

**EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN
METODE RESPON SEKTRUM**

**(Studi Kasus: Gedung 5 Rumah Sakir Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri
(RSPTN) Universitas Lampung)**

Oleh

WIDYA LULU AMALIA SABILA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN METODE RESPON SEKTRUM

**(Studi Kasus: Gedung 5 Rumah Sakir Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri
(RSPTN) Universitas Lampung)**

Oleh

Widya Lulu Amalia Sabila

Tingginya tingkat terjadinya kerusakan pada bangunan dan infrastruktur akibat terjadinya gempa membuat perlu adanya peninjauan atau analisis terhadap perencanaan struktur tahan gempa. Mengingat pentingnya fungsi rumah sakit maka perlu diadakannya evaluasi kinerja struktur gedung terhadap beban gempa dengan standar terbaru terbaru untuk menentukan kelayakan struktur gedung. Tingkat keamanan gedung bertingkat tinggi dinilai sangat penting untuk diketahui sehingga dalam penelitian kali ini dilakukan studi kasus pada Gedung 5 RSPTN UNILA dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum. Analisis struktur dihitung menggunakan program analisis struktur komersial dalam model tiga dimensi bertujuan mengetahui apakah struktur aman atau tidak sesuai batas simpang antar tingkat dalam SNI 1726:2019. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan diketahui bahwa semakin besar percepatan maksimum gempa, maka nilai drift atau simpangan akan semakin besar juga pada struktur gedung. Simpangan yang terjadi pada struktur gedung memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin sesuai dengan SNI 1726:2019. Hasil simpangan pada Gedung 5 RSPTN UNILA diperoleh nilai pada arah X adalah 15.5850% dan arah Y adalah 19.3563% dari simpangan izin.

Kata kunci: kinerja struktur, gempa, analisis dinamik, respon spektrum.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF MULTI-STOREY BUILDING STRUCTURES WITH THE STUN RESPONSE METHOD

(Case Study: Building 5 Rumah Sakir Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) University of Lampung)

By

Widya Lulu Amalia Sabila

The high occurrence rate of damage to buildings and infrastructure due to earthquakes necessitates a review or analysis of earthquake-resistant structural planning. Considering the importance of the hospital's function, it is necessary to evaluate the performance of the building structure under seismic loads using the latest standards to determine the structural feasibility of the building. The safety level of high-rise buildings is considered crucial to be known, so in this study, a case study was conducted on Building 5 of RSPTN UNILA using the method of response spectrum dynamic analysis. The structural analysis was calculated using a commercial structural analysis program in a three-dimensional model to determine whether the structure is safe or not according to the inter-storey drift limits specified in SNI 1726:2019. Based on results of the analysis show that as the earthquake acceleration increases, the drift value in the building structure also increases. The story drift values obtained for the evaluated building are 15.5850% in the X direction and 19.3563% in the Y direction compared to the allowable drift. The story drift (Δ) occurring in the building structure satisfies the allowable story drift (Δ_a) requirements according to SNI 1726:2019.

Keywords: structure performance, earthquake, dynamic analysis, spectrum response.

Judul Skripsi : **EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN METODE RESPON SEKTRUM**
(Studi Kasus: Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung)

Nama Mahasiswa : **Widya Lulu Amalia Sabila**

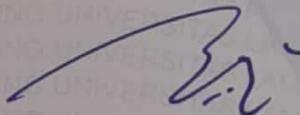
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011097

Program Studi : Teknik Sipil

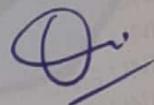
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

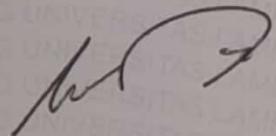


Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.
NIP 19740530 200012 2 001



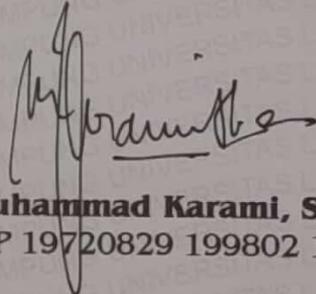
Bayzoni, S.T., M.T.
NIP 19730514 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

3. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

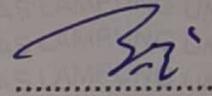


Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

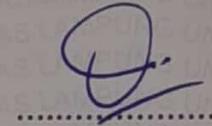
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

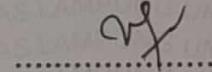
Ketua : **Hasti Riakara Husni, S.T., M.T.**



Sekretaris : **Bayzoni, S.T., M.T.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. 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 : **2 Agustus 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Widya Lulu Amalia Sabila

NPM : 1815011097

Prodi/jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pertanyaan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung,

2023



Widya Lulu Amalia Sabila

RIWAYAT HIDUP



Widya Lulu Amalia Sabila lahir pada tanggal 30 Maret 2000 di Kota Tangerang, Provinsi Banten. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan suami istri bernama Sunardi, dan Herleni. Pendidikan formal penulis dimulai tahun 2006 masuk Sekolah Dasar di SD Negeri Gebang Raya 1, Kota Tangerang dan lulus pada tahun 2012. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Tangerang, Kota Tangerang yang diselesaikan pada tahun 2015, lalu melanjutkan ke pendidikan menengah atas di SMA Negeri 4 Tangerang, penulis mengambil jurusan IPA dan selesai pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri, tepatnya di Universitas Lampung sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif melakukan beberapa kegiatan antara lain.

1. Menjadi anggota departemen kaderisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil pada periode 2019/2020
2. Menjadi anggota departemen penelitian dan pengembangan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil pada periode 2021
3. Melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Rehabilitasi Perkerasan Lentur Segmen Gate Institut Teknologi Sumatera pada tahun 2021
4. Melaksanakan kegiatan magang di CV. Bangun Indah Graha pada Proyek Pembangunan Hotel Yello Badar 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 2018

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Sipil

Tempat bernaung mengemban semua ilmu untuk menjadi bekal hidup.

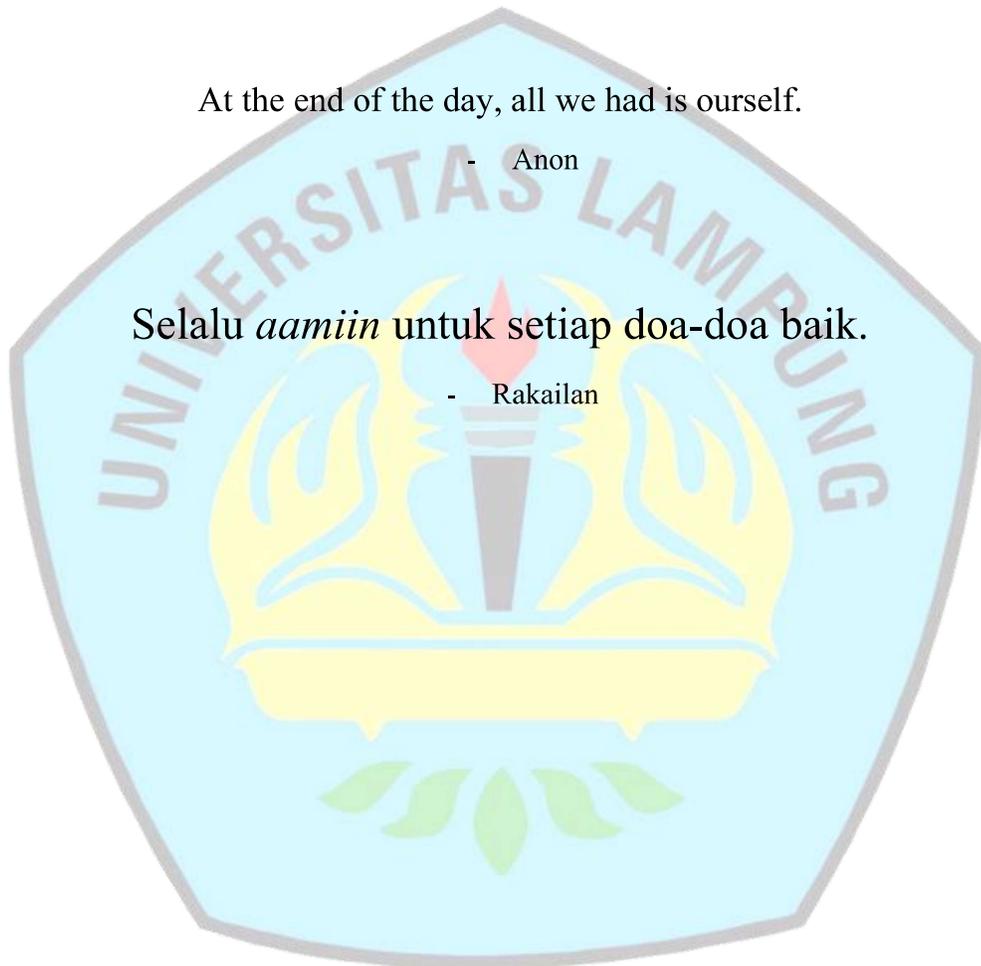
Motto

At the end of the day, all we had is ourself.

- Anon

Selalu *aamiin* untuk setiap doa-doa baik.

- Rakailan



SANWACANA

Puji Syukur penulis ucapkan karena dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Metode Respon Spektrum, Studi Kasus: Gedung 5 Rumah Sakir Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung

1. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penelitian ini.
5. Bapak Bayzoni, S.T.,M.T., selaku Pembimbing Kedua yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing penelitian ini.
6. Bapak Dr. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku Penguji yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam penelitian ini.
7. Ibu Yuda Romdania, S.T.,M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik saya.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan.
9. Keluarga tercinta terutama Mama yang telah mendidik dan mengajarkan hal-hal tentang kehidupan dan mengorbankan banyak hal untuk anak-anaknya maupun keluarganya, Papa yang telah bekerja keras tanpa kenal waktu untuk

memenuhi kebutuhan dan mengorbankan segalanya untuk keluarga, serta adik-adikku yang telah melengkapi isi rumah.

10. Diri sendiri yang sudah menjadi kuat dan berusaha bertahan sejauh ini. Terima kasih karena sudah tidak menyerah.
11. Anak Solehah (Aisyah, Aqila, Imel, Indun, Nurul, dan Tutia) yang sudah mewarnai hari-hari, membantu dan menemani berbagi suka dan duka.
12. Shafiraen, yang sudah menemani sedari jaman alay. Terima kasih sudah ada disana baik di saat senang maupun duka. Terima kasih sudah bersedia menghadapi semua kegilaan dan masih ada sampai sekarang.
13. Orang-orang yang telah datang, yang telah pergi, maupun yang datang dan pergi. Terima kasih sudah sempat hadir dan berbagi tawa dan memberikan banyak pengalaman, kenangan sekaligus pelajaran untuk perjalanan hidup ini.
14. Terimakasih juga kepada keluargaku, rekan seperjuangan ku, Angkatan 2018 Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, kritikan, saran, serta doanya kepada saya selama ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari isi maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan ilmu baru dan membawa manfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung,

2023

Penulis,

Widya Lulu A. Sabila

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR TABEL	iii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Uraian Umum.....	6
2.2. Landasan Teori.....	9
2.2.1. Analisis Dinamik.....	9
2.2.2. Perencanaan Struktur Tahan Gempa.....	12
2.2.3. Sistem Struktur.....	14
2.2.4. Pembebanan Struktur	17
2.2.5. Aspek Gedung dan Tanah Terhadap Kegempaan.....	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1. Objek Penelitian	33
3.2. Data Penelitian	33
3.2.1. Luas Bangunan.....	35
3.2.2. Elevasi Bangunan.....	36
3.2.3. Balok	36
3.2.4. Kolom.....	37

3.2.5. Pelat.....	38
3.2.6. <i>Shear Wall</i>	38
3.3. Tahap Analisis.....	39
3.3.1. Studi Literatur	39
3.3.2. Pengumpulan Data	39
3.3.3. Perhitungan Pembebanan	39
3.3.4. Analisis Struktur Metode Respon Spektrum.....	40
3.3.5. Analisis dengan Program Analisis Struktur Komersial	40
3.3.6. Evaluasi Kinerja Struktur Menurut SNI 1726:2019.....	40
3.3.7. Diagram Alir Penelitian	41
IV. PEMBAHASAN.....	43
4.1. Tampak dan Pemodelan Struktur Gedung	43
4.2. Data Struktur Gedung	48
4.3. Pembebanan	49
4.4. Aspek Gedung dan Tanah Terhadap Kegempaan.....	50
4.5. Desain Respon Spektrum	50
4.6. Gaya Lateral Gempa	52
4.7. Gaya Reaksi Dasar	57
4.8. Hasil Analisis Akibat Beban Kombinasi.....	58
4.8.1. Hasil Analisis <i>Displacement</i> Akibat Beban Kombinasi	58
4.8.2. Hasil Analisis <i>Drift</i> Akibat Beban Kombinasi.....	60
4.8.3. Hasil Analisis <i>Base Shear</i> Akibat Beban Kombinasi	61
4.9. Evaluasi Kinerja Struktur Menurut SNI 1726:2019.....	61
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1. Kesimpulan	64
5.2. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Kestabilan Struktur Portal	8
2.2. Diagram Beban (P) - Waktu (t)	12
2.3. Sistem Dinding Penumpu	15
2.4. Sistem Rangka Gedung	15
2.5. Sistem Ganda	16
2.6. Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka	16
2.7. Sistem Rangka Pemikul Momen	17
2.8. Sistem Kolom Kantilever	17
2.9. Parameter Spektral Percepatan Gempa Untuk Periode 1 Detik (S1).....	24
2.10. Parameter Spektral Percepatan Gempa Periode Untuk Pendek 0,2 Detik (SS)	24
2.11. Peta Transisi Periode Panjang (TL) Wilayah Indonesia.....	24
2.12. Spektrum Respons Desain	30
2.13. Penentuan Simpangan Antar Tingkat	32
3.1. Denah Lokasi Objek Penelitian	34
3.2. Tampak Depan Gedung	35
3.3. Tampak Kiri Gedung	35
3.4. Tampak Kanan Gedung	36
3.5. Tampak Belakang Gedung	36
3.6. Diagram Alir Penelitian	42
4.1. Hasil Pemodelan Struktur pada Analisis Struktur Komersial	44
4.2. Denah Lantai 2.....	45
4.3. Denah Lantai 3.....	45
4.4. Denah Lantai 4.....	46
4.5. Denah Lantai <i>Attic</i>	46
4.6. Denah Lantai Atap.....	47

4.7. Tampak Depan Gedung	47
4.8. Tampak Kiri Gedung	48
4.9. Tampak Kanan Gedung	48
4.10. Tampak Belakang Gedung	49
4.11. Respon Spektrum Rancang	53
4.12. Nilai <i>Displacement</i> Arah X	60
4.13. Nilai <i>Displacement</i> Arah Y	60
4.14. Nilai <i>Drift</i> Arah X.....	61
4.15. Nilai <i>Drift</i> Arah Y.....	61
4.16. Simpangan Antar Tingkat Arah X.....	64
4.17. Simpangan Antar Tingkat Arah Y.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa.....	20
2.2. Faktor Keutamaan Gempa	21
2.3. Klasifikasi Situs	22
2.4. Kategor Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	23
2.5. Kategor Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	23
2.6. Koefisien Situs, F_a	25
2.7. Koefisien Situs, F_v	25
2.8. Faktor R , Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Seismik.....	26
2.9. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan X	28
2.10. Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung.....	31
2.11. Simpangan antar Tingkat Izin, $\Delta_a^{a,b}$	33
3.1. Data Elevasi Bangunan.....	37
3.2. Data <i>Tie Beam</i> , Balok, dan <i>Ring</i> Balok	37
3.3. Tabel Dimensi Kolom.....	38
3.4. Detail <i>Shear Wall</i>	39
4.1. Data Struktur Gedung	49
4.2. Klasifikasi Situs	51
4.3. Periode dan Percepatan Respon Spektrum Rancang	53
4.4. Berat Bangunan	57
4.5. Distribusi Gaya Lateral Gempa Arah X	57
4.6. Distribusi Gaya Lateral Gempa Arah Y	58
4.7. Gaya Reaksi Dasar Setelah Dikoreksi	59
4.8. <i>Output</i> Nilai <i>Displacement</i>	59
4.9. <i>Output</i> Nilai <i>Drift</i>	61

4.10. <i>Output</i> Nilai <i>Base Shear</i>	62
4.11. Gaya Geser Dasar Terkoreksi	62
4.12. Simpangan Antar Tingkat Izin.....	62
4.13. Kinerja Struktur Terhadap Beban Kombinasi yang Terjadi	63

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan peringkat kepadatan penduduk tertinggi keempat di seluruh dunia dengan total penduduk sebanyak 273.879.750 jiwa berdasarkan data Dukcapil Kemendagri pada tahun 2022. Badan Pusat Statistik Indonesia memperkirakan laju pertumbuhan penduduk Indonesia mencapai 1,17% pada tahun ini. Laju pertumbuhan jumlah penduduk tersebut akan terus bertambah setiap tahunnya di setiap kota di Indonesia terutama di kota-kota besar termasuk kota Bandar Lampung. Pertumbuhan penduduk ini sendiri mempunyai dampak positif maupun negatif dari berbagai sektor kehidupan, salah satunya pembangunan infrastruktur yang dituntut harus mampu mengimbangi laju pertumbuhan penduduk.

Salah satu dampak dari tingginya laju kebutuhan penduduk adalah meningkatnya kebutuhan pelayanan kesehatan yang bermutu dan merata, yang mampu mewujudkan kesehatan optimal. Pemenuhan infrastruktur kesehatan sendiri dinilai sebagai salah satu upaya promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitatif di bidang kesehatan itu sendiri. Pembangunan rumah sakit sebagai salah satu sarana kesehatan yang memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat memiliki peran yang cukup strategis dalam mempercepat peningkatan upaya kesehatan masyarakat. Menurut Undang-undang RI No. 44 tahun 2009, rumah sakit merupakan institusi kesehatan perorangan secara paripurna yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Oleh karena itu rumah sakit diharapkan untuk dapat memberikan pelayanan kesehatan yang bermutu sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Secara geografis, Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng dunia yakni *Eurasia*, *Indoaustralia*, dan *Pacific* yang termasuk kedalam wilayah dengan kerentanan tinggi terhadap gempa. Selain itu, Indonesia juga berada pada *Pacific Ring of Fire* yang merupakan jalur gunung api aktif di dunia yang sewaktu-waktu dapat meletus dan mendatangkan bencana. Maka dari itu, negara Indonesia sering dilanda bencana gempa bumi baik berskala kecil maupun besar.

Berdasarkan Badan Meteorologi dan Geofisika, gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Getaran ini yang nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan (Daniel L. Schodek, 1999). Gempa bumi tidak bisa ditebak kapan akan terjadi. Oleh karena itu, cara yang efektif untuk mengurangi resiko kerusakannya adalah dengan kesiapan akan terjadinya bencana itu sendiri, (Widodo, 2001)

Di Indonesia sendiri tingkat terjadinya bencana gempa bumi terbilang cukup tinggi. Tidak sedikit kerusakan seperti runtuhnya bangunan dan infrastruktur, rusaknya jembatan, keretakan jalan dan lain-lainnya yang terjadi akibat bencana gempa tersebut. Hal itu dikarenakan infrastruktur dan bangunan tidak dapat menopang struktur dengan baik saat terjadinya gempa. Oleh sebab itu, perlu adanya peninjauan atau analisis-analisis terhadap perencanaan struktur tahan gempa yang dikembangkan di Indonesia. Dalam hal ini, perencanaan komprehensif dan penilaian bangunan tahan gempa dengan mempertimbangkan gaya-gaya lateral akibat pembebanan yang terjadi menurut peraturan terbaru.

Mengingat pentingnya fungsi rumah sakit, maka perlu diadakannya evaluasi kinerja struktur gedung terhadap beban gempa dengan standar terbaru untuk menentukan

kelayakan struktur gedung. Evaluasi kinerja suatu struktur dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur gedung tersebut yang dinilai penting untuk mengevaluasi perilaku seismik struktur gedung setelah leleh (Yosafat Aji Pranata, 2006). Perancangan rumah sakit wajib mempunyai kekuatan dan ketahanan yang tinggi terhadap muatan eksternal, termasuk paparan beban seismik. Analisis struktur dinamik untuk desain seismik dapat memberikan pembagian gaya geser tingkat yang lebih tepat sepanjang tinggi gedung serta penilaian yang lebih akurat terkait gaya gempa yang bekerja pada struktur dibanding dengan analisis gempa statik ekuivalen.

Tingkat keamanan gedung bertingkat tinggi dinilai sangat penting untuk diketahui sehingga dalam penelitian kali ini dilakukan studi kasus pada Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. Gedung rumah sakit ini sendiri merupakan gedung dengan struktur beton bertulang dengan 4 lantai, 1 lantai *attic* dan 1 lantai dak atap.

Pada penelitian kali ini, penulis menggunakan metode penelitian analisis dinamik respon spektrum gempa rencana sebagai dasar untuk menentukan respon dari gedung yang ditinjau yaitu Gedung 5 RSPTN Universitas Lampung. Analisis respon spektrum dipakai untuk menentukan gaya geser tingkat nominal dinamik akibat pengaruh gempa rencana. Gaya-gaya internal dalam unsur struktur gedung didapat dari analisis 3 dimensi berdasarkan beban-beban gempa statik ekuivalen. Analisis dinamik respon spektrum dinilai lebih teliti dalam memberikan pembagian gaya geser antar tingkat pada bangunan sepanjang tinggi gedung dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana mengevaluasi struktur dengan analisis respon spektrum yang dilihat berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear*.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang.
2. Bangunan yang ditinjau merupakan bangunan simetris dengan 4 lantai, 1 lantai *attic*, dan 1 lantai dak atap.
3. Analisis yang dilakukan hanya pada bagian struktur atas gedung.
4. Dimensi struktur dan tulangan disesuaikan dengan desain perancang.
5. Pembebanan gedung mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
6. Peraturan pembebanan berdasarkan SNI 1727-2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung.
7. Peraturan gempa menggunakan SNI 1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
8. Peraturan analisis kapasitas struktur memakai SNI 2847-2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
9. Analisis struktur terhadap pengaruh beban gempa memakai analisis dinamik menggunakan metode analisis respon spektrum.
10. Analisis struktur ditinjau dalam 3 dimensi dengan menggunakan bantuan program analisis struktur komersial.
11. Analisis beban gempa yang dilakukan menggunakan analisis dinamik dengan metode respon spektrum.
12. 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 respon spektrum menurut SNI 1726:2019.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini memberi manfaat terhadap ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknik sipil.
2. Mengembangkan pengetahuan mengenai penggunaan salah satu program analisis struktur komersial.
3. Memberikan pemahaman tentang analisis gempa dinamik, terutama analisis respon spektrum.

II. TINJAUAN PUSTAKA

1.6. Uraian Umum

Menurut Arif Mustofa Nur (2010), gempa bumi adalah getaran asli bersumber di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi yang pecah dan bergeser dengan keras. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi, aktivitas gunung api, akibat meteor jatuh, longsor di bawah muka air laut, ledakan bom nuklir di bawah permukaan. Wilayah satu dengan yang lainnya memiliki karakteristik gempa bumi yang berbeda. Gempa bumi biasanya memiliki frekuensi tertentu, tergantung dari tatanan tektonik wilayah sekitarnya. Intensitas dan frekuensi gempa bumi secara teoritis dapat ditentukan dengan didasarkan atas data statistik gempa bumi yang pernah ada di wilayah tersebut.

Berdasarkan International Building Code (IBC) 2009, dalam perencanaan sistem bangunan tahan gempa untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, mengikuti ketentuan sebagai berikut:

- a. Tidak terjadi kerusakan sama sekali pada gempa kecil
- b. Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi tidak termasuk ke dalam kerusakan struktural.
- c. Diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan non-struktural pada gempa kuat, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.
- d. Sistem sprinkler untuk proteksi kebakaran dan tangga keluar harus tetap utuh.

Terjadinya gempa bumi dapat menyebabkan dampak buruk yaitu kerusakan pada struktur bangunan, terutama pada bangunan bertingkat tinggi. Semakin tinggi suatu bangunan, maka semakin rawan juga bangunan tersebut dalam menahan gaya lateral terutama gaya gempa. Gaya lateral yang terjadi akibat gempa dapat

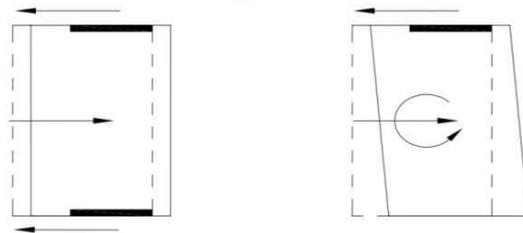
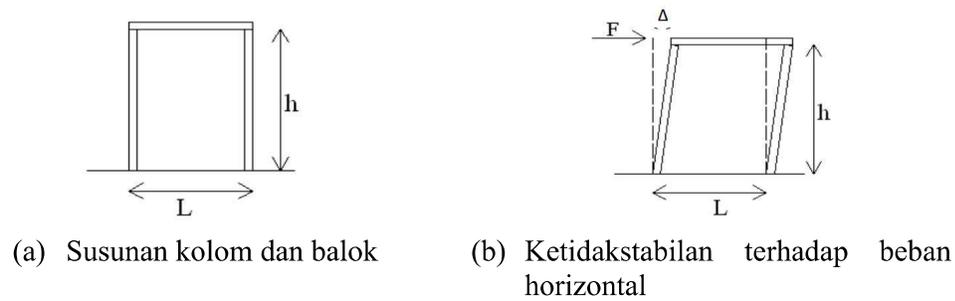
menyebabkan simpang horizontal dan jika gaya yang terjadi melebihi batas aman, maka akan terjadi keruntuhan pada bangunan tersebut. Sebagian besar bencana gempa dapat menimbulkan kerusakan struktur yang menelan korban jiwa dan kerugian harta benda. Oleh karena itu, untuk meminimalisir terjadinya dampak-dampak merugikan yang terjadi, diperlukan perencanaan menyeluruh pada bangunan bertingkat tinggi tahan gempa.

Hal yang perlu diperhatikan adalah kekuatan bangunan yang memadai untuk memberikan kenyamanan bagi penghuninya terutama lantai atas. Semakin tinggi bangunan, defleksi lateral yang terjadi juga semakin besar pada lantai atas (Mc. Cormac, 2004). Pada saat gempa terjadi, elemen konstruksi pembentuk bangunan Gedung yang pertama kali dikenai aksi beban gempa adalah kolom bangunan pada level lantai dasar, sebelum energi gempa merambat ke kolom dan balok lantai di atasnya. Jika gempa dengan arah horizontal maka aksi dari beban gempa ini akan diterima oleh kolom bangunan sebagai gaya geser. Jika gempa ini berarah vertikal maka aksi dari beban gempa akan diterima oleh kolom sebagai gaya aksial. Gaya aksial maupun gaya geser ini akan merambat ke atas bangunan, dengan kecepatan rambat tertentu sesuai dengan modulus geser G atau modulus elastisitas E dari material konstruksi pembentuk struktur kolom. (Sigit Darmawan, 2010)

Hal penting dari evaluasi berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas. Sasaran kinerja tersebut terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*) dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. (Wiryanto Dewobroto, 2007)

Daniel L. Schodek (1999), menyatakan bahwa struktur stabil apabila saat dikenakan beban, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang lebih kecil dibandingkan struktur yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena pada struktur yang stabil memiliki kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban.

Stabilitas merupakan hal yang sulit di dalam perencanaan struktur yang merupakan gabungan dari elemen-elemen. Untuk memperjelas mengenai stabilitas struktur akan diilustrasikan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Kestabilan struktur portal.

Pada Gambar 2.1. (a) struktur stabil karena struktur belum mendapatkan gaya dari luar, apabila suatu struktur dikenakan gaya horizontal maka akan terjadi deformasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. (b). Hal ini disebabkan karena struktur tidak mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan gaya horizontal dan struktur tidak mempunyai kemampuan untuk mengembalikan bentuk struktur ke bentuk semula apabila beban horizontal dihilangkan sehingga akan terjadi simpangan horizontal yang berlebihan yang dapat menyebabkan keruntuhan.

Menurut Daniel L. Schodek (1999), terdapat beberapa cara untuk menjamin kestabilan struktur seperti pada Gambar 2.1. (c). Cara pertama adalah dengan menambahkan elemen struktur diagonal pada struktur, sehingga struktur tidak

mengalami deformasi menjadi jajar genjang seperti pada Gambar 2.1 (d). Hal ini disebabkan karena dengan menambahkan elemen struktur diagonal gaya-gaya yang dikenakan pada struktur akan disebarkan keseluruh bagian termasuk ke elemen diagonal, gaya-gaya yang diterima masing-masing struktur akan berkurang sehingga simpangan yang dihasilkan lebih kecil. Cara kedua adalah dengan menggunakan dinding geser. Elemennya merupakan elemen permukaan bidang kaku yang tentunya dapat menahan deformasi akibat beban horizontal dan simpangan horizontal yang akan dihasilkan akan lebih kecil. Cara ketiga adalah dengan mengubah hubungan antara elemen struktur sedemikian rupa sehingga perubahan sudut untuk suatu kondisi pembebanan tertentu. Hal ini dengan membuat titik hubung kaku di antara elemen struktur sebagai contoh; meja adalah struktur stabil karena adanya titik hubung kaku di antara setiap kaki meja dengan permukaan meja yang menjamin hubungan sudut konstan di antara elemen tersebut, sehingga struktur menjadi lebih kaku. Dalam menentukan letak *bracing* maupun dinding geser hendaknya simetris. Hal ini untuk menghindari efek torsional.

1.7. Landasan Teori

2.2.1. Analisis Dinamik

Secara umum analisis struktur terhadap beban gempa terdiri dari 2 macam, yaitu:

1. Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama dan biasanya distribusi gaya ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik.
2. Analisis dinamik merupakan salah satu jenis analisis struktur dimana distribusi gaya geser gempa pada berbagai tingkatan diperoleh dengan mempertimbangkan dampak dinamik gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2 macam, yaitu:
 - a. Analisis respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dan respon dari setiap mode getaran.

- b. Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamik dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung selangkah demi selangkah pada interval waktu tertentu.

Analisis dinamik diperlukan untuk perancangan bangunan tahan gempa agar evaluasi dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur lebih akurat, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh beban gempa. Analisis dinamik perlu dilakukan pada perancangan struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Konsep analisis dinamik ini memperhitungkan massa, kekakuan, dan redaman. Perhitungan dengan metode analisis dinamik akan diperoleh nilai gaya geser dasar yang lebih kecil daripada menggunakan metode statik ekuivalen. (Edy Purnomo, 2014)

Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Analisis dinamik dapat dibedakan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Respon Spektrum (*Respon Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi. Ragam getar yang terjadi didapat dari Respon Spektrum Rencana (*Design Spectra*). Analisis dinamik elastis digunakan untuk mendapatkan respon struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis dinamik ini lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

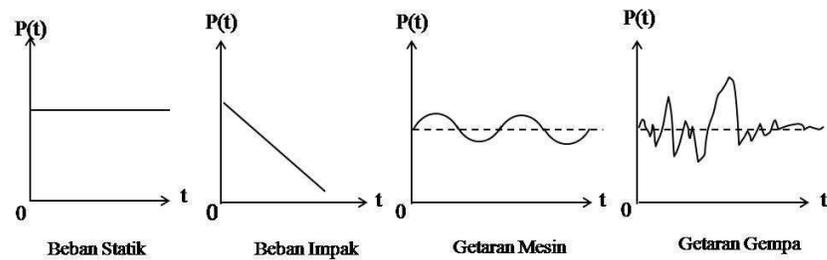
Analisis dinamik bertujuan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa dan dapat dilakukan dengan cara analisis ragam respon spektrum. Pembagian gaya geser tingkat tersebut adalah untuk menggantikan pembagian beban geser dasar akibat gempa sepanjang tinggi gedung pada analisis beban statik ekuivalen. Pada analisis ragam respon spektrum, sebagai spektrum percepatan respon gempa rencana harus menggunakan diagram koefisien gempa dasar (C) untuk wilayah masing-

masing gempa. Nilai C tersebut tidak berdimensi sehingga respon masing-masing ragam merupakan respon relatif.

Menurut Widodo (2001), terdapat perbedaan antara beban statik dan beban dinamik. Dalam ilmu statika keseimbangan gaya-gaya didasarkan atas kondisi statik, artinya gaya-gaya tersebut tetap intensitasnya, tempatnya, dan arah/garis kerjanya. Gaya-gaya tersebut dikategorikan sebagai beban statik. Perbedaan antara beban statik dan dinamik adalah sebagai berikut:

- a. Beban dinamik adalah beban yang berubah-ubah menurut waktu (*time varying*) sehingga beban dinamik merupakan fungsi dari waktu.
- b. Beban dinamik umumnya hanya bekerja pada rentang waktu tertentu. Untuk gempa bumi maka rentang waktu tersebut kadang-kadang hanya beberapa detik saja. Meskipun hanya beberapa detik terjadinya, namun beban angin dan beban gempa yang terjadi dapat merusakkan struktur cukup besar.
- c. Beban dinamik dapat menyebabkan timbulnya gaya inersia pada pusat massa yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan.
- d. Beban dinamik lebih kompleks dibanding dengan beban statik, baik dari bentuk fungsi, beban, maupun akibat yang ditimbulkan. Asumsi-asumsi kadang perlu diambil untuk mengatasi ketidakpastian yang mungkin ada pada beban dinamik.
- e. Karena beban dinamik berubah-ubah intensitasnya menurut waktu, maka pengaruhnya terhadap struktur juga berubah-ubah menurut waktu. Oleh karena itu penyelesaian masalah dinamik dapat dilakukan secara penyelesaian tunggal (*single solution*) atau secara berulang-ulang (*multiple solution*).
- f. Sebagai akibat penyelesaian yang berulang-ulang maka penyelesaian struktur dengan beban dinamik akan lebih mahal dan lebih lama.

Berbagai macam beban (P) seperti beban statik, beban impact, getaran mesin, dan getaran gempa serta hubungannya terhadap waktu (t) dapat digambarkan menjadi suatu diagram seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram beban (P) - waktu (t).

Beban dinamik menimbulkan respon yang berubah-ubah menurut waktu, maka struktur yang ada akan ikut bergetar atau ada gerakan. Dalam hal ini material struktur akan melakukan resistensi terhadap gerakan dan pada umumnya dikatakan material struktur yang digunakan mempunyai kemampuan meredam getaran. Dengan demikian pada pembebanan dinamik, akan terdapat peristiwa redaman yang tidak dimiliki pada pembebanan statik.

2.2.2. Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Menurut Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Pemukiman (2021), konstruksi bangunan tahan gempa adalah bangunan yang bisa merespon gempa dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan fleksibel untuk meredam getaran gempa. Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dirancang dan diperhitungkan secara analitis, baik kombinasi beban, penggunaan material dan penempatan massa strukturnya. Ciri-ciri fisik bangunan tahan gempa adalah memiliki struktur sistem penahan gaya dinamik gempa, memiliki sistem penahan gempa, dan konfigurasi strukturnya memenuhi standar anti gempa.

Struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa, bukan struktur yang semata-mata (dalam perencanaan) sudah diperhitungkan dengan beban gempa (Kardiyono Tjokrodinuljo, 2007)

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, struktur yang didesain harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

- a. Di bawah gempa ringan (gempa dengan periode ulang 50 tahun dengan probabilitas 60% dalam kurun waktu umur Gedung) struktur harus dapat memberikan respon elastis tanpa mengalami kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen non struktural.
- b. Di bawah gempa sedang (gempa dengan periode ulang 50-100 tahun) struktur bangunan boleh mengalami kerusakan ringan pada lokasi yang mudah diperbaiki yaitu pada ujung-ujung muka kolom (sendi plastis), struktur pada tahap ini disebut tahap *First Yield* yang merupakan parameter penting karena merupakan batas antara kondisi elastis dan kondisi plastis tetapi tidak roboh, atau disebut juga kondisi batas antara beban gempa ringan dan gempa kuat.
- c. Di bawah gempa kuat (gempa dengan periode ulang 200-500 tahun dengan resiko probabilitas 20-10% dalam kurun waktu umur gedung) resiko kerusakan harus dapat diterima tapi tanpa keruntuhan struktur, sehingga kerusakan struktur pada saat gempa kuat terjadi harus didesain pada tempat-tempat tertentu agar mudah diperbaiki setelah gempa kuat terjadi.

Kekuatan struktur gedung sangat terkait dengan keamanan dan ketahanan struktur dalam menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut, sedangkan derajat kekakuan struktur sangat bergantung pada jenis sistem struktur yang dipilih.

Menurut Hoedajanto & Imran (2002), prinsip-prinsip dasar perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan, serta pelaksanaan struktur tahan gempa, yaitu:

1. Sistem struktur yang digunakan haruslah sesuai dengan tingkat kerawanan (resiko gempa) dimana bangunan tersebut didirikan.
2. Sistem struktur harus bersifat kontinu dan utuh. Unsur-unsur bangunan termasuk penulangan harus efektif untuk meningkatkan integritas struktur. Perubahan kekakuan yang terlalu signifikan sebaiknya dihindari.
3. Asumsi sistem struktur dalam perencanaan desain tidak berubah-ubah.
4. Material yang digunakan seperti beton dan baja, harus memenuhi persyaratan material konstruksi untuk bangunan tahan gempa.

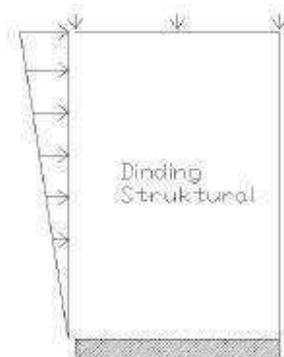
5. Bagian arsitektural yang mempunyai massa yang masif harus menyatu dengan kuat pada sistem portal utama dan direncanakan pengaruhnya terhadap sistem struktur. Semakin besar massa bangunan, semakin besar pula beban inersia yang timbul akibat gempa. Oleh karena itu, penggunaan unsur arsitektural yang berat lebih baik dihindari.
6. Sistem *quality control* dan *quality assurance* dalam metode pelaksanaan harus dilakukan dengan tepat sesuai dengan peraturan yang berlaku.

2.2.3. Sistem Struktur

Pada umumnya gedung bertingkat merupakan perpaduan dari beberapa sistem struktur. Dalam penentuan sistem struktur untuk menahan gaya yang disebabkan oleh gempa dapat ditentukan berdasarkan kategori desain seismik dan ketinggian struktur. Berikut dasar dan penjelasan terkait sistem struktur utama yang tercantum dalam SNI 1726-2019:

1. Sistem Dinding Penumpu

Pada sistem dinding penumpu, tidak terdapat ruang rangka pemikul secara lengkap, beban gravitasi dipikul oleh dinding-dinding penumpu sedangkan untuk beban lateral didukung oleh dinding-dinding geser ataupun rangka *bracing*.

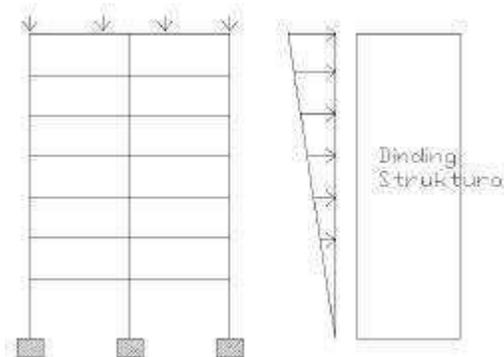


Gambar 2. 3. Sistem Dinding Penumpu.

2. Sistem Rangka Gedung

Sistem rangka gedung biasanya digunakan di daerah dengan gempa sedang sampai tinggi. Pada dasarnya sistem struktur ini memiliki rangka ruang yang

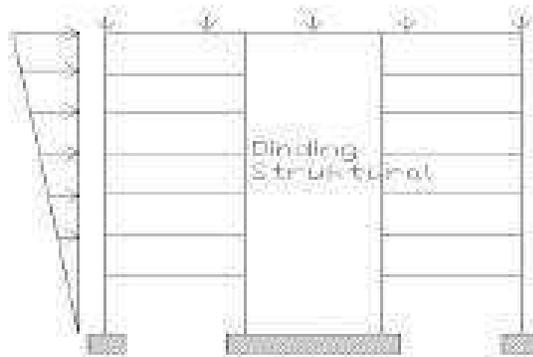
lengkap untuk menahan beban gravitasi. Sedangkan untuk beban lateral ditahan oleh dinding geser atau rangka *bracing*.



Gambar 2. 4. Sistem Rangka Gedung.

3. Sistem Ganda

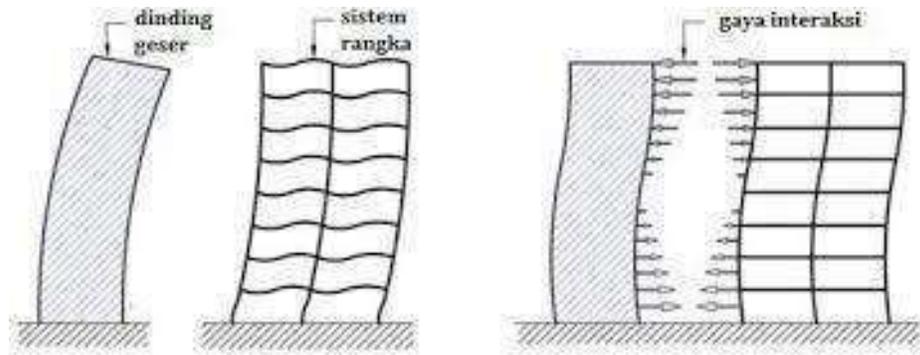
Sistem ganda merupakan sistem kombinasi dari Dinding Geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen. Dalam hal ini, cara kerja Sistem Ganda yaitu rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah untuk menahan setidaknya 25% dari total beban lateral, kedua sistem harus direncanakan untuk menanggung semua beban lateral pada waktu yang sama.



Gambar 2. 5. Sistem Ganda.

4. Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka

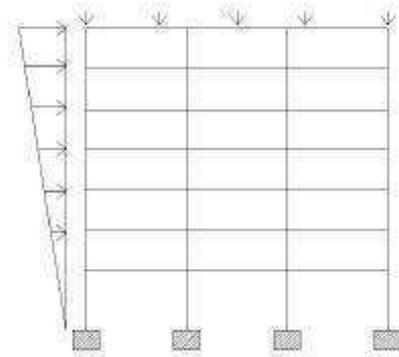
Sistem struktur yang menggunakan kombinasi dinding geser beton biasa dan sistem rangka beton pemikul momen biasa untuk menahan beban-beban lateral sesuai perbandingan kekakuan yang dimilikinya, dengan memperhatikan interaksi antara dinding geser dan rangka di semua tingkat atau lantai bangunan.



Gambar 2. 6. Sistem Interaksi Dinding Geser dan Rangka.

5. Sistem Rangka Pemikul Momen

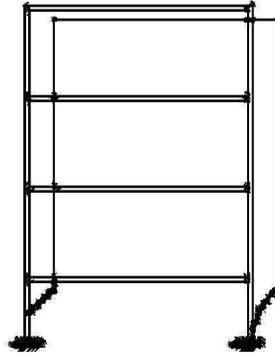
Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, rangka pemikul momen menanggung beban lateral melalui mekanisme tekukan antara balok dan kolom. Oleh karena itu, dalam sistem ini peran balok, kolom, dan sambungan antara balok dan kolom menjadi sangat penting. Sistem rangka pemikul momen biasa, sistem rangka pemikul momen menengah, dan sistem rangka pemikul momen khusus. Penggunaan sistem rangka ditentukan berdasarkan Kategori Desain Seismik dari struktur tersebut.



Gambar 2. 7. Sistem Rangka Pemikul Momen.

6. Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever

Sistem struktur gedung yang menggunakan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.



Gambar 2. 8. Sistem Kolom Kantilever.

2.2.4. Pembebanan Struktur

Kekuatan perlu (U) harus paling tidak sama dengan pengaruh beban terfaktor.

Kombinasi pembebanan struktur mengacu pada SNI 1727-2020 Pasal 2.3.

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

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 dengan ketentuan sebagai berikut:

Untuk penggunaan dalam kombinasi 6, E harus ditentukan dengan persamaan:

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

Untuk penggunaan dalam kombinasi 7, E harus ditentukan dengan persamaan:

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

Dimana:

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

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

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 respon spektral desain pada periode pendek
D = Pengaruh beban mati

Jenis-jenis beban yang biasa digunakan dalam bangunan gedung meliputi:

1. Beban Hidup

Menurut pasal 4.1 SNI 1727-2020 yang dimaksud 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. Beban hidup dapat menimbulkan lendutan pada struktur, sehingga harus dipertimbangkan menurut peraturan yang berlaku agar struktur tetap aman. Menurut Schueller (1998), beban yang disebabkan oleh isi benda-benda di dalam atau di atas suatu bangunan disebut beban penghunian (*occupancy load*) mencakup beban peluang untuk berat manusia, perabot partisi yang dapat dipindahkan, lemari, buku, arsip, perlengkapan mekanis dan sebagainya. Khusus pada atap, air hujan merupakan komponen beban hidup, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air. Nilai beban hidup ditetapkan berdasarkan SNI 1727-2020, tepatnya tabel 4.3. tentang Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o , dan beban hidup terpusat minimum.

2. Beban Mati

Menurut pasal 3.1 SNI 1727-2020 yang dimaksud beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan

layan yang terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Beban mati terbagi menjadi:

a. Beban mati sendiri (*Dead Load*)

Beban mati yang diakibatkan oleh elemen-elemen struktur bangunan yaitu balok, kolom, dan pelat. Beban ini dihitung secara otomatis pada program analisis struktur komersial yang digunakan.

b. Beban mati tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat dari bahan bangunan, komponen tambahan gedung dan *finishing* yang bersifat permanen.

3. Beban gempa

Beban gempa adalah semua beban statistik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Untuk merencanakan struktur bangunan tahan gempa perlu diketahui percepatan yang terjadi pada batuan dasar. Dalam hal ini pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan suatu analisis dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya yang ada di dalam struktur tersebut akibat gerakan tanah akibat gempa yang terjadi. Besarnya simpangan horizontal (*drift*) bergantung pada kemampuan struktur dalam menahan gaya gempa yang terjadi. Apabila struktur memiliki kekakuan yang besar untuk melawan gaya gempa, maka struktur akan mengalami simpangan horizontal yang lebih kecil.

2.2.5. Aspek Gedung dan Tanah Terhadap Kegempaan

1. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa. Untuk berbagai macam kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 SNI 1726-2019 tentang Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa dan Tabel 2.2 SNI 1726-2019 tentang Faktor Keutamaan Gempa.

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

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan – Fasilitas sementara – Gudang penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Perumahan – Rumah toko dan rumah kantor – Pasar – Gedung perantoran – Gedung apartemen/rumah susun – Pusat perbelanjaan/mall – Bangunan industri – Fasilitas manufaktur – Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas Kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawa darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Pusat pembangkit listrik biasa – Fasilitas penanganan air – Fasilitas penanganan limbah – Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk 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 diisyaratkan oleh instansi yang jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang diisyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

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

<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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 badan, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat – Struktur tambahan (termasuk Menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat. <p>Gedung non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV
---	----

Tabel 2.2. Faktor Keutamaan Gempa

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

2. Klasifikasi situs untuk desain seismik

Pada 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 penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium. Klasifikasi situs terdapat pada Pasal 5.3 Tabel 2.3. tentang Klasifikasi Situs.

Tabel 2.3. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V, (m/detik)	N atau N	S (kPa)
S _A (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
S _B (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
S _C (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	>50	≥100
S _D (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
S _E (tanah lunak)	<175	<15	<50
S _F (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 0)	<p>Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $s_u < 25$ kPa <p>Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersendimentasi lemah – Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) – Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) <p>Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa</p>		

3. Kategori desain seismik

Struktur yang digunakan haruslah memiliki suatu kategori desain seismik. Struktur dengan kategori resiko I, II atau III dan berlokasi di parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, $S_1 \geq 0,75$ ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E, sedangkan struktur yang berkategori resiko IV dan berlokasi pada parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, $S_1 \geq 0,75$ ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori resiko dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} , sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur

harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik mengacu pada Tabel 2.4 dan 2.5 SNI 1726-2019.

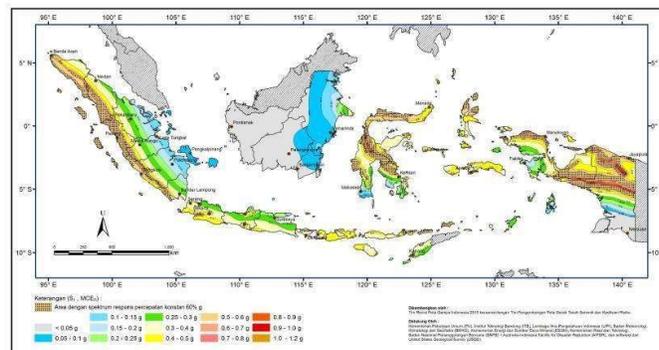
Tabel 2.4. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

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

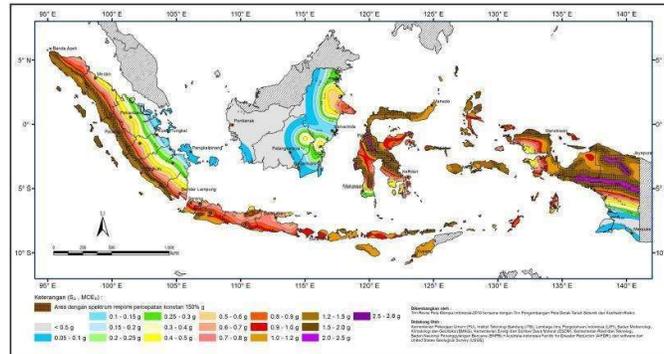
Tabel 2.5. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	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

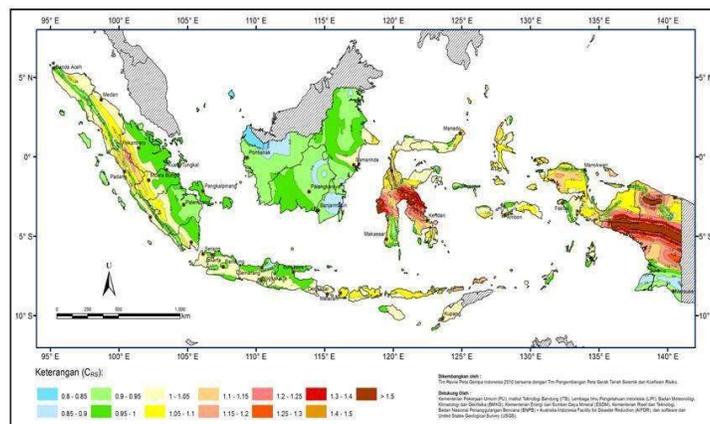
Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat besar atau kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar atau kecilnya beban gempa bergantung pada lokasi struktur bangunan tersebut. Menurut SNI 1726-2019 Indonesia dibagi menjadi beberapa kategori gerakan tanah seismik dan koefisien risiko dari gempa maksimum yang dipertimbangkan (*Maximum Considered Earthquake/ MCE*) dan dipetakan dalam gambar di bawah ini.



Gambar 2. 9. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_1).



Gambar 2. 10. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek (S_s).



Gambar 2. 11. Peta transisi periode panjang (TL) wilayah Indonesia.

4. 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 berikut:

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

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

Keterangan:

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

S₁ = Parameter respon spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1 detik.

Nilai koefisien situs F_a dan F_v tertera pada SNI 1726-2019 Tabel 2.6. dan Tabel 2.7.

Tabel 2.6. Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
S_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
S_B	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
S_C	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
S_D	1,6	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0
S_E	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
S_F	$S_s^{(a)}$					

Tabel 2.7. Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko -tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, $T = 0,2$ detik, S_1					
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
S_A	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
S_B	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
S_C	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
S_D	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
S_E	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
S_F	$S_s^{(a)}$					

5. Sistem struktur

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu dari tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 2.8. Pembagian tetap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur. Koefisien modifikasi respon (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan koefisien amplifikasi defleksi (C_d) harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai desain.

Tabel 2.8. Faktor R, Ω_0 , dan C_d untuk Sistem Penahan Gaya Seismik.

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon (R)	Faktor kuat lebih sistem (Ω_0)	Faktor Pembesaran Defleksi (C_d)	Kategori Desain Seismik			
				B	C ^d	D ^d	E ^d
Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2 ^{1/2}	TB	TI	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4 ^{1/2}	TB	TB	TI	TI
Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5 ^{1/2}	TB	TB	TB	TB

Catatan:

TB = Tidak Dibatasi

TI = Tidak Diizinkan

6. Analisis statik ekuivalen

Analisis statik ekuivalen pada prinsipnya adalah menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statik yang bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan. Metode ini digunakan untuk bangunan struktur yang beraturan dengan ketinggian tidak lebih dari 40 m, yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasarkan hasil perkalian suatu konstanta massa dari elemen tersebut. Berdasarkan SNI 1726-2019 gaya geser horizontal akibat gempa yang bekerja pada struktur bangunan dalam arah sumbu X (V_x) dan sumbu Y (V_y), ditentukan dari persamaan:

$$V = C_s \cdot W \quad (2.7)$$

Dimana:

V = Gaya geser dasar

C_s = Koefisien *Respon Seismic*

W = Berat lantai

Bila hasil perhitungan periode fundamental melebihi periode maksimum, maka periode maksimum harus digunakan sebagai pengganti dari T

dalam arah tersebut. Kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 100% dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan V/V_t .

Koefisien respon seismik ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.8)$$

Nilai C_s yang dihitung tidak boleh melebihi persamaan:

$$C_s = \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.9)$$

Untuk $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{SD1 \cdot T_L}{T \cdot T \left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.10)$$

Dan C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} \cdot I \geq 0,01 \quad (2.11)$$

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

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.12)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum desain pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektrum periode 1 detik

I = Faktor keutamaan gedung

R = Faktor modifikasi respon

T = Periode fundamental struktur

C_s = Koefisien respon seismik

Hasil analisis struktur harus diperiksa terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019 untuk menentukan kelayakan struktur tersebut akibat adanya pengaruh beban gempa.

Menurut SNI 1726-2019, kontrol periode fundamental gedung dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (2.13)$$

Dimana:

T_a = Periode fundamental pendekatan

C_t = Koefisien (Tabel 18)

x = Koefisien (Tabel 18)

h_n = Ketinggian struktur (m) di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

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 diisyaratkan dan tidak dilindungi 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 <i>bracing</i> eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan <i>bracing</i> terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Gaya gempa lateral (F_x) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.14)$$

Untuk menentukan C_{vx} menggunakan persamaan berikut:

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.15)$$

Dimana:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser dasar struktur

w_i dan w_x = Bagian seismik efektif total struktur W yang dikenakan pada tingkat I dan x

h_i dan h_x = Tinggi dari dasar tingkat I atau x

k = Eksponen yang terikat pada struktur untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$ untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$ untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

7. Desain spektra

Desain spektra dihasilkan melalui pengolahan nilai respon spektra di bantuan dasar pada periode 0,2 detik (S_s) dan 1 detik (S_1). Nilai ini diperoleh melalui pembacaan peta gempa SNI 1726-2019 untuk 0,2 detik dan 1 detik. Untuk menghasilkan respon spektra di permukaan, nilai S_s dan S_1 kemudian dikalikan dengan faktor amplifikasi sehingga dihasilkan nilai respon spektra permukaan S_{MS} dan S_{M1} .

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.16)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.17)$$

Dimana:

S_{MS} = Parameter respon spektrum periode pendek

S_{M1} = Parameter respon spektrum periode 1 detik

F_a = Faktor amplifikasi (Tabel 6)

F_v = Faktor amplifikasi (Tabel 7)

Nilai S_{MS} dan S_{M1} terlebih dahulu dikalikan dengan $2/3$, menghasilkan nilai respon spektra baru dengan sebutan S_{DS} dan S_{D1} .

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.18)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.19)$$

Dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan respon spektrum periode pendek

S_{D1} = Parameter percepatan respon spektrum periode 1 detik

Untuk menentukan desain spektra harus mengetahui periode fundamental struktur bangunan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{SD1}{SDS} \quad (2.20)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \quad (2.21)$$

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan Gambar 2.6 yang nilainya diambil dari Gambar 2.5

Dimana:

T_0 = Periode awal

T_s = Periode fundamental struktur

Setelah mengetahui periode fundamental struktur tersebut maka untuk menentukan kurva respon spektrum desain menggunakan ketentuan:

1. Untuk periode $< T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.22)$$

2. Untuk periode $T_s \geq T \leq T_0$, respon spektrum percepatan desain S_a sama dengan S_{DS}

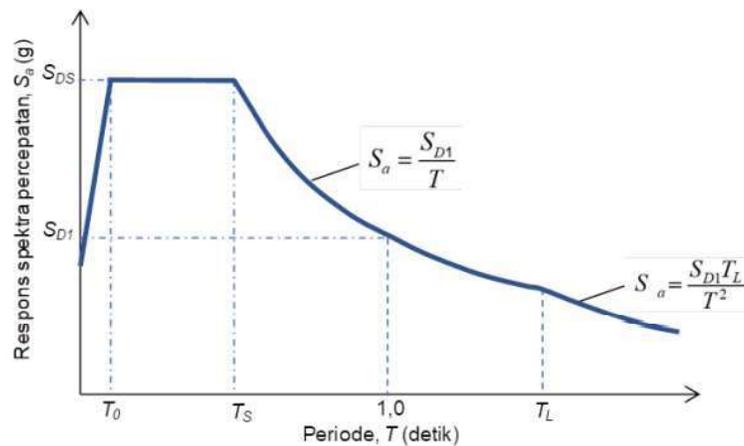
3. Untuk periode $T_s \geq T \leq T_L$, respon spektral percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.23)$$

4. Untuk periode $> T_L$

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad (2.24)$$

Maka kurva respon spektrum akan terbentuk seperti gambar berikut:



Gambar 2. 12. Spektrum respons desain

8. Kontrol dinamik gedung

Dalam menganalisis perilaku struktur, dilakukan pembatasan terhadap nilai periode dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental penekatan dengan koefisien C_u . Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi nilai perkalian tersebut. Koefisien nilai C_u ditentukan dari Tabel 2.10 SNI 1726-2019.

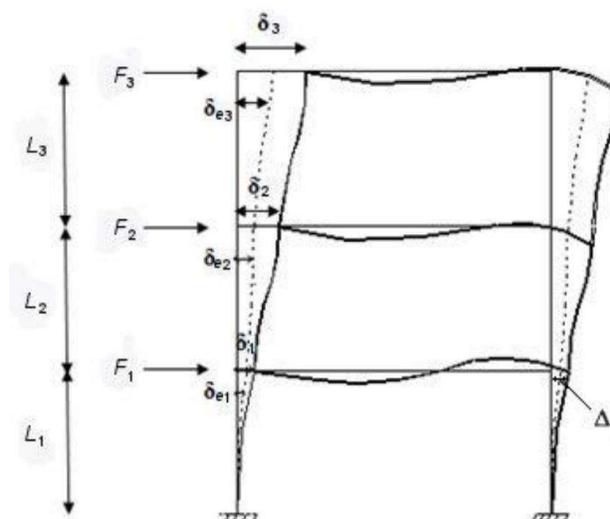
Tabel 2.10. Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

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

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.1, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

9. Kontrol simpangan antar lantai

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. Penentuan simpangan antar tingkat desain harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.



Gambar 2. 13. Penentuan simpangan antar tingkat.

$$\begin{aligned}
 F_1, F_2, F_3 &= \text{ gaya gempa desain tingkat kekuatan} \\
 \delta e_1, \delta e_2, \delta e_3 &= \text{ perpindahan elastik yang dihitung akibat gaya} \\
 &\quad \text{ gempa desain tingkat kekuatan} \\
 \delta_1, \delta_2, \delta_3 &= \text{ Perpindahan yang diperbesar} \\
 &= C_d \cdot \delta e / I_e \qquad (2.25)
 \end{aligned}$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a \qquad (2.26)$$

$$\Delta_2 = (\delta e_2 - \delta e_1) C_d / I_e \leq \Delta_a \qquad (2.27)$$

$$\Delta_3 = (\delta e_3 - \delta e_2) C_d / I_e \leq \Delta_a \qquad (2.28)$$

Dimana:

Δ_i = Simpangan antar tingkat

Δ_i / L_i = Rasio simpangan antar tingkat

δ_i = Perpindahan total

C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral

I_e = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan 0

Nilai dari simpangan ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur.

Untuk batasan simpangan antar lantai diatur pada SNI 1726-2019 Tabel 2.11.

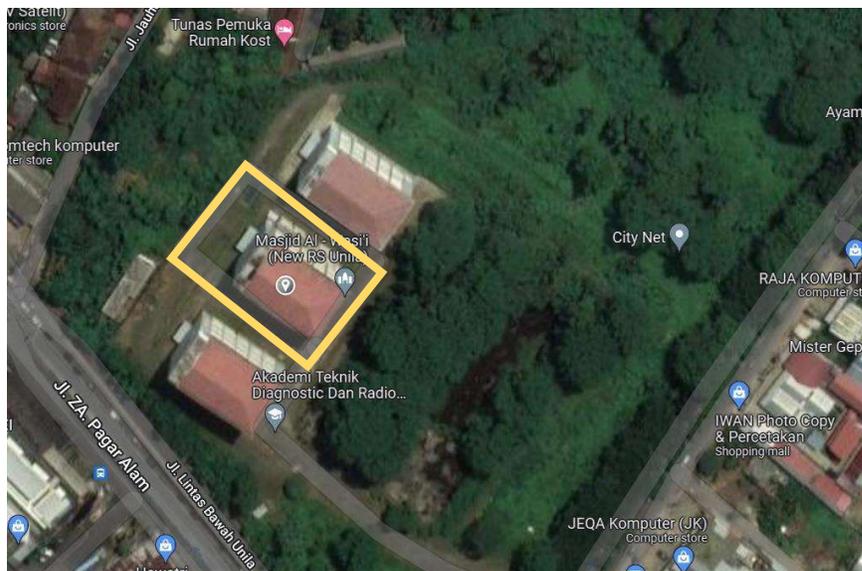
Tabel 2.11. Simpangan antar Tingkat Izin, $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori Risiko		
	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 di desain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 h_{sx}	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian atau data-data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi (RSPTN) Universitas Lampung yang terletak di Jalan Prof. Dr. Ir. Soemantri Brojonegoro No. 1, Kota Bandar Lampung dengan koordinat $-5^{\circ}22'12.85''S-105^{\circ}14'20.31''E$. Berikut denah lokasi objek penelitian berdasarkan *Google Earth* pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1. Denah lokasi objek penelitian.
(*Google Earth, 2022*)

3.2. Data Penelitian

Struktur gedung yang digunakan sebagai studi kasus adalah Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung dengan kriteria sebagai berikut:

- a. Sistem struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
- b. Jenis Struktur : Beton Bertulang

- c. Fungsi bangunan : Rumah Sakit
- d. Jumlah lantai : 4 Lantai
- e. Tinggi bangunan : 25,88 m
- f. Luas bangunan : 4.216 m²

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 3.2-3.5.



Gambar 3. 2. Tampak depan gedung.



Gambar 3. 3. Tampak kiri gedung.



Gambar 3. 4. Tampak kanan gedung.



Gambar 3. 5. Tampak belakang gedung.

Berikut data-data penelitian pada Gedung 5 Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung.

3.2.1. Luas Bangunan

Luas bangunan pada Gedung B Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung adalah 4216 m². Struktur terdiri dari 4 lantai dengan 1 lantai *attic* dan 1 dak lantai atap dengan luas perlantai adalah sebagai berikut:

- a) Luas lantai 1 : 928 m²
- b) Luas lantai 2 : 928 m²
- c) Luas lantai 3 : 760 m²
- d) Luas lantai 4 : 760 m²
- e) Luas lantai *attic* : 760 m²
- f) Luas lantai atap : 80 m²

3.2.2. Elevasi Bangunan

Data elevasi Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Elevasi Bangunan

No	Lantai	Elevasi Tiap Lantai (m)	Tinggi Lantai (m)
1	Lantai 1	+0,0	4,9
2	Lantai 2	+4,9	5,25
3	Lantai 3	+10,15	4,55
4	Lantai 4	+14,7	4,18
5	Lantai <i>Attic</i>	+18,88	3,2
6	Lantai Atap	+22,08	3,8

3.2.3. Balok

Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung terdiri dari dua struktur balok yaitu balok anak dan balok induk dengan dimensi yang berbeda-beda. Terdapat 10 jenis balok yang digunakan dengan mutu beton K-300. Data jenis tulangan serta dimensi yang dipakai pada balok dapat dilihat dari Tabel 3.2.

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

Balok	Dimensi (mm)		Tul. Lentur Tumpuan			Tul. Lentur Lapangan			Senggang (mm)	
	B	H	Atas	Bawah	Pinggang	Atas	Bawah	Pinggang	Tumpuan	Lapangan
Detail Balok Lantai 2-4										
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	3D16	-	5D16	4D16	-	D10-150	D10-200

Tabel 3.2. (Lanjutan).

Detail Balok Lantai Attic										
G1	350	700	9D19	6D19	2D13	4D19	7D19	2D13	D13-125	D13-150
G2	350	700	4D19	3D19	2D13	3D19	4D19	2D13	D10-125	D10-150
G3	250	500	6D22	3D22	2D10	3D22	4D22	2D10	D10-100	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

Data tulangan yang dipasang pada kolom dapat dilihat pada Tabel 3.3. dengan mutu beton yang digunakan sebesar K-300.

Tabel 3.3. Tabel Dimensi 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

Tabel 3.3. (Lanjutan).

			Lt. 1	24D22	D10-150	D10-200
K12	400	450	Lt. 2 - 3	20D19	D10-150	D10-200
			Lt. 4	10D16	D10-150	D10-200
			Lt. 1	24D19	D10-150	D10-200
K13	400	450	Lt. 2 - 3	16D16	D10-150	D10-200
			Lt. 4	10D16	D10-150	D10-200
			Lt. 1 - 3	16D16	D10-150	D10-200
K14	400	450	Lt. 4	10D16	D10-150	D10-200
			Lt. 1 - 3	12D16	D10-150	D10-200
K15	200	400	Lt. 4	8D16	D10-150	D10-200
			Lt. 1 - 3	8D16	D10-150	D10-200
K16	200	400	Lt. 1 - 3	8D16	D10-150	D10-200

3.2.5. Pelat

Gedung 5 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 5 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. Tahap Analisis

3.3.1. Studi Literatur

Pada prosedur analisis respon spektrum acuan dan ketentuan pembebanan struktur yang digunakan adalah SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, serta digunakan studi literatur berupa jurnal dan sumber literatur lainnya mengenai analisis respon spektrum.

3.3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data sekunder dan data tanah Pembangunan Gedung 5 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri Universitas Lampung. Data sekunder berupa *shop drawing* yang digunakan sebagai pemodelan struktur 3D pada program analisis struktur komersial. *Shop drawing* ini digunakan untuk memodelkan semua elemen utama struktur. Pada saat pemodelan akan dibuat sederhana namun representatif dan elemen pelengkap struktur dan non struktur akan dimodelkan menjadi beban struktur.

3.3.3. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan berupa memperhitungkan maupun menentukan jenis beban pada struktur. Beban yang dimaksud yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Pada program analisis struktur komersial, beban mati struktur sendiri akan dihitung berdasarkan program tersebut dan akan dimasukkan ke dalam *load case dead*. Selanjutnya *load case super dead* akan dimasukkan beban berupa berat sendiri tambahan yang tidak dapat dimodelkan dalam program analisis struktur komersial. Pada perhitungan berat sendiri, skala yang digunakan dalam program analisis struktur komersial adalah 1 dan 0 untuk *super dead*, beban *dead* ini akan dihitung otomatis oleh program analisis struktur komersial dan *super dead* bebannya akan dihitung secara manual sesuai dengan data yang ada.

Beban hidup yang dimasukkan dalam program analisis struktur komersial dinotasikan dalam *live*. Beban hidup ini mendapatkan reduksi beban gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program analisis struktur komersial adalah 0, dimana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan data yang ada.

3.3.4. Analisis Struktur Metode Respon Spektrum

Menganalisis model struktur dengan respon spektrum untuk mendapat kurva respon spektrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program analisis struktur komersial. Data yang dibutuhkan dalam analisis respon spektrum adalah fungsi bangunan, letak bangunan terhadap wilayah gempa, jenis tanah dan tipe struktur.

Data fungsi bangunan digunakan untuk mendapatkan nilai faktor keutamaan (I), letak bangunan terhadap wilayah gempa dan jenis tanah dipakai untuk mendapatkan nilai waktu getar alami (T_c) dan kurva respon spektrum gempa rencana sedangkan tipe struktur dipakai untuk menentukan faktor reduksi gempa.

3.3.5. Analisis dengan Program Analisis Struktur Komersial

Analisis dengan program analisis struktur komersial akan dilakukan *run* setelah mode 3D selesai dan sudah diberi beban yang sesuai dengan ketentuan. Output dari analisis program analisis struktur komersial ini yaitu simpangan, *displacement*, dan *base shear*.

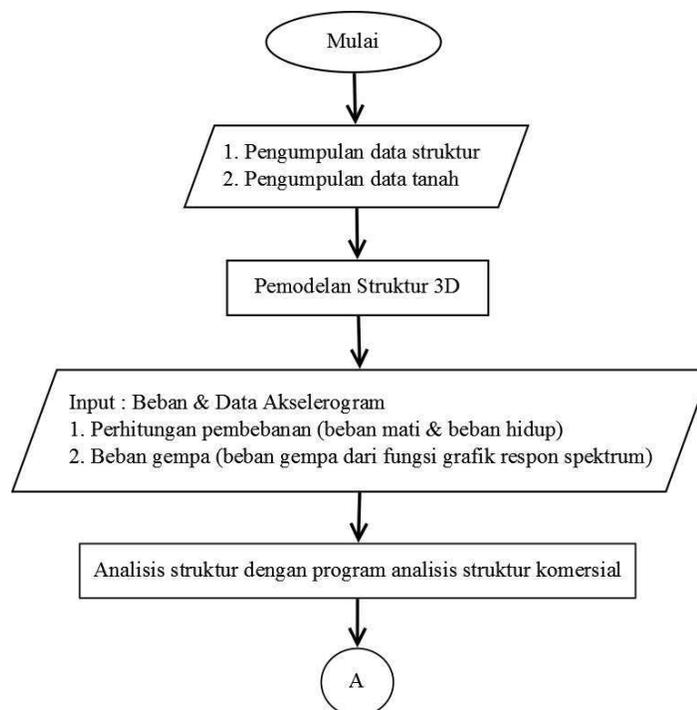
3.3.6. Evaluasi Kinerja Struktur Menurut SNI 1726-2019

Hasil dari analisis respon spektrum sebagai acuan dalam mengevaluasi kinerja struktur adalah respon struktur terhadap gempa berupa simpangan dan simpangan antar tingkat. Selanjutnya akan dipilih nilai rata-rata yang diambil dari nilai respon spektrum.

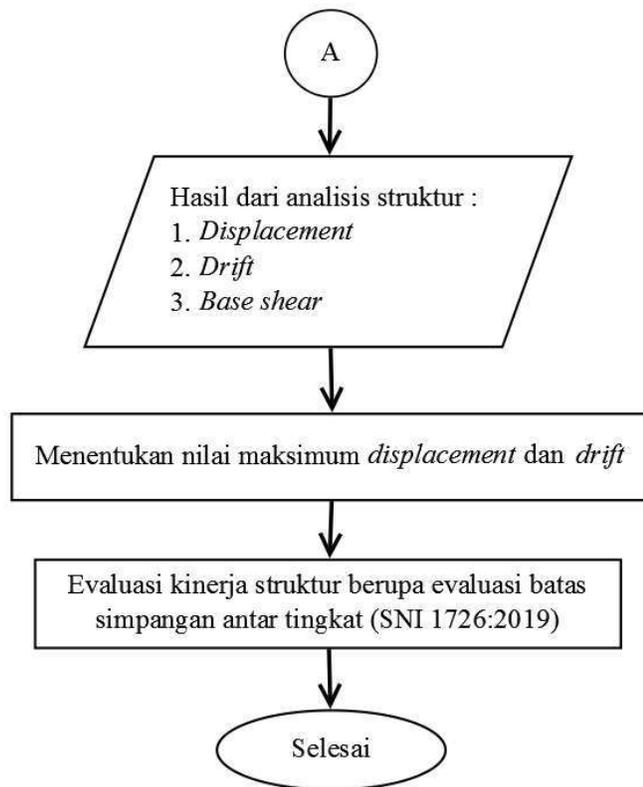
Setelah mendapatkan hasil *output* dari program berupa *drift*, *displacement*, dan *base shear*, dilakukan cek pengontrolan dinamis berupa:

- a. Analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik (SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.1)
- b. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

3.3.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 6. Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3. 7. Diagram Alir Penelitian (lanjutan).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan hasil analisis respon spektrum yang telah dilakukan terhadap base shear didapatkan nilai maksimum untuk arah X sebesar 3011,9534 kN dan arah Y sebesar 3695,6384 kN, keduanya mendapatkan nilai geser dasar ragam (V_t) lebih besar 100% dari gaya geser dasar yang dihitung (V).
2. Berdasarkan hasil kontrol simpangan antar tingkat berdasarkan Tabel 20 SNI 1726:2019 pada Gedung 5 RSPTN UNILA, diketahui bahwa semakin besar percepatan maksimum gempa, maka nilai simpangan antar tingkat akan semakin besar juga pada struktur gedung. Hasil simpangan pada Gedung yang ditinjau diperoleh nilai pada arah X adalah 15.5850% dan arah Y adalah 19.3563% dari simpangan izin. Simpangan yang terjadi pada struktur gedung sudah memenuhi syarat simpangan antar tingkat izin sesuai dengan SNI 1726:2019.
3. Berdasarkan hasil *displacement* struktur gedung, didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Berdasarkan grafik yang sudah didapat, nilai *displacement* arah X dipengaruhi oleh beban Respon Spektrum arah X dari program struktur. Nilai maksimum *displacement* arah X yang didapat adalah sebesar 39,7750 mm.
 - b. Berdasarkan grafik yang sudah didapat, nilai *displacement* arah Y dipengaruhi oleh beban Respon Spektrum arah Y dari program struktur komersial. Pada lantai atap, pendistribusian beban yang terjadi tidak terdeteksi dengan baik pada program struktur komersial sehingga

distribusi yang terjadi tidak maksimal. Nilai maksimum *displacement* arah Y yang didapat adalah sebesar 48,9870 mm.

5.2. Saran

Menurut penelitian yang telah dilakukan, adapun saran-saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut:

1. Pada saat penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan model struktur yang bervariasi dan beragam..
2. Perlu dilakukannya evaluasi kinerja struktur respon spektrum dengan analisis lain seperti analisis *pushover* sebagai pembanding untuk mendapatkan perbandingan hasil dan tambahan evaluasi sesuai dengan masing-masing metode yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif Mustofa Nur. 2010. "Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya." *Jurnal Geografi* 7(1): 67.
- Badan Meteorologi dan Geofisika. 'Gempa Bumi'.
http://202.90.199.61:81/RBMKG_Wilayah_10/Geofisika/gempabumi.bmkg.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *BSN Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Bangunan Lain*. Jakarta.
- Daniel L. Schodek. 1999. *Struktur*. 1st ed. Jakarta: Erlangga.
- Dinas Pekerjaan Umum Perumahan dan Kawasan Pemukiman. 2021. "Konstruksi Bangunan Tahan Gempa." : 596.
- Edy Purnomo, Edy Purwanto, and Agus Supriyadi. 2014. "Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs." *e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL 2*.
- Hoedajanto, and I. Imran. 2002. "The Practice of Concrete in Indonesia." In *Proceedings of Asian Concrete Forum Symposium.*.
- International Code Council. 2009. *International Building Code (IBC)* . International Code Council.
- Kardiyono Tjokrodinuljo. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- Kesekretariatan Kemendagri. 2022. '273 Juta Penduduk Indonesia Terupdate Versi Kemendagri'. dukcapil.kemendagri.go.id.
- Mc. Cormac. 2004. *2 Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Sigit Darmawan, Lely Stauspalia, and Khairun Nisa'. 2010. "Pengaruh Gaya Geser Yang Merambat Pada Kolom Akibat Gempa Terhadap Perilaku Struktural Gedung Bertingkat." In *Pengembangan Infrastruktur* , Surabaya.

Undang-undang RI No. 44 tahun 2009. *Rumah Sakit*.

Widodo. 2001. *Respons Dinamik Struktur Elastik*. Yogyakarta: UII Press.

Wiryanto Dewobroto. 2007. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi Dengan SAP2000*. Jakarta:
Elex Media Komputindo.

Yosafat Aji Pranata. 2006. 'Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa
Dengan Pushover Analysis (Sesuai ARC-40, FEMA 356 Dan FEMA 440)'.
Jurnal Teknik Sipil 3(1).