 1 002

Sasana Putra, S.T., M.T.

NIP 19691111 200003 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

: Bayzoni, S.T., M.T.

Ketua

Sekretaris

: Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.

Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 April 2024

SURAT PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : RAGAT AJI MUSTOFA
Nomor Pokok Mahasiswa : 2015011028
Judul Skripsi : EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG
BERTINGKAT DENGAN METODE ANALISIS
PUSHOVER
(Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan
Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung)
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti Kaidah Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, 17 April 2024

Penulis



Ragat Aji Mustofa
NPM 2015011028

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting pada tanggal 01 Januari 2002, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Zainur Mujiono dan Ibu Ngadiyati. Penulis memiliki satu orang saudara, yaitu adik perempuan yang bernama Rezandi Cahyaningsih. Penulis memulai jenjang pendidikan taman kanak-kanak di TK Tarbiyatus Sholihin yang diselesaikan pada tahun 2008, dilanjutkan pendidikan dasar di SD Negeri 2 Dadapan yang diselesaikan pada tahun 2014, kemudian dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 1 Sumberejo yang diselesaikan pada tahun 2017, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 1 Sumberejo yang diselesaikan pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Prodi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Kerohanian dan Keolahrgaan periode 2022-2023, kemudian sebagai Kepala Divisi Penelitian Departemen Penelitian dan Pengembangan pada periode 2023-2024.

Penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Statika, asisten dosen mata kuliah Analisis Statis Tertentu, asisten dosen mata kuliah Analisis Statis Tak Tentu, dan asisten dosen mata kuliah Gambar Bangunan Sipil. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Kampung Negeri Jaya, Kecamatan Negeri Besar, Way Kanan selama 40 hari, Januari-Februari 2023. Di tahun yang sama, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Pembangunan Gedung

Radioterapi di Rumah Sakit Urip Sumoharjo Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis *Pushover* (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)”.

Persembahan

Alhamdulillahirobbilalamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Yang senantiasa memberikan yang terbaik, dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Kuucapkan pula terima kasih sebesar-besarnya karena telah mendidik dan membesarkanku dengan cara yang dipenuhi kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang belum bisa terbalaskan.

Dosen Pembimbing dan Penguji

Yang sangat berjasa dan selalu memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2020

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Sipil

Tempat bernaung mengemban semua ilmu untuk menjadi bekal hidup.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”
(QS. Al-Baqarah: 286)

“..Sesudah kesulitan pasti ada kemudahan..”
(QS. Al Insyirah: 6)

“Dua musuh terbesar kesuksesan adalah penundaan dan alasan.”
(Jaya Setiabudi)

“It seems impossible until it’s done.”
(Nelson Mandela)

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugrah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Analisis *Pushover* (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)”** dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, dan pertolongan yang tiada henti, serta senantiasa memberikan berkah ilmu kepada setiap hamba-Nya.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung dan Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lampung.
4. Bapak Bayzoni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, serta kritik dan saran dalam proses perkuliahan terutama selama penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide ide, serta kritik dan saran dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.

7. Bapak Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik saya.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis, serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
9. Kedua orang tua tercinta, Ibu Ngadiyati dan Bapak Zainur Mujiono yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang, dan kesabaran dalam memberikan dorongan, dukungan, nasihat serta doa yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan.
10. Adik tersayang Rezandi Cahyaningsih yang selalu menemani, mengingatkan, menghibur dan memberi dukungan untuk penulis.
11. Seluruh anggota Keluarga Besar Cemara yang telah memberikan dukungan, bantuan dan doa demi lancarnya skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
12. Rekan-rekan Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2020, yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu penulis secara langsung ataupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi isi maupun sistematika. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Bandar Lampung, 17 April 2024

Penulis,

Ragat Aji Mustofa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR NOTASI.....	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	5
2.2. Sistem Struktur	6
2.3. Pembebanan Struktur	7
2.4. Kombinasi Pembebanan.....	8
2.5. Ketentuan Umum Bangunan Gedung terhadap Pengaruh Gempa	9
2.5.1. Gempa Rencana	10
2.5.2. Kategori Resiko Bangunan	10
2.5.3. Faktor Keutamaan Gempa	12
2.5.4. Klasifikasi Situs	13
2.5.5. Wilayah Gempa	14
2.5.6. Koefisien Situs.....	15
2.5.7. Parameter Percepatan Spektral Desain	16
2.5.8. Spektrum Respon Desain.....	17
2.5.9. Kategori Desain Seismik	18
2.5.10. Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	19

2.5.11. Periode Fundamental Struktur	19
2.6. Gaya Geser Dasar	21
2.7. Simpangan Antar Tingkat	22
2.8. Analisis <i>Pushover</i>	24
2.9. <i>Capacity Spectrum Method</i> (CSM).....	24
2.10.1. Kurva Kapasitas	25
2.10.2. <i>Demand Spectrum</i>	26
2.10.3. <i>Performance Point</i>	27
2.10. <i>Displacement Coefficient Method</i> (DCM)	28
2.11. Sendi Plastis.....	30
2.11.1. <i>Hinge Properties</i> Balok	30
2.11.2. <i>Hinge Properties</i> Kolom.....	31
2.11.3. Penentuan Letak Sumbu Plastis	32
2.12. Kriteria Kinerja Struktur Bangunan Tahan Gempa.....	32
III. METODE PENELITIAN	36
3.1. Objek Penelitian.....	36
3.2. Data Penelitian.....	36
3.2.1. Luas Bangunan	41
3.2.2. Elevasi Bangunan	41
3.2.3. Balok.....	41
3.2.4. Kolom	44
3.2.5. Pelat	45
3.2.6. <i>Shear Wall</i>	45
3.3. Diagram Alir Penelitian	46
3.4. Tahapan Analisis.....	47
3.4.1. Studi Literatur	47
3.4.2. Pengumpulan Data	47
3.4.3. Pemodelan 3D.....	47
3.4.4. Pembebanan Struktur	48
3.4.5. Analisis Respon Spektrum.....	48
3.4.6. Perhitungan Beban Gempa	48
3.4.7. Penentuan Sendi Plastis	48

3.4.8. Analisis <i>Pushover</i>	49
3.4.9. Analisis Kinerja Struktur	49
3.4.10. Pembahasan Hasil Analisis <i>Pushover</i>	49
3.5. Penelitian Terdahulu	50
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1. Pemodelan Struktur Gedung	54
4.2. Data Struktur Gedung	59
4.3. Pembebanan	59
4.4. Desain Respon Spektrum	62
4.5. Analisis <i>Pushover</i> (<i>Capacity Spectrum Method</i>)	63
4.5.1. Kurva Kapasitas ADRS	63
4.5.2. Kurva <i>Demand Spectrum</i>	70
4.5.3. <i>Performance Point</i>	73
4.6. Analisis <i>Pushover</i> (<i>Displacement Coefficient Method</i>)	75
4.7. Distribusi Sendi Plastis	81
V. KESIMPULAN DAN SARAN	87
5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	91

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	10
2.2. Faktor Keutamaan Gempa.....	13
2.3. Klasifikasi Situs	13
2.4. Koefisien Situs, F_a	16
2.5. Koefisien Situs, F_v	16
2.6. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS})	18
2.7. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik (S_{D1})	18
2.8. Faktor R , C_d , dan Ω untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	19
2.9. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	20
2.10. Nilai Parameter Koefisien C_u	20
2.11. Batasan Simpangan Antar Lantai.....	23
2.12. Nilai Faktor Modifikasi C_0	28
2.13. Nilai Faktor Modifikasi C_2	29
2.14. Batasan <i>Rasio Drift</i>	34
2.15. Kriteria Kinerja Struktur menurut FEMA 356.....	35
3.1. Data Elevasi Bangunan	41
3.2. Detail <i>Tie Beam</i> , Balok, dan <i>Ring</i> Balok	42
3.3. Detail Kolom.....	44
3.4. Detail <i>Shear Wall</i>	45
3.5. Penelitian Terdahulu	50
4.1. Data Struktur Gedung	59
4.2. Periode dan Percepatan Respon Spektrum Rancang.....	62
4.3. <i>Story Displacement</i> Hasil Analisis <i>Pushover</i>	64

4.4. Parameter Perhitungan α dan PF	65
4.5. Perhitungan Kurva Kapasitas Format ADRS Arah X.....	66
4.6. Perhitungan Kurva Kapasitas Format ADRS Arah Y	67
4.7. Perhitungan Kurva <i>Demand Spectrum</i>	70
4.8. Perhitungan Kurva <i>Demand Spectrum</i> Zona Elastis.....	72
4.9. Keterangan Kerusakan Struktur Berdasarkan Simbol.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Level-level kerusakan bangunan.....	6
2.2. Parameter spektral percepatan gempa periode 1 detik (S_1).....	14
2.3. Parameter spektral percepatan gempa periode pendek (S_s).	15
2.4. Peta transisi periode panjang (T_L) wilayah Indonesia.....	15
2.5. Grafik respon spektrum desain.	18
2.6. Penentuan simpangan antar tingkat.....	22
2.7. Perubahan format kurva kapasitas menjadi ADRS.....	26
2.8. Perubahan format respon spektrum menjadi ADRS	26
2.9. Penentuan <i>performance point</i>	27
2.10. Posisi sumbu lokal balok struktur	31
2.11. Posisi sumbu lokal kolom struktur.....	31
2.12. Sendi plastis pada balok dan kolom.....	32
3.1. Lokasi objek penelitian.	36
3.2. Tampak depan gedung	37
3.3. Tampak kanan gedung	38
3.4. Tampak kiri gedung	39
3.5. Tampak belakang gedung.	40
3.6. Diagram alir penelitian.....	46
4.1. Denah lantai 2 dan 3.....	54
4.2. Denah lantai 4	55
4.3. Denah lantai <i>attic</i>	55
4.4. Denah lantai atap.....	56
4.5. Titik pusat massa bangunan	56
4.6. Tampak depan pemodelan gedung.....	57

4.7. Tampak kanan pemodelan gedung.....	57
4.8. Tampak kiri pemodelan gedung.....	58
4.9. Tampak belakang pemodelan gedung.....	58
4.10. Respon spektrum rancang	63
4.11. Kurva kapasitas arah x	63
4.12. Kurva kapasitas arah y	64
4.13. Kurva kapasitas format ADRS arah x	69
4.14. Kurva kapasitas format ADRS arah y	69
4.15. Kurva <i>demand spectrum</i>	73
4.16. Kurva <i>performance point</i> x	73
4.17. Kurva <i>performance point</i> y	74
4.18. Kurva bi-linier <i>pushover</i> arah x	79
4.19. Kurva bi-linier <i>pushover</i> arah y	79
4.20. Distribusi sendi plastis arah x saat <i>displacement</i> 146.311 mm.....	82
4.21. Distribusi sendi plastis arah x saat <i>displacement</i> 274.559 mm.....	82
4.22. Distribusi sendi plastis arah y saat <i>displacement</i> 114.864 mm.....	83
4.23. Distribusi sendi plastis arah y saat <i>displacement</i> 254.253 mm.....	84
4.24. Distribusi sendi plastis pada <i>collapse condition</i> arah x	84
4.25. Distribusi sendi plastis pada <i>collapse condition</i> arah y	84
4.26. Sendi plastis pertama balok dan kolom pada kurva <i>pushover</i> arah x	85
4.27. Sendi plastis pertama balok dan kolom pada kurva <i>pushover</i> arah y.	85

DAFTAR NOTASI

C_d	= Faktor pembesaran simpangan lateral
C_s	= Koefisien respons seismik
CP	= Kondisi bangunan <i>collapse prevention</i>
C_0	= Koefisien faktor bentuk
C_1	= Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier
C_2	= Koefisien untuk memperhitungkan hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan
C_3	= Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta
D	= Pengaruh dari beban mati
E	= Pengaruh dari beban seismik horizontal dan vertikal
F_a	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
F_v	= Koefisien situs untuk periode panjang (pada periode 1 detik)
g	= Percepatan gravitasi
h_n	= Batasan tinggi struktur (m)
I_e	= Faktor keutamaan gempa
IO	= Kondisi bangunan <i>immediate occupancy</i>
L	= Pengaruh dari beban hidup
L_r	= Pengaruh dari beban hidup atap
LS	= Kondisi bangunan <i>life safety</i>
PF	= Faktor partisipasi modal untuk mode alami pertama
PI	= Indeks plastisitas
Q_E	= Pengaruh Gaya Seismik Horizontal
R	= Koefisien modifikasi respons
R	= Pengaruh dari beban hujan
S	= Pengaruh dari beban salju

S_a	= Percepatan gempa
S_{DS}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek
S_{D1}	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik
S_S	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek
S_1	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik
S_{MS}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
S_{M1}	= Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
T	= Periode fundamental bangunan
T_a	= Periode fundamental pendekatan
T_e	= Waktu getar alami efektif
T_L	= Peta transisi periode panjang
V	= Gaya geser dasar
w	= Kadar air dalam persen
W	= Berat seismik efektif
ρ	= Faktor redundansi
δ_x	= Simpangan di tingkat x
δ_e	= Perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan
δ_t	= Target perpindahan
Δ_i	= Simpangan antar tingkat
α	= Koefisien massa untuk mode alami pertama
ϕ_i	= Perpindahan pada lantai i
δ_t	= Target perpindahan

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena gempa adalah peristiwa yang muncul akibat pelepasan energi seismik yang bersumber dari dalam bumi, pelepasan energi seismik ini disebabkan oleh pergerakan lempengan kerak bumi, menciptakan guncangan yang memiliki potensi besar mengakibatkan kerusakan struktural pada bangunan.

Bersumber pada letak geografisnya, Indonesia adalah negara yang terletak pada wilayah *Ring of Fire* atau Cincin Api Pasifik. Indonesia juga berada pada tiga lempeng tektonik utama dunia yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik yang mengakibatkan Indonesia memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan sering kali mengalami gempa bumi yang dapat mengancam struktur bangunan. Sejarah Indonesia penuh dengan peristiwa gempa bumi yang mengakibatkan banyak kerugian. Salah satu contoh yang paling terkenal adalah gempa bumi dan tsunami Aceh pada tahun 2004 yang mengakibatkan ribuan korban jiwa. Kejadian ini menjadi peringatan nyata akan potensi bencana gempa di Indonesia.

Tingginya potensi gempa bumi di Indonesia mendorong perancangan bangunan agar memiliki ketahanan terhadap guncangan gempa. Tingkat kerentanannya terhadap gaya lateral, terutama guncangan gempa erat kaitannya dengan ketinggian bangunan. Oleh karena itu, perancangan struktur bangunan bertingkat harus didesain dengan menganalisis beban gempa dengan tujuan agar bangunan tidak mengalami keruntuhan dan dapat mengurangi jumlah korban jiwa akibat gempa bumi.

Berdasarkan SNI 1726:2019, bangunan gedung dengan fasilitas kesehatan atau rumah sakit termasuk kedalam bangunan kategori risiko keempat yang dianggap memiliki peran penting dalam pelayanan kesehatan masyarakat dan harus tetap beroperasi selama dan setelah bencana gempa bumi. Untuk mengurangi risiko kerusakan struktural dan menjaga fungsi pelayanan kesehatannya, bangunan rumah sakit harus dirancang dan dibangun dengan standar yang lebih tinggi dengan kekuatan 1,5 kali lebih besar dibandingkan gedung-gedung lainnya dalam hal ketahanan terhadap guncangan gempa. Oleh karena itu, evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa sangat diperlukan dalam perancangan bangunan yang bertujuan untuk memastikan kelayakan struktur gedung sesuai dengan standar terbaru.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menggunakan analisis *time history* diketahui bahwa nilai simpangan antar tingkat akan sebanding dengan percepatan maksimum gempa, semakin besar nilai percepatan maksimum gempa maka nilai simpangan antar tingkat akan semakin besar juga. Selain itu, nilai simpangan antar tingkat ini dapat juga dipengaruhi oleh faktor lainnya seperti ketidakberaturan vertikal, sistem struktur gedung, bentuk geometri gedung, dan fungsi gedung. (Mudia dkk., 2023).

Perbedaan penelitian ini dengan sebelumnya, yaitu penelitian ini menggunakan pendekatan perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance based seismic design*), yang melibatkan penggunaan teknik analisis *non-linear pushover* dengan bantuan komputer untuk mengevaluasi perilaku inelastis struktur terhadap berbagai tingkat intensitas gerakan tanah (gempa). Dengan demikian, kinerja struktur dapat diidentifikasi dalam kondisi kritis, dan tindakan perbaikan dapat diambil jika tidak memenuhi persyaratan yang diperlukan (Dewobroto, 2006).

Metode analisis *pushover* merupakan salah satu metode analisis yang dapat dilakukan untuk mengetahui kapasitas struktur terhadap beban gempa pada suatu bangunan. Analisis *pushover* dilakukan dengan memberikan

pembebanan statik dalam arah lateral pada pusat massa di setiap lantai bangunan, nilai pembebanan ini secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Hasil dari analisis *pushover* berupa kurva kapasitas yang merupakan representasi dari gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan (*displacement*) yang menjadi gambaran perilaku struktur tersebut.

Pada penelitian ini lokasi yang digunakan yaitu Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. Gedung ini memiliki luas bangunan kurang lebih 3.200 m² dan terdiri dari 4 lantai dengan struktur beton bertulang. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode analisis *pushover* untuk mengetahui pengaruh kekuatan gempa terhadap gedung tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana hasil evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan metode analisis *pushover* berdasarkan peraturan ATC 40 dan FEMA 356.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bangunan yang ditinjau merupakan bangunan yang berfungsi sebagai rumah sakit dengan ketinggian 4 lantai dan memiliki struktur yang beraturan.
2. Struktur yang digunakan merupakan struktur beton bertulang.
3. Analisis beban gempa dilakukan menggunakan analisis statik *non-linear* menggunakan metode analisis *pushover*.
4. Analisis yang dilakukan hanya pada bagian struktur atas gedung.
5. Dimensi struktur dan tulangan menyesuaikan desain perancang.

6. Pembebanan gedung menggunakan beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
7. Peraturan pembebanan menggunakan SNI 1727:2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung.
8. Peraturan gempa menggunakan SNI 1726:2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
9. Analisis kinerja struktur menggunakan peraturan ATC 40 dan FEMA 356.
10. Analisis struktur ditinjau dalam tiga dimensi menggunakan bantuan program analisis struktur komersial.
11. Elemen pelengkap selain elemen struktur diperhitungkan sebagai beban pada model struktur.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui hasil evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan metode analisis *pushover* berdasarkan peraturan ATC 40 dan FEMA 356.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan pemahaman tentang evaluasi kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa, khususnya mengenai analisis statik *non-linear* menggunakan metode analisis *pushover*.
2. Mengembangkan pengetahuan tentang penggunaan salah satu program analisis struktur komersial.
3. Dapat dijadikan sebagai masukan dalam penelitian yang berhubungan dan dapat digunakan sebagai sumber informasi untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

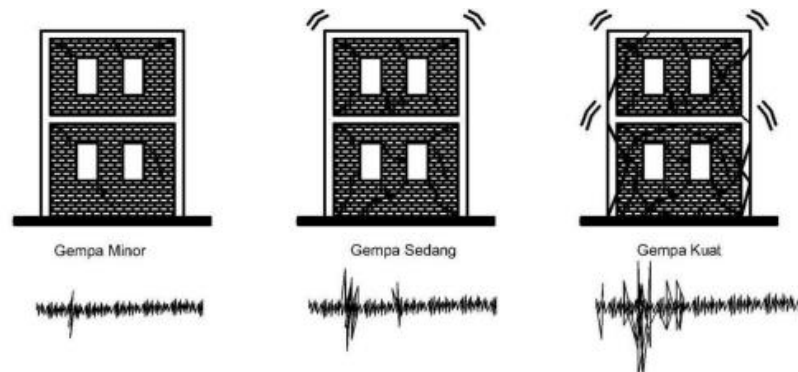
2.1 Struktur Bangunan Tahan Gempa

Struktur bangunan tahan gempa merupakan struktur yang dirancang dan dibangun dengan kekuatan serta ketahanan khusus agar mampu bertahan dan tidak mengalami kerusakan atau keruntuhan saat terjadi gempa bumi. Tujuan utama dalam perancangan bangunan tahan gempa adalah melindungi nyawa manusia, meminimalkan potensi kecelakaan dan kerugian materi, serta mengurangi sebanyak mungkin biaya yang diperlukan untuk memperbaiki bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempa.

Perencanaan bangunan harus mampu mengurangi atau bahkan menghindari risiko kerusakan akibat gempa, sehingga diperlukan bangunan yang memiliki tingkat kekuatan yang tinggi dan keamanan yang baik untuk menghindari kerusakan (Widodo, 2012). Para ahli kemudian memutuskan bahwa bangunan yang dibangun harus memiliki kekuatan yang memadai untuk menahan gempa, tetapi pembangunannya tidak harus mahal. Prinsip ini pada akhirnya akan menghasilkan bangunan yang aman namun ekonomis. Jenis bangunan seperti ini kemudian dikenal dengan istilah "bangunan tahan gempa" atau *earthquake-resistant building*, yang berarti bangunan yang memiliki kekuatan untuk menghadapi gempa namun biaya pembangunannya tetap terjangkau. Oleh karena itu, dalam perancangan bangunan tahan gempa, terdapat prinsip-prinsip desain yang didasarkan pada tingkat kekuatan gempa yang dapat diterimanya (Widodo, 2012), yaitu sebagai berikut:

1. Pada gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*), struktur utama tidak diperbolehkan mengalami kerusakan, sedangkan kerusakan-kerusakan kecil pada komponen non struktur masih dapat ditoleransi.

2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*), struktur utama diperbolehkan mengalami kerusakan ringan, sedangkan komponen non struktur boleh mengalami kerusakan yang masih dapat diperbaiki.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*), struktur utama diperbolehkan mengalami kerusakan, tetapi tidak boleh mengalami keruntuhan total, sehingga setidaknya korban jiwa dapat diminimalisir.



Gambar 2.1. Level-level kerusakan bangunan.

2.2 Sistem Struktur

Secara umum, gedung bertingkat biasanya menggunakan kombinasi dari berbagai jenis sistem struktur. Pemilihan sistem struktur yang akan digunakan untuk menahan gaya lateral dapat ditentukan berdasarkan kategori desain seismik dan tinggi gedung. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 3.5.1 pada bangunan penahan gempa terdapat 6 jenis sistem struktur yang umum digunakan sebagai dasar sistem struktur utama. Dasar sistem struktur tersebut yaitu:

1. Sistem dinding penumpu, yaitu sistem struktural bangunan yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara menyeluruh, sehingga sebagian atau seluruh beban gravitasi dipikul oleh dinding penumpu. Adapun beban gempa dipikul oleh dinding-dinding geser atau rangka bresing.
2. Sistem rangka gedung, yaitu sistem struktural bangunan yang mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara menyeluruh,

sedangkan tahanan terhadap beban gempa dipikul oleh dinding-dinding geser atau rangka bresing.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM), yaitu sistem struktural bangunan yang mempunyai rangka ruang pemikul beban gravitasi secara menyeluruh dan mampu menahan beban gempa.
4. Sistem ganda, yaitu sistem struktural bangunan yang mengkombinasikan dinding geser dengan sistem rangka pemikul momen atau rangka bresing dengan sistem rangka pemikul momen sebagai tahanan terhadap beban gempa, sedangkan beban gravitasi dipikul oleh rangka ruang lengkap.
5. Sistem rangka ruang, yaitu sistem struktur yang terdiri dari elemen-elemen struktur rangka (selain dinding penumpu) yang saling terhubung, yang mampu menahan beban gravitasi dan beban gempa.
6. Sistem kolom kantilever, yaitu sistem struktural bangunan dengan yang keseluruhan tahanan terhadap beban gempa dipikul oleh kolom-kolom yang berperan sebagai kantilever yang terjepit di bagian dasar bangunan.

2.3 Pembebanan Struktur

Dalam merencanakan pembebanan untuk struktur bangunan gedung diharuskan mencermati penggunaan beban-beban yang diizinkan dalam perencanaan tersebut.

Ketentuan-ketentuan mengenai pembebanan serta definisi beban-beban yang bekerja pada struktur yaitu sebagai berikut:

1. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur yang bersifat sementara dan terjadi dalam selang waktu yang relatif singkat, namun dapat menyebabkan kerusakan berat pada bangunan.

2. Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang memiliki besar (nilai) dan arah yang konstan tanpa dipengaruhi waktu. Beban mati dibedakan menjadi beban mati akibat berat sendiri dan beban mati tambahan.

a. Beban Mati Sendiri (*Dead Load*)

Berat sendiri merupakan berat atau beban yang timbul akibat elemen-elemen struktural yang ada pada suatu konstruksi dan bersifat permanen. Berat sendiri suatu elemen bergantung pada jenis dan dimensi elemen tersebut.

b. Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan merupakan beban yang ada akibat adanya elemenelemen tambahan dalam suatu struktur yang bersifat permanen. Misalnya keramik, dinding bata, plafond, dan sebagainya.

3. Beban Hidup

Beban hidup yaitu beban yang ada akibat penggunaan atau fungsi suatu bangunan yang bersifat sementara dan tidak termasuk dalam beban konstruksi dan lingkungan. Nilai beban hidup ditetapkan berdasarkan SNI 1727-2020.

2.4 Kombinasi Pembebanan

Pembebanan pada struktur di lapangan dapat terjadi secara bersamaan. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi pembebanan yang tepat untuk memprediksi besarnya beban yang mungkin terjadi. Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727-2020 Pasal 2.3.

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L/0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + 1,0L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$
6. $1,2D + 1,0E + 1,0L$
7. $0,9D + 1,0E$

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3 dan 4 dapat diambil sebesar 0,5 untuk semua tingkat hunian, kecuali untuk garasi, tempat parkir, tempat pertemuan umum dan ruangan yang beban hidupnya kurang dari atau sama dengan $4,78 \text{ kN/m}^2$. Karena struktur mendapat pengaruh dari beban gempa. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.4.2 maka E harus dihitung sesuai ketentuan sebagai berikut:

Untuk penggunaan kombinasi 6, E harus ditentukan dengan persamaan:

$$E = E_h + E_v \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk penggunaan kombinasi 7, E harus ditentukan dengan persamaan:

$$E = E_h - E_v \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$$E_h = \rho \cdot Q_E \dots \dots \dots (2.3)$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} \cdot D \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

E = Pengaruh beban seismik

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal

ρ = Faktor redundansi

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V

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

D = Pengaruh beban mati

2.5 Ketentuan Umum Bangunan Gedung Terhadap Pengaruh Gempa

Desain struktur bangunan dan infrastruktur yang tepat dapat sangat mempengaruhi bagaimana sebuah bangunan atau fasilitas menanggapi gempa bumi. Ketentuan struktur ini dirancang untuk meningkatkan daya tahan dan kemampuan bangunan untuk melindungi nyawa manusia serta mencegah kerusakan parah pada saat terjadi gempa. Berikut beberapa ketentuan-ketentuan desain bangunan terhadap pengaruh gempa yang terdapat pada SNI 1726-2019.

2.5.1. Gempa Rencana

Dalam hal evaluasi perencanaan struktur khususnya di wilayah rawan gempa, ada beberapa kriteria yang dapat digunakan dalam melakukan analisis perhitungan struktur tahan gempa. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 4.1.1, gempa rencana adalah gempa yang memiliki probabilitas terlewat sebesar 2% selama umur bangunan 50 tahun.

2.5.2. Kategori Resiko Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2019 Tabel 3 untuk pengklasifikasian kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung bergantung pada fungsi atau jenis pemanfaatan bangunan itu sendiri. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan	I
Rumah jaga dan struktur kecil lainnya.	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall	II

Tabel 2.1. (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
• Bangunan industri • Fasilitas manufaktur • Pabrik.	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unitgawat darurat • Fasilitas penitipan anak • Penjara • Bangunan jompo	
Gedung dan non gedung, tidak termasuk ke dalam 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, tetapi tidak dibatasi untuk: • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi	III
Gedung dan non gedung yang tidak termasuk ke dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	

Tabel 2.1. (lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas 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	IV
Struktur tambahan (termasuk menara tele komunikasi, 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 gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5.3. Faktor Keutamaan Gempa

Dalam mengkategorikan risiko struktur bangunan, baik gedung maupun non-gedung, dampak gempa rencana terhadapnya perlu dikalikan dengan faktor keutamaan gempa (I_e), yang diperoleh

berdasarkan kategori risiko daerah yang sedang dianalisis. Nilai faktor keutamaan gempa disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I dan II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5.4. Klasifikasi Situs

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 5.1 menjelaskan mengenai tata cara klasifikasi situs, dan mengatur standar desain seismik berupa faktor amplifikasi pada gedung. Dalam merumuskan standar desain gempa bumi untuk gedung atau menentukan perbesaran puncak percepatan seismik dari batuan dasar ke tanah pada suatu lokasi tertentu, lokasi tersebut harus ditentukan berdasarkan lapisan tanah tertinggi yaitu 30 meter. Penetapan kelas situs harus melalui uji penyelidikan tanah di lokasi bangunan dan di laboratorium. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v_s (m/s)	N atau N_{ch}	S_u (KPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350-750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Indeks plastisitas, $PI > 20$
2. Kadar air, $w \geq 40\%$
3. Kuat geser niralinir $\bar{s}_u < 25$ KPa

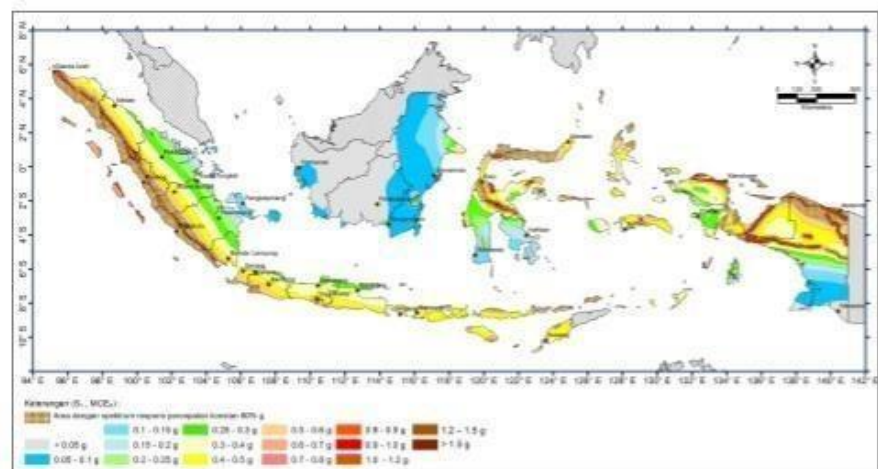
Tabel 2.3. (Lanjutan)

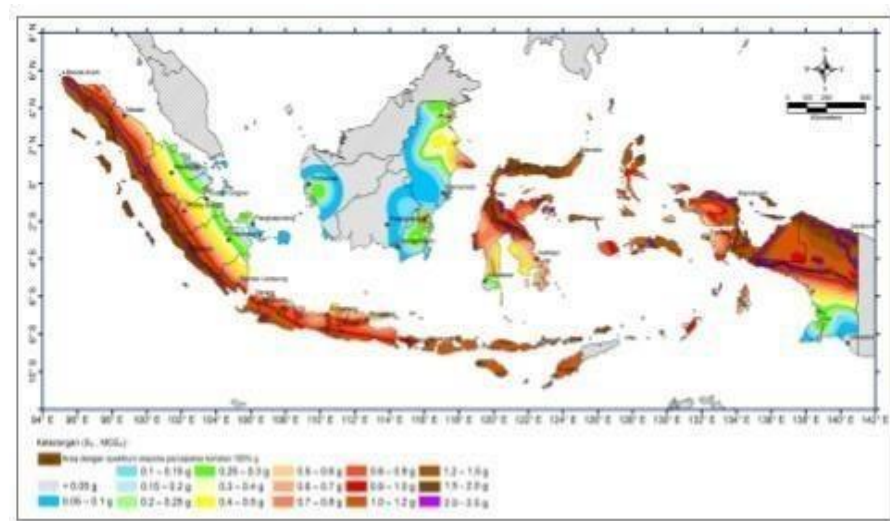
Kelas Situs	v_s (m/s)	N atau N_{ch}	S_u (KPa)
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ KPa		

(Sumber: SNI 1726-2019)

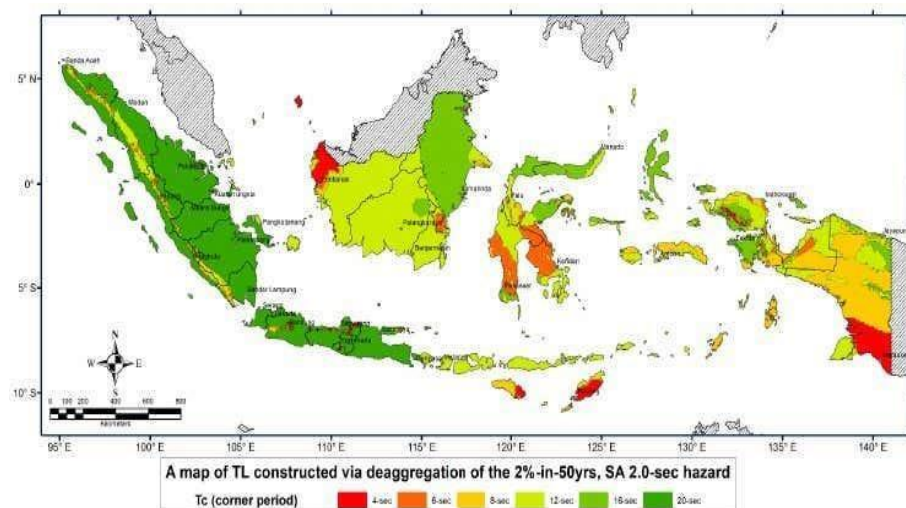
2.5.5. Wilayah Gempa

Salah satu faktor yang memengaruhi tingkat besar atau kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar atau kecilnya beban gempa, bergantung pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan. Peta wilayah gempa disajikan dalam Gambar 2.2, Gambar 2.3, dan Gambar 2.4.

Gambar 2.2. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1).



Gambar 2.3. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek 0,2 detik (S_s).



Gambar 2.4. Peta transisi periode panjang (T_L) wilayah Indonesia.

2.5.6. Koefisien Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.2, parameter respon spektrum percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan efek klasifikasi situs ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

S_s = Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek.

S_1 = Parameter respon spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik.

Untuk nilai koefisien situs F_a dan F_v disajikan dalam Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4. Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periodependek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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	1,1	1,1
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS					

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.5. Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periodependek, $T = 1$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
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					

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5.7. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1}), harus dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

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

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

2.5.8. Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726:2019, grafik respon spektrum mengacu pada Gambar 2.5 dengan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a) Untuk periode kurang dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a), harus dihitung menggunakan persamaan:

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots\dots\dots(2.9)$$

- b) 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} .

- c) Untuk periode lebih besar dari T_S tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.10)$$

- d) Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain (S_a) diambil berdasarkan persamaan:

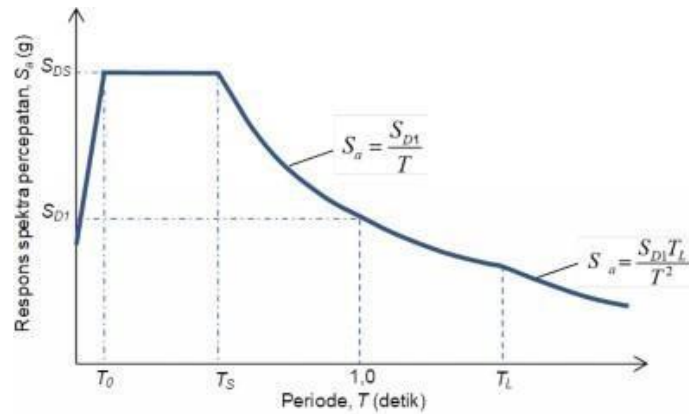
$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

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

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

T = periode getar fundamental struktur



Gambar 2.5. Grafik respon spektrum desain.

2.5.9. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.5. Untuk penetapan kategori desain seismik berdasarkan kategori resiko dan parameter-parameter respon spektrum percepatan desain dapat dilihat pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.6. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

Tabel 2.7. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik (S_{D1})

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5.10. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Parameter struktur berupa koefisien modifikasi respon, faktor kuat lebih sistem dan faktor pembesaran defleksi ditentukan sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2019 Tabel 12. Faktor R, Cd, dan Ω untuk sistem pemikul gaya seismik disajikan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Faktor R, Cd, dan Ω untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Penahan Gaya Gempa		R	Ω	C _d
C	Sistem Rangka Pemikul Momen			
1	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5
2	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5
3	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4
4	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3
5	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5
6	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5
7	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5
8	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5
9	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5
10	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5
11	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5
12	Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.5.11. Periode Fundamental Struktur

Menurut SNI 1726-2019, periode pendekatan fundamental (T_a), ditentukan melalui persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

h_n = ketinggian struktur total dari dasar tanah sampai ketinggian maksimal struktur (m)

Untuk koefisien C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen dimana 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

(Sumber: SNI 1726-2019)

Adapun periode fundamental maksimum dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_{\max} = C_u \cdot T_a \dots \dots \dots (2.13)$$

Untuk menganalisis perilaku struktur, pembatasan terhadap nilai periode ditetapkan dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental pendekatan dengan koefisien C_u . Nilai koefisien C_u dapat ditentukan dari Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Nilai Parameter Koefisien C_u

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.6 Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726-2019, gaya geser dasar seismik ditentukan dengan persamaan:

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik efektif

Bila hasil perhitungan periode fundamental melebihi periode maksimum, maka periode maksimum harus digunakan sebagai pengganti dari T dalam arah tersebut. Untuk nilai C_s dapat ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Nilai C_s tidak boleh melebihi persamaan:

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I}\right)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Untuk $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot T \left(\frac{R}{I}\right)} \dots\dots\dots (2.17)$$

C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dengan nilai $S_1 \geq 0,6$ g, maka C_s tidak boleh kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

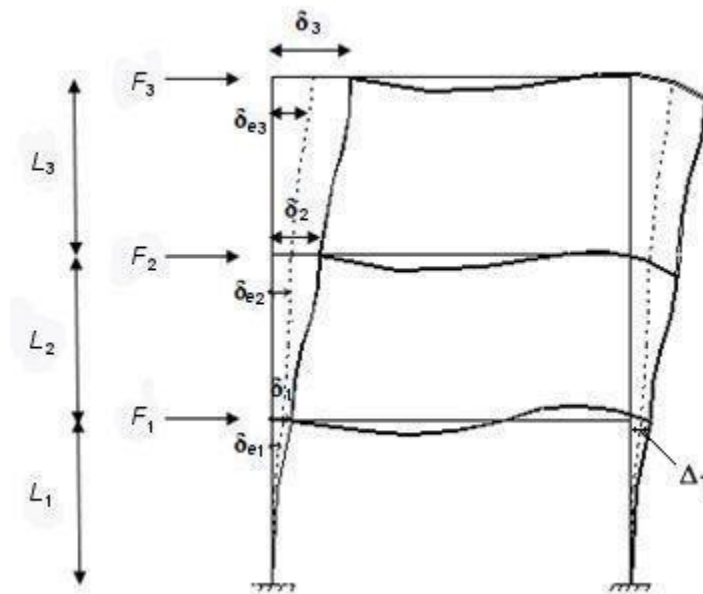
S_{DS} = parameter percepatan respon spektrum desain dalam rentang periode pendek

R = koefisien modifikasi respon

I_e = faktor keutamaan gempa

2.7 Simpangan Antar Tingkat

Kontrol simpangan bertujuan untuk mengetahui kinerja batas layan dan batas ultimit struktur gedung yaitu untuk menjaga struktur dan kenyamanan penghuni, mencegah kerusakan non-struktur, dan membatasi peretakan beton yang berlebihan. Simpangan antar tingkat harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Penentuan simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Penentuan simpangan antar tingkat.
(Sumber: SNI 1726-2019)

Berikut penjelasan dari Gambar 2.6:

F_1, F_2, F_3 = gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e1}, \delta_{e2}, \delta_{e3}$ = perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ = $C_d \cdot \delta_e / I_e$ (2.19)
= perpindahan yang diperbesar

Δ_1 = $\delta_1 \leq \Delta_a$ (2.30)

Δ_2 = $(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / I_e \leq \Delta_a$ (2.21)

Δ_3 = $(\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_e \leq \Delta_a$ (2.22)

Keterangan:

- Δ_i = simpangan antar tingkat
 Δ_i/L_i = rasio simpangan antar tingkat
 δ_i = perpindahan total

Nilai dari simpangan ini dihitung dengan *software* analisis struktur komersil untuk batasan simpangan antar lantai disajikan dalam Tabel 2.11. Selanjutnya simpangan dinyatakan dengan perumusan yang telah diatur pada SNI 1726-2019 Pasal 7.12.3:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{\max}}{I_e} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

- δ_x = simpangan di tingkat x
 $\delta_{\max}$ = perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis
 C_d = faktor pembesaran simpangan lateral

Tabel 2.11. Batasan Simpangan Antar Lantai

Struktur	<u>Kategori Resiko</u>		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	0,025h _{sx}	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}	0,010h _{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}	0,007h _{sx}
Semua struktur lainnya	0,020h _{sx}	0,015h _{sx}	0,010h _{sx}

(Sumber: SNI 1726-2019)

2.8 Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* adalah analisis dimana pengaruh gempa rencana pada struktur dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai. Kemudian beban statik tersebut secara bertahap ditingkatkan sampai melewati pembebanan yang nantinya menyebabkan terjadinya sendi plastis pertama di dalam struktur tersebut. Peningkatan beban menyebabkan struktur bangunan mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang signifikan sampai tercapainya target perpindahan yang diharapkan atau hingga tercapai kondisi plastis (Sudarman et al., 2014).

Analisis *pushover* menghasilkan kurva *pushover*, suatu grafik yang merepresentasikan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan titik acuan pada atap (D). Pada proses *pushover*, struktur didorong hingga mencapai titik leleh di satu atau lebih lokasi di dalam struktur tersebut. Kurva kapasitas akan menunjukkan fase linier sebelum mencapai kondisi leleh dan kemudian menunjukkan perilaku nonlinier. Tujuan analisis *pushover* adalah untuk mengevaluasi perilaku seismik struktur terhadap pembebanan gempa rencana berdasarkan kurva kapasitas yang terbentuk. Selain itu analisis ini juga mampu memberikan informasi mengenai komponen-komponen struktural yang bersifat kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi elemen-elemen yang memerlukan perhatian khusus dalam hal pendetailan atau stabilitasnya. Dilakukannya metode analisis *pushover* yaitu untuk mendapatkan level kinerja struktur gedung.

2.9 *Capacity Spectrum Method (CSM)*

Capacity spectrum method (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Hasil dari analisis *pushover* yang merupakan hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan perpindahan titik acuan pada atap (D) atau disebut kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode tertentu, salah satunya adalah *capacity spectrum method* (ATC-40, 1996).

Metode kapasitas spektrum dimulai dengan menyusun *demand* respon spektrum serta kurva kapasitas menjadi satu format yang disebut sebagai format *Acceleration Displacement Response Spectra* (ADRS).

2.9.1. Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas merupakan kurva dari hasil analisis *pushover* yang memperlihatkan hubungan antara gaya geser dan perpindahan atap yang kemudian diubah menjadi format ADRS. Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 2.7. Untuk merubah kurva kapasitas menjadi format ADRS dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{((\sum W_i \cdot \phi_i) / g)^2}{((\sum W_i \cdot \phi_i^2) / g) \times (\sum W_i / g)} \dots\dots\dots(2.24)$$

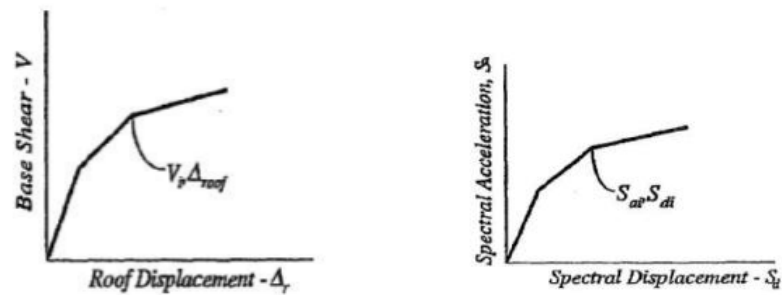
$$PF = \frac{((\sum W_i \cdot \phi_i) / g)}{(\sum W_i \cdot \phi_i^2) / g} \times \phi_{\text{roof}} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$S_a = \frac{V / W}{\alpha} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$S_d = \frac{\Delta}{PF \cdot \phi_{\text{roof}}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan:

α	= koefisien massa untuk mode alami pertama
PF	= faktor partisipasi modal untuk mode alami pertama
W_i/g	= massa bangunan pada lantai i
ϕ_i	= perpindahan pada lantai i
g	= percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)
V	= gaya geser dasar
W_i	= berat bangunan pada lantai i
Δ	= <i>monitored displacement</i>
S_a	= spektral percepatan
S_d	= spektral perpindahan



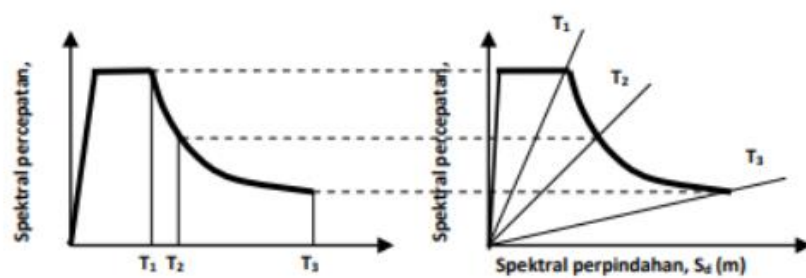
a. Kurva kapasitas (format standar) b. Kurva kapasitas (format ARDS)

Gambar 2.7. Perubahan format kurva kapasitas menjadi ADRS
(Sumber: ATC-40 1996)

2.9.2. Demand Spectrum

Demand spectrum merupakan kurva respon spektrum yang mempresentasikan hubungan antara koefisien gempa dengan periode getar struktur yang kemudian diubah menjadi format ADRS. Gambar *demand spectrum* dapat dilihat pada Gambar 2.8. Untuk merubah kurva respon spektrum menjadi format ADRS dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} \times S_a \times g \dots\dots\dots (2.28)$$



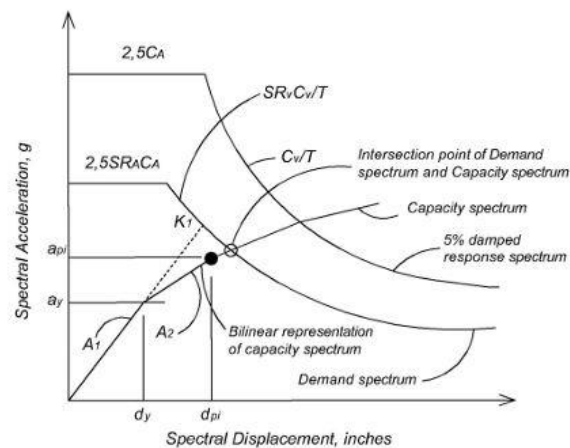
a. Respon spektrum
(format standar)

b. Respon spektrum
(format ADRS)

Gambar 2.8. Perubahan format respon spektrum menjadi ADRS
(Sumber: ATC-40 1996)

2.9.3. Performance Point

Performance point merupakan titik dimana kurva kapasitas berpotongan dengan kurva respon spektrum. Pada *performance point* dapat diperoleh informasi tentang periode struktur dan redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis. Berdasarkan informasi tersebut maka respons struktur lainnya seperti simpangan antar lantai dan lokasi sendi plastis dapat diketahui. Kurva penentuan titik kinerja dapat dilihat pada Gambar 2.9 sebagai berikut:



Gambar 2.9. Penentuan *performance point*.

Perhitungan kurva *demand spectrum* pada saat nilai damping 5% atau dalam keadaan elastis adalah sebagai berikut:

Untuk nilai $T < T_0$ maka S_a ditentukan dengan persamaan:

$$S_a = C_a$$

$$C_a = 0.4 \times S_{MS}$$

Untuk nilai $T_0 \leq T \leq T_s$ maka S_a sama dengan nilai S_{DS}

$$S_a = 2.5 \times C_a$$

Untuk nilai $T > T_s$ maka nilai S_a ditentukan dengan persamaan:

$$S_a = \frac{C_v}{T}$$

$$C_v = S_{M1}$$

2.10 Displacement Coefficient Method (DCM)

Displacement Coefficient Method (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t) sesuai dengan perumusan yang telah diatur dalam peraturan FEMA 356.

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e^2}{4\pi^2} \right) \cdot g \dots\dots\dots (2.29)$$

Keterangan:

δ_t	= Target perpindahan
C_0, C_1, C_2, C_3	= Faktor modifikasi
S_a	= <i>Spectral acceleration</i>
T_e	= Waktu getar alami efektif
g	= Percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)

Menentukan Faktor C_0 , C_1 , C_2 , C_3 :

- C_0 merupakan koefisien faktor bentuk yang digunakan untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan nilai dari Tabel 2.12 sebagai berikut:

Tabel 2.12. Nilai Faktor Modifikasi C_0

<i>Number of Stories</i>	<i>Shear Buildings</i>		<i>Other Buildings</i>
	<i>Triangular Load Pattern</i>	<i>Uniform Load Pattern</i>	<i>Any Load Pattern</i>
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

(Sumber: FEMA 356)

- C_1 merupakan faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier. Nilai C_1 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_1 = 1.0 \text{ untuk } T_e > T_s$$

$$C_1 = \frac{(1+(R-1) \cdot \frac{T_s}{T_e})}{R} \text{ untuk } T_e < T_s$$

$$\text{Dengan } R = \frac{S_a}{V_y/W} C_m$$

Keterangan:

- R = rasio kuat elastic perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung
- T_s = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan
- S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau
- V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinier.
- W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi
- C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 FEMA 356

- C_2 merupakan faktor untuk memperhitungkan efek *pinching* dari hubungan deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan. Faktor modifikasi C_2 diambil dari Tabel 2.13 sebagai berikut:

Tabel 2.13. Nilai Faktor Modifikasi C_2

Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}$		$T \geq T_s \text{ second}$	
	Framing Type 1	Framing Type 2	Framing Type 1	Framing Type 2
<i>Immediate Occupancy</i>	1.0	1.0	1.0	1.0
<i>Life Safety</i>	1.3	1.0	1.1	1.0
<i>Collapse Prevention</i>	1.5	1.0	1.2	1.0

(Sumber: FEMA 356)

- C_3 merupakan koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek *P-delta*. Apabila perilaku pasca lelehnya adalah positif nilai $C_3 = 1.0$, dan apabila perilaku pasca lelehnya adalah negatif nilai C_3 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha| (R-1)^{3/2}}{T_e}$$

Dengan:

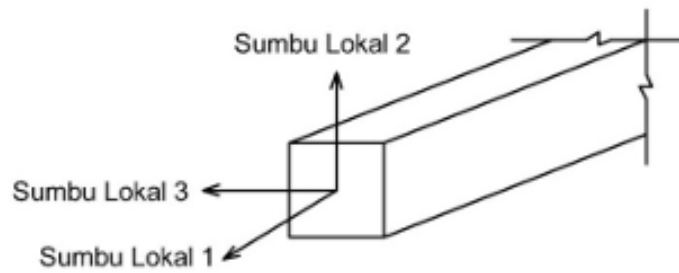
α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gaya lendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear

2.11 Sendi Plastis

Struktur gedung jika menerima beban gempa pada tingkatan/kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (*hinge*) pada elemen struktur. Sendi plastis adalah bentuk ketidakmampuan elemen struktur untuk memikul gaya dalam. Perencanaan sebuah bangunan harus disesuaikan dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Jika kemudian terjadi sebuah keruntuhan struktur, maka yang mengalami keruntuhan adalah baloknya dahulu sehingga dapat mengurangi dampak beban gempa terhadap bangunan.

2.11.1. *Hinge Properties* Balok

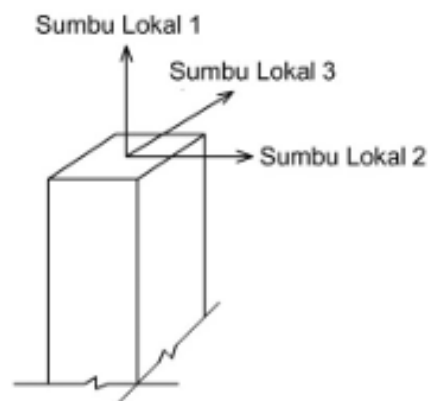
Hinge properties diinput pada penampang daerah tumpuan balok yakni tempat dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Penampang balok masing masing dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang berarti sendi plastis hanya boleh terjadi akibat momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Posisi sumbu lokal balok struktur.

2.11.2. *Hinge Properties* Kolom

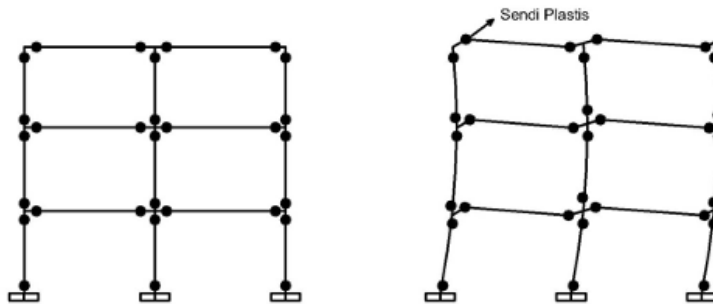
Hinge properties untuk kolom adalah model P-M2-M3, yang dapat diartikan bahwa sendi plastis timbul karena interaksi gaya aksial (P) serta momen (M) sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam penelitian ini setiap kolom pada struktur yang ditinjau mempunyai momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, Keadaan ini disebabkan karena bentuk dimensi kolom serta tulangan yang tersebar secara merata pada keempat sisi kolom. Posisi sumbu lokal 2 serta sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Posisi sumbu lokal kolom struktur.

2.11.3. Penentuan Letak Sumbu Plastis

Setelah define data hinge propertis balok serta kolom, selanjutnya yakni menentukan letak timbulnya sendi plastis yang diharapkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, serta posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Posisi keduanya terletak di permukaan kolom. Begitu juga dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini letaknya di tepi permukaan balok.



Gambar 2.12. Sendi plastis pada balok dan kolom.

2.12 Kriteria Kinerja Struktur Bangunan Tahan Gempa

Dalam menentukan kinerja struktur bangunan, ada beberapa peraturan seperti *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building* (ATC-40) dan *Federal Emergency Management Agency* (FEMA-356).

Prosedur analisis *pushover* yang sesuai dengan konsep perencanaan berbasis kinerja telah diatur di dalam ATC-40 dan FEMA-356. Kedua peraturan tersebut mempunyai perbedaan metode ATC-40 menggunakan *capacity spektrum method*, sedangkan FEMA-356 menggunakan *displacement coefficient method*.

1. ATC-40

Berdasarkan ATC-40 (1996), kriteria-kriteria kinerja struktur bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut:

a. *Immediate Occupancy (IO)*

Elemen struktural tidak mengalami kerusakan dan elemen non-struktural mengalami kerusakan minimum. Kondisi struktur masih sama seperti sebelum adanya gempa sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai. Ancaman adanya korban jiwa nyaris nol.

b. *Damage Control*

Kondisi ini tidak termasuk dalam tingkat kinerja struktur, tetapi kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam rentang antara IO dan LS.

c. *Life Safety (LS)*

Komponen struktural dan non-struktural bangunan mengalami kerusakan yang cukup serius akan tetapi struktur masih dapat menahan beban gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Namun perbaikan diperlukan sebelum kembali dioperasikan, sehingga mengakibatkan kerugian pada waktu dan materi. Bangunan dapat digunakan kembali pada jika sudah dilakukan perbaikan. Ancaman adanya korban jiwa cukup kecil.

d. *Limited Safety*

Kondisi ini bukanlah tingkat kinerja dari struktur, tetapi kondisi yang menjelaskan bahwa setelah terjadinya gempa, kerusakan yang terjadi berada dalam rentang antara LS dan CP.

e. *Structural Stability/Collapse Prevention (CP)*

Kategori ini merupakan batas yang menunjukkan struktur sudah mengalami kerusakan parah. Ancaman terjadinya korban jiwa mungkin cukup tinggi dikarenakan kerusakan elemen-elemen struktural dan non struktural. Struktur tidak mampu lagi menahan beban lateral.

f. *Not Considered*

Pada level ini, struktur bangunan sudah berada pada kondisi runtuh, sehingga hanya bisa dilakukan evaluasi struktur dan bangunan tidak dapat dipakai lagi.

Menurut ATC-40 (1996), batasan rasio *drift* untuk menentukan level kinerja suatu struktur gedung dapat dilihat pada Tabel 2.14 sebagai berikut:

Tabel 2.14. Batasan Rasio *Drift*

Parameter	Performance Level			
	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maksimum Total <i>Drift</i>	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total Inelastik <i>Drift</i>	0,005	0,005 s.d 0,015	No Limit	No Limit

(Sumber: ATC-40 1996)

2. FEMA 356

FEMA 356 adalah panduan yang diterbitkan oleh *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) di Amerika Serikat yang membahas tentang penilaian kinerja bangunan terhadap gempa bumi. Panduan ini memberikan kerangka kerja untuk mengevaluasi performa struktural bangunan saat terjadi gempa. Kriteria kinerja dalam FEMA 356 mengacu pada serangkaian parameter yang digunakan untuk menilai sejauh mana suatu bangunan dapat bertahan dan berfungsi dengan baik selama gempa bumi. Berdasarkan (FEMA 356, 2000), kriteria-kriteria kinerja struktur bangunan tahan gempa dapat dilihat pada Tabel 2.15 sebagai berikut:

Tabel 2.15. Kriteria Kinerja Struktur menurut FEMA 356

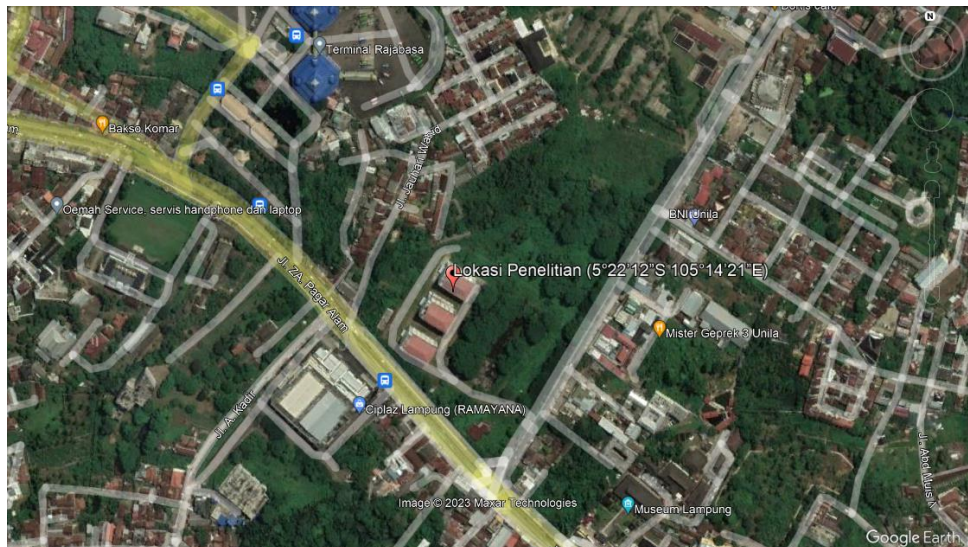
Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>Operational</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural maupun non struktural. Secara spesifik Hal ini ditandai dengan tidak ada pergeseran permanen pada bangunan sebagian besar struktur dapat mempertahankan kekuatan dan kekakuan nya sedikit retak serta Semua sistem penting pada gedung dapat beroperasi dengan normal	-
<i>Immediate Occupancy</i>	Bangunan tidak ada kerusakan yang berarti pada komponen struktural kekuatan-kekuatan gedung masih sama dengan kondisi sebelum struktur dilanda gempa. Pada komponen non struktural peralatan dan isi gedung umumnya masih aman tetapi operasional tidak dapat bekerja karena kegagalan mekanik atau kurangnya utilitas	Rumah sakit, gudang bahan bakar/bahan berbahaya, dll.
<i>Life Safety</i>	Dalam kategori ini berarti penggunaan pasca gempa terjadi beberapa kerusakan komponen struktur dan kekuatan serta kekuatan berkurang. Struktur masih mempunyai kekuatan cukup untuk memikul beban-beban yang terjadi pada ambang keruntuhan komponen struktural masih ada tetapi tidak dapat berfungsi dan dapat digunakan kembali apabila telah dilakukan perbaikan	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, Gudang, dll

(Sumber: FEMA 356)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

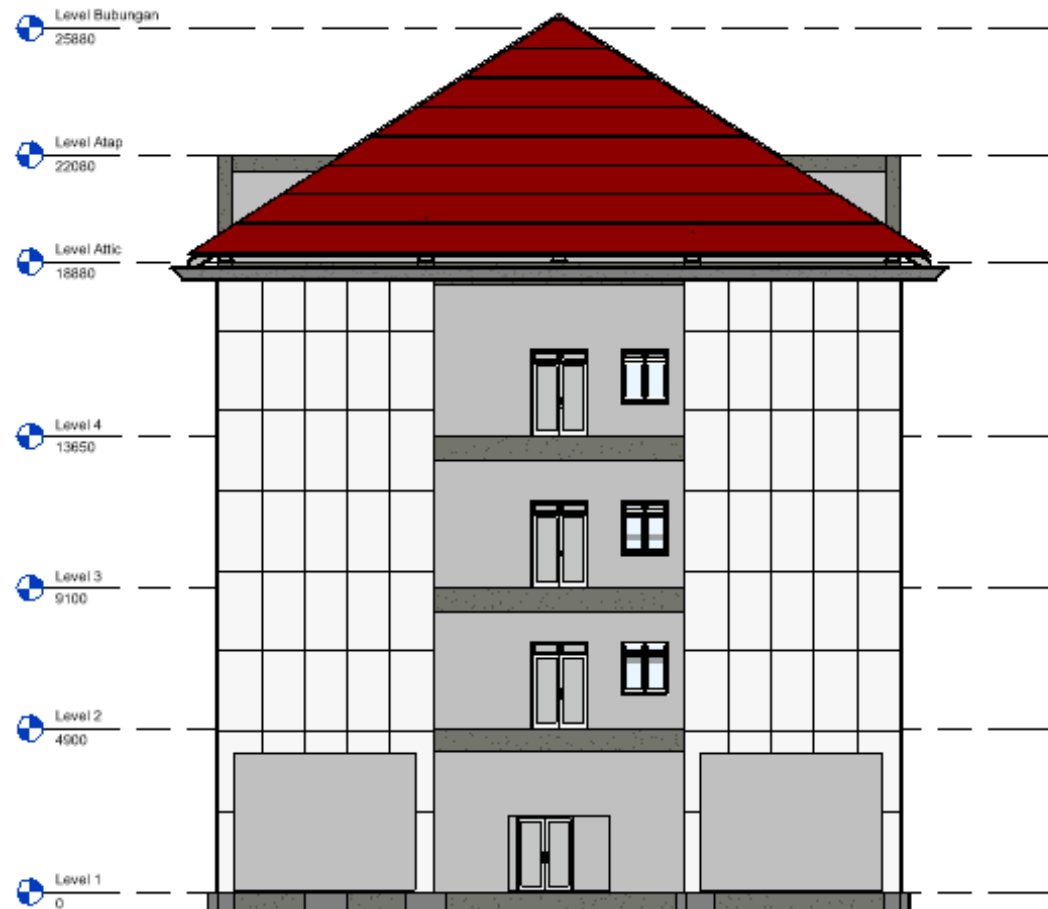
Objek penelitian atau data-data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung yang terletak di Jalan Prof. Dr. Ir. Soemantri Brojonegoro No. 1, Kota Bandar Lampung dengan koordinat 5°22'12"S 105°14'21"E.



Gambar 3.1. Lokasi objek penelitian.
(Sumber: Google Earth Pro, 2023)

3.2 Data Penelitian

Adapun gambar tampak depan, gambar tampak samping kiri, gambar tampak samping kanan, dan gambar tampak belakang gedung yang termasuk dalam data penelitian disajikan pada Gambar 3.2 - Gambar 3.5.



Gambar 3.2. Tampak depan gedung.



Gambar 3.3. Tampak kanan gedung.



Gambar 3.4. Tampak kiri gedung.



Gambar 3.5. Tampak belakang gedung.

Berikut adalah data–data penelitian pada Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung

3.2.1. Luas Bangunan

Luas bangunan pada Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung adalah $\pm 3.200 \text{ m}^2$. Struktur terdiri dari 4 lantai dengan luas per lantai adalah sebagai berikut:

- a) Luas Lantai 1 : $\pm 760 \text{ m}^2$
- b) Luas Lantai 2 : $\pm 760 \text{ m}^2$
- c) Luas Lantai 3 : $\pm 760 \text{ m}^2$
- d) Luas Lantai 4 : $\pm 760 \text{ m}^2$
- e) Luas Lantai Attic : $\pm 80 \text{ m}^2$
- f) Luas Lantai Atap : $\pm 80 \text{ m}^2$

3.2.2. Elevasi Bangunan

Data elevasi Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Elevasi Bangunan

No.	Lantai	Elevasi Tiap Lantai (m)	Tinggi Bangunan (m)	Tebal Lantai (mm)
1	Lantai 1	+ 0,00	4,90	120
2	Lantai 2	+ 4,90	4,20	120
3	Lantai 3	+ 9,10	4,55	120
4	Lantai 4	+ 13,65	5,23	120
5	Lantai Attic	+ 18,88	3,20	150
6	Lantai Atap	+ 22,08	-	120

3.2.3. Balok

Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung terdiri dari dua struktur balok yaitu balok anak dan balok induk dengan dimensi yang berbeda-beda. Detail ketiga jenis balok tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Detail *Tie Beam*, Balok, dan *Ring* Balok

Balok	Dimensi (mm)		Tul. Lentur Tumpuan			Tul. Lentur Lapangan			Sengkang (mm)	
	B	H	Atas	Bawah	Pinggang	Atas	Bawah	Pinggang	Tumpuan	Lapangan
Detail Balok Lantai 2										
G1	350	700	8D19	5D19	2D13	4D19	6D19	2D13	D13-125	D13-150
G2	350	700	5D19	4D19	2D13	4D19	5D19	2D13	D10-125	D10-150
G3	250	500	6D19	5D19	2D10	4D19	6D19	2D10	D13-100	D13-130
G4	250	500	6D16	4D16	2D10	4D16	6D16	2D10	D10-150	D10-200
G5	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-200
B1	250	500	6D16	4D16	2D10	4D16	6D16	2D10	D10-125	D10-175
B2	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-200
B3	200	400	4D19	2D19	-	2D19	4D19	-	D10-150	D10-200
Detail Balok Lantai 3										
G1	350	700	6D19	5D19	2D13	4D19	6D19	2D13	D13-125	D13-150
G2	350	700	5D19	4D19	2D13	4D19	5D19	2D13	D10-125	D10-150
G3	250	500	6D19	3D19	2D10	3D19	4D19	2D10	D13-100	D13-130
G4	250	500	5D16	3D16	2D10	4D16	5D16	2D10	D10-150	D10-200
G5	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-175
B1	250	500	5D16	3D16	2D10	3D16	4D16	2D10	D10-125	D10-175
B2	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-175
B3	200	400	4D19	2D19	-	2D19	2D19	-	D10-150	D10-200

Tabel 3.2. (Lanjutan)

Balok	Dimensi (mm)		Tul. Lentur Tumpuan			Tul. Lentur Lapangan			Sengkang (mm)	
	B	H	Atas	Bawah	Pinggang	Atas	Bawah	Pinggang	Tumpuan	Lapangan
Detail Balok Lantai 4										
G1	350	700	6D19	5D19	2D13	4D19	6D19	2D13	D13-125	D13-150
G2	350	700	5D19	4D19	2D13	4D19	5D19	2D13	D10-125	D10-150
G3	250	500	6D19	4D19	2D10	3D19	5D19	2D10	D13-100	D13-130
G4	250	500	6D16	4D16	2D10	4D16	5D16	2D10	D10-150	D10-200
G5	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-175
B1	250	500	6D16	3D16	2D10	3D16	4D16	2D10	D10-125	D10-175
B2	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-175
B3	200	400	5D16	3D19	-	5D16	4D16	-	D10-150	D10-200
Detail Balok Lantai Attic										
G1	350	700	9D19	6D19	2D13	4D19	7D19	2D13	D13-125	D13-150
G2	350	700	4D19	3D19	2D13	4D19	4D19	2D13	D10-125	D10-150
G3	250	500	6D22	3D22	2D10	3D22	4D22	2D10	D13-100	D13-125
G4	250	500	3D16	4D16	2D10	4D16	5D16	2D10	D10-150	D10-200
G5	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-175
G6	200	400	5D16	3D16	-	5D16	4D16	-	D10-100	D10-125
B1	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-175
Detail Ring Balok										
G1	350	700	5D16	4D16	2D13	4D16	5D16	2D13	D10-125	D10-150
G2	250	500	2D16	3D16	2D10	3D16	4D16	2D10	D10-150	D10-200
G3	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-200
B1	200	400	3D16	2D16	-	2D16	3D16	-	D10-150	D10-200

3.2.4. Kolom

Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung menggunakan kolom persegi dengan ukuran yang berbeda-beda. Tiap kolom diberi indeks K dengan mutu beton K300. Detail kolom dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Detail Kolom

Kolom	Dimensi (mm)		Lantai	Tulangan Memanjang	Sengkang (mm)	
	B	H			Tumpuan	Lapangan
K1	450	450	Lt. 1-3	20D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	12D16	D10-150	D10-200
			Lt. 1	32D22	D10-150	D10-200
K2	450	450	Lt. 2-3	20D19	D10-150	D10-200
			Lt. 4	12D16	D10-150	D10-200
K3	450	450	Lt. 1-4	18D16	D10-150	D10-200
			Lt. Attic	14D16	D10-150	D10-200
K4	450	450	Lt. 1-3	26D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	12D16	D10-150	D10-200
K5	450	450	Lt. 1-3	32D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	12D16	D10-150	D10-200
K6	450	450	Lt. 1-3	24D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	16D16	D13-125	D13-150
K7	450	450	Lt. 1-3	26D19	D10-150	D10-200
			Lt. 4	20D16	D13-125	D13-150
K8	400	450	Lt. 1-4	18D16	D10-150	D10-200
			Lt. Attic	14D16	D10-150	D10-200
K9	300	450	Lt. 1-4	20D16	D10-150	D10-200
			Lt. Attic	16D16	D13-125	D13-150
K10	400	450	Lt. 1-4	24D19	D10-150	D10-200
			Lt. Attic	16D19	D13-125	D13-150
K11	400	450	Lt. 1-4	22D19	D10-150	D10-200
			Lt. Attic	10D16	D10-150	D10-200
K12	400	450	Lt. 1	24D22	D10-150	D10-200
			Lt. 2-3	20D19	D10-150	D10-200
			Lt. 4	10D16	D10-150	D10-200
K13	400	450	Lt. 1	24D19	D10-150	D10-200
			Lt. 2-3	16D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	10D16	D10-150	D10-200
K14	400	450	Lt. 1-3	16D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	10D16	D10-150	D10-200
K15	200	400	Lt. 1-3	12D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	8D16	D10-150	D10-200
K16	200	400	Lt. 1-3	8D16	D10-150	D10-200

3.2.5. Pelat

Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung menggunakan pelat dengan tebal 120 mm untuk lantai 1-4 dan lantai atap serta tebal 150 mm untuk lantai attic. Tulangan yang digunakan adalah D10-200 mm untuk arah X dan arah Y.

3.2.6. *Shear Wall*

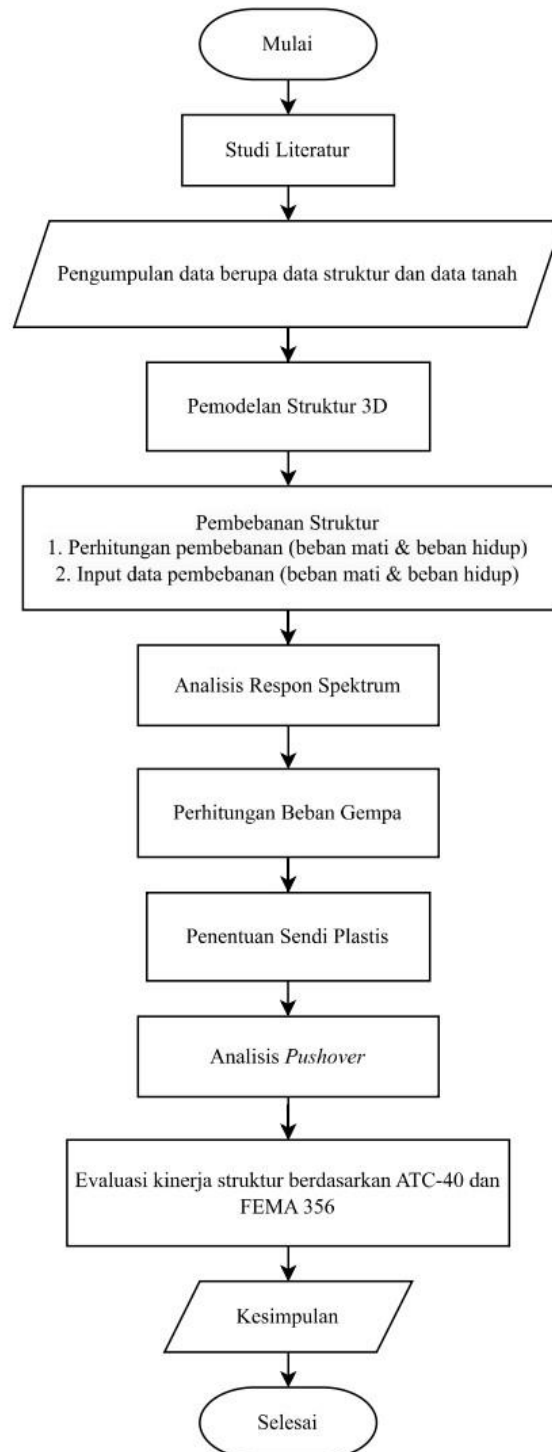
Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung menggunakan *shear wall* untuk menahan beban-beban lateral. Mutu beton yang digunakan yaitu K300 dengan tebal 250 mm. Detail *shear wall* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Detail *Shear Wall*

Tipe	Lantai	Tul. Lentur (Vertikal)	Tul. Geser (Horizontal)	Tul. Geser Ver/Hor	Tul. Batas
SW1	Lt. 1	D22-150	D10-100	D10-200/300	D10-100
	Lt. 2	D19-200	D10-125	D10-250/400	D10-125
	Lt. 3	D19-200	D10-200	D10-400/400	D10-200
SW2	Lt. 1	D22-150	D10-100	D10-200/300	D10-100
	Lt. 2	D19-150	D10-100	D10-200/300	D10-100
SW3	Lt. 1	D22-150	D10-100	D10-200/300	D10-100
	Lt. 2	D19-150	D10-100	D10-200/300	D10-100

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir terkait tahap-tahap yang dilakukan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Diagram alir penelitian.

3.4 Tahapan Analisis

3.4.1. Studi Literatur

Studi Literatur dari jurnal jurnal dan buku-buku yang berhubungan dengan penelitian khususnya analisis respon spektrum dan analisis *pushover*. Buku acuan yang akan dipakai yaitu SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dan non Gedung, SNI 1727:2019 tentang Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung, *Applied Technology Council for Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume-1* (ATC-40), *Federal Emergency Management Agency* (FEMA-356) dan jurnal-jurnal yang membahas mengenai metode analisis respon spektrum dan analisis *pushover*.

3.4.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data mengenai bangunan Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung yang akan di teliti, baik data primer maupun data sekunder. Data yang di dapat berupa *as built drawing* dan data tanah bangunan Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. *As built drawing* nantinya akan digunakan untuk pemodelan 3D struktur bangunan tersebut.

3.4.3. Pemodelan 3D

Pemodelan struktur bangunan dengan pemodelan 3D harus sesuai dengan data *as built drawing* Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. Seluruh balok, kolom, pelat lantai, dan semua tulangan dimodelkan pada program analisis struktur komersial dengan spesifikasi yang ada pada *as built drawing*.

3.4.4. Pembebanan Struktur

Melakukan perhitungan dan mendefenisikan pada *software* beban-beban yang bekerja pada struktur, berupa beban mati, beban hidup dan beban mati tambahan. Pembebanan dilakukan sesuai dengan SNI 1727:2019 tentang Pembebanan Minimum Gedung dan Non Gedung.

3.4.5. Analisis Respon Spektrum

Model struktur yang telah dibuat kemudian dianalisis dengan respon spektrum sesuai data respon spektrum gempa di Bandar Lampung. Data respon spektrum didapat dari *website* Kementerian PUPR (<https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>) dengan memasukkan koordinat lokasi dari Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung. Data respon spektrum kemudian didefinisikan pada program analisis struktur komersial untuk mendapatkan kurva spektrum respon desain.

3.4.6. Perhitungan Beban Gempa

Dalam menganalisis elemen struktur bangunan yang ditinjau, beban gempa dianggap sebagai beban statik ekivalen di setiap lantainya. Prosedur untuk mendapatkan distribusi gaya lateral di setiap lantai adalah sebagai berikut:

- 1) Perhitungan rasio partisipasi massa
- 2) Perhitungan periode fundamental
- 3) Perhitungan distribusi gaya geser lateral gempa

3.4.7. Penentuan Sendi Plastis

Pemasukan data sendi plastis diharapkan agar terjadi sendi plastis pada balok induk dan kolom. Untuk balok dikenakan beban momen arah sumbu lokal 3 (M3) dan kolom dikenakan beban aksial dan momen pada sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 (P-M2-M3).

3.4.8. Analisis *Pushover*

Pada analisis *pushover* dibuat dua macam pembebanan yaitu pembebanan akibat gravitasi dan pembebanan akibat beban lateral. Dalam analisis beban gravitasi digunakan beban mati dan beban hidup dengan koefisien masing masing 1 (dianggap analisis tanpa dipengaruhi koefisien apapun). Sedangkan pola beban lateral diwakili dengan gaya inersia akibat gempa pada tiap lantai. Pada analisis *pushover* untuk beban gravitasi diberi nama *Gravity*, sedangkan untuk beban lateral akibat gempa diberi nama *Push*.

3.4.9. Analisis Kinerja Struktur

Setelah dilakukan analisis *pushover*, didapatkan kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat terkena gaya geser pada level tertentu. Selain itu, didapat juga kurva respon spektrum dan diagram leleh sendi plastis. Selanjutnya agar mendapatkan *performance point* respon spektrum dengan kurva kapasitas diplotkan dalam format ADRS. Proses ini dilakukan menggunakan program analisis struktur komersial.

3.4.10. Pembahasan Hasil Analisis *Pushover*

Dari *performance point* didapatkan nilai *displacement* efektif gaya geser dasar, waktu getar efektif dan damping efektif. Dari nilai *displacement* akan diketahui kriteria level kinerja struktur kemudian dibandingkan berdasarkan FEMA-356 dan ATC-40.

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, maka didapat kinerja struktur pada gedung tersebut serta pola keruntuhan dengan cara penelusuran ulang setelah proses analisis pada bangunan Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung ini selesai dijalankan.

3.5 Penelitian Terdahulu

Hasil dari penelitian-penelitian terdahulu yang membahas mengenai analisis *pushover* dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut:

Tabel 3.5. Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis, Tahun, Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
1.	Prasetya (2019), Analisis Level Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Menggunakan Metode <i>Pushover</i> Berdasarkan SNI 1726:2019 Studi Kasus: Gedung Graha Wiyata Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya	Metode Analisis <i>Pushover</i> dengan peraturan ATC-40, FEMA-356, dan FEMA- 440	• Dari hasil Analisis peraturan ATC-40, FEMA-356, dan FEMA-440 dapat diketahui <i>Drift</i> Analisis <i>pushover</i> didapatkan nilai perpindahan maksimum total <i>Drift</i> yang terjadi arah X dan Y mempunyai nilai lebih kecil dari 0,01. Sehingga dikategorikan kondisi IO (<i>Immediate Occupancy</i>). • Untuk ATC-40 untuk arah x sebesar 0,276 m dan untuk arah y sebesar 0,106 m. • Untuk FEMA-356 untuk arah x sebesar 0,309 m untuk arah x sebesar 0,179 m. • Untuk FEMA-440 untuk arah x sebesar 0,303 m dan untuk arah y sebesar 0,194 m. • Dari hasil analisis tersebut masih dikatakan aman karena nilai kurang dari target perpindahan maksimum sebesar 0,39 m. • Maksimum total <i>Drift</i> untuk ATC-40 didapatkan nilai maksimum untuk arah x sebesar 0,007 m dan untuk arah y sebesar 0,0027 m. • Maksimum total <i>Drift</i> untuk FEMA 356 didapatkan nilai maksimum untuk arah x sebesar 0,003 m dan untuk arah y sebesar 0,002 m.

Tabel 3.5. (Lanjutan)

No	Nama Penulis, Tahun, Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
			• Maksimum total <i>Drift</i> untuk FEMA-440 didapatkan nilai maksimum untuk arah x sebesar 0,005 m dan untuk arah y sebesar 0,002 m.
2.	Suprpto & Sudarto (2009), <i>Evaluation of Performance of Asymmetrically Dual System Structures using Pushover and Time History Analysis</i>	Metode analisis <i>Pushover</i> dan Analisis <i>Time History</i> Dengan peraturan FEMA-356, FEMA-440 dan ATC-40	• <i>Performance point</i> yang dihitung berdasarkan FEMA 356, FEMA 440, dan SNI 03-1726-2002 struktur gedung yang didesain masih memiliki taraf kinerja <i>Life Safety</i>. • Evaluasi kinerja berdasarkan ATC-40 level kinerja struktur gedung yang direncanakan tergolong IO (<i>Immediate Occupancy</i>). • Hasil analisa <i>pushover</i> menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis hanya terjadi pada ujung-ujung balok dan kaki kolom. Hal ini sesuai dengan konsep “Kolom kuat – Balok lemah”. • Gedung yang didesain sudah memenuhi syarat kinerja sesuai FEMA 356, FEMA 440, dan ATC-40 karena gedung didesain sebagai gedung perkantoran.
3.	Suwandi (2019) Analisis Gempa <i>Non Linear Static Pushover</i> dengan Metode ATC-40 untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung	Metode analisis <i>pushover</i> dengan peraturan ATC-40	• Tingkat kinerja struktur bangunan R.S. Indriyati Solo Baru berada pada level <i>Immediate Occupancy</i> (IO) dimana pada level ini tidak terjadi kerusakan struktur dan dapat segera untuk digunakan kembali sesuai fungsinya.

Tabel 3.5. (Lanjutan)

No	Nama Penulis, Tahun, Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
			• Pada arah X-Y menunjukkan bahwa analisis berhenti pada step 9, dengan target perpindahan $\delta T = 0,544$ m terlihat pada step 5 dimana perpindahan mencapai $0,477 > \delta T$. • Sebagian sendi plastis elemen balok dan kolom mencapai tahap leleh pertama dengan perilaku <i>nonlinear</i> pada level <i>Immediate Occupancy</i> (IO). Pada kondisi tersebut, terdapat 15532 sendi plastis ditingkat <i>Origin Point</i> (A), 1258 sendi plastis di tingkat <i>Immediate Occupancy</i> (IO), 76 sendi plastis ditingkat <i>Life safety</i> (LS), dan 49 sendi plastis ditingkat <i>Collapse Prevention</i> (CP) yang artinya mengalami kerusakan struktural yang cukup berat, tetapi belum runtuh. Sendi plastis muncul hampir diseluruh elemen balok dan kolom dengan sifat <i>in-elastic</i>. Pada level ini bangunan menimbulkan bahaya yang signifikan. Tetapi hal ini sesuai dengan konsep “kolom kuat – balok lemah” (<i>strong column - weak beam</i>).
4.	Riswandi et al. (2021), Analisis Kinerja Struktur Gedung Sekolah 4 Lantai dengan Metode <i>Pushover</i>	Metode analisis <i>pushover</i> dengan peraturan ATC-40.	• Nilai <i>displacement inelastic</i> adalah 0,0949 m (arah X) dan 0,0366 m (arah Y). <i>Displacement inelastic</i> pada gedung tidak melampaui <i>displacement</i> maksimal yang ditentukan oleh ATC-60 (1996). Batasan yang ditentukan ATC-40 pada arah X sebesar 0,00593 dan arah Y sebesar 0,01.

Tabel 3.5. (Lanjutan)

No	Nama Penulis, Tahun, Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian
			Dengan <i>output displacement inelastic</i> dan batas ATC-40, maka gedung termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO). Artinya bahwa bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi, sehingga aman dan dapat langsung dipakai kembali.
5.	Arjakoni & Lutfi (2012), Evaluasi Kinerja Seismik pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan Metode Analisis <i>Pushover</i> Berdasarkan ATC-40.	Metode analisis <i>pushover</i> dengan peraturan ATC-40.	Berdasarkan batasan rasio <i>Drift</i> atap berdasarkan ATC-40 hasil menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja <i>Immediate Occupancy</i> (IO), hal ini berarti bahwa bila terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan non struktural sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang dilakukan pada Gedung 6 Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *displacement* pada *performance point* menggunakan *Capacity Spectrum Method* berdasarkan peraturan ATC-40 pada arah x adalah sebesar 112,017 mm dan pada arah y sebesar 73,958 mm. Sedangkan nilai *displacement* pada target perpindahan dengan menggunakan *Displacement Coefficient Method* berdasarkan peraturan FEMA-356 pada arah x adalah sebesar 139,780 mm dan pada arah y adalah sebesar 112,399 mm. Nilai *displacement* gedung berdasarkan perencanaanya dengan konsep struktur ideal dapat dikatakan baik karena *displacement* yang terbentuk $< displacement\ limit\ (control)$ yang ditentukan, yaitu sebesar $1\%H = 1\% \times 22080\ mm = 220,8\ mm$.
2. Titik performa (*performance point*) dengan menggunakan *Capacity Spectrum Method* berdasarkan peraturan ATC-40 nilai S_a ; S_d pada arah x didapat pada titik (0,680 ; 0,073) dan pada arah y pada titik (0,630 ; 0,031).
3. Level kinerja struktur gedung berdasarkan peraturan ATC-40 dengan *Capacity Spectrum Method* didapatkan maksimal total *drift* pada arah x adalah sebesar 0,005073 dan untuk arah Y adalah 0,003350. Berdasarkan peraturan FEMA-356 dengan menggunakan *Displacement Coefficient Method* didapatkan titik kinerja struktur untuk arah X adalah sebesar 0,006331 dan untuk arah Y adalah sebesar 0,005091. Dari hasil analisis kinerja struktur menggunakan ATC-40 dan FEMA-356 Gedung 6 Rumah

Sakit Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung termasuk ke dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO) sehingga level kinerja struktur gedung adalah *Immediate Occupancy* (IO).

4. Dapat dilihat dari distribusi sendi plastisnya, sendi plastis yang terjadi pada struktur terbentuk pada elemen balok terlebih dahulu dibandingkan kolom karena penggunaan kolom yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa struktur gedung ini pada kondisi eksisting memenuhi konsep keruntuhan ideal (*strong column-weak beam*).

5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran antara lain:

1. Analisis *pushover* perlu dicoba untuk mengevaluasi gedung-gedung tinggi lainnya di Lampung dengan tujuan mengkaji perilaku seismik serta mengetahui level kinerja strukturnya.
2. Penentuan kategori kinerja dapat dicoba menggunakan aturan baru yaitu ATC-72 dan FEMA P-1026.
3. Perlunya pemahaman dan pembelajaran lebih lanjut dalam penggunaan program analisis struktur agar mempermudah untuk melakukan analisis struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Tecnology Council (ATC 40). 1999, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, USA: DC.
- Arjakoni, A. F., & Lutfi, M. (2012). *Evaluasi Kinerja Seismik Pada Struktur Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan Metode Analisis Pushover Berdasarkan ATC 40*. Jurnal Komposit, 4 (2).
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur (SNI 1727:2020)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Desain Spektra Indonesia. 2023. Spektrum Respon Desain. [online] <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id>. Diakses pada 11 Agustus 2023.
- Dewobroto, W. 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. Jurnal Teknik Sipil, 3 (1).
- Federal Emergency Management Agency. 2000, *Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building FEMA-356*, Washington, DC.
- Google Earth Pro. 2023. Lokasi Objek Penelitian. [online] <https://earth.google.com>. Diakses pada 23 Agustus 2022.
- Mudia, T. R., Bayzoni., Husni, H. R., & Isneini, M. 2023. *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat dengan Metode Analisis Riwayat Waktu (Studi Kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)*. JRSDD Edisi Juni 2023.
- Prasetya, M. A., Wirakusuma, I., & Sarya, G. 2022. *Analisis Level Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Menggunakan Metode Pushover Berdasarkan SNI 1726:2019*. Jurnal Extrapolasi, 19 (1).
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

- Suwandi, H. P. 2019. *Analisis Gempa Non-Linear Static Pushover dengan Metode ATC-40 untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung*. Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil, 1 (1).
- Suprpto, K., & Sudarto, S. 2009. *Evaluation of Performance of Asymmetrically Dual System Structures using Pushover and Time History Analysis*. ITS Journal of Civil Engineering, 29 (1).
- Sudarman, Manalip, H., Windah, R. S., & Dapas, S. O. 2014. *Analisis Pushover pada Struktur Gedung Bertingkat Tipe Podium*. Jurnal Sipil Statik, 2 (4).
- Riswandi, M., Hasan, M., Afifuddin, M., Putra, R., Maulana, M., & Bilqaini, G. R. 2021. *Performance assessment of building structures due to Pidie Jaya earthquake using pushover analysis*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1087 (1).