

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

**Indana Zulva¹⁾
Bayzoni²⁾
Hasti Riakara Husni³⁾
Mohd Isneini⁴⁾**

Abstract

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.

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

Abstrak

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.

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

¹⁾ Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Surel: indzvla12@gmail.com

²⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

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. Perancangan rumah susun wajib dirancang untuk mempunyai kekuatan dan ketahanan yang tinggi terhadap muatan eksternal, termasuk paparan beban seismik.

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 meminimalisir 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.

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 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. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan program analisis struktur komersial, sedangkan evaluasi kekuatan struktur menggunakan bantuan program *SPCcolumn* dan *Microsoft Excel*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Uraian Umum

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 (Fadzilah, 2022).

2.2. Sistem Pemikul Gaya Seismik

Penentuan sistem struktur untuk menahan gaya lateral dapat ditentukan berdasarkan kategori desain seismik dan ketinggian struktur. Penjelasan mengenai sistem struktur tercantum dalam (SNI 1726, 2019) yang meliputi: (1) Sistem dinding penumpu; (2) Sistem rangka gedung; (3) Sistem rangka pemikul momen; (4) Sistem ganda; (5) Sistem struktur gedung kolom kantilever.

2.3. Elemen Struktur

Elemen-elemen struktur 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.

2.4. Pembebanan Struktur

Beban-beban yang digunakan dalam penelitian ini yaitu beban hidup (LL), beban mati yang terdiri dari beban mati sendiri (DL), dan beban mati tambahan (SDL), serta beban gempa. Ketentuan pembebanan mengacu pada (SNI 1727, 2020). Adapun untuk beban gempa dan kombinasi pembebanan yang dipakai mengacu pada (SNI 1726, 2019).

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 analisis dinamik respon spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu.

2.6. Tinjauan Struktur Terhadap Gempa

2.6.1. Faktor Keutamaan Gempa

Menurut (SNI 1726, 2019) Tabel 3, 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 dan ditentukan pada (SNI 1726, 2019) Tabel 4.

2.6.2. Klasifikasi Situs

Penetapan klasifikasi situs melalui penyelidikan tanah di lapangan dan laboratorium. Dalam perumusan desain seismik sebuah bangunan, maka situs tersebut harus digolongkan terlebih dahulu. Pengklasifikasian situs ditentukan pada (SNI 1726, 2019) Tabel 5.

2.6.3. Koefisien Situs

Berdasarkan (SNI 1726, 2019) Pasal 6.2, parameter respon spektrum percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) disesuaikan dengan efek klasifikasi situs. Nilai koefisien situs mengacu pada (SNI 1726, 2019) Tabel 6 dan Tabel 7.

2.6.4. Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain terdiri dari parameter percepatan spektral desain periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) sesuai (SNI 1726, 2019) Pasal 6.1.2 dan mengacu pada peta wilayah gempa. Percepatan spektral desain digunakan untuk menentukan tingkat kerawanan suatu daerah terhadap risiko gempa bumi.

2.6.5. Spektrum Respon Desain

Berdasarkan (SNI 1726, 2019) grafik respon spektrum menyatakan hubungan antara respon spektra percepatan (S_a) dan periode (T). Grafik respon spektrum desain sesuai (SNI 1726, 2019) Pasal 6.4.

2.6.6. Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki kategori desain seismik menurut (SNI 1726, 2019) Pasal 6.5. Penetapan kategori desain seismik berdasarkan kategori risiko dan

parameter-parameter respon spektrum percepatan desain diatur dalam (SNI 1726, 2019) Tabel 8 dan Tabel 9.

2.7. Kontrol Dinamis Struktur

Hasil analisis struktur yang harus diperiksa terhadap batasan-batasan tertentu sesuai (SNI 1726, 2019) meliputi: (1) Kontrol periode fundamental gedung; (2) Kontrol rasio partisipasi massa; (3) Kontrol gaya geser dasar; (4) Kontrol *Dual System*; (5) Kontrol simpangan antar lantai.

2.8. Evaluasi Kekuatan Struktur

Evaluasi kekuatan struktur dihitung untuk mengetahui kelayakan struktur bangunan terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. 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.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan penulis adalah 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.

3.3. Data Penelitian

Data umum penelitian yang digunakan yaitu:

Nama gedung	: Rumah Susun Universitas Lampung
Fungsi	: Rumah Susun
Jenis tanah	: Tanah keras
Luas bangunan	: $\pm 3327,75 \text{ m}^2$
Tinggi bangunan	: 15,9 m
Jumlah lantai	: 3 lantai dengan 1 lantai dak dan 1 lantai atap
Material struktur	: Beton bertulang
Sistem struktur	: <i>Dual system</i>

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan dalam penelitian ini yaitu (SNI 2847, 2019) tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan, (SNI 1726 2019) tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung, (SNI 1727, 2020) tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, dan berbagai jurnal serta sumber literatur lainnya yang berkaitan dengan analisis dinamik respon spektrum dan evaluasi kekuatan struktur gedung beton bertulang.

3.4.2. Pengumpulan Data

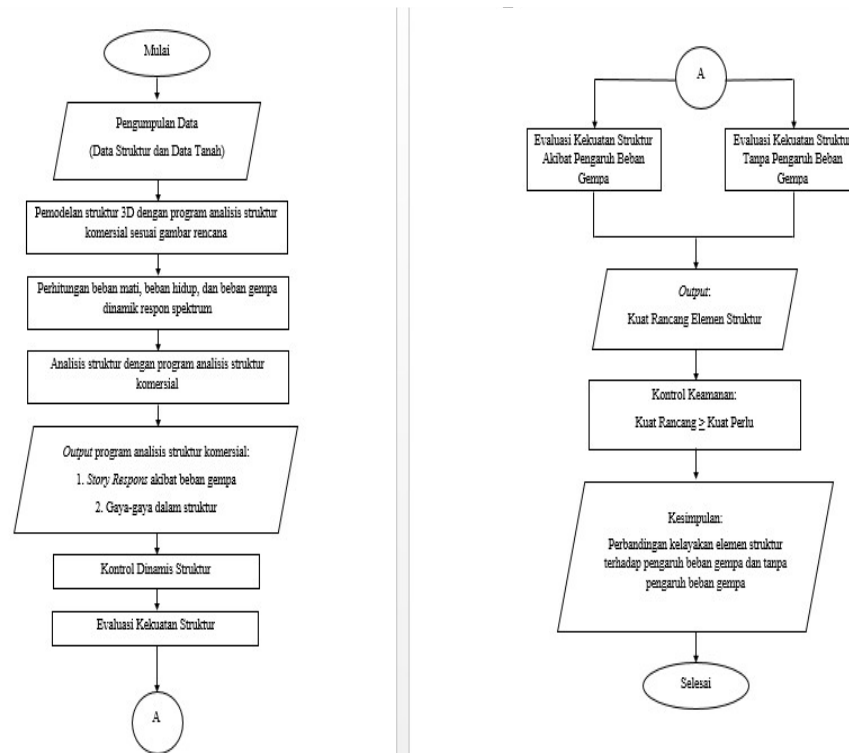
Pengumpulan data dan informasi mengenai Rumah Susun Universitas Lampung berupa pengumpulan data primer maupun data sekunder, seperti *shop drawing* dan data tanah.

3.4.3. Analisis Data

Analisis data dan informasi mengenai Rumah Susun Universitas Lampung meliputi pemodelan struktur, perhitungan pembebanan, analisis respon spektrum, analisis struktur, dan evaluasi kekuatan struktur dalam dua kondisi yaitu tanpa pengaruh beban gempa dan dengan pengaruh beban gempa untuk mengetahui perbandingan kelayakan strukturnya.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada *flowchart* yang disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Struktur Gedung

4.1.1. Spesifikasi Material

Mutu beton yang digunakan yaitu K-300 ($f'_c = 25$ MPa). Mutu baja yang digunakan yaitu 400 MPa untuk tulangan ulir BJTD 40 dan 240 MPa untuk tulangan polos BJTP 24.

4.1.2. Spesifikasi Elemen Struktur

Spesifikasi penulangan pada balok sajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Penulangan Lentur dan Geser pada Balok

Tipe Balok	Dimensi (mm)		Tulangan Lentur			Tulangan Geser		
			Tump	Lap	Tump	Tump	Lap	Tump
G1.1	250 x 550	Atas	5D16	3D16	5D16	D10-100	D10-200	D10-100
		Bawah	3D16	4D16	3D16	D10-100	D10-200	D10-100
G2.1	250 x 450	Atas	5D16	3D16	5D16	D10-100	D10-200	D10-100
		Bawah	3D16	3D16	3D16	D10-100	D10-200	D10-100
G2.2	250 x 450	Atas	5D16	3D16	5D16	D10-100	D10-200	D10-100
		Bawah	3D16	4D16	3D16	D10-100	D10-200	D10-100
G4.1	350 x 450	Atas	5D16	3D16	5D16	D10-100	D10-150	D10-100
		Bawah	3D16	3D16	3D16	D10-100	D10-150	D10-100
G5.1	350 x 350	Atas	6D16	6D16	6D16	1,5D10-100	1,5D10-100	1,5D10-100
		Bawah	4D16	4D16	4D16	1,5D10-100	1,5D10-100	1,5D10-100
B2.1	250 x 450	Atas	2D16	2D16	2D16	D10-100	D10-150	D10-100
		Bawah	4D16	4D16	4D16	D10-100	D10-150	D10-100
B2.2	250 x 450	Atas	2D16	2D16	2D16	D10-100	D10-100	D10-100
		Bawah	2D16	2D16	2D16	D10-100	D10-100	D10-100
B2.3	250 x 450	Atas	4D16	4D16	4D16	D10-100	D10-100	D10-100
		Bawah	2D16	2D16	2D16	D10-100	D10-100	D10-100
B3.1	200 x 400	Atas	2D16	2D16	2D16	D10-100	D10-100	D10-100
		Bawah	2D16	2D16	2D16	D10-100	D10-100	D10-100
G1.2	250 x 550	Atas	6D16	3D16	6D16	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100
		Bawah	3D16	6D16	3D16	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100
G2.3	250 x 450	Atas	4D16	2D16	4D16	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100
		Bawah	2D16	4D16	2D16	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100
B2.1	250 x 450	Atas	2D16	2D16	2D16	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100
		Bawah	4D16	5D16	4D16	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100
B3.1	200 x 400	Atas	2D16	2D16	2D16	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-150
		Bawah	2D16	2D16	2D16	Ø10-150	Ø10-150	Ø10-150
B4.1	250 x 400	Atas	3D16	2D16	3D16	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-100
		Bawah	2D16	3D16	2D16	Ø10-100	Ø10-150	Ø10-100

Tabel 2. Spesifikasi Penulangan Torsi pada Balok

Tipe Balok	Dimensi (mm)		Tulangan Torsi		
			Tump	Lap	Tump
G1.1	250 x 550	Atas	2D10	2D10	2D10
		Bawah	2D10	2D10	2D10
G4.1	350 x 450	Atas	4D10	4D10	4D10
		Bawah	4D10	4D10	4D10
G1.2	250 x 550	Atas	2D10	2D10	2D10
		Bawah	2D10	2D10	2D10
G2.3	250 x 450	Atas	4D10	4D10	4D10
		Bawah	4D10	4D10	4D10

Spesifikasi penulangan pada kolom disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Penulangan Kolom

Tipe Kolom	Ukuran (mm)	Tulangan Geser		
		Tump	Lap	Tumpuan
K1	450 x 450	D10-100	D10-150	D10-100
K2	300 x 300	D10-100	D10-150	D10-100
K3	300 x 550	D10-100	D10-150	D10-100

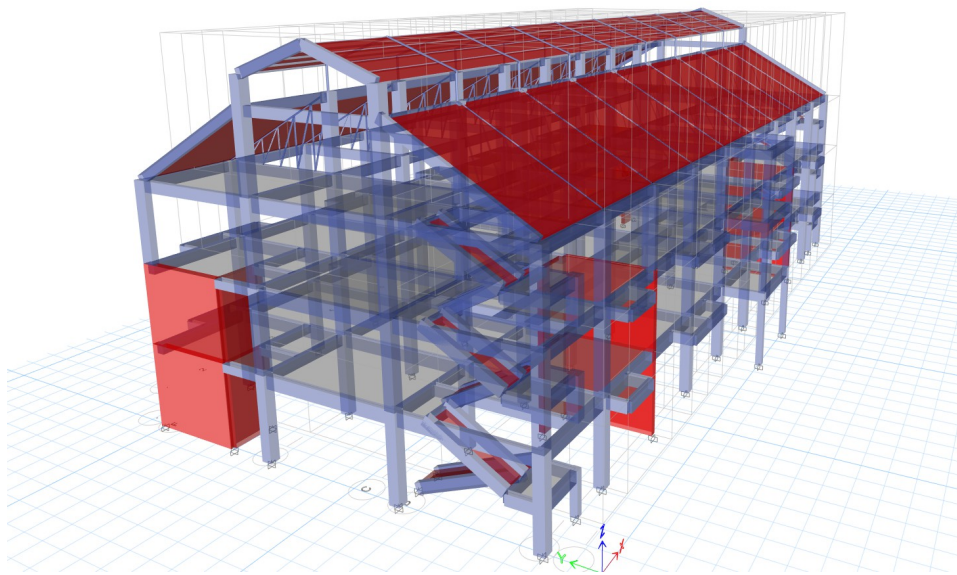
Spesifikasi penulangan pada pelat disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi Penulangan Pelat

Tipe Pelat	Tebal (mm)	Tulangan X	Tulangan Y
S1	100	M8-150	M8-150
S2	120	D10-150	D10-200
S3	150	D10-150	D10-150
S4	150	D13-100	D13-100

4.2. Pemodelan Struktur Gedung

Pemodelan struktur Rumah Susun Universitas Lampung dilakukan dengan menggunakan program analisis struktur komersial. Pemodelan struktur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Gedung

4.3. Pembebanan Struktur

4.3.1. Beban Mati

- a) Beban Mati Balok
 - Beban dinding

$$= 8,25 \text{ kN/m}$$

- b) Beban Mati Pelat Lantai
- Beban *plafond* & rangka = 0,18 kN/m²
 - Beban *finishing* (tebal spesi = 3,14 cm) = 0,66 kN/m²
 - Berat mekanikal, elektrikal, dan *plumbing* = 0,20 kN/m²
 - Total = 1,04 kN/m²
- c) Beban Mati Pelat Atap
- Beban *plafond* & rangka = 0,18 kN/m²
 - Beban *finishing* (tebal spesi = 1 cm) = 0,21 kN/m²
 - Berat mekanikal, elektrikal, dan *plumbing* = 0,20 kN/m²
 - Total = 0,59 kN/m²

4.3.2. Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja ditentukan berdasarkan (SNI 1727, 2020) Tabel 4.3.1, yaitu sebagai berikut.

- a) Beban Hidup Pelat Atap
- Beban hidup atap = 0,96 kN/m²
- b) Beban Hidup Pelat Lantai
- Lobi = 4,79 kN/m²
 - Balkon = 1,92 kN/m²
 - Ruang hunian = 1,92 kN/m²
 - Lantai dak = 1,92 kN/m²
- c) Beban Hidup Pelat Tangga
- Tangga = 4,79 kN/m²

4.3.3. Beban Gempa

Beban gempa diperoleh dari perhitungan analisis dinamis dengan menggunakan data yang tersedia pada halaman <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2022> dengan acuan (SNI 1726, 2019).

Sistem struktur	= <i>Dual system</i>
Klasifikasi situs	= Tanah keras (SC)
Kategori risiko bangunan	= II
Faktor keutamaan (<i>I_e</i>)	= 1
<i>S₁</i>	= 0,4275 g
<i>S_s</i>	= 0,8536 g
<i>S_{DS}</i>	= 0,6829
<i>S_{D1}</i>	= 0,4275
Kategori desain seismik (KDS)	= D

4.4. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada (SNI 1726, 2019) Pasal 7.4.2. Adapun kombinasi pembebanan yang digunakan meliputi:

- (1) 1,4D;
- (2) 1,2D + 1,6L + 0,5L_r;
- (3) 1,2D + 1,6L_r + L;
- (4) 1,2D + 1,0L + 0,5L_r;
- (5) 0,9D;
- (6) 1,3366 D ± 1,3 E_x ± 0,39 E_y + 1 L;
- (7) 0,7634 D ± 0,39 E_x ± 1,3 E_y.

4.5. Analisis Struktur

Gaya dalam pada balok disajikan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Gaya Dalam Balok G1.1

Tipe Balok		G1.1 (250x550) mm					
Gaya		Mu				Vu	Tu (kN.m)
Lokasi		Tumpuan (-) (kN.m)	Tumpuan (+) (kN.m)	Lapangan (-) (kN.m)	Lapangan (+) (kN.m)	Tumpuan (kN)	Lapangan (kN)
Tanpa Beban Gempa		-40,6197	30,4636	-3,9681	28,9824	66,0106	22,4768
Dengan Beban Gempa		-56,9223	31,1133	-16,2491	46,3718	69,1418	33,9455
Pembesaran		14,0135%	10,2133%	40,9493%	16%	10,4743%	15,1025%

Tabel 6. Gaya Dalam Balok G1.2

Tipe Balok		G1.2 (250x550) mm					
Gaya		Mu				Vu	Tu (kN.m)
Lokasi		Tumpuan (-) (kN.m)	Tumpuan (+) (kN.m)	Lapangan (-) (kN.m)	Lapangan (+) (kN.m)	Tumpuan (kN)	Lapangan (kN)
Tanpa Beban Gempa		-30,2845	11,5194	-0,3504	20,7	33,5439	17,6417
Dengan Beban Gempa		-31,7211	13,2191	-7,0250	21,6819	35,135	18,4785
Pembesaran		10,4744%	11,4755%	200,4852%	10,4743%	10,4743%	10,4743%

Dari hasil analisis struktur balok, diperoleh perbedaan yang signifikan antara gaya dalam saat kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan dengan adanya pengaruh beban gempa. Untuk perbedaan nilai momen pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa terjadi perubahan dari 10,2133%-200,4852%, untuk gaya geser terjadi perubahan dari 10,4743%-10,4744% dan torsi terjadi perubahan dari 10,1738%-26,32%.

Gaya dalam pada kolom disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Gaya Dalam Kolom K1

Tipe Kolom		K1 (450x450) mm				
Gaya		Pu (kN)	Mux (kN.m)	Muy (kN.m)	V2 (kN)	V3 (kN)
Tanpa Beban Gempa		471,3168	35,5933	34,9538	44,7829	34,8764
Dengan Beban Gempa		493,673	47,8545	52,8524	49,5204	50,2802
Pembesaran		10,4743%	13,4450%	15,1210%	11,0579%	14,4170%

Dari hasil analisis struktur kolom, diperoleh adanya perbedaan antara gaya dalam saat kondisi tanpa pengaruh beban gempa dan dengan adanya pengaruh beban gempa. Untuk perbedaan nilai beban aksial pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan beban gempa terjadi perubahan 10,4743%-10,4744%, untuk momen terjadi perubahan dari 10,4744%-25,4750%, dan untuk gaya geser terjadi perubahan sebesar 10,4743%-32,1550%. Akibat

adanya pembesaran gaya-gaya dalam tersebut, maka dibutuhkan evaluasi untuk mengetahui apakah struktur mampu menahan beban gempa yang terjadi.

4.6. Kontrol Respon Dinamis Struktur

Kontrol dinamis struktur harus dilakukan sesuai hasil yang terdapat pada (SNI 1726, 2019). Pemeriksaan dilakukan secara manual terhadap analisis gempa respon spektrum yang dilakukan oleh program analisis struktur komersial. Kontrol respon dinamis struktur yang dilakukan meliputi:

1. Kontrol rasio partisipasi massa
Berdasarkan hasil analisis struktur dari program analisis struktur komersial, didapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi telah mencapai 100% dari arah X maupun arah Y pada mode 58.
2. Kontrol periode fundamental struktur
Nilai periode fundamental yang dipakai yaitu $T_x = 0,19$ detik dan $T_y = 0,301$ detik.
3. Kontrol gaya geser dasar
 $V_{dinamik} \geq V_{statik}$ maka gaya geser dasar sudah memenuhi persyaratan (SNI 1726, 2019).
4. Kontrol *dual system*
Gaya gempa yang mampu ditahan oleh shearwall pada arah x dan shearwall pada arah y memikul gaya gempa lebih dari 75%, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur tidak memenuhi persyaratan dual system
5. Kontrol simpangan antar lantai
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 struktur gedung sudah memenuhi syarat kelayakan gedung tahan gempa

4.7. Evaluasi Kekuatan Struktur

4.7.1. Evaluasi Kekuatan Struktur Balok

Pemeriksaan elemen balok yang dilakukan yaitu pemeriksaan kuat rancang dan syarat SRPMK struktur balok, kemudian membandingkan luasan tulangan balok yang diperlukan terhadap tulangan balok terpasang. Hasil pemeriksaan kekuatan struktur balok dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Kuat Nominal Tulangan Balok Tanpa Beban Gempa

Jenis Balok	Lokasi	Mu (kN.m)	ØMn (kN.m)	Persentase Perbedaan (%)	Keterangan
G1.1	Tumpuan Atas	56,9223	159,1407	64	OK
	Tumpuan Bawah	31,1133	98,4904	68	OK
	Lapangan Atas	3,9681	99,8170	96	OK
	Lapangan Bawah	46,3718	130,6972	65	OK
G1.2	Tumpuan Atas	31,7211	187,2544	83	OK
	Tumpuan Bawah	11,5194	97,6066	88	OK
	Lapangan Atas	0,3504	97,6066	100	OK
	Lapangan Bawah	21,6819	187,2544	88	OK

Tabel 9. Kuat Nominal Tulangan Balok dengan Beban Gempa

Jenis Balok	Lokasi	Mu (kN.m)	ØMn (kN.m)	Persentase Perbedaan (%)	Keterangan
G1.1	Tumpuan Atas	40,6197	159,1407	74	OK
	Tumpuan Bawah	30,4636	98,4904	69	OK
	Lapangan Atas	16,2491	99,8170	84	OK
	Lapangan Bawah	28,9824	130,6972	78	OK
G1.2	Tumpuan Atas	30,2845	187,2544	84	OK
	Tumpuan Bawah	13,2191	97,6066	86	OK
	Lapangan Atas	7,0250	97,6066	93	OK
	Lapangan Bawah	20,7000	187,2544	89	OK

Pemeriksaan kebutuhan tulangan torsi dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi dengan Beban Gempa

Tipe Balok	Tu (kN.m)	Pemeriksaan Kebutuhan Tulangan Torsi			
		Tcr (N.mm)	ϕ	ϕT_{th}	Periksa
G1.1	8,9467	19497070,31	0,75	3677856,445	YA
G1.2	4,743	19497070,31	0,75	3677856,445	YA
G2.1	3,5102	14916294,64	0,75	2813755,58	YA
G2.2	2,7858	14916294,64	0,75	2813755,58	TIDAK
G2.3	16,4373	14916294,64	0,75	2813755,58	YA
G4.1	3,401	25581445,31	0,75	4825590,82	TIDAK
G5.1	7,3319	17685937,5	0,75	3336210,938	YA
B2.1	5,8122	14916294,64	0,75	2813755,58	YA
B2.2	1,6325	14916294,64	0,75	2813755,58	TIDAK
B2.3	4,3217	14916294,64	0,75	2813755,58	YA
B3.1	0,7371	8800000	0,75	1660000	TIDAK
B4.1	0,2934	12692307,69	0,75	2394230,769	TIDAK

Berdasarkan pemeriksaan kebutuhan tulangan torsi dengan pengaruh beban gempa pada Tabel 10, balok G2.2, G4.1, B2.2, B3.1, dan B4.1 perhitungan torsi dapat diabaikan dan untuk balok tipe lainnya torsi perlu diperhitungkan kembali dengan cara menambah tulangan atau memperbesar dimensi tulangan karena tulangan torsi tidak cukup kuat dalam menahan beban gempa.

4.7.2. Evaluasi Kekuatan Struktur Kolom

Pemeriksaan elemen kolom yang dilakukan yaitu pemeriksaan beban aksial dan kuat nominal kolom dengan *software SPColumn*, pemeriksaan syarat SRPMK kolom yang mengacu pada (SNI 2847, 2019), dan membandingkan kebutuhan tulangan kolom terpasang terhadap tulangan kolom yang diperlukan. Kuat lentur nominal kolom K1 tanpa beban gempa disajikan dalam Tabel 11 dan kuat lentur nominal kolom K1 dengan beban gempa disajikan dalam Tabel 12.

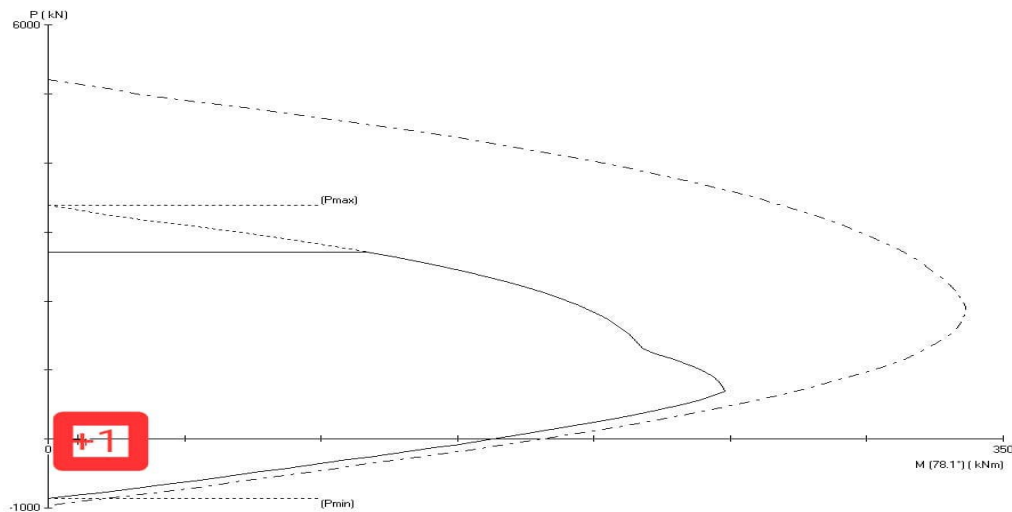
Tabel 11. Kuat Lentur Nominal Kolom K1 Tanpa Beban Gempa

No	Pu (kN)	Mux (kN.m)	Muy (kN.m)	ϕ	Mnx (kN.m)	Mny (kN.m)	ϕ Mnx (kN.m)	ϕ Mny (kN.m)	Ket
1	-9,46	2,29	10,89	0,9	36,9	175,5222	33,21	157,97	OK
2	493,67	-2,48	-5,64	0,88	-102,545	-233,534	-90,24	-205,51	OK
3	207,77	35,59	14,82	0,9	201,0778	83,71111	180,97	75,34	OK
4	257,23	-30,21	-5,92	0,9	-220,76	-43,2333	-198,54	-38,91	OK
5	0,03	16,88	34,95	0,9	79,97778	165,6333	71,98	149,07	OK
6	24,42	-15,97	-32,11	0,9	-83,8889	-168,7	-75,5	-151,83	OK

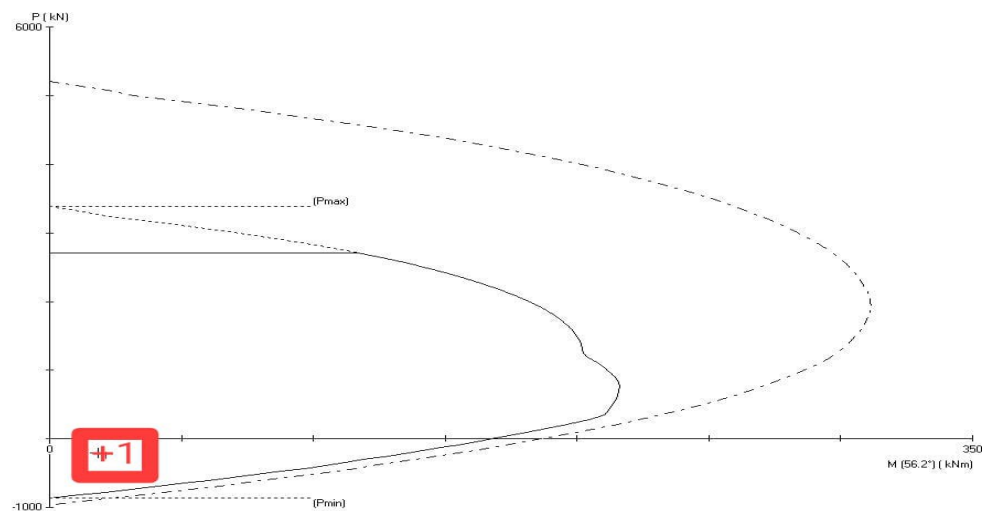
Tabel 12. Kuat Lentur Nominal Kolom K1 dengan Beban Gempa

No	Pu (kN)	Mux (kN.m)	Muy (kN.m)	ϕ	Mnx (kN.m)	Mny (kN.m)	ϕ Mnx (kN.m)	ϕ Mny (kN.m)	Ket
1	-204	10,3	15,37	0,9	84,1666667	125,6333	75,75	113,07	OK
2	471,32	-2,37	-5,39	0,889	-100,89989	-229,798	-89,7	-204,29	OK
3	66,35	47,85	-6,64	0,9	190,177778	-26,3889	171,16	-23,75	OK
4	66,35	-47,85	-6,64	0,9	-190,17778	-26,3889	-171,16	-23,75	OK
5	-11,49	1,84	52,85	0,9	6,17777778	177,9333	5,56	160,14	OK
6	21,75	-14,59	-52,85	0,9	-49,3111111	-178,644	-44,38	-160,78	OK

Hasil evaluasi kekuatan struktur kolom berupa diagram interaksi P-M dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Diagram Interaksi P-M Kolom K1 Tanpa Beban Gempa



Gambar 4. Diagram Interaksi P-M Kolom K1 dengan Beban Gempa

4.7.3. Evaluasi Kekuatan Struktur Pelat

Dalam pemeriksaan elemen pelat, kombinasi pembebanan yang digunakan yaitu 1,2D + 1,6L. Pelat yang diperiksa merupakan pelat dua arah dan telah memenuhi syarat ketebalan minimum sesuai dengan (SNI 2847, 2019). Untuk pemeriksaan kuat nominal pelat menggunakan metode amplop dengan mengacu pada (PBI, 1971). Adapun hasil dari pemeriksaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Kuat Nominal Tulangan Pelat

Tipe Pelat	Lokasi	Mu (kN.m)	ΦM_n (kN.m)	Keterangan
S2	Lapangan Arah X	9,8116	16,9782	OK
	Tumpuan Arah X	-9,8116	16,9782	OK
	Lapangan Arah Y	12,0382	11,3199	NOT OK
	Tumpuan Arah Y	-12,0382	11,3199	OK
S3	Lapangan Arah X	6,8766	22,6330	OK
	Tumpuan Arah X	-6,8766	22,6330	OK
	Lapangan Arah Y	10,2934	20,7444	OK
	Tumpuan Arah Y	-10,2934	20,7444	OK
S4	Lapangan Arah X	4,5257	53,0434	OK
	Tumpuan Arah X	-4,5257	53,0434	OK
	Lapangan Arah Y	6,7745	48,2616	OK
	Tumpuan Arah Y	-6,7745	48,2616	OK

4.8. Perbandingan dengan Penelitian Lain

Pada penelitian (Fadzilah dkk, 2022) yang dilakukan di daerah Metro dengan mengambil studi kasus pada Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro yang merupakan gedung bertingkat 7 lantai dengan 1 basement, diperoleh nilai faktor keutamaan gempa sebesar 1,5 dengan kategori risiko IV dan termasuk dalam kelas situs SD (tanah sedang). Setelah dilakukan analisis struktur dalam kondisi tanpa beban gempa dan dengan pengaruh beban gempa diperoleh hasil pembesaran sebagai berikut:

Mu balok : 8 kali lipat
 Vu balok : 3 kali lipat
 Mu kolom : 3 s.d. 20 kali lipat
 Vu kolom : 3 s.d. 15 kali lipat
 Pu kolom : 2 s.d. 4 kali lipat

Berdasarkan hasil evaluasi kekuatan strukturnya, terdapat kesamaan antara penelitian ini dengan penelitian, yaitu pada kondisi adanya pengaruh beban gempa, membutuhkan dimensi yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tanpa pengaruh beban gempa, sehingga diperlukan penambahan tulangan atau pembesaran diameter tulangan yang digunakan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. 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.
2. 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.
3. Struktur pelat pada Rumah Susun Universitas Lampung sudah memenuhi nilai yang disyaratkan, sehingga pelat layak atau aman untuk digunakan.
4. Terdapat perbedaan yang signifikan antara kebutuhan tulangan pada kondisi tanpa beban gempa dan dengan adanya penambahan beban gempa.
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.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadzilah, 2022. Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan Analisis Dinamik Respon Spektrum (Studi Kasus : Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro).
- Fadzilah dkk, 2022. EVALUASI KEKUATAN STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT AKIBAT PENGARUH BEBAN GEMPA MENGGUNAKAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM (Studi Kasus: Rumah Susun Universitas Lampung), 9 (4), 885–898.
- PBI, 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. *Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan*, 7, 130.
- SNI 1726, 2019. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, (8), 254.

SNI 1727, 2020. SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. *Badan Standarisasi Nasional 1727:2020*, (8), 1–336.

SNI 2847, 2019. SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Standar Nasional Indonesia*, (8), 720.