

**EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT  
PENGARUH BEBAN GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS DINAMIK  
RESPON SPEKTRUM  
(Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)**

**(Skripsi)**

**Oleh  
INDANA ZULVA  
(1815011009)**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

**EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT  
PENGARUH BEBAN GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS DINAMIK  
RESPON SPEKTRUM  
(Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)**

**Oleh  
INDANA ZULVA**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Program Studi S1 Teknik Sipil  
Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## **ABSTRACT**

### **EVALUATION OF STRUCTURE STRENGTH OF STORE BUILDING DUE TO THE EFFECT OF EARTHQUAKE LOAD USING SPECTRUM RESPONSE DYNAMIC ANALYSIS**

**(Studi Kasus: Flats, University of Lampung)**

**By**

**INDANA ZULVA**

*The design of flats must be designed to have high strength and resistance to external loads, including exposure to seismic loads. One of the efforts that can be done to anticipate is to meet the needs of earthquake-resistant buildings. In this case, it is necessary to carry out a comprehensive design and evaluation of earthquake-resistant buildings by taking into account the lateral forces caused by earthquake loads in accordance with the latest codes.*

*This research takes a case study at the Flats of the University of Lampung. In design, the structure of the building still uses the old codes, namely SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, and SNI 2847-2013. Meanwhile, currently the latest designed codes have been implemented, namely SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, and SNI 2847-2019, so it is necessary to evaluate the strength of the structure using the latest codes to find out whether the building still meets the safety requirements or not.*

*This study aims to compare the results of evaluating the strength of high-rise buildings due to the influence of earthquake loads and without earthquake loads using dynamic response spectrum analysis. The conclusion of this study is that the building structure is not strong enough to withstand earthquake loads that occur in several beams while the columns and plates are strong enough, and there is a significant difference between conditions with the influence of earthquake loads and without earthquake loads.*

*Key words : dynamic analysis of response spectrum, earthquake, structural strength*

## **ABSTRAK**

### **EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM**

**(Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)**

**Oleh**

**INDANA ZULVA**

Perancangan rumah susun wajib dirancang untuk mempunyai kekuatan dan ketahanan yang tinggi terhadap muatan eksternal, termasuk paparan beban seismik. Dalam hal ini, perlu dilakukan perencanaan dan evaluasi yang menyeluruh terhadap bangunan tahan gempa dengan memperhitungkan gaya lateral yang diakibatkan oleh beban gempa sesuai dengan peraturan terbaru.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Rumah Susun Universitas Lampung. Dalam perencanaannya, struktur gedung tersebut masih menggunakan peraturan lama yaitu SNI 1726-2012, SNI 1727-2013, dan SNI 2847-2013. Sedangkan untuk saat ini telah diberlakukan standar perencanaan terbaru yaitu SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, dan SNI 2847-2019, sehingga perlu dilakukan evaluasi kekuatan struktur dengan menggunakan peraturan terbaru untuk mengetahui apakah gedung masih memenuhi syarat aman atau tidak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil evaluasi kekuatan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa dan tanpa beban gempa menggunakan analisis dinamik respon spektrum. Kesimpulan dari penelitian ini adalah struktur gedung tidak cukup kuat menahan beban gempa yang terjadi pada beberapa balok sedangkan kolom dan pelat sudah cukup kuat, dan terdapat perbedaan signifikan antara kondisi dengan pengaruh beban gempa dan tanpa beban gempa.

Kata kunci : analisis dinamik respon spektrum, gempa, kekuatan struktur

Judul Skripsi : **EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM (Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)**

Nama Mahasiswa : **Indana Zulva**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011054

Jurusan : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



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

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

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

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

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

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

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



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



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Mohd. Isnelni, 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 : **29 November 2022**

## SURAT PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : INDANA ZULVA

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011009

Judul Skripsi : Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat  
Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan  
Analisis Dinamik Respon Spektrum  
(Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)

Jurusan : Teknik Sipil

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, 29 November 2022

Penulis



**INDANA ZULVA**  
**NPM 1815011009**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Panjang pada tanggal 12 Agustus 2000, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Erwan dan Ibu Titin Watini. Penulis memiliki dua orang saudara, yaitu kakak perempuan yang bernama Donna Thiner dan kakak laki-laki yang bernama Daud Maulana. Penulis memulai jenjang pendidikan tingkat dasar di MII Pidada Panjang yang diselesaikan pada tahun 2012, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di MTsN 1 Tanjung Karang yang diselesaikan pada tahun 2015, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di MAN 1 Bandar Lampung.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN pada tahun 2018. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Kaderisasi Periode 2019-2020, kemudian pada periode 2020-2022 penulis menjadi anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan Periode 2020-2022.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan selama 40 hari, Februari-Maret 2021. Di tahun yang sama, penulis juga telah melakukan kerja praktik di Proyek Pembangunan Rumah Susun Universitas Lampung, Bandar Lampung selama 3 bulan. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan Analisis Dinamik Respon Spektrum” (Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)”.



# PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan teruntuk orang tuaku tercinta,  
keluarga, pacar, sahabat, dan teman.

&

Semua pihak yang selalu memberi semangat dan motivasi

Kalian adalah alasanku segera menyelesaikan tugas akhir ini <>

# MOTTO

“..Sesudah kesulitan pasti ada kemudahan..”

(QS. Al Insyirah: 6)

“Discipline is choosing between what you want now and what you want most.”

(Abraham Lincoln)

“Better an oops than a what if.”

“Work hard in silence and let success make the noise.”

“With God all things are possible.”

“Always do what you are afraid to do.”

(Ralph Waldo Emerson)

“It seems impossible until it’s done.”

(Nelson Mandela)

“I am not what happened to me, I am what I choose to become.”

(Carl Jung)

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan Analisis Dinamik Respon Spektrum (Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung)”** dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

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. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Bapak Bayzoni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Ibu Hasti Riakara Husni, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesediannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.

8. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membantu penulis selama perkuliahan.
9. 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.
10. Kedua orang tua tercinta, Ibu Titin Watini dan Alm. Bapak Erwan Sukiyat 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.
11. Kakak tersayang Donna Thiner dan abang tersayang Daud Maulana yang selalu menemani, mengingatkan, menghibur dan memberi dukungan untuk penulis.
12. Seluruh anggota keluarga besar *Tauhid Family* yang telah memberikan dukungan dan doa demi lancarnya penulisan skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
13. Febriyan Dwi Wisena yang selalu sabar, perhatian, dan membantu penulis dalam memecahkan persoalan.
14. Anak Solehah (Aqilla, Lulu, Tutia, Aisyah, Imelda, dan Nurul) yang selalu membantu dan menemani berbagi suka dan duka.
15. Kesayangan (Via, Nida, Defha, dan Alyana) yang selalu menemani penulis dan menjadi pendengar yang baik bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, khususnya bagi penulis pribadi.

Bandar Lampung, 29 November 2022

Penulis,



**Indana Zulva**

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>PRAKATA</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Uraian Umum .....	6
2.2. Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	7
2.3. Elemen Struktur .....	8
2.3.1. Pelat .....	8
2.3.2. Balok.....	10
2.3.3. Kolom .....	10
2.4. Pembebanan Struktur.....	10
2.4.1. Beban Gempa.....	10
2.4.2. Beban Mati.....	10
2.4.3. Beban Hidup .....	11
2.4.4. Kombinasi Pembebanan .....	11
2.5. Analisis Dinamik .....	12
2.6. Tinjauan Struktur Terhadap Gempa .....	13
2.6.1. Gempa Rencana .....	13
2.6.2. Kategori Risiko Struktur Bangunan.....	14
2.6.3. Faktor Keutamaan Gempa .....	16
2.6.4. Klasifikasi Situs .....	16
2.6.5. Wilayah Gempa .....	17
2.6.6. Koefisien Situs.....	18
2.6.7. Parameter Percepatan Spektral Desain .....	19
2.6.8. Spektrum Respon Desain.....	20
2.6.9. Kategori Desain Seismik .....	20

2.7.	Kontrol Dinamis Struktur .....	21
2.8.	Faktor Reduksi Kekuatan .....	25
2.9.	Evaluasi Kekuatan Struktur .....	27
2.9.1.	Asumsi-Asumsi dalam Perhitungan .....	27
2.9.2.	Evaluasi Struktur Pelat .....	28
2.9.3.	Evaluasi Struktur Balok .....	28
2.9.4.	Evaluasi Struktur Kolom .....	30
2.10.	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	32
2.10.1.	Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	33
2.10.2.	Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	34
<b>III.</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>36</b>
3.1.	Pendekatan Penelitian .....	36
3.2.	Objek Penelitian .....	36
3.3.	Data Penelitian.....	37
3.3.1.	Luas Bangunan .....	39
3.3.2.	Elevasi Bangunan .....	39
3.3.3.	Balok.....	39
3.3.4.	Kolom .....	40
3.3.5.	Pelat .....	40
3.3.6.	Dinding Geser .....	41
3.3.7.	Data Tanah.....	42
3.4.	Prosedur Penelitian .....	43
3.4.1.	Studi Literatur .....	43
3.4.2.	Pengumpulan Data.....	43
3.4.3.	Analisis Data.....	44
3.5.	Diagram Alir Penelitian.....	47
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
4.1.	Data Struktur Gedung.....	50
4.1.1.	Spesifikasi Material .....	50
4.1.2.	Spesifikasi Elemen Struktur .....	50
4.2.	Pemodelan Struktur Gedung.....	53
4.3.	Pembebanan Struktur.....	54
4.3.1.	Beban Mati.....	54
4.3.2.	Beban Hidup .....	54
4.3.3.	Beban Gempa.....	55
4.4.	Kombinasi Pembebanan .....	59
4.5.	Analisis Struktur .....	60
4.6.	Kontrol Respon Dinamis Struktur .....	71
4.6.1.	Kontrol Rasio Partisipasi Massa .....	71
4.6.2.	Kontrol Periode Fundamental .....	72
4.6.3.	Kontrol Gaya Geser Dasar .....	73
4.6.4.	Kontrol <i>Dual System</i> .....	76
4.6.5.	Kontrol Simpangan Antar Lantai ( <i>Story Drift</i> ).....	78
4.7.	Evaluasi Kekuatan Struktur Balok .....	79
4.7.1.	Pemeriksaan Kuat Rancang Struktur Balok .....	79
4.7.1.1.	Evaluasi Kapaitas Tulangan Lentur.....	80

4.7.1.2.	Evaluasi Kapaitas Tulangan Geser .....	93
4.7.1.3.	Evaluasi Kapaitas Tulangan Akibat Torsi .....	101
4.7.2.	Pemeriksaan Persyaratan Balok SRPMK .....	116
4.7.2.1.	Syarat Gaya dan Geometri.....	116
4.7.2.2.	Persyaratan Tulangan Lentur Balok Tumpuan .....	119
4.7.2.3.	Persyaratan Tulangan Lentur Balok Lapangan .....	120
4.7.2.4.	Persyaratan Tulangan Transversal.....	120
4.7.3.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok Rencana Terhadap Kebutuhan Tulangan Perlu .....	125
4.7.3.1.	Kebutuhan Tulangan Balok Hasil Desain Program Analisis Struktur Komersial .....	125
4.7.3.2.	Kebutuhan Tulangan Perlu .....	125
4.7.3.3.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan.....	127
4.8.	Evaluasi Kekuatan Struktur Kolom.....	149
4.8.1.	Pemeriksaan Kapasitas Beban Aksial Kolom.....	149
4.8.2.	Pemeriksaan Penulangan Kolom .....	150
4.8.3.	Pemeriksaan Syarat Kolom SRPMK.....	167
4.8.4.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Kolom Rencana dan Tulangan Kolom Perlu.....	168
4.9.	Evaluasi Penulangan Pelat.....	171
4.9.1.	Pembebanan Pada Pelat .....	171
4.9.2.	Pemeriksaan Jenis Pelat .....	172
4.9.3.	Pemeriksaan Ketebalan Pelat.....	172
4.9.4.	Pemeriksaan Kapasitas Lentur.....	174
<b>V.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>182</b>
5.1.	Kesimpulan.....	182
5.2.	Saran .....	183

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Pelat Satu Arah .....	9
2.2. Pelat Dua Arah.....	9
2.3. Parameter Spektral Percepatan Gempa untuk Periode 1 detik ( $S_1$ ) .....	17
2.4. Parameter Spektral Percepatan Gempa untuk Periode Pendek 0,2 detik ( $S_s$ ) .....	18
2.5. Peta Transisi Periode Panjang ( $T_L$ ) Wilayah Indonesia.....	18
2.6. Respon Spektrum Desain.....	20
2.7. Penentuan Simpangan Antar Tingkat .....	24
2.8. Distribusi Tegangan dan Regangan Tarik Netto pada Komponen Non Prategang .....	26
2.9. Bagian-Bagian Diagram Interaksi .....	31
3.1. Objek Penelitian.....	36
3.2. <i>Site Plan</i> .....	37
3.3. Tampak Depan Gedung .....	37
3.4. Tampak Belakang Gedung .....	38
3.5. Tampak Samping Kanan dan Samping Kiri Gedung .....	38
3.6. Penulangan Dinding Geser .....	41
3.7. Diagram Alir Penelitian .....	48
3.7. (Lanjutan) .....	49
4.1. Penulangan Balok G1.1 .....	52
4.2. Penulangan Kolom K1.....	52
4.3. Penulangan Pelat S1 .....	53
4.4. Pemodelan Gedung.....	53
4.5. Kurva Respon Spektrum.....	58
4.6. $M_u^+$ Tumpuan Maksimum Balok G1.1 .....	61
4.7. $M_u^-$ Tumpuan Maksimum Balok G1.1 .....	61
4.8. $M_u^+$ Lapangan Maksimum Balok G1.1 .....	61
4.9. $M_u^-$ Lapangan Maksimum Balok G1.1 .....	61
4.10. $T_u$ Maksimum Balok G1.1 .....	61
4.11. $V_u$ Tumpuan Maksimum Balok G1.1 .....	62
4.12. $V_u$ Lapangan Maksimum Balok G1.1.....	62
4.13. $M_u^+$ dan $M_u^-$ Tumpuan Maksimum Balok G1.1 .....	62
4.14. $M_u^+$ Lapangan Maksimum Balok G1.1 .....	62
4.15. $M_u^-$ Lapangan Maksimum Balok G1.1 .....	62
4.16. $T_u$ Maksimum Balok G1.1 .....	63
4.17. $V_u$ Tumpuan Maksimum Balok G1.1 .....	63
4.18. $V_u$ Lapangan Maksimum Balok G1.1.....	63
4.20. $V_2$ dan $M_{uy}$ Maksimum Kolom K1 .....	63



4.21. $V_3$ dan $M_{ux}$ Maksimum Kolom K1 .....	64
4.22. $P_u$ Maksimum Kolom K1 .....	64
4.23. $V_2$ dan $M_{uy}$ Maksimum Kolom K1 .....	64
4.24. $V_3$ dan $M_{ux}$ Maksimum Kolom K1 .....	64
4.25. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 Tanpa Beban Gempa .....	89
4.26. Persentase Perbedaan Kekuatan Penampang Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 Tanpa Beban Gempa .....	89
4.27. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 Tanpa Beban Gempa .....	90
4.28. Persentase Perbedaan Kekuatan Penampang Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 Tanpa Beban Gempa .....	90
4.29. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 dengan Beban Gempa.....	91
4.30. Persentase Perbedaan Kekuatan Penampang Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 dengan Beban Gempa.....	91
4.31. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 dengan Beban Gempa.....	92
4.32. Persentase Perbedaan Kekuatan Penampang Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 dengan Beban Gempa.....	92
4.33. Perbandingan Kekuatan Geser Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 Tanpa Beban Gempa .....	98
4.34. Perbandingan Kekuatan Geser Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 dengan Beban Gempa .....	99
4.35. Persentase Perbedaan Kekuatan Geser Balok G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, dan G5.1 .....	99
4.36. Perbandingan Kekuatan Geser Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 Tanpa Beban Gempa.....	100
4.37. Perbandingan Kekuatan Geser Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 dengan Beban Gempa .....	100
4.38. Persentase Perbedaan Kekuatan Geser Balok B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1 .....	101
4.39. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Tumpuan Atas .....	139
4.40. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Tumpuan Atas .....	139
4.41. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Tumpuan Bawah.....	140
4.42. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Tumpuan Bawah.....	140
4.43. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Lapangan Atas .....	141
4.44. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Lapangan Atas .....	141
4.45. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Lapangan Bawah .....	142
4.46. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Lapangan Bawah .....	142

4.47. Perbandingan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Tumpuan.....	143
4.48. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Tumpuan.....	143
4.49. Perbandingan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Lapangan .....	144
4.50. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Lapangan .....	144
4.51. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Tumpuan Akibat Torsi .....	145
4.52. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Tumpuan Akibat Torsi .....	145
4.53. Perbandingan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Lapangan Akibat Torsi .....	146
4.54. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Longitudinal Pasang dan Luas Tulangan Longitudinal Perlu Lapangan Akibat Torsi .....	146
4.55. Perbandingan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Tumpuan Akibat Torsi.....	147
4.56. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Tumpuan Akibat Torsi .....	147
4.57. Perbandingan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Lapangan Akibat Torsi .....	148
4.58. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Transversal Pasang dan Luas Tulangan Transversal Perlu Lapangan Akibat Torsi .....	148
4.59. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $P_{maks}$ .....	151
4.60. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $P_{min}$ .....	152
4.61. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{ux maks}$ .....	152
4.62. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{ux min}$ .....	153
4.63. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{uy maks}$ .....	153
4.64. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{uy min}$ .....	154
4.65. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $P_{maks}$ .....	160
4.66. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $P_{min}$ .....	160
4.67. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{ux maks}$ .....	161
4.68. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{ux min}$ .....	161
4.69. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{uy maks}$ .....	162
4.70. Diagram Interaksi Kolom K1 pada Kondisi $M_{uy min}$ .....	162
4.71. Perbandingan Luas Tulangan Pasang dan Luas Tulangan Perlu pada Kolom .....	170
4.72. Persentase Perbedaan Luas Tulangan Pasang dan Luas Tulangan Perlu pada Kolom.....	171
4.73. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Tulangan Pelat S2 .....	179
4.74. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Tulangan Pelat S3 .....	179
4.75. Perbandingan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Tulangan Pelat S4 .....	180
4.76. Persentase Perbedaan Kuat Rancang dan Kuat Perlu Tulangan Pelat.....	180

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa .....	14
2.1. (Lanjutan).....	15
2.2. Faktor Keutamaan Gempa.....	16
2.3. Klasifikasi Situs.....	16
2.3. (Lanjutan).....	17
2.4. Koefisien Situs, $F_a$ .....	19
2.5. Koefisien Situs, $F_v$ .....	19
2.6. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek ( $S_{DS}$ ) .....	20
2.7. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode 1 Detik ( $S_{D1}$ ) .....	21
2.8. Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	21
2.9. Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung .....	22
2.10. Batasan Simpangan Antar Lantai .....	25
2.11. Faktor Reduksi Kekuatan .....	25
2.12. Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ) untuk Momen, Gaya Aksial, atau Kombinasi Momen dan Gaya Aksial .....	26
2.13. Nilai $\beta_1$ untuk Distribusi Tegangan Beton Ekuivalen .....	27
2.14. Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah dengan Balok di antara Tumpuan pada Semua Sisinya.....	28
2.15. Kekuatan Aksial Maksimum .....	31
3.1. Data Elevasi Bangunan .....	39
3.2. Penulangan Balok.....	40
3.3. Penulangan Kolom .....	40
3.4. Penulangan Pelat .....	41
3.5. Nilai N-SPT pada BH-01 .....	42
4.1. Spesifikasi Mutu Beton .....	50
4.2. Spesifikasi Penulangan Lentur dan Geser pada Balok.....	51
4.3. Spesifikasi Penulangan Torsi pada Balok .....	51
4.4. Spesifikasi Penulangan Kolom.....	52
4.5. Spesifikasi Penulangan Pelat.....	53
4.6. Hasil Pembacaan Nilai N-SPT .....	55
4.7. Parameter Percepatan Desain Respon Spektral.....	57
4.8. Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega$ untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik.....	58
4.8. (Lanjutan) .....	59
4.9. Gaya Dalam Balok G1.1 .....	65
4.10. Gaya Dalam Balok G1.2 .....	65

4.11.	Gaya Dalam Balok G2.1 .....	66
4.12.	Gaya Dalam Balok G2.2 .....	66
4.13.	Gaya Dalam Balok G2.3 .....	66
4.14.	Gaya Dalam Balok G4.1 .....	67
4.15.	Gaya Dalam Balok G5.1 .....	67
4.16.	Gaya Dalam Balok B2.1 .....	67
4.17.	Gaya Dalam Balok B2.2 .....	68
4.18.	Gaya Dalam Balok B2.3 .....	68
4.19.	Gaya Dalam Balok B3.1 .....	68
4.20.	Gaya Dalam Balok B4.1 .....	69
4.21.	Gaya Dalam Kolom K1 .....	69
4.22.	Gaya Dalam Kolom K2 .....	70
4.23.	Gaya Dalam Kolom K3 .....	70
4.24.	Rasio Partisipasi Massa .....	71
4.24.	(Lanjutan) .....	72
4.25.	Nilai Koefisien Respon Seismik .....	74
4.26.	Massa dan Berat Bangunan .....	74
4.27.	Gaya Geser Dasar ( $V_t$ ) Awal .....	75
4.28.	Gaya Geser Dasar ( $V_t$ ) Koreksi .....	76
4.29.	Gaya Gempa Arah X .....	76
4.30.	Gaya Gempa Arah Y .....	77
4.31.	Persentase Gaya Seismik yang Ditahan <i>Shearwall</i> .....	77
4.32.	Simpangan Antar Lantai Arah X .....	79
4.33.	Simpangan Antar Lantai Arah Y .....	79
4.34.	Kuat Lentur Nominal Lapangan Positif .....	83
4.35.	Kuat Lentur Nominal Lapangan Negatif .....	84
4.36.	Kuat Lentur Nominal Tumpuan Negatif .....	85
4.37.	Kuat Lentur Nominal Tumpuan Positif .....	86
4.38.	Pemeriksaan Kuat Rancang Tulangan Lentur Tanpa Pengaruh Beban Gempa .....	87
4.39.	Pemeriksaan Kuat Rancang Tulangan Lentur dengan Pengaruh Beban Gempa .....	88
4.40.	Kuat Geser Nominal Daerah Tumpuan .....	96
4.41.	Kuat Geser Nominal Daerah Lapangan .....	96
4.42.	Pemeriksaan Kapasitas Tulangan Geser Tanpa Beban Gempa .....	97
4.43.	Pemeriksaan Kapasitas Tulangan Geser dengan Beban Gempa .....	97
4.43.	(Lanjutan) .....	98
4.44.	Parameter Geometri Penampang .....	102
4.45.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi Tanpa Beban Gempa .....	103
4.46.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi dengan Beban Gempa .....	103
4.47.	Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang Tanpa Beban Gempa ...	104
4.47.	(Lanjutan) .....	105
4.48.	Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang dengan Beban Gempa ..	105
4.49.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi Transversal Tumpuan Tanpa Beban Gempa .....	108
4.50.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi Transversal Tumpuan dengan Beban Gempa .....	109
4.51.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi Transversal Lapangan Tanpa	

	Beban Gempa .....	110
4.52.	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi Transversal Lapangan dengan Beban Gempa .....	111
4.53.	Pemeriksaan Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan Tanpa Beban Gempa .....	112
4.54.	Pemeriksaan Tulangan Torsi Longitudinal Tumpuan dengan Beban Gempa .....	113
4.55.	Pemeriksaan Tulangan Torsi Longitudinal Lapangan Tanpa Beban Gempa .....	114
4.56.	Pemeriksaan Tulangan Torsi Longitudinal Lapangan dengan Beban Gempa .....	115
4.57.	Pemeriksaan Syarat dan Geometri Balok .....	118
4.58.	Pemeriksaan Syarat SRPMK Tulangan Lentur Daerah Tumpuan .....	123
4.59.	Pemeriksaan Syarat SRPMK Tulangan Lentur Daerah Lapangan.....	123
4.60.	Nilai Gaya Geser Desain Balok SRPMK.....	123
4.61.	Pemeriksaan Penulangan Geser Daerah Tumpuan.....	124
4.62.	Pemeriksaan Penulangan Geser Daerah Lapangan .....	124
4.63.	Kebutuhan Tulangan Desain Tanpa Pengaruh Beban Gempa .....	125
4.64.	Kebutuhan Tulangan Desain dengan Pengaruh Beban Gempa.....	125
4.65.	Kebutuhan Tulangan Perlu Tanpa Pengaruh Beban Gempa .....	126
4.66.	Kebutuhan Tulangan Perlu Total Tanpa Pengaruh Beban Gempa.....	126
4.67.	Kebutuhan Tulangan Perlu dengan Pengaruh Beban Gempa .....	126
4.68.	Kebutuhan Tulangan Perlu Total dengan Pengaruh Beban Gempa.....	127
4.69.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Tanpa Beban Gempa dan dengan Beban Gempa .....	128
4.70.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G1.1 Tanpa Beban Gempa .	129
4.71.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G1.2 Tanpa Beban Gempa .	129
4.72.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G2.1 Tanpa Beban Gempa .	129
4.73.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G2.2 Tanpa Beban Gempa .	130
4.74.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G2.3 Tanpa Beban Gempa .	130
4.75.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G4.1 Tanpa Beban Gempa .	130
4.76.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G5.1 Tanpa Beban Gempa .	131
4.77.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B2.1 Tanpa Beban Gempa .	131
4.78.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B2.2 Tanpa Beban Gempa .	131
4.79.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B2.3 Tanpa Beban Gempa .	132
4.80.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B3.1 Tanpa Beban Gempa .	132
4.81.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B4.1 Tanpa Beban Gempa .	132
4.82.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G1.1 dengan Beban Gempa .....	133
4.83.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G1.2 dengan Beban Gempa .....	133
4.84.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G2.1 dengan Beban Gempa .....	134
4.85.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G2.2 dengan Beban Gempa .....	134
4.86.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G2.3 dengan Beban Gempa .....	134
4.87.	Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G4.1 dengan Beban	

Gempa .....	135
4.88. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G5.1 dengan Beban Gempa .....	135
4.89. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B2.1 dengan Beban Gempa .....	135
4.90. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B2.2 dengan Beban Gempa .....	136
4.91. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B2.3 dengan Beban Gempa .....	136
4.92. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok B3.1 dengan Beban Gempa .....	136
4.93. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok G4.1 dengan Beban Gempa .....	137
4.94. Persentase Perbedaan Kebutuhan Tulangan Pasang dan Kebutuhan Tulangan Perlu Tanpa Pengaruh Beban Gempa .....	137
4.95. Persentase Perbedaan Kebutuhan Tulangan Pasang dan Kebutuhan Tulangan Perlu dengan Pengaruh Beban Gempa .....	138
4.96. Pemeriksaan Kapasitas Beban Aksial Kolom Tanpa Beban Gempa ....	150
4.97. Pemeriksaan Kapasitas Beban Aksial Kolom dengan Beban Gempa ....	150
4.98. Gaya Dalam Kolom K1 Tanpa Beban Gempa .....	151
4.99. Kuat Lentur Nominal Kolom K1 Tanpa Beban Gempa.....	151
4.100. Gaya Dalam Kolom K2 Tanpa Beban Gempa .....	154
4.101. Kuat Lentur Nominal Kolom K2 Tanpa Beban Gempa.....	155
4.102. Gaya Dalam Kolom K3 Tanpa Beban Gempa .....	155
4.103. Kuat Lentur Nominal Kolom K3 Tanpa Beban Gempa.....	155
4.104. Pemeriksaan Kuat Geser Kolom Sumbu Lemah.....	158
4.105. Pemeriksaan Kuat Geser Kolom Sumbu Kuat .....	158
4.106. Gaya Dalam Kolom K1 dengan Beban Gempa .....	159
4.107. Kuat Lentur Nominal Kolom K1 dengan Beban Gempa .....	159
4.108. Gaya Dalam Kolom K2 dengan Beban Gempa .....	163
4.109. Kuat Lentur Nominal Kolom K2 dengan Beban Gempa .....	163
4.110. Gaya Dalam Kolom K3 dengan Beban Gempa .....	163
4.111. Kuat Lentur Nominal Kolom K3 dengan Beban Gempa .....	164
4.112. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser Sumbu Lemah Daerah Tumpuan.....	166
4.113. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser Sumbu Kuat Daerah Tumpuan.....	166
4.114. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser Sumbu Lemah Daerah Lapangan .....	166
4.115. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser Sumbu Kuat Daerah Lapangan .....	166
4.116. Pemeriksaan Syarat Dimensi Kolom SRPMK.....	167
4.117. Pemeriksaan Kekuatan Lentur Minimum Kolom .....	167
4.118. Pemeriksaan Syarat Luas Tulangan Longitudinal Kolom.....	168
4.119. Pemeriksaan Rasio Tulangan Kondisi Tanpa Pengaruh Beban Gempa dan dengan Beban Gempa.....	169
4.120. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Kolom dalam Kondisi Tanpa Beban Gempa dan dengan Beban Gempa .....	169

4.121. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Kolom Rencana dan Tulangan Kolom Perlu Tanpa Pengaruh Beban Gempa .....	170
4.122. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Kolom Rencana dan Tulangan Kolom Perlu dengan Pengaruh Beban Gempa .....	170
4.123. Pemeriksaan Jenis Pelat .....	172
4.124. Pemeriksaan Ketebalan Pelat Minimum .....	173
4.125. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Geser Sumbu Lemah Daerah Tumpuan.....	178
4.126. Pemeriksaan Kuat Nominal Pelat Arah X dan Arah Y .....	178

## DAFTAR NOTASI

$a$	= Tinggi Blok Tegangan Persegi Ekuivalen
$A_{cp}$	= Luas Yang Dibatasi Oleh Keliling Luar Penampang Beton
$A_g$	= Luas Bruto Penampang Beton
$A_l$	= Luas Total Tulangan Longitudinal Untuk Menahan Torsi
$A_o$	= Luas Bruto Yang Dilingkupi Oleh Lintasan Alir Geser
$A_{oh}$	= Luas Yang Dilingkupi Oleh Garis Pusat Tulangan Torsi Transversal Tertutup Terluar
$A_s$	= Luas Tulangan
$A_t$	= Luas Satu Kaki Senggang Tertutup Yang Menahan Torsi Dalam Spasi
$A_v$	= Luas Tulangan Geser Dalam Spasi
$b$	= Lebar Komponen Struktur
$c$	= Jarak Dari Serat Tekan Terjauh Ke Sumbu Netral
$C_d$	= Faktor Pembesaran Simpangan Lateral
$C_s$	= Koefisien Respon Seismik
$d$	= Jarak Dari Serat Tekan Terjauh Ke Pusat Tulangan Tarik Longitudinal
$D$	= Pengaruh Dari Beban Mati
$d'$	= Jarak Dari Serat Tekan Terjauh Ke Pusat Tulangan Tekan Longitudinal
$E$	= Pengaruh Beban Seismik Horizontal dan Vertikal
$F$	= Gaya Gempa Desain Tingkat Kekuatan
$F_a$	= Parameter Percepatan Respon Spektral Pada Periode 1 Detik
$f'_c$	= Kekuatan Tekan Beton
$F_v$	= Koefisien Situs Untuk Periode Panjang (Pada Periode 1 Detik)
$f_y$	= Kekuatan Leleh Tulangan
$h_n$	= Batasan Tinggi Struktur (m)
$I_e$	= Faktor Keutamaan Gempa
$L$	= Pengaruh Dari Beban Hidup
$l_n$	= Panjang Bentang Bersih
$L_r$	= Pengaruh Beban Hidup di Atap
$M_n$	= Kekuatan Lentur Nominal
$M_{pr}$	= Kekuatan Lentur Mungkin Komponen Struktur, Dengan Atau Tanpa Beban Aksial, Yang Ditentukan Menggunakan <i>Property</i> Komponen Struktur Pada Muka <i>Joint</i> Yang Mengasumsikan Tegangan Tarik Dalam Batang Tulangan Longitudinal Sebesar Paling Sedikit $1,25f_y$ dan Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ ) Sebesar 1,0 N.mm
$M_u$	= Momen Terfaktor
$N_u$	= Gaya Aksial Terfaktor Tegak Lurus Terhadap Penampang
$P$	= Faktor Redudansi
$P_{cp}$	= Keliling Luar Penampang Beton
PGA	= Percepatan Muka Tanah Puncak $MCE_G$ Terpeta



$P_h$	= Keliling Garis Pusat Tulangan Torsi Transversal
$P_n$	= Kuat Aksial Nominal
$P_o$	= Kekuatan Aksial Nominal Pada Eksentrisitas 0
$P_u$	= Gaya Aksial Terfaktor
$Q_E$	= Pengaruh Gaya Seismik Horizontal
$R$	= Koefisien Modifikasi Respon
$s$	= Spasi
$S_{DS}$	= Parameter Percepatan Respon Spektral Pada Periode Pendek
$S_{D1}$	= Parameter Percepatan Respon Spektral Pada Periode 1 Detik
$S_S$	= Parameter Percepatan Respon Spektral MCE Dari Peta Gempa Pada Periode Pendek
$S_{M1}$	= Parameter Percepatan Respon Spektral MCE Pada Periode 1 Detik Yang Sudah Disesuaikan Terhadap Pengaruh Kelas Situs
$S_{MS}$	= Parameter Respon
$S_1$	= Parameter Percepatan Respon Spektral MCE Dari Peta Gempa Pada Periode 1 Detik
$T$	= Periode Fundamental Bangunan
$T_a$	= Periode Fundamental Pendekatan
$T_{cr}$	= Momen Retak Torsi
$T_L$	= Peta Transisi Periode Panjang
$T_n$	= Kekuatan Momen Torsi Nominal
$T_{th}$	= Momen Torsi <i>Thersold</i>
$T_u$	= Momen Torsi Terfaktor
$V_c$	= Kekuatan Geser Nominal Beton
$V_e$	= Gaya Geser Desain
$V_n$	= Kekuatan Geser Nominal
$V_s$	= Kekuatan Geser Nominal Yang Diberikan Oleh Tulangan Geser
$V_u$	= Gaya Geser Terfaktor
$W$	= Berat Seismik Efektif
$\alpha_{fm}$	= Nilai Rata-Rata $\alpha_f$
$\beta$	= Rasio Dimensi Panjang Terhadap Pendek
$\beta_1$	= Faktor Yang Menghubungkan Tinggi Blok Tegangan Tekan Persegi Ekuivalen Dengan Tinggi Sumbu Netral
$\delta_x$	= Defleksi Pusat Massa di Tingkat X
$\delta_e$	= Perpindahan Elastik Yang Dihitung Akibat Gaya Gempa Desain Tingkat Kekuatan
$\Delta_i$	= Simpangan Antar Tingkat
$\epsilon_t$	= Regangan Tarik Netto Terjauh Baja Tarik Longitudinal
$\rho$	= Rasio Tulangan
$\phi$	= Faktor Reduksi Kekuatan
$\Omega$	= Faktor Kuat Lebih Sistem

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Laju pertumbuhan penduduk yang pesat menyebabkan terjadinya kelangkaan lahan yang berdampak pada peningkatan biaya lahan yang membuat masyarakat membutuhkan biaya yang besar untuk memperoleh suatu tempat tinggal. Rumah susun mahasiswa dibangun di setiap kampus sebagai akomodasi yang nyata dan dekat dengan lingkungan kampus, dan juga merupakan tempat mahasiswa dapat membentuk kualitas intelektual, sosial, emosional, dan spiritual yang memadai.

Salah satu proyek pembangunan rumah susun yang dilakukan pemerintah pusat adalah Proyek Pembangunan Rumah Susun Universitas Lampung. Pembangunan rumah susun ini memiliki konsep gedung bertingkat yang dihuni bersama-sama serta memanfaatkan ruang dan tanah secara efektif dan efisien. Pembangunan rumah susun ini dilengkapi dengan berbagai macam fasilitas umum, fasilitas sosial, ruang bersama, unit hunian, dan lain-lain. Berbeda dengan pembangunan rumah susun sebelumnya yang hanya dilengkapi kamar mandi di setiap sudut lantai kecuali unit hunian difabel, pembangunan rumah susun ini dilengkapi kamar mandi di setiap unit kamar. Rumah susun ini diharapkan dapat memberikan rasa aman dan nyaman serta kemudahan untuk mahasiswa memperoleh tempat tinggal yang baik dan layak serta tidak jauh dari kampus.

Perancangan rumah susun wajib dirancang untuk mempunyai kekuatan dan ketahanan yang tinggi terhadap muatan eksternal, termasuk paparan beban seismik. Secara geografis, Indonesia termasuk wilayah dengan kerentanan tinggi terhadap gempa karena wilayah Indonesia terletak di antara tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan

Lempeng Pasifik. Banyak gedung dan infrastruktur yang hancur akibat terjadinya gempa. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai wilayah Indonesia mengalami gempa, antara lain gempa Tasikmalaya 2017 (6,9 SR), gempa Donggala-Sulawesi 2018 (7,4 SR), gempa Banten 2019 (6,9 SR), gempa Simulue-Aceh 2020 (6,1 SR), gempa Maluku Utara 2020 (6,8 SR), gempa Lampung 2021 (5,5 SR), gempa Enggano-Bengkulu 2021 (5,2 SR), gempa Majene dan Mamuju 2021 (5,9 dan 6,2 SR), gempa Banten 2022 (6,6 SR), dan gempa Pasaman-Sumatera Barat 2022 (6,1 SR) (BMKG, 2022).

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi 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.

Gempa bumi dapat terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama adalah benturan gesekan kerak bumi yang memengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi ini menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya menjadi bergetar. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan (Schodek, 1999).

Gempa bumi dapat merusak infrastruktur dan bangunan, terutama bangunan bertingkat tinggi. Hal ini karena infrastruktur dan bangunan tidak dapat menopang struktur saat terjadi gempa. Oleh karena itu, harus dilakukan upaya untuk meminimalkan kerusakan, yaitu bagaimana memenuhi persyaratan untuk bangunan tahan gempa. Dalam hal ini, perencanaan komprehensif dan penilaian bangunan tahan gempa dengan mempertimbangkan gaya-gaya lateral akibat pembebanan gempa menurut peraturan terbaru.

Evaluasi kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan memengaruhi struktur gedung yang penting untuk mengevaluasi perilaku seismik struktur gedung setelah leleh (Pranata, 2006).

Mengingat pentingnya fungsi rumah susun, maka perlu dilakukan evaluasi struktur gedung terhadap standar terbaru untuk menentukan kelayakan struktur gedung, sedangkan analisis digunakan untuk mengetahui ketahanan struktur gedung terhadap beban gempa dilakukan dengan analisis dinamik. Analisis dinamis untuk desain seismik dilakukan untuk mendapatkan penilaian yang lebih akurat dari gaya gempa yang bekerja pada struktur bertingkat tinggi (Prismastanto, N., 2019).

Tingkat keamanan gedung sangat penting untuk diketahui sehingga dalam penelitian ini dilakukan studi kasus pada Rumah Susun Universitas Lampung. Rumah susun ini merupakan gedung dengan struktur beton bertulang berlantai 3 dan memiliki 1 lantai dak dengan tinggi bangunan mencapai 14,7 meter. Dalam perencanaan struktur Rumah Susun Universitas Lampung peraturan yang digunakan yaitu SNI 1726-2019, SNI 1727-2020, dan SNI 2847-2019.

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk kurva antara periode struktur T, dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Analisis dinamik respon spektrum memberikan pembagian gaya geser tingkat yang lebih teliti di sepanjang tinggi gedung dibandingkan dengan analisis statik ekuivalen. Oleh sebab itu, pada penelitian ini digunakan analisis kinerja struktur dengan menggunakan analisis dinamik respon spektrum.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil penilaian terhadap ketahanan gedung bertingkat di bawah pengaruh pembebanan seismik dan tanpa pengaruh pembebanan seismik dapat dibandingkan dengan metode analisis dinamik respon spektrum.

### **1.3. Batasan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka dalam hal ini permasalahan yang dikaji perlu dibatasi agar penelitian lebih efektif, efisien, terarah, dan mempunyai tolak ukur suatu pencapaian target analisis. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Struktur yang dipakai merupakan struktur beton bertulang.
2. Bangunan yang ditinjau merupakan bangunan bertingkat yang berfungsi sebagai Rumah Susun Mahasiswa menggunakan 3 lantai dan 1 lantai dak.
3. Analisis yang dilakukan hanya 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 dari SNI 1727-2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung.
7. Analisis struktur terhadap pengaruh beban gempa memakai analisis dinamik menggunakan metode analisis respon spektrum.
8. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan program analisis struktur komersial.
9. Peraturan gempa memakai SNI 1726-2019 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
10. Peraturan analisis kapasitas struktur memakai SNI 2847-2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil penilaian terhadap ketahanan gedung bertingkat di bawah pengaruh pembebanan seismik dan tanpa pengaruh pembebanan seismik dengan metode analisis dinamik respon spektrum.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perbandingan ketahanan struktur akibat pengaruh beban gempa dan tanpa pengaruh beban gempa.
2. Mengembangkan pemahaman tentang penilaian kekuatan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa memakai metode analisis dinamik respon spektrum.
3. Menambah pengetahuan tentang penggunaan program analisis struktur komersial khususnya pada analisis kekuatan struktur gedung bertingkat akibat pengaruh beban gempa memakai metode analisis dinamik respon spektrum.
4. Memberikan manfaat terhadap proses pengembangan dan pembelajaran khususnya dalam perencanaan struktur gedung bertingkat tahan gempa.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Uraian Umum

Gempa bumi merupakan fenomena fisik yang ditandai dengan adanya guncangan bumi dengan berbagai intensitas. Getaran seismik dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain peristiwa vulkanik dan tektonik. Gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik disebut gempa vulkanik, yaitu gempa yang terjadi karena adanya getaran tanah akibat dorongan magma ke permukaan bumi atau letusan gunung berapi. Sedangkan gempa bumi yang diakibatkan oleh aktivitas tektonik disebut gempa tektonik, yaitu gempa bumi yang terjadi akibat adanya getaran tanah yang disebabkan oleh gerakan atau tumbukan antar lempeng tektonik yang ada di permukaan tanah (Siswanto, A. B., dan Salim M. A., 2018).

Gempa bumi memberikan dampak yang buruk dan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan terutama pada bangunan bertingkat. Semakin tinggi suatu bangunan, maka semakin rawan pula bangunan tersebut dalam menahan gaya lateral, terutama gaya gempa. Gaya lateral ini dapat menyebabkan simpangan horizontal, dan jika nilai simpangan melebihi batas aman, maka akan terjadi keruntuhan pada bangunan tersebut. Gempa bumi tidak secara langsung merugikan manusia. Sebagian besar bencana gempa yang menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda disebabkan karena keruntuhan struktur bangunan. Oleh karena itu, untuk meminimalisir terjadinya kerusakan struktur dan timbulnya korban jiwa akibat gempa bumi diperlukan perencanaan yang menyeluruh pada bangunan tahan gempa (Simanjuntak, Pinondang. 2020).

Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang mampu mempertahankan strukturnya agar tidak runtuh saat terjadi gempa. Bangunan

tahan gempa sangat dibutuhkan di Indonesia karena letak Indonesia yang merupakan wilayah rawan gempa. Bangunan tahan gempa didesain dengan tujuan untuk menghindari kegagalan struktur dan timbulnya korban jiwa ketika terjadi gempa bumi.

## **2.2. Sistem Pemikul Gaya Seismik**

Pada umumnya gedung bertingkat merupakan perpaduan dari beberapa jenis sistem struktur. Dalam penentuan sistem struktur untuk menahan gaya lateral dapat ditentukan berdasarkan kategori desain seismik dan ketinggian struktur. Untuk penjelasan mengenai sistem struktur utama tercantum dalam SNI 1726-2019 meliputi:

### **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 oleh rangka bresing.

### **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 bresing.

### **3. 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 dibedakan menjadi tiga kategori yaitu 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.



#### 4. Sistem Ganda

Sistem ganda merupakan sistem kombinasi dari Dinding Geser dan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). 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.

#### 5. Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever

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

### 2.3. Elemen Struktur

Secara umum, dalam suatu struktur bangunan terdapat beberapa elemen struktur yang akan memikul beban lateral. Elemen-elemen tersebut bekerja secara estafet dalam mendistribusikan beban dari *upper structure* (struktur atas) menuju ke *lower structure* (struktur bawah). Elemen struktur yang termasuk ke dalam struktur atas umumnya adalah balok, pelat, dan kolom. Sedangkan struktur bawah umumnya adalah pondasi.

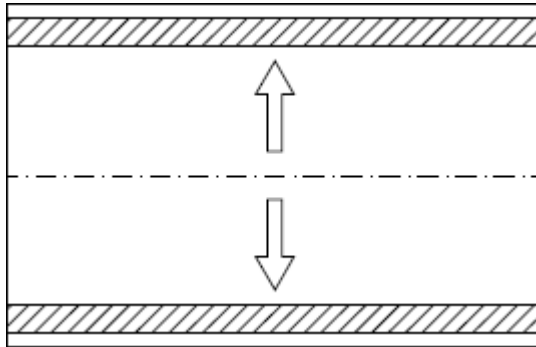
#### 2.3.1. Pelat

Pelat merupakan elemen struktur yang menerima beban hidup dan beban mati kemudian menyalurkannya ke elemen balok dan kolom sampai ke struktur bawah. Berdasarkan tipe tulangnya, pelat dapat diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

##### 1. Sistem Pelat Satu Arah

Pelat satu arah yaitu sistem pelat yang hanya ditumpu pada kedua sisinya, pelat tersebut akan melentur dan mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Maka beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja, yaitu ke arah tumpuan. Pada pelat satu

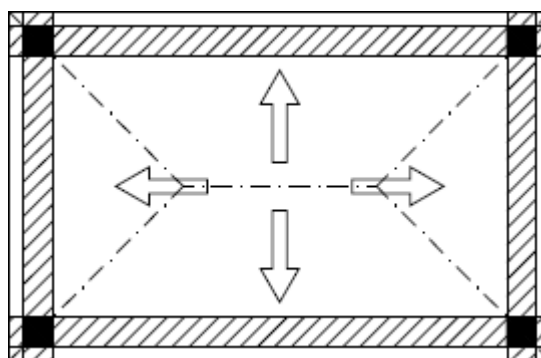
arah, rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan dua. Ilustrasi pelat satu arah dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Pelat Satu Arah.

## 2. Sistem Pelat Dua Arah

Pelat dua arah yaitu pelat yang ditumpu oleh balok di keempat sisinya. Pada pelat dua arah nilai perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek kurang dari dua. Beban pelat didistribusikan menuju empat sisi balok pendukung, sehingga diperlukan tulangan utama pada kedua arah sisi pelat. Pelat dua arah dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Pelat Dua Arah.

### **2.3.2. Balok**

Balok merupakan elemen struktur yang berfungsi untuk menyangga pelat lantai yang berada di atasnya. Fungsi utama balok adalah menyalurkan beban yang diterima oleh pelat menuju kolom. Balok mempunyai karakteristik untuk menahan lentur. Dengan karakteristik tersebut balok merupakan elemen yang dapat diandalkan untuk menahan gaya geser serta momen lentur yang terjadi.

### **2.3.3. Kolom**

Kolom merupakan salah satu elemen struktur yang memiliki fungsi untuk memikul beban aksial dengan atau tanpa adanya momen lentur yang kemudian disalurkan ke struktur bawah. Kolom merupakan elemen struktur yang berperan penting dalam suatu bangunan, keruntuhan kolom merupakan hal yang sangat penting, yang dapat menyebabkan lantai terkait runtuh, atau dapat menyebabkan struktur runtuh seluruhnya.

## **2.4. Pembebanan Struktur**

### **2.4.1. Beban Gempa**

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

### **2.4.2. Beban Mati**

Beban mati adalah 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 adalah 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 adalah beban yang ada akibat adanya elemen-elemen tambahan dalam suatu struktur yang bersifat permanen. Misalnya keramik, dinding bata, *plafond*, dan sebagainya.

### 2.4.3. Beban Hidup

Beban hidup yaitu beban yang terjadi 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.

### 2.4.4. 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 dalam kombinasi 6, E harus ditentukan dengan persamaan:

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

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

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

Dimana:

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

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

Keterangan:

E = Pengaruh beban seismik

$E_h$  = Pengaruh beban seismik horizontal

$E_v$  = Pengaruh beban seismik vertikal

P = 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. Analisis Dinamik

Analisis dinamik merupakan salah satu jenis analisis struktur dimana distribusi gaya geser seismik pada berbagai tingkatan diperoleh dengan mempertimbangkan dampak dinamik gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi dua metode, yaitu:

1. Analisis dinamik respon spektrum yaitu respon total diperoleh melalui superposisi respon dari setiap mode getaran.

2. Analisis dinamik riwayat waktu yaitu analisis dinamis dimana rekaman seismik yang direkam disediakan untuk model struktural, dan respon struktural dihitung selangkah demi selangkah pada interval 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. Konsep analisis dinamik ini memperhitungkan massa, kekakuan, dan redaman. Perhitungan dengan metode analisis dinamik akan diperoleh nilai gaya geser dasar yang lebih kecil daripada dengan metode statik ekuivalen. (Purnomo, dkk., 2014).

Dalam perhitungan struktur gedung bertingkat, hal terpenting terletak pada stabilitas dan kemampuannya menahan gaya lateral. Metode analisis dinamik cocok untuk digunakan pada struktur bangunan bertingkat dan struktur bangunan dengan konfigurasi tidak teratur.

## **2.6. Tinjauan Struktur Terhadap Gempa**

Dalam evaluasi kekuatan struktur bangunan tahan gempa, harus disesuaikan dengan ketentuan-ketentuan terbaru yaitu berdasarkan pada SNI 1726-2019.

### **2.6.1. 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. Menurut SNI 1726-2019 Pasal 4.1.1, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

## 2.6.2. Kategori Resiko Struktur 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
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya.</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>• Pusat perbelanjaan/mall</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik.</li> </ul>	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas penitipan anak</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan jompo</li> </ul>	III
<p>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</p>	

Tabel 2.1. (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>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.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang dikategorikan sebagai fasilitas penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan-bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah ibadah</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>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</p>	IV

(Sumber: SNI 1726-2019)



### 2.6.3. Faktor Keutamaan Gempa

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan gempa  $I_e$  yang diperoleh berdasarkan kategori risiko daerah yang akan 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)

### 2.6.4. 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 penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Klasifikasi situs dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (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 :

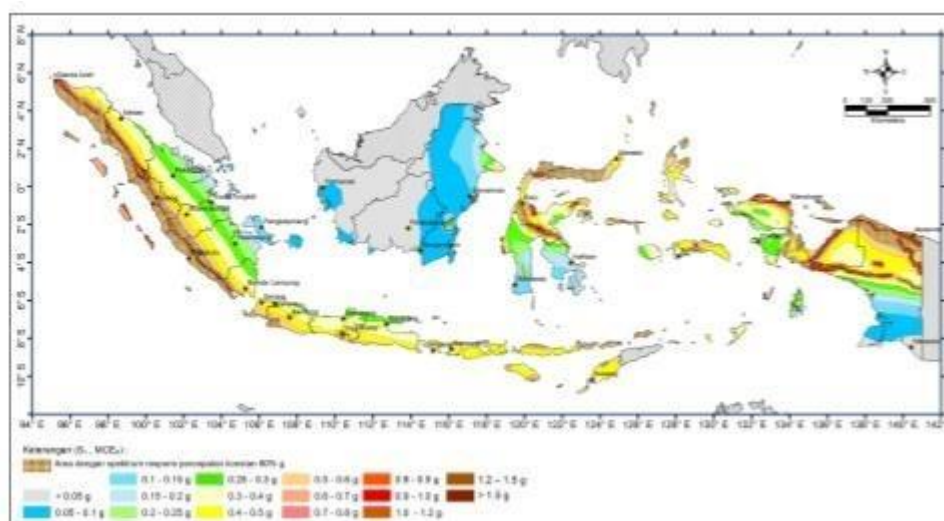
Tabel 2.3. (Lanjutan)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (KPa)
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ 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		

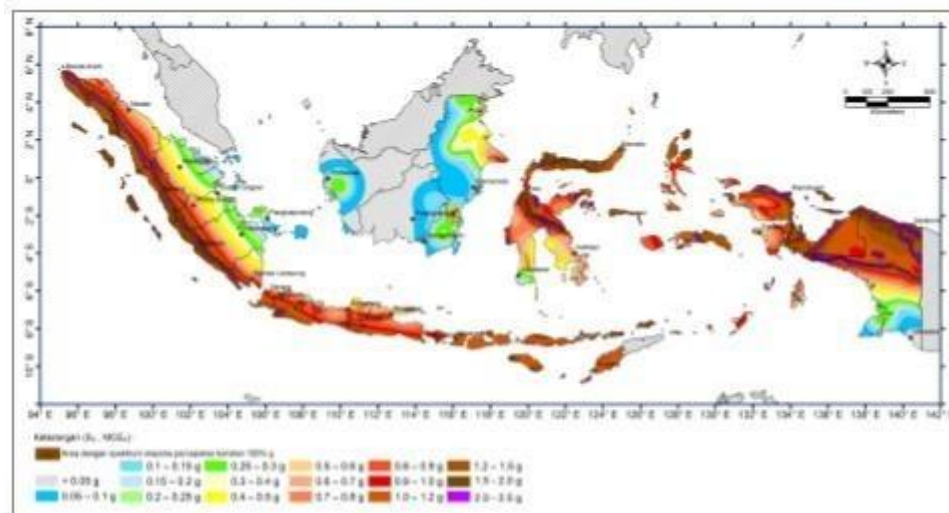
(Sumber: SNI 1726-2019)

### 2.6.5. Wilayah Gempa

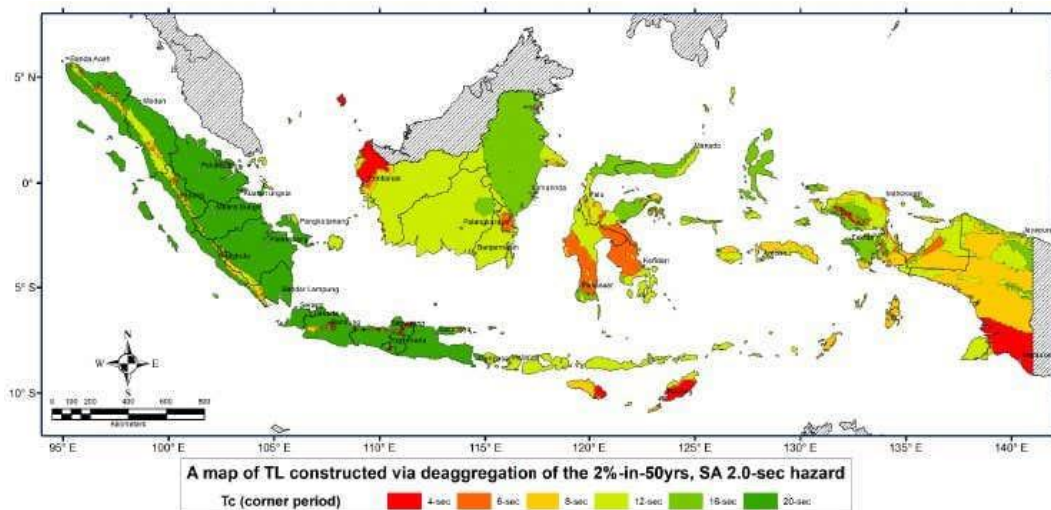
Salah satu faktor yang memengaruhi tingkat besar atau kecilnya beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan adalah faktor wilayah gempa. Dengan demikian, besar atau kecilnya beban gempa, bergantung pada lokasi dimana struktur bangunan tersebut akan didirikan. Peta wilayah gempa disajikan dalam Gambar 2.3, Gambar 2.4, dan Gambar 2.5.



Gambar 2.3. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik ( $S_1$ ).



Gambar 2.4. Parameter spektral percepatan gempa untuk periode pendek 0,2 detik (S<sub>s</sub>).



Gambar 2.5. Peta transisi periode panjang (T<sub>L</sub>) wilayah Indonesia.

### 2.6.6 Koefisien Situs

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 6.2, parameter respon spektrum percepatan periode pendek (S<sub>MS</sub>) dan periode 1 detik (S<sub>M1</sub>) 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  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = Parameter respon spektral percepatan gempa  $MCE_R$  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 ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
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 ( $MCE_R$ ) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ 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)

### 2.6.7. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (SDs) dan pada periode 1 detik ( $SD_1$ ), harus ditentukan melalui persamaan berikut ini:

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

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

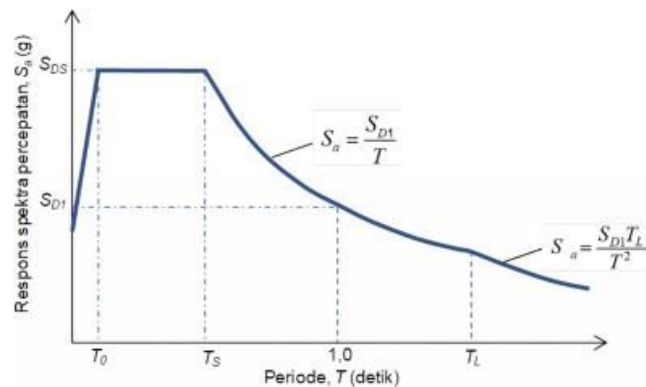
Keterangan:

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

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

### 2.6.8. Spektrum Respon Desain

Berdasarkan SNI 1726-2019 grafik respon spektrum mengacu pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Respon Spektrum Desain.

### 2.6.9. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik menurut SNI 1726-2019 Pasal 6.5. Untuk penetapan kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko 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 ( $S_{DI}$ )

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

(Sumber: SNI 1726-2019)

## 2.7. Kontrol Dinamis Struktur

Hasil analisis struktur harus diperiksa terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726-2019 untuk menentukan kelayakan struktur tersebut akibat adanya pengarus beban gempa, adapun hal-hal yang harus diperiksa meliputi:

### 1. Kontrol Periode Fundamental Gedung

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

$$T_a = C_t h_n^x \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

$h_n$  = ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Untuk koefisien  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Nilai Parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	C	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)

Selanjutnya dalam menganalisis perilaku struktur, dilakukan pembatasan terhadap nilai periode dengan menghitung batas atas periode struktur dengan mengalikan periode fundamental pendekatan dengan koefisien  $C_u$ . Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi nilai perkalian tersebut. Koefisien nilai  $C_u$  dapat ditentukan dari Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{DI}$	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. Kontrol Rasio Partisipasi Massa

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.

## 3. Kontrol Gaya Geser Dasar

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

$$V = C_s \cdot W \dots\dots\dots (2.10)$$

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. Kombinasi respon untuk geser dasar ragam ( $V_i$ )

lebih kecil 100% dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $V/V_t$ .

Untuk nilai  $C_s$  dapat ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots (2.11)$$

Nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi persamaan:

Untuk  $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Untuk  $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{SD1.TL}{T.T\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots (2.13)$$

$C_s$  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:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{T}\right)} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

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

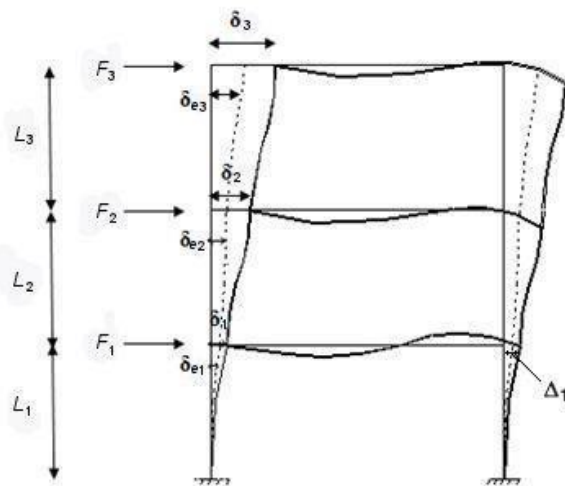
$R$  = koefisien modifikasi respon

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

#### 4. 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. Penentuan simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Gambar 2.7.





Gambar 2.7. Penentuan Simpangan Antar Tingkat.  
(Sumber: SNI 1726-2019)

Berikut penjelasan dari Gambar 2.7:

$F_1, F_2, F_3$  = gaya gempa desain tingkat kekuatan

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

$$\delta_1, \delta_2, \delta_3 = C_d \cdot \delta_e / l_e \dots\dots\dots (2.15)$$

= perpindahan yang diperbesar

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\Delta_2 = (\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d / l_e \leq \Delta_a \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / l_e \leq \Delta_a \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

$\Delta_i$  = simpangan antar tingkat

$\Delta_i / L_i$  = rasio simpangan antar tingkat

$\delta_i$  = perpindahan total

Nilai dari simpangan ini dihitung dengan aplikasi program bantu struktur, untuk batasan simpangan antar lantai disajikan dalam Tabel 2.10.

Selanjutnya simpangan dinyatakan dengan perumusan yang telah diatur pada SNI 1726-2019 Pasal 7.12.3:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{max}}{l_e} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

$\delta_x$  = simpangan di tingkat x

$\delta_{max}$  = perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis

$C_d$  = faktor pembesaran simpangan lateral

Tabel 2.10. Batasan Simpangan Antar Lantai

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 didesain 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 $h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726-2019)

## 2.8. Faktor Reduksi Kekuatan

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.1.3, kuat rencana pada penampang dihitung dengan mengalikan kuat nominal dan faktor reduksi kekuatan  $\phi$ . Nilai faktor reduksi kekuatan dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Faktor Reduksi Kekuatan

Gaya atau elemen struktur	$\phi$	Pengecualian
a) Momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial	0,65-0,90	Di dekat ujung komponen pratarik ( <i>pretension</i> ) dimana <i>strand</i> belum sepenuhnya bekerja, $\phi$ harus sesuai dengan 21.2.3
b) Geser	0,75	Persyaratan tambahan untuk struktur tahan gempa terdapat pada 21.2.4
c) Torsi	0,75	-

(Sumber: SNI 2847-2019)

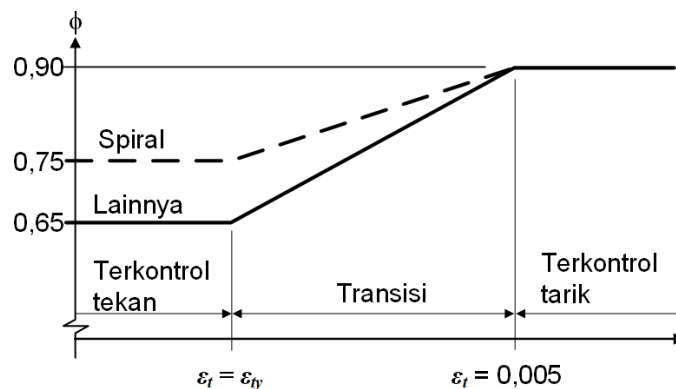
Faktor reduksi kekuatan untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial harus sesuai dengan SNI 2847-2019 Tabel 21.2.2 dan disajikan dalam Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

No	Regangan tarik netto	Klasifikasi	$\phi$	
			Jenis tulangan transversal	
			Spiral	Tulangan lain
1	$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Tekanan terkontrol	0,75	0,65
2	$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < 0,005$	Transisi	$0,75 + 0,15 \frac{\epsilon_t - \epsilon_{ty}}{0,05 - \epsilon_{ty}}$	$0,65 + 0,25 \frac{\epsilon_t - \epsilon_{ty}}{0,05 - \epsilon_{ty}}$
3	$\epsilon_t \geq 0,005$	Tegangan terkontrol	0,90	0,90

(Sumber: SNI 2847-2019)

Nilai kekuatan nominal komponen struktur yang mengalami momen, atau kombinasi momen dan gaya aksial ditentukan oleh kondisi dimana regangan dalam serat tekan terjauh sama dengan 0,003. Regangan tarik netto  $\epsilon_t$  adalah regangan tarik tulangan tarik terjauh pada kekuatan nominal. Regangan tarik netto dalam tulangan tarik terjauh ditentukan dari distribusi linier regangan pada kekuatan nominal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Distribusi tegangan dan regangan tarik netto pada komponen non prategang.

(Sumber: SNI 2847-2019)

## 2.9. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur dihitung untuk mengetahui kelayakan struktur bangunan terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Dalam evaluasi kekuatan struktur persyaratan kekuatan elemen struktur harus dipenuhi sesuai dengan peraturan yang ada. Berdasarkan SNI 2847-2019, kekuatan desain pada semua penampang harus memenuhi  $\phi S_n \geq U$ , meliputi momen nominal, geser nominal, aksial nominal, dan torsi nominal.

### 2.9.1. Asumsi-Asumsi dalam Perhitungan

Terdapat beberapa asumsi desain yang digunakan dalam perhitungan kekuatan momen aksial dan lentur yang diatur dalam SNI 2847-2019 Pasal 22, yaitu:

- 1) Kekuatan lentur dan aksial elemen struktur harus memenuhi persyaratan kesetimbangan dan kompatibilitas regangan.
- 2) Asumsi desain untuk beton:
  - a) Regangan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003.
  - b) Tegangan beton  $0,85f_c'$  diasumsikan terdistribusi rata terhadap zona tekan ekuivalen yang dibatasi ujung penampang dan garis yang paralel terhadap sumbu netral, yang terletak pada jarak  $a$  dari serat tekan terjauh, sesuai dengan persamaan berikut:
 
$$a = \beta_1 \times c \dots\dots\dots (2.20)$$
  - c) Nilai  $\beta_1$  ditentukan berdasarkan mutu beton yang digunakan.

Nilai  $\beta_1$  disajikan dalam Tabel 2.13.

Tabel 2.13. Nilai  $\beta_1$  untuk Distribusi Tegangan Beton Ekuivalen

No	$f_c'$ (MPa)	$\beta_1$
1	$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85
2	$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$
3	$f_c' \geq 55$	0,65

(Sumber: SNI 2847-2019)

- 3) Tegangan pada tulangan yang nilainya lebih kecil daripada kuat leleh  $f_y$  harus diambil sebesar Es dikalikan regangan baja, sedangkan untuk regangan yang nilainya lebih besar dari regangan leleh yang menyebabkan  $f_y$ , maka tegangan harus dianggap tidak terpengaruh dengan regangan dan nilainya diambil sama dengan  $f_y$ . (SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.1)
- 4) Modulus elastisitas baja diambil sebesar 200000 MPa. (SNI 2847-2019 Pasal 20.2.2.2)

### 2.9.2. Evaluasi Struktur Pelat

Pelat lantai adalah komponen struktural horizontal yang berfungsi menerima beban luar secara langsung. Salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pelat lantai adalah ketebalan pelat lantai. Ketebalan minimum untuk pelat disajikan dalam Tabel 2.14.

Tabel 2.14. Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah dengan Balok di antara Tumpuan pada Semua Sisinya

$\alpha m$	$h$ minimum (mm)	
$\alpha m \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku	a
$0,2 < \alpha m \leq 2,0$	Terbesar dari: $\frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha m - 2)}$	b
	125	c
$\alpha m > 0,2$	Terbesar dari: $\frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$	d
	90	e

(Sumber: SNI 2847-2019)

Analisis struktur pelat lantai bertujuan untuk mengetahui momen lentur yang bekerja pada pelat, serta untuk mengevaluasi kapasitas tulangan pelat yang telah dipasang.

### 2.9.3. Evaluasi Struktur Balok

Balok merupakan elemen struktur yang melintang secara horizontal dan berfungsi untuk menerima beban lateral, beban gravitasi, dan beban dari

elemen pelat, kemudian disalurkan ke elemen kolom. Desain penulangan pada balok dihitung berdasarkan gaya-gaya dalam akibat pembebanan yang bekerja pada balok. Penulangan yang dianalisis meliputi tulangan lentur, tulangan geser, dan torsi. Untuk tulangan lentur dianalisis dengan dua kondisi yaitu kondisi lapangan dan tumpuan.

Desain penulangan pada balok menggunakan konfigurasi tulangan rangkap sehingga metode perhitungan kapasitas lentur akan dianalisis sesuai metode tulangan rangkap, dan untuk evaluasi kapasitas balok terhadap geser akan dianalisis sesuai dengan kondisi penampang pada persyaratan mengenai desain tulangan geser.

#### a) Analisis Kapasitas Balok Terhadap Lentur

Kapasitas nominal penampang balok dihitung dengan prinsip keseimbangan gaya yaitu:

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \dots\dots\dots (2.21)$$

Untuk balok persegi kapasitas momen nominal penampang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$M_{n1} = 0,85 \times f_c' \times a \times b \dots\dots\dots (2.22)$$

$$M_{n2} = A_s' \cdot f_y (d-d') \dots\dots\dots (2.23)$$

Sehingga kapasitas nominal penampang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$M_n = 0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_y \times (d-d') \dots\dots\dots (2.24)$$

Untuk menjamin keamanan struktur ditinjau dari aspek kekuatan, maka dipersyaratkan kapasitas momen nominal harus lebih besar dari kombinasi momen luar yang bekerja (momen ultimit).

#### b) Analisis Kapasitas Balok Terhadap Geser

Kekuatan geser nominal pada penampang yang bertulangan geser merupakan hasil penjumlahan dari kekuatan geser beton dan kekuatan geser sengkang, dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan:

$V_n$  = kuat geser nominal

$V_c$  = kuat geser penampang beton

$V_s$  = kuat geser tulangan sengkang

Nilai  $V_c$  untuk komponen non prategang tanpa gaya aksial dihitung dengan persamaan:

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.26)$$

Nilai  $V_s$  dihitung dengan persamaan:

$$V_s = \frac{V_s \times s}{f_{yt} \times d} \dots\dots\dots (2.27)$$

Untuk komponen yang terkena beban gempa, analisis geser pada balok dilakukan berdasarkan hasil peninjauan analisa struktur terhadap gaya-gaya maksimum yang dihasilkan di setiap ujung komponen struktur, sehingga reaksi gaya geser akibat sendi plastis di ujung balok dihitung dengan persamaan:

$$V_{sway} = \frac{M_{pr1} \times M_{pr2}}{l_n} \dots\dots\dots (2.28)$$

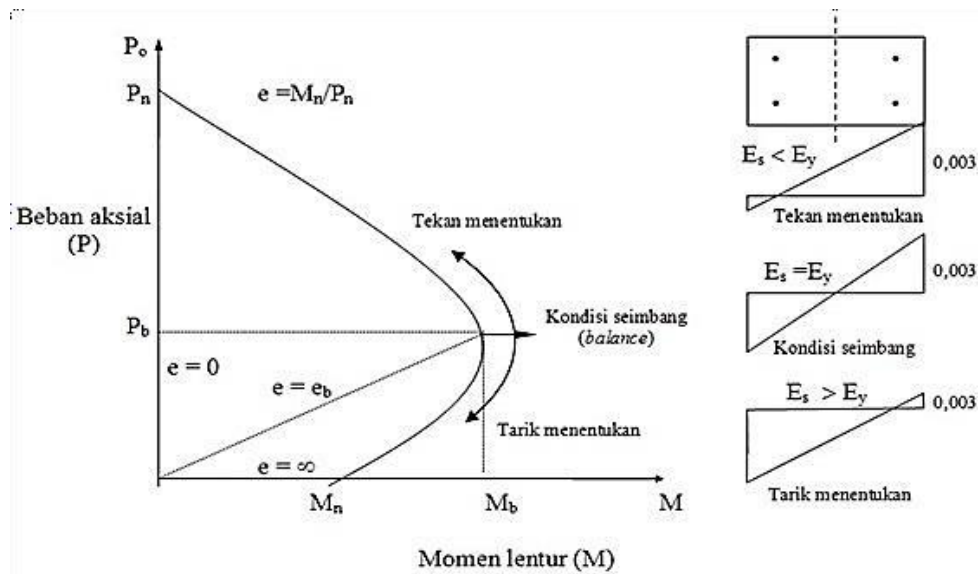
#### c) Tulangan Torsi

Evaluasi kekuatan torsi dilakukan untuk menjamin kekuatan torsi desain harus sama dengan atau lebih dari momen torsi  $T_u$  akibat beban terfaktor. Tulangan torsi dibutuhkan apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$T_u \geq \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp} \times A_{cp}}{P_{cp}} \right) \dots\dots\dots (2.29)$$

### 2.9.4. Evaluasi Struktur Kolom

Metode yang akan digunakan untuk menentukan kapasitas kolom adalah dengan diagram interaksi yang memberikan beban runtuh dan momen runtuh dari suatu penampang kolom, untuk setiap nilai eksentrisitas nol sampai tak hingga. Eksentrisitas yang kecil akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh keruntuhan tekan beton, sedangkan eksentrisitas yang besar akan menghasilkan keruntuhan yang ditentukan oleh luluhnya tulangan tarik. Bagian-bagian diagram interaksi disajikan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Bagian-Bagian Diagram Interaksi.

Diagram interaksi memiliki tiga titik acuan utama yaitu kondisi tekan murni, kondisi *balance*, dan kondisi lentur murni, masing-masing titik tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a) Kondisi Tekan Murni

Kondisi tekan murni adalah kondisi dimana beban aksial maksimum yang dapat ditopang oleh struktur kolom tanpa adanya beban momen yang bekerja pada waktu yang sama.

Nilai kekuatan aksial maksimum disajikan dalam Tabel 2.15.

Tabel 2.15. Kekuatan Aksial Maksimum

No	Komponen	Tulangan Transversal	$P_n \text{ max}$
1	Non prategang	Senggang persegi	0,80 $P_o$
2		Senggang spiral	0,85 $P_o$
3	Prategang	Senggang persegi	0,80 $P_o$
4		Senggang spiral	0,85 $P_o$
5	Kolom komposit dan kolom beton	Semua	0,85 $P_o$

(Sumber: SNI 2847-2019)

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.4.2.2, nilai  $P_o$  dihitung dengan persamaan:



$$P_o = 0,85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \dots\dots\dots (2.30)$$

b) Kondisi *Balance*

Kondisi *balance* adalah kondisi dimana kapasitas momen nominal maksimum yang dapat ditahan suatu kolom dengan beban aksial yang bekerja pada waktu yang sama. Kondisi *balance* diperhitungkan saat diagram tegangan dan regangan bekerja pada garis netral penampang kolom.

c) Keruntuhan Tekan

Pada keruntuhan tekan, ketika kolom runtuh beton pada bagian tekan runtuh terlebih dahulu sedangkan baja tulangan tarik belum leleh. Keruntuhan tekan terjadi apabila gaya tekan lebih besar dari gaya tekan pada kondisi seimbang dan nilai eksentrisitas lebih kecil dari eksentrisitas kondisi seimbang. Dalam keadaan ini, sebagian besar penampang beton akan berada pada kondisi tekan. Sumbu netral berada dekat dengan tulangan tarik, sehingga luas daerah tekan beton semakin luas dan jarak sumbu netral dari serat tekan beton akan melebihi jarak pada kondisi seimbang ( $c > c_b$ ).

d) Keruntuhan Tarik

Keruntuhan kolom diawali dengan lelehnya baja tulangan tarik. Keruntuhan tarik terjadi jika kolom mendapat beban tekan eksentris dengan eksentrisitas yang besar. Dalam hal ini, kuat tekan nominal penampang lebih kecil dari kuat nominal kondisi seimbang dan eksentrisitas lebih besar dari eksentrisitas pada kondisi seimbang.

e) Kondisi Lentur Murni

Kondisi lentur murni adalah kondisi beban momen maksimum yang dapat ditahan oleh penampang kolom, tanpa adanya beban aksial yang bekerja pada waktu yang sama. Pada kondisi ini, tulangan tekan dapat diabaikan sehingga persamaannya menjadi  $C = T$ , sehingga kapasitas tekan aksial kolom sebesar 0.

## 2.10. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Struktur rangka pemikul momen khusus adalah suatu sistem struktur yang didesain mampu untuk menahan beban gempa. Berikut syarat-syarat

struktur balok dan kolom dengan sistem rangka pemikul momen khusus berdasarkan SNI 2847-2019.

### 2.10.1. Balok Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Adapun beberapa persyaratan untuk balok sistem rangka pemikul momen khusus, antara lain:

#### 1. Persyaratan Umum

Komponen lentur yang merupakan bagian dari SRPMK harus memenuhi kriteria yang ditetapkan dalam SNI 2847-2019 meliputi:

- a. Gaya tekan aksial terfaktor ( $P_u$ ) tidak lebih dari  $A_g \cdot f_c' / 10$ .
- b. Panjang bentang bersih  $l_n$ , harus lebih besar daripada 4 kali tinggi efektif ( $l_n \geq 4d$ ).
- c. Lebar komponen,  $b_w$  tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari 0,3h dan 250 mm.
- d. Lebar penampang,  $b_w$  tidak boleh melebihi lebar kolom pendukung ditambah nilai terkecil dari lebar kolom atau  $\frac{3}{4}$  kali dimensi kolom dalam arah sejajar komponen lentur.

#### 2. Persyaratan Tulangan Lentur

- a. Syarat rasio minimal luasan tulangan lentur pada sisi atas dan sisi bawah kolom harus memenuhi persamaan sesuai SNI 2847-2019 Pasal 9.6.1.2 berikut:

$$A_s \geq \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \times b \times d$$

$$A_s \geq \frac{1,4}{4f_y} \times b \times d$$

- b. Kuat lentur positif komponen struktur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat lentur negatifnya.
- c. Syarat rasio maksimum tulangan lentur adalah sebesar 0,025.
- d. Kuat lentur negatif maupun positif pada penampang di sepanjang bentang balok tidak boleh kurang dari  $\frac{1}{4}$  kuat lentur pada kedua muka kolom tersebut.

### 3. Persyaratan Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.6.4, tulangan transversal harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Menurut SNI 2847-2019 Pasal 21.6.4.3, spasi tulangan transversal harus memenuhi syarat-syarat jarak minimal sebagai berikut:
  - 1)  $d/4$
  - 2)  $6d_b$
  - 3) 150 mm
- b. Tulangan sengkang sistem rangka pemikul momen khusus harus didesain untuk memikul gaya geser rencana ( $V_e$ ), yang ditimbulkan oleh kuat lentur maksimum dengan arah yang berlawanan pada kedua ujung muka tumpuan, pada saat yang bersamaan, selain itu, komponen struktur itu juga diharuskan untuk menahan gaya gravitasi terfaktor yang bekerja di sepanjang komponen lentur.
- c. Kuat geser yang dipikul oleh beton ( $V_c$ ) dapat diambil sama dengan nol apabila gaya geser yang ditimbulkan oleh gaya gempa lebih besar daripada 50% dari kuat geser perlu pada sepanjang bentang, serta apabila terdapat gaya aksial terfaktor akibat gaya gempa besarnya kurang dari  $A_g \cdot f_c' / 20$ .

#### 2.10.2. Kolom Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Adapun beberapa persyaratan untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus, antara lain:

1. Persyaratan Dimensi
  - a. Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.2.1, dimensi kolom terkecil harus lebih besar dari 300 mm, serta rasio dimensi terpendek dengan yang terpanjang harus lebih besar dari 0,4.
2. Persyaratan Tulangan Lentur
  - a. Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1%  $A_g$  dan tidak boleh lebih dari 6%  $A_g$ .
  - b. Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.3, kekuatan lentur minimum kolom harus memenuhi syarat:  $\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$ .

### 3. Persyaratan Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal tidak melebihi nilai terkecil antara:

- a.  $\frac{1}{4}$  dimensi terkecil penampang kolom
- b. 6 diameter tulangan utama terkecil
- c.  $S_o = 100 + \left(\frac{350-hx}{3}\right)$ , nilai  $S_o$  harus kurang dari 150 mm dan lebih dari 100 mm.

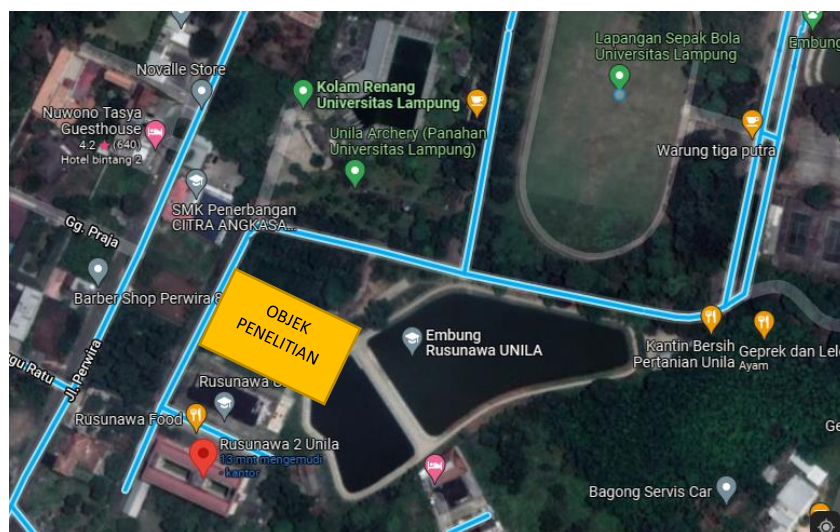
### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Pendekatan Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh penulis yaitu untuk membandingkan hasil evaluasi kekuatan struktur bangunan bertingkat akibat pengaruh beban gempa dan tanpa pengaruh beban gempa menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum, maka pendekatan penelitian yang digunakan oleh penulis yaitu pendekatan kuantitatif, karena dalam penarikan kesimpulan dirumuskan berdasarkan hasil analisis berupa data-data numerik.

#### 3.2. Objek Penelitian

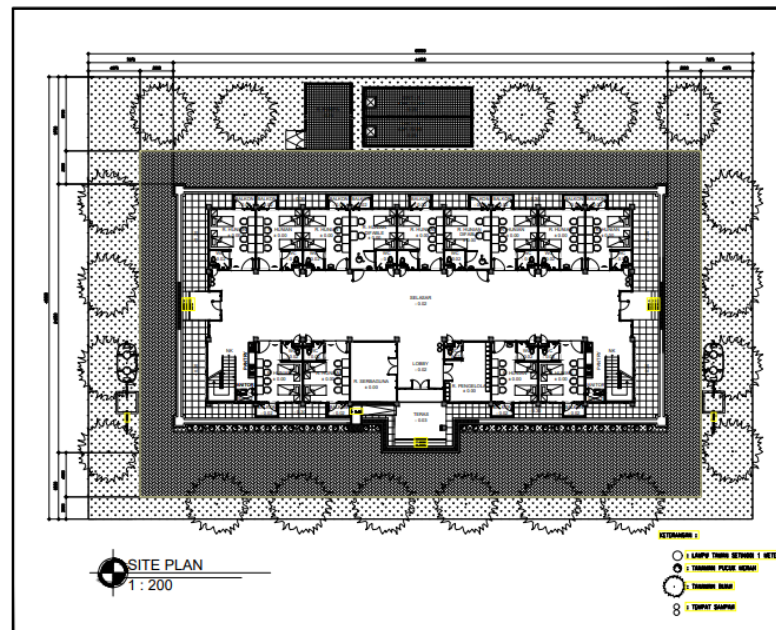
Objek penelitian ini adalah Rumah Susun Universitas Lampung yang berada di Jl. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung. Objek penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



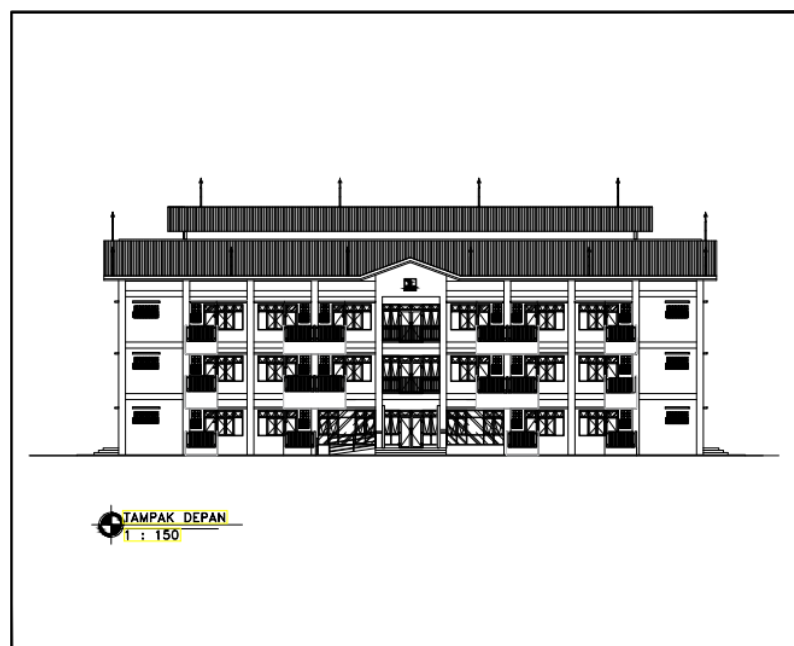
Gambar 3.1. Objek Penelitian. (Sumber: Google Maps,2022)

### 3.3. Data Penelitian

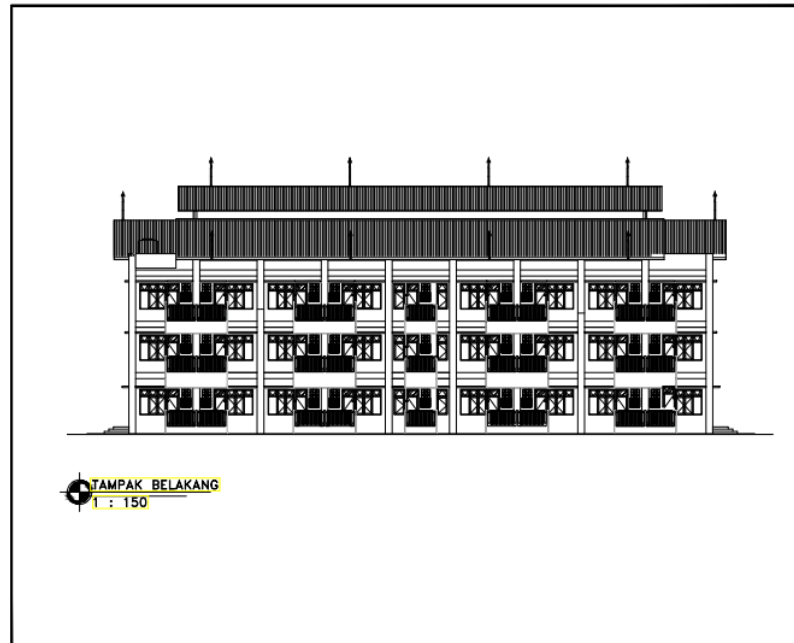
Adapun gambar *site plan*, gambar tampak depan, gambar tampak samping kanan, gambar tampak samping kiri, dan gambar tampak belakang gedung yang termasuk dalam data penelitian disajikan pada Gambar 3.2, Gambar 3.3, Gambar 3.4, dan Gambar 3.5.



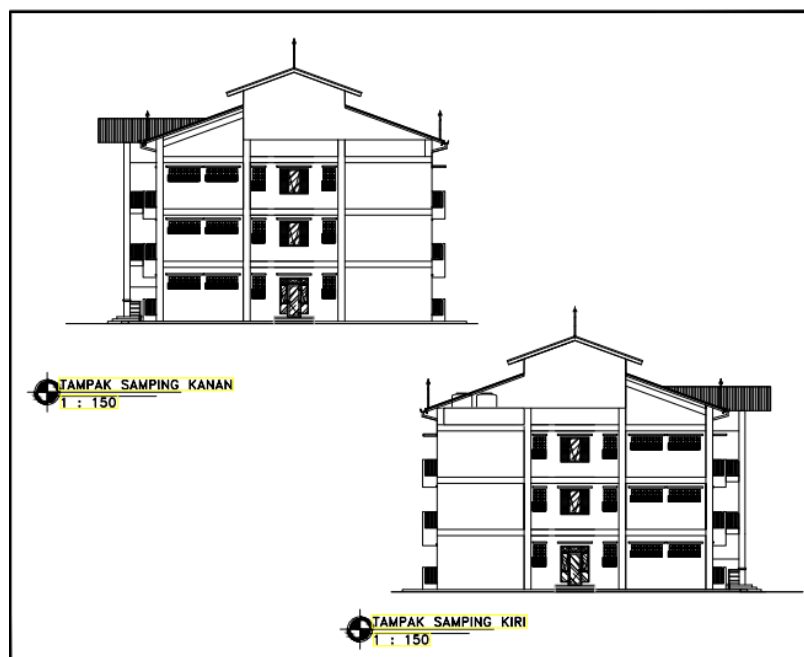
Gambar 3.2. *Site Plan*.



Gambar 3.3. Tampak Depan Gedung.



Gambar 3.4. Tampak Belakang Gedung.



Gambar 3.5. Tampak Samping Kanan dan Samping Kiri Gedung.

Berikut adalah data-data penelitian pada Rumah Susun Universitas Lampung.

### 3.3.1. Luas Bangunan

Luas bangunan pada Rumah Susun Universitas Lampung adalah  $\pm 3327,75 \text{ m}^2$ , dengan luas lahan yaitu  $\pm 2400 \text{ m}^2$ . Struktur terdiri dari 3 lantai dengan luas per lantai sebagai berikut:

- a) Luas Lantai 1 =  $665,55 \text{ m}^2$
- b) Luas Lantai 2 =  $665,55 \text{ m}^2$
- c) Luas Lantai 3 =  $665,55 \text{ m}^2$
- d) Luas Dak =  $665,55 \text{ m}^2$
- e) Luas Atap =  $665,55 \text{ m}^2$

### 3.3.2. Elevasi Bangunan

Data elevasi Rumah Susun Universitas Lampung disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Elevasi Bangunan

No	Lantai	Elevasi Tiap Lantai (m)	Tinggi Bangunan (m)
1	Lantai 1	+0,0	0,0
2	Lantai 2	+3,6	3,6
3	Lantai 3	+7,0	3,4
4	Lantai Dak	+10,4	3,4
5	Atap	+15,9	5,5

### 3.3.3. Balok

Rumah Susun Universitas Lampung terdiri dari dua struktur balok yaitu balok induk dan balok anak dengan dimensi yang berbeda-beda dan mutu beton K-300. Tulangan yang dipakai merupakan tulangan ulir dan polos. Dalam satu balok dibutuhkan tulangan horizontal dan cincin tulangan atau sengkang. Tabel penulangan pada balok dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Tabel 3.2. Penulangan Balok

No	Tipe Balok	Dimensi (mm)	Tumpuan			Lapangan		
			Atas	Bawah	Senggang	Atas	Bawah	Senggang
1	TB1	250 x 450	4D16	4D16	D10-150	4D16	4D16	D10-200
2	TB2	300 x 500	5D16	5D16	D10-150	5D16	5D16	D10-150
3	G1.1	250 x 550	5D16	3D16	D10-100	3D16	4D16	D10-200
4	G1.2	250 x 550	6D16	3D16	D10-100	3D16	6D16	D10-200
5	G2.1	250 x 450	5D16	3D16	D10-100	3D16	3D16	D10-200
6	G2.2	250 x 450	5D16	3D16	D10-100	3D16	4D16	D10-200
7	G2.3	250 x 450	4D16	2D16	D10-100	2D16	4D16	D10-200
8	G4.1	350 x 450	5D16	3D16	D10-100	3D16	3D16	D10-150
9	G5.1	350 x 350	6D16	4D16	D10-100	6D16	4D16	D10-100
10	B2.1	250 x 450	2D16	4D16	D10-100	2D16	4D16	D10-150
11	B2.2	250 x 450	2D16	2D16	D10-100	2D16	2D16	D10-100
12	B2.3	250 x 450	4D16	2D16	D10-100	4D16	2D16	D10-100
13	B3.1	200 x 400	2D16	2D16	D10-100	2D16	2D16	D10-100
14	B4.1	250 x 400	3D16	2D16	D10-100	2D16	3D16	D10-200

### 3.3.4. Kolom

Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan 2 kolom persegi dan 1 kolom persegi panjang dengan ukuran yang berbeda-beda. Masing-masing kolom diberi indeks K1, K2, dan K3 dengan mutu beton K-300. Tulangan yang dipakai merupakan tulangan ulir dan polos. Dalam satu kolom dibutuhkan tulangan vertikal dan cincin tulangan atau sengkang. Tabel penulangan kolom dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Penulangan Kolom

No	Tipe Kolom	Dimensi (mm)	Tulangan memanjang	Tumpuan	Lapangan
1	K1	450 x 450	12D16	D10-100	D10-150
2	K2	300 x 300	8D16	D10-100	D10-150
3	K3	300 x 550	10D16	D10-100	D10-150

### 3.3.5. Pelat

Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan pelat dengan ukuran yang sama pada lantai 2 dan lantai 3, namun pada lantai 1 memiliki ukuran yang berbeda karena menggunakan besi *weirmesh*. Mutu beton yang

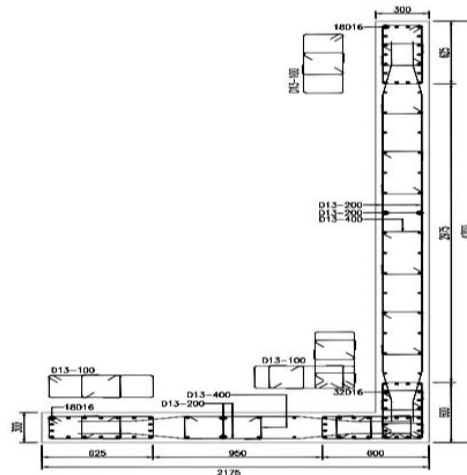
digunakan yaitu K-300. Pada pelat lantai 1 menggunakan *weirmesh* M8-150 mm dengan tebal 10 cm. Pada pelat lantai 2 dan pelat lantai 3 menggunakan tulangan D10-150 mm dan D10-200 mm dengan tebal 12 cm dan 15 cm. Pada pelat lantai dak atap menggunakan tulangan D13-100 mm dengan tebal 15 cm. Tabel penulangan pelat dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Penulangan Pelat

No	Tipe Pelat	Tebal (mm)	Tulangan Arah X	Tulangan Arah Y
1	S1	100	M8-180	M8-150
2	S2	120	D10-150	D10-200
3	S3	150	D10-150	D10-150
4	S4	150	D13-100	D13-100

### 3.3.6. Dinding Geser

Rumah Susun Universitas Lampung menggunakan dinding geser untuk menahan beban-beban lateral dan diberi indeks SW1. Mutu beton yang digunakan yaitu K-300. Berikut detail penulangan dinding geser dapat dilihat pada Gambar 3.6.

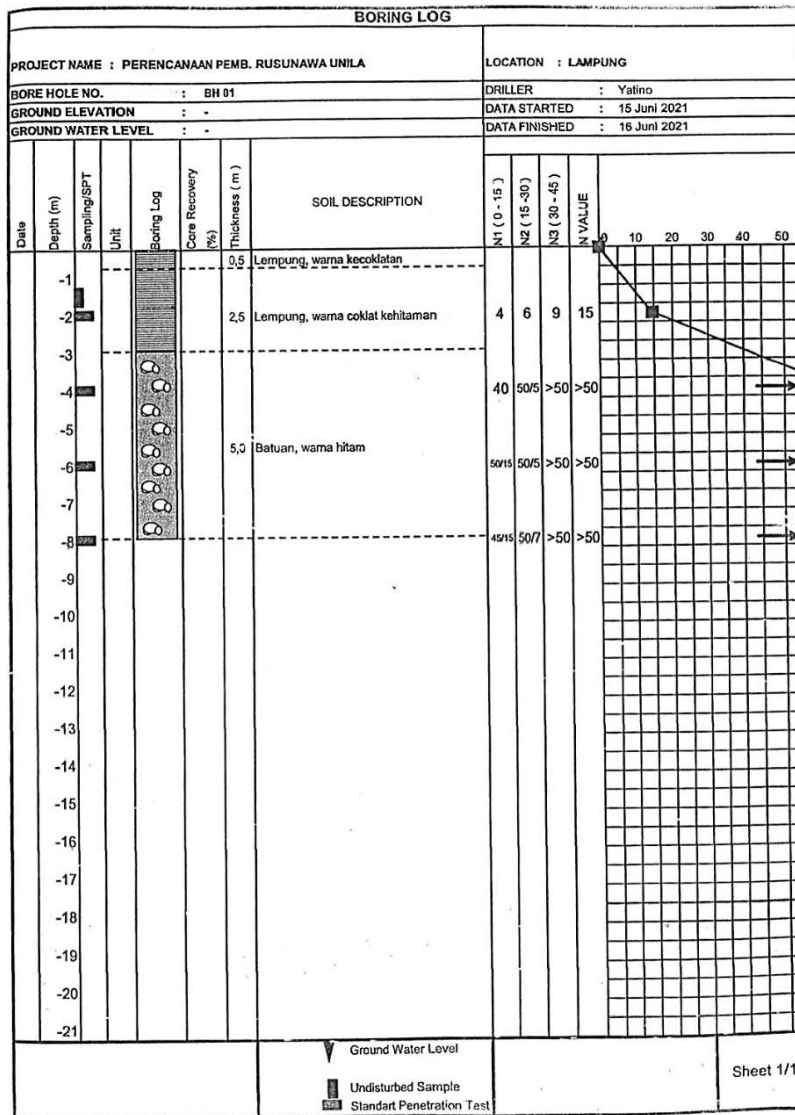


Gambar 3.6. Penulangan Dinding Geser.

### 3.3.7. Data Tanah

Data tanah yang diperlukan dalam penelitian ini berupa nilai N-SPT dari hasil pengujian *bor log* pada lokasi penelitian. Nilai N-SPT digunakan untuk menentukan jenis tanah pada lokasi yang akan dianalisa untuk desain respon spektra. Setiap daerah memiliki situs atau jenis tanah yang berbeda-beda, oleh sebab itu pengklasifikasian situs merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Klasifikasi situs digunakan untuk menentukan kategori desain seismik dan parameter respon spektral percepatan gempa terpetakan. Nilai N-SPT pada BH-01 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Nilai N-SPT pada BH-01



### 3.4. Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis dinamik respon spektrum. Analisis dilakukan dengan bantuan program analisis struktur komersial. Berikut tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

#### 3.4.1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari beberapa SNI dan jurnal, seperti:

- a. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan.
- b. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- c. SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- d. Berbagai jurnal dan sumber literatur mengenai analisis kekuatan struktur dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum.

#### 3.4.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan informasi mengenai Rumah Susun Universitas Lampung berupa pengumpulan data primer maupun data sekunder. Data yang didapatkan meliputi:

- a. *Shop Drawing* Rumah Susun  
Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan analisis struktur komersial. *Shop Drawing* digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada.

b. Data Tanah

Data tanah yang digunakan berdasarkan data dari pengujian yang dilakukan pada saat perencanaan rumah susun. Data tanah digunakan untuk menentukan kelas situs dalam analisis struktur terhadap beban gempa.

### 3.4.3. Analisis Data

Analisis data dan informasi mengenai Rumah Susun Universitas Lampung meliputi:

a. Pemodelan Struktur

Struktur dimodelkan dalam 3D dengan memasukkan elemen struktur berupa balok, kolom, dan pelat. Tahapan awal yang dilakukan adalah mendefinisikan material dan dimensi struktur yang digunakan. Setelah semua data material dan dimensi struktur sudah didefinisikan, langkah selanjutnya adalah menggambar letak balok, kolom, dan pelat sesuai dengan *shop drawing* yang telah diberikan.

b. Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang dihitung yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Perhitungan beban mati terdiri dari beban mati akibat berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Perhitungan beban mati akibat berat sendiri struktur pada program analisis struktur komersial didefinisikan pada *load case dead* dengan *self weight multiplier* 1 dan beban mati tambahan didefinisikan pada *load case superdead* dengan *self weight multiplier* 0. Beban mati yang diakibatkan oleh berat sendiri struktur dihitung secara otomatis berdasarkan input data material dan dimensi struktur yang digunakan, sedangkan untuk beban mati tambahan dimasukkan secara manual pada *assign shell load*, dan untuk beban dinding dimasukkan pada *assign frame load* dengan nilai sesuai peraturan pembebanan yang digunakan.

Perhitungan beban hidup pada analisis struktur komersial didefinisikan pada *load case live* dengan *self weight multiplier* 0. Beban hidup disesuaikan dengan fungsi ruangan di dalam gedung sehingga nilai untuk beban hidup tiap lantai berbeda-beda. Perhitungan pembebanan pada lantai atap didefinisikan pada *load case live roof* dengan *self weight multiplier* 0. Beban hidup dimasukkan secara manual pada *assign shell load* dan untuk nilai beban hidup yang dimasukkan diperoleh berdasarkan peraturan pembebanan yang digunakan.

Perhitungan beban gempa dilakukan dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum.

c. Analisis Respon Spektrum

Analisis ketahanan struktur terhadap pengaruh beban gempa dilakukan dengan analisis dinamik respon spektrum untuk mendapatkan kurva respon spektrum sesuai dengan wilayah yang ditinjau dengan menggunakan bantuan program analisis struktur komersial. Dalam proses analisis dinamik respon spektrum tahap pertama yang dilakukan adalah menentukan data parameter respon seismik struktur berdasarkan fungsi bangunan, lokasi bangunan, jenis tanah, dan tipe struktur yang digunakan. Parameter respon seismik yang pertama harus ditentukan yaitu kategori resiko struktur sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726-2019. Selanjutnya menentukan parameter respon seismik berupa nilai percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek dan periode 1 detik ( $S_S$  dan  $S_1$ ) dan parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek dan periode 1 detik ( $S_S$  dan  $S_1$ ) yang diperoleh dari web [puskim.go.id](http://puskim.go.id). Setelah itu, menentukan kategori desain struktur berdasarkan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Langkah selanjutnya yaitu menentukan koefisien modifikasi respons ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ), dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) berdasarkan sistem pemikul gaya seismik sesuai dengan SNI 1726-2019. Data-data yang telah diperoleh tersebut selanjutnya

akan dimasukkan ke program analisis struktur komersial untuk dianalisis.

Dalam pemodelan beban gempa respon spektrum pada program analisis struktur komersial, tahap pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan *function respon spectrum*, kemudian *define load pattern* untuk beban gempa. Langkah selanjutnya mendefinisikan respon spektrum gempa arah x ( $U_1$ ) dan arah y ( $U_2$ ) pada *load case data* dengan memasukkan faktor skala awal. Kemudian mendefinisikan *mass source* sesuai dengan ketentuan pada SNI 1726-2019. Setelah data respon spektrum dimasukkan, tahap berikutnya adalah menganalisis data struktur yang akan menghasilkan *output* berupa *story respons* akibat beban gempa arah x dan arah y dari program analisis struktur komersial.

d. Analisis Struktur

Analisis struktur memiliki tujuan untuk memperkirakan gaya dalam dan deformasi dari sistem struktur dan untuk memastikan terpenuhinya persyaratan kekuatan, kemampuan layan (*serviceability*), dan stabilitas. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program analisis struktur komersial. Data yang didapat dari program analisis struktur komersial yaitu *story respons* akibat pengaruh beban gempa dan gaya-gaya dalam yang terdapat pada struktur. Data-data tersebut yang akan digunakan dalam perhitungan evaluasi kekuatan struktur.

e. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur dihitung untuk mengetahui kelayakan struktur terhadap pengaruh beban gempa. Dalam evaluasi kekuatan struktur terdapat dua kriteria yang harus dipenuhi, yaitu kuat kapasitas elemen struktur dan stabilitas. Kuat kapasitas pada penampang harus lebih besar daripada kuat perlu yang dibutuhkan. Dalam evaluasi struktur berdasarkan kuat kapasitas elemen struktur, yang akan ditinjau yaitu struktur balok, kolom, dan pelat lantai. Untuk perhitungan kapasitas elemen struktur

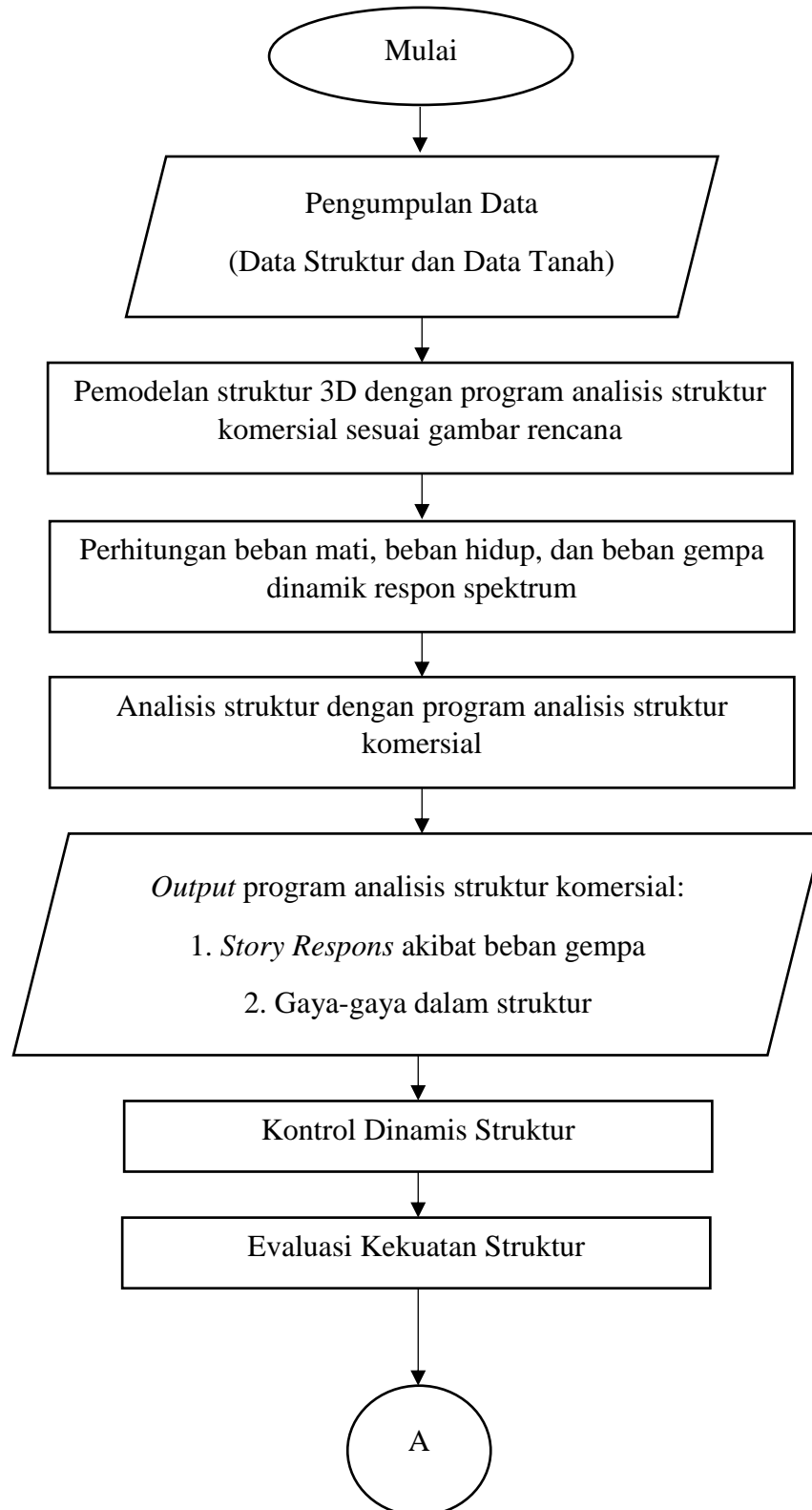
dilakukan evaluasi dalam dua kondisi yaitu evaluasi kekuatan struktur akibat pengaruh beban gempa dan tanpa pengaruh beban gempa. Evaluasi struktur pada pelat dilakukan dengan mempertimbangkan jenis pelatnya, yaitu pelat satu arah atau pelat dua arah. Untuk analisis kapasitas pada balok dilakukan analisis pada tulangan lentur, tulangan geser dan tulangan torsi. Sedangkan, untuk evaluasi struktur pada kolom metode yang akan digunakan untuk menentukan kapasitas kolom adalah dengan diagram interaksi menggunakan *software Sp Column*.

Persyaratan kedua mengenai desain elemen struktur selain dari segi kuat kapasitas adalah dari segi kelayakan elemen struktur dalam menerima pengaruh gaya yang terjadi. Suatu struktur harus memiliki nilai lendutan, simpangan dan retak yang masih berada dalam zona aman. Pada evaluasi struktur Rumah Susun Universitas Lampung ini akan dianalisis dari kemampuan dan respon struktur secara keseluruhan dalam menerima beban dinamis akibat gempa. Stabilitas struktur dalam menerima beban dinamis akibat beban gempa yang lebih tinggi ditinjau berdasarkan simpangan antar lantai, periode getar fundamental struktur, dan beberapa persyaratan lainnya sesuai dengan batasan-batasan pada SNI 1726-2019.

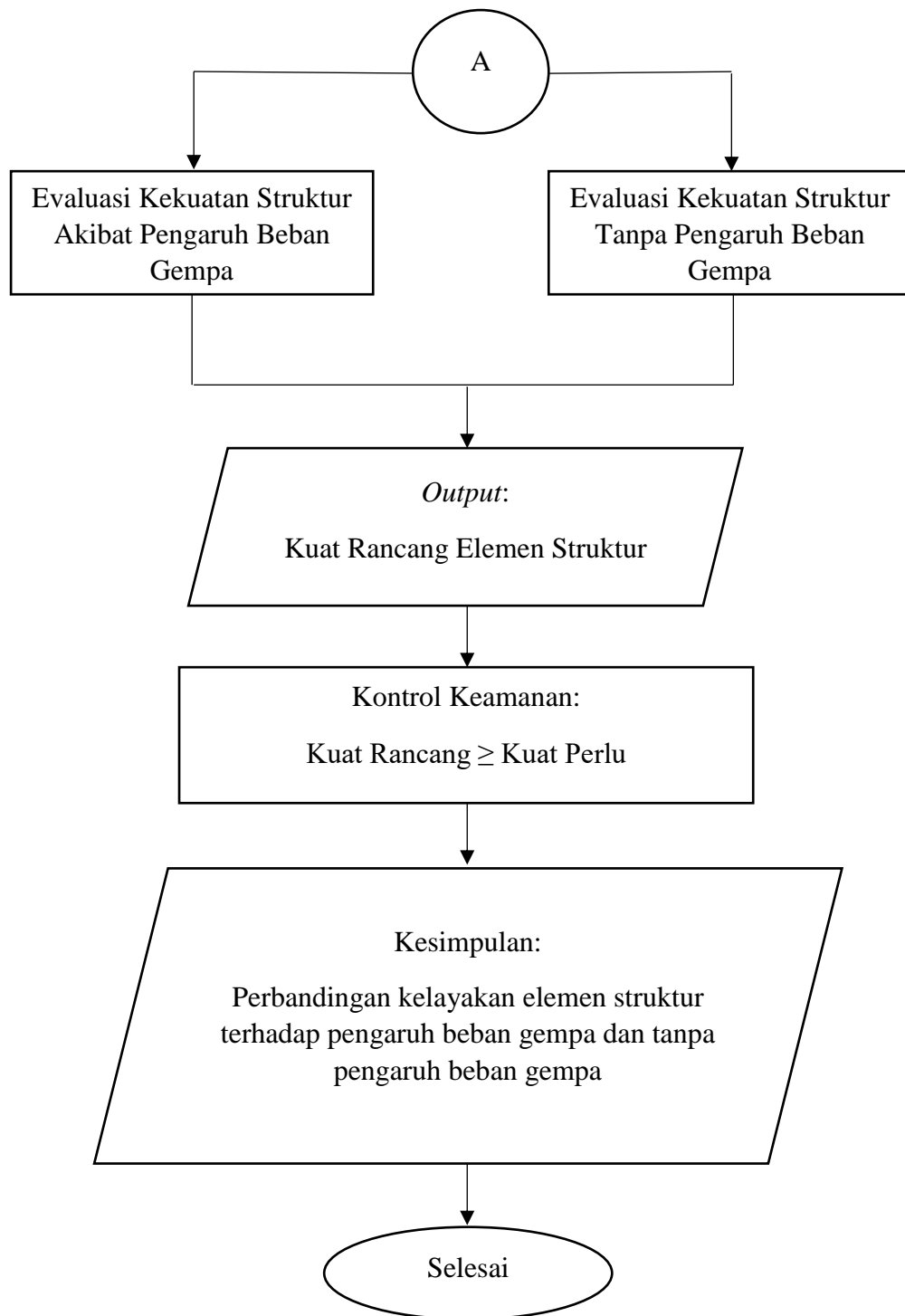
### **3.5. Diagram Alir Penelitian**

Dalam melakukan penelitian, langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat pada *flowchart* yang disajikan dalam Gambar 3.7.





Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3.7. (Lanjutan).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Perhitungan beban gempa dengan menggunakan metode analisis dinamik respon spektrum pada Kota Bandar Lampung dengan nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*) sebesar 0,3785 g diperoleh hasil terhadap kontrol dinamis struktur sebagai berikut:
  - a) Partisipasi massa ragam terkombinasi telah mencapai 100% dari arah X maupun arah Y pada *mode* 58.
  - b) Nilai periode fundamental yang dipakai yaitu  $T_x = 0,19$  detik dan  $T_y = 0,301$  detik.
  - c) Gaya gempa yang mampu ditahan oleh *shearwall* pada arah X sebesar 78,9486%, dan pada arah Y sebesar 99,3574%, sehingga struktur tidak memenuhi persyaratan *dual system* karena pada arah X dan Y *shearwall* memikul gaya gempa lebih dari 75%.
  - d) Nilai simpangan antar lantai yang terjadi baik dari arah X maupun arah Y sudah memenuhi batas izin sesuai ketentuan SNI 1726-2019, sehingga respon dinamis terhadap simpangan antar lantai sudah memenuhi syarat kelayakan gedung tahan gempa.
2. Berdasarkan evaluasi kekuatan struktur diperoleh hasil sebagai berikut:
  - a) Pada struktur balok, dalam kondisi tanpa beban gempa, terdapat tipe balok yang tidak memenuhi persyaratan yaitu B2.1. Sedangkan pada kondisi dengan adanya pengaruh beban gempa tipe balok tidak memenuhi persyaratan, diantaranya yaitu balok tipe G1.1, G1.2, G2.1, G2.2, G2.3, G4.1, B2.1, B2.2, B2.3, B3.1, dan B4.1. Berdasarkan hasil

tersebut dapat dikatakan bahwa struktur balok pada Rumah Susun Universitas Lampung tidak cukup aman untuk menahan torsi beban gempa yang terjadi sehingga perlu adanya perkuatan pada struktur gedung tersebut dengan cara memperbesar dimensi balok ataupun menambah jumlah tulangan balok agar gedung aman untuk digunakan sedangkan struktur balok tersebut sudah cukup aman dalam menahan beban lentur dan geser.

3. Pada struktur kolom, berdasarkan diagram interaksi P-M, titik beban terfaktor terletak di dalam garis kuat rencana, sehingga dalam kondisi tanpa pengaruh beban gempa maupun dalam kondisi dengan pengaruh beban gempa struktur kolom dapat dikategorikan aman untuk digunakan.
4. Struktur pelat pada Rumah Susun Universitas Lampung sudah memenuhi nilai yang disyaratkan, sehingga pelat layak atau aman untuk digunakan.
5. Berdasarkan perbandingan antara kebutuhan tulangan pada kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan dengan adanya penambahan beban gempa, maka dapat dikatakan bahwa penambahan beban gempa dengan metode analisis dinamik respon spektrum ini sangat berpengaruh pada perencanaan struktur gedung karena terdapat perbedaan signifikan antara kebutuhan tulangan pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan adanya penambahan beban gempa yaitu pada balok terjadi perubahan nilai momen sebesar 10,2133%-200,4852% sedangkan untuk nilai gaya geser terjadi perubahan nilai dari 10,4743%-10,4744%, dan torsi terjadi perubahan sebesar 10,1738%-26,32%, sedangkan pada kolom terjadi perubahan beban aksial sebesar 10,4743%-10,4744%, perubahan nilai momen sebesar 10,4744%-25,4750%, dan perubahan nilai gaya geser sebesar 10,4743%-32,1550%.

## 5.2. Saran

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

1. Sebaiknya penelitian dilakukan pada gedung yang sudah selesai proses pengerjaannya, supaya perhitungan yang dihasilkan sesuai dengan keadaan gedung yang sebenarnya.
2. Diperlukan analisis beban gempa dengan menggunakan metode analisis statik ekuivalen sebagai pembanding.
3. Sebaiknya dilakukan modifikasi terhadap struktur gedung apabila struktur yang dianalisis tidak memenuhi persyaratan.
4. Perlunya pemahaman dan pembelajaran lebih lanjut dalam penggunaan *software* analisis struktur agar mempermudah untuk melakukan analisis struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2021. *Data Gempa Bumi*. [online] Available at : <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/data-gempabumi.bmkg> [Accessed 09 Apr 2022].
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2022. *Pengertian Gempa Bumi*. [online] Available at : <https://www.kajianpustaka.com/2022/01/gempa-bumi-pengertian-jenis-penyebab.html> [Accessed 09 Apr 2022].
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. (SNI 2847-2019). Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. (SNI 1726-2019). Jakarta : BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung*. (SNI 1727-2020). Jakarta : BSN.
- Desain Spektra Indonesia, 2022. *Kurva Respon Spektrum* dalam <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> [Accessed 23 Juli 2022].
- Google Inc, 2022. *Google Maps: Peta Lokasi Rumah Susun Universitas Lampung* dalam <http://maps.google.com/>. [Accessed 11 Juli 2022].
- PBI, 1971. *Peraturan Beton Bertulang indonesia 1971 N.I. - 2*. Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 7.
- Pranata, Y. A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurnal Teknik Sipil, Vol.3, No.1, Januari 2006.

- Prismastanto, Novi 2019. *Metode Analisis Ragam Spektrum Respons Pada Struktur Gedung Bertingkat (Studi Kasus Hotel Tosan Solo Baru)*. Sukoharjo : Universitas Veteran Bangun Nusantara. Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil, Volume 1, No.1, Juni 2019.
- Purnomo, E., dkk. 2014. *Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang)*. Matriks Teknik Sipil, 2 (4), 569-576.
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur*. Jakarta : Erlangga.
- Simanjuntak, Pinondang. 2020. *Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa Di Indonesia*. Jakarta Timur : Universitas Kristen Indonesia. Jurnal Centech, Vol.1, No.1, April 2020. ISSN : 2722-0230.
- Siswanto, A. B., dan Salim M. A. 2018. *Rekayasa Gempa*. Semarang: K-Media.