



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 2515-2534

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Desain Bangunan 15 Lantai Pada Daerah Intensitas Seismik Tinggi Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Kota Bengkulu

Bangun Rahmadi¹, Yudhia Pratidina², Elsa Rati Hariza³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institusi Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH

bangunrahmadi308@gmail.com, lozzi71@yahoo.co.id, elsaratihariza@gmail.com

Abstrak

Provinsi Bengkulu merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi akibat keberadaan Segmen Sesar Manna, Ketahun, dan Musi. Kondisi ini menuntut perencanaan bangunan bertingkat yang memenuhi standar ketahanan gempa. Penelitian ini bertujuan menganalisis perencanaan struktur Rumah Sakit di Kota Bengkulu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan dan tanpa dinding geser (*shear wall*) berbantuan perangkat lunak ETABS v18. Evaluasi dilakukan terhadap kontrol bentuk ragam dan partisipasi massa, simpangan antar lantai, serta efek P-Delta sesuai SNI 1726-2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa model dengan dinding geser memenuhi persyaratan partisipasi massa pada ragam ke-8 dengan nilai $\sum UX$ dan $\sum UY$ masing-masing 91%. Model tanpa dinding geser memenuhi pada ragam ke-9 dengan partisipasi massa arah UX sebesar 91% dan UY sebesar 90%. Simpangan antar lantai maksimum arah X sebesar 16,460 mm dan arah Y sebesar 13,904 mm, masih di bawah batas izin 35 mm sehingga memenuhi ketentuan SNI 1726-2019. Nilai P-Delta maksimum arah X sebesar 0,0091 dan arah Y sebesar 0,0069 juga berada di bawah batas yang disyaratkan. Perencanaan elemen struktur mengacu pada SNI 2847-2019, meliputi desain pelat, balok, kolom, dan sloof dengan dimensi serta penulangan yang memenuhi persyaratan kekuatan dan daktilitas. Secara keseluruhan, struktur yang direncanakan dinyatakan aman dan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Kata Kunci : Acuan, Rumah Sakit, Sistem Rangka Pemikul Momen

1. Latar Belakang

Indonesia memiliki aktivitas seismik sangat tinggi, dengan rata-rata 400 peristiwa per bulan. Mulai dari tahun 1991-2007, ada 24 kejadian gempa bumi di Indonesia termasuk gempa bumi Aceh 26 September 2004 dengan kekuatan 9,3 SR, diikuti tsunami serta gempa bumi Yogyakarta 26 Mei 2006 dampaknya kerusakan infrastruktur yang sangat parah. Berdasarkan uraian telah disampaikan resiko bencana gempa bumi di Indonesia sangat besar dampaknya (Annisa et al., 2023).

Menurut . Bengkulu termasuk Wilayah Sumatera dikenal sebagai salah satu daerah dengan aktivitas seismik yang tinggi. Di Provinsi Bengkulu, gempa bumi darat sering terjadi akibat aktivitas sesar lokal. Terdapat tiga segmen sesar utama di wilayah ini, yaitu Segmen Manna yang berada di Kabupaten Bengkulu Selatan, Segmen Ketahun yang membentang di Kabupaten Bengkulu Utara dan Kabupaten Lebong, serta Segmen Musi yang terletak di Kabupaten Kepahiang. Dari ketiga segmen tersebut, Segmen Musi di Kabupaten Kepahiang tercatat sebagai yang paling aktif secara seismik, dibuktikan dengan rentetan gempa signifikan yang terjadi secara beruntun pada 15-20 Oktober 2017 di wilayah tersebut. Berdasarkan uraian telah disampaikan resiko bencana gempa bumi di Bengkulu sangat besar dampaknya (Supriani, 2023).

Menurut pada gedung bertingkat, semakin tinggi bangunan, semakin besar beban akibat gaya lateral yang terjadi. Oleh karena itu, diperlukan sistem struktur yang kuat dan kaku namun tetap ringan, guna mengoptimalkan kekakuan dan meminimalkan massa untuk menahan gaya lateral secara efektif. Gempa perlu diperhatikan dalam Perancangan gedung bertingkat di wilayah rawan gempa. Untuk mempermudah perhitungan dan distribusi beban gempa, perlu diperhatikan konfigurasi, bentuk, dan konsep desain struktur. Pada gedung rumah sakit ini digunakan sistem SRPMK agar struktur bersifat daktail (Parabi et al., 2026).

SRPMK diperlukan untuk bangunan beton bertulang di daerah rawan gempa agar struktur lebih fleksibel dan tahan gempa (Nasution, 2020). Perancangan harus mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan

dilengkapi dengan analisis serta kontrol uji untuk memastikan keamanan bangunan sesuai standar yang berlaku. Dalam penelitian ini, ETABS digunakan untuk mempercepat proses analisis struktur yang sebelumnya dilakukan secara manual dan kurang akurat. ETABS memungkinkan pengguna memodelkan struktur bangunan dalam 3D dan merender gambar kerja dalam 2D. Selain itu, perangkat lunak ini mendukung Perancangan konstruksi dan penyusunan tahapan pelaksanaan proyek secara detail (Darwis, 2024).

Tujuan dari penelitian ini urgensi bahwa kota Bengkulu dekat dengan daerah sesar, ingin mengetahui kerentanan resiko struktur yang dibangun dekat sesar dengan intensitas seismik yang tinggi. Merencanakan kontruksi gedung Rumah Sakit 15 lantai dengan Metode SRPMK, lalu dilanjutkan dengan Analisa struktur menggunakan program ETABS. Setelah tahapan-tahapan tersebut dipenuhi, akan di dapatkan hasil yang di butuhkan.

2. Metode Penelitian

Penulis merencanakan desain bangunan 15 lantai pada daerah kota Bengkulu. Data yang digunakan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir berjudul “*Analisis Desain Bangunan 15 Lantai pada Daerah dengan Intensitas Seismik Tinggi Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*” merupakan data sekunder (Rahman, 2024). Data sekunder ini diperoleh dari berbagai referensi seperti buku dan jurnal yang telah tersedia. Informasi yang dikumpulkan sangat membantu dalam proses perancangan struktur gedung yang berada di wilayah dekat patahan, dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

Langkah awal dalam proses Perancangan sebuah gedung adalah menetapkan dimensi awal dari elemen-elemen strukturnya (Werang, 2021). Setelah itu, dilakukan perhitungan secara berulang metode (*trial and error*) sampai ditemukan ukuran yang sesuai dan memenuhi persyaratan kekuatan ultimit struktur. Berikut ini merupakan ukuran elemen struktur yang digunakan pada kedua model bangunan yang dirancang (Wildan & Lestyowati, 2025):

a. Dimensi Kolom

Dimensi awal kolom direncanakan *trial and eror* hingga didapatkan dimensi yang memenuhi syarat sebagai berikut :

- K1 INTERIOR = 1200 mm x 700 mm
- K2 INTERIOR = 1000 mm x 700 mm
- K3 INTERIOR = 800 mm x 700 mm
- K1 EKSTERIOR = 1100 mm x 600 mm
- K2 EKSTERIOR = 900 mm x 600 mm
- K3 EKSTERIOR = 700 mm x 600 mm

b. Dimensi Balok

Dimensi awal balok direncanakan *trial and eror* hingga didapatkan dimensi yang memenuhi syarat sebagai berikut :

- B1 Bentang 7 m 300 mm x 450 mm
- B2 Bentang 6 m 250 mm x 400 mm
- B3 Bentang 4 m 200 mm x 300 mm
- Balok anak 4 m 200 mm x 300 mm

c. Dimensi Pelat

Untuk dimensi pelat dalam Perancangan yaitu sebagai berikut :

- Pelat Lantai 125 mm
- Pelat Atap 120 mm

d. Dimensi dinding geser (*shear wall*)

Dalam Perancangan dinding geser yaitu sebagai berikut

- *Shear wall* 135 mm
- *Core wall* 135 mm

Metode Penulisan Laporan

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, metode pengumpulan data yang digunakan adalah studi kepustakaan. Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber seperti buku, literatur ilmiah, serta referensi lain yang relevan dengan topik Tugas Akhir.

Analisis dan Perhitungan

Pada analisis serta perhitungan dilakukan pada keseluruhan bangunan Gedung. Tahapan Tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Pemodelan dan Pradimensi Struktur Gedung

Pemodelan dan pradimensi dilakukan dengan tetap mengacu pada peraturan yang berlaku dalam mendesain elemen-elemen struktur. Pemodelan struktur Gedung berdasarkan pada gambar yang telah direncanakan. Struktur bangunan diatas akan dimodelkan dengan aplikasi ETABS V.18.0.2.

Analisis Struktur

Dalam perhitungan analisis struktur menggunakan respon spektrum untuk mendapatkan kurva respon spektrum yang disesuaikan dengan daerah gempa menggunakan bantuan dari website direktorat jendral kementerian PUPR yaitu *rsapuskim2019.litbang.pu.go.id*. data yang dibutuhkan analisis respon spektrum adalah F_a dan F_v . Nilai F_a diperoleh dari percepatan tanah maksimum suatu daerah.

Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan beban gempa pada setiap lantai bangunan dilakukan dengan pendekatan beban statik ekuivalen, di mana gaya gempa lateral didistribusikan ke masing-masing lantai sesuai ketentuan yang berlaku (Imani, 2021). Prosedur analisis statik ekuivalen digunakan untuk memperoleh besar dan distribusi gaya gempa pada struktur. Tahapan perhitungan beban gempa meliputi:

- 1) penentuan kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa,
- 2) pemilihan klasifikasi situs,
- 3) penentuan parameter respons spektral gempa terpetakan (S_s dan S_1),
- 4) penentuan parameter respons spektral gempa desain (S_{ms} dan S_{m1}), serta
- 5) perancangan elemen-elemen struktur utama.

Struktur bangunan yang direncanakan meliputi struktur atas, yaitu kolom, balok, pelat lantai, hubungan balok-kolom (joint), dan dinding geser. Uraian perhitungan secara rinci disajikan pada Bab IV.

Perancangan Elemen Struktur

Perancangan kolom dilakukan dengan menggunakan data gaya aksial dan momen hasil analisis perangkat lunak ETABS. Tahapan perancangan meliputi pemeriksaan komponen struktur penahan gempa, penentuan tulangan longitudinal penahan lentur, pengendalian beban aksial terhadap beban aksial terfaktor, pemeriksaan konsep *strong column-weak beam*, perhitungan tulangan transversal sebagai *confinement*, serta penentuan gaya geser desain kolom (Faisal, 2024). Perancangan balok meliputi pengambilan data momen lentur dan torsi dari hasil analisis ETABS, pemeriksaan persyaratan lentur Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), perancangan tahanan torsi, penulangan lentur, dan penulangan transversal. Perancangan pelat diawali dengan perhitungan momen lentur pelat, yaitu M_{1x} , M_{1y} , M_{tx} , dan M_{ty} , yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan penulangan pelat (Falah, 2024). Perancangan dinding geser (*shear wall*) mencakup penentuan gaya dalam yang bekerja, perhitungan tulangan transversal untuk menahan gaya geser, perhitungan tulangan longitudinal akibat kombinasi beban aksial dan lentur, serta evaluasi kebutuhan elemen pembatas khusus (*special boundary element*) (Handayani, 2022).

Perangkat Lunak yang Digunakan

Perancangan dan analisis struktur dalam penelitian ini didukung oleh beberapa perangkat lunak, yaitu Microsoft Office untuk pengolahan data dan penyusunan laporan, ETABS v18 untuk analisis struktur, SP Column untuk perencanaan kolom beton bertulang, serta ArcGIS untuk pengolahan data pendukung.

Analisis Struktur Menggunakan ETABS

Analisis bangunan tahan gempa dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS dengan mengacu pada SNI 1726:2019 (Agus et al., 2025). Tahapan analisis meliputi penentuan parameter gempa dan evaluasi respons struktur, antara lain kategori risiko bangunan, faktor keutamaan gempa (I_e), kategori desain seismik (KDS), koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_o), dan faktor pembesaran defleksi (C_d). Selain itu, dilakukan analisis modal untuk memperoleh periode struktur, bentuk ragam getar, dan *modal participating mass ratio* (MPMR).

Evaluasi selanjutnya meliputi perhitungan gaya geser dasar melalui analisis statik dan dinamik beserta penskalaan gaya, pemeriksaan retak dinding geser, verifikasi syarat sistem ganda, evaluasi faktor reduksi, simpangan antar tingkat, pengaruh P-Delta, serta pemeriksaan ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur (Qadri, 2024).

3. Hasil dan Diskusi

Data Perancangan untuk desain struktur gedung Rumah Sakit ini adalah sebagai berikut :

1. Fungsi Bangunan : Rumah Sakit
2. Lokasi : Kota Bengkulu
3. Lebar Bangunan : 22 m
4. Panjang Bangunan : 54 m
5. Tinggi Bangunan : 53 m
6. Tinggi Antai Lantai : 4 dan 3,5 m
7. Jumlah Lantai : 15 Lantai
8. Sistem Struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
9. Mutu Beton : - Plat (35 Mpa)
 - Balok (35 Mpa)
 - Kolom (35 Mpa)
10. Mutu Baja : Untuk $\phi \geq 13$ Baja Tulangan Ulir (BJTS 420)

Sistem Struktur

Pemodelan struktur rancang memakai Program ETABS V 18.0.2. Untuk Perancangan Sistem struktur yang digunakan adalah SRPMK, yang dirancang untuk menahan beban lateral secara efektif.. Sesuai judul tugas akhir “Analisis Desain Bangunan 15 Lantai pada Daerah Intensitas Seismik Tinggi dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Kota Bengkulu.

Peraturan dan Srandar Perancangan

1. SNI 1726-2019 “Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung”.
2. SNI 2847-2019 “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan”.
3. SNI 1727-2020 “Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain”.
4. SNI 2052-2017 “Baja Tulangan Beton”.

Preliminary Design

Kolom

Mengacu pada SNI 2847:2019 pasal R10.3.1 mengenai ketentuan dimensi elemen struktur, tidak disebutkan secara eksplisit ukuran minimum untuk kolom. Adapun asumsi dimensi kolom yang digunakan dalam struktur Gedung Rumah Sakit ini dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Dimensi Kolom

No	Nama Kolom	Lebar Kolom (mm)	Tinggi Kolom (mm)
1	K1 INTERIOR	700	1200
2	K2 INTERIOR	700	1000
3	K3 INTERIOR	700	800
4	K1 EKSTERIOR	600	1100
5	K2 EKSTERIOR	600	900
6	K3 EKSTERIOR	600	700

Sumber : Perhitungan Sendiri

Balok

Pradimensi balok dapat dihitung mengacu pada ketentuan dalam SNI 2847:2019. Namun demikian, pengecualian dapat dilakukan apabila perhitungan lendutan memenuhi persyaratan yang diatur pada pasal 9.3.2

Tabel 4.2 Tinggi Minimum Balok Nonprategang 420 MPa

Kondisi perletakan	Minimum $h^{(1)}$
Perletakan sederhana	1/16
Menerus satu sisi	1/18.5
Menerus dua sisi	1/21
Kantilever	1/8

Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1

Tabel 4.3 Tinggi Minimum Balok Nonprategang ≥ 420 MPa

Kondisi Perletakan	Minimum $h^{(1)}$
Perletakan sederhana	$L_{pj} / 16(0,4+F_y/700)$
Menerus satu sisi	$L_{pj} / 18,5(0,4+F_y/700)$
Menerus dua sisi	$L_{pj} / 21(0,4+F_y/700)$
Kantilever	$L_{pj} / 8(0,4+F_y/700)$

Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 9.3.1.1.1

Tabel 4.4 Dimensi Balok

No	Nama Balok	Lebar Balok (mm)	Tinggi Balok (mm)
1	B1.7	300	450
2	B2.6	250	400
3	B3.4	200	300
4	BA	200	300

Sumber : Perhitungan Sendiri

Pelat

Mengacu pada SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.1, pelat beton tanpa prategang yang tidak memiliki balok interior pada keempat sisi dan dengan perbandingan bentang panjang terhadap pendek maksimum 2, harus memiliki tebal total (h) minimal sesuai dengan nilai terkecil di antara ketentuan pada poin a) dan b) dalam Tabel 8.3.1.1, kecuali jika lendutan memenuhi kriteria pasal 8.3.2.:

- Pelat tanpa drop panel 8.3.4..... 125 mm
- Pelat dengan drop panel sesuai 8.2.4 100 mm

Tabel 4.5 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang tanpa balok interior

f_c , MPa ⁽²⁾	Tanpa drop panel ⁽³⁾			Dengan drop panel ⁽³⁾		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ⁽⁴⁾		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi ⁽⁴⁾	
280	$l_x/33$	$l_x/36$	$l_x/36$	$l_x/36$	$l_x/40$	$l_x/40$
420	$l_x/30$	$l_x/33$	$l_x/33$	$l_x/33$	$l_x/36$	$l_x/36$
520	$l_x/28$	$l_x/31$	$l_x/31$	$l_x/31$	$l_x/34$	$l_x/34$

Sumber : SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.1

Berikut dimensi pelat yang digunakan untuk Gedung Rumah Sakit

Tabel 4.6 Dimensi Pelat

No	Nama Pelat	Tebal Pelat (mm)
1	Lantai	125
2	Atap	120
3	Tangga	150

Sumber : Perhitungan Sendiri

Dinding Geser (Shear Wall)

Untuk dimensi *Shear Wall* pada Gedung rumah sakit adalah sebagai berikut :

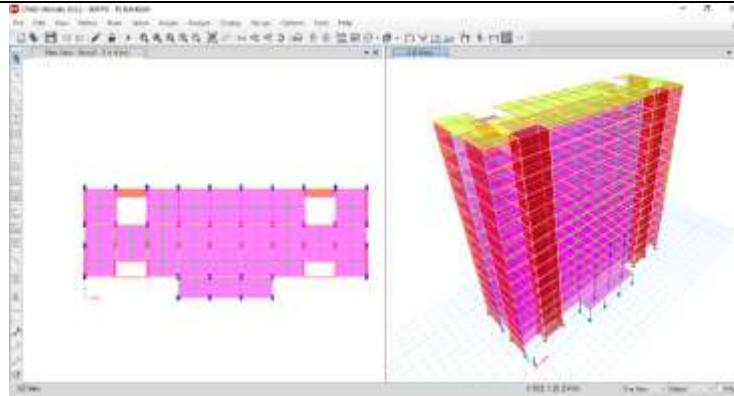
Tabel 4.7 Dimensi *Shear Wall*

	Nama <i>Shear Wall</i>	Lebar <i>Shear Wall</i> (mm)	Panjang <i>Shear Wall</i>
1	SW	3500	53000
2	CW	3500	53000

Sumber : Perhitungan Sendiri

Pemodelan Bangunan pada ETABS

Berikut pemodelan Gedung Rumah Sakit 15 Lantai pada *software* ETABS



Gambar 4.1 Pemodelan pada ETABS
 Sumber : Software ETABS

Pembebanan Struktur

Dalam perancangan struktur, beban gravitasi mengikuti ketentuan SNI 1727-2020, sedangkan beban gempa merujuk pada SNI 1726-2019 yang mengatur tata cara ketahanan gempa untuk bangunan gedung dan struktur lainnya (Pait et al., 2021).

Beban Gravitasi

Pada struktur bangunan, beban gravitasi diperhitungkan berdasarkan fungsi dari masing-masing ruang yang disesuaikan dengan denah arsitektural. Mengacu pada SNI 1727:2020 tentang “Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya”, ketentuan beban dalam perancangan struktur gedung mencakup berbagai jenis beban gravitasi yang dijelaskan sebagai berikut:

a. **Beban Mati (*Dead Load*)**

Beban mati merupakan beban yang timbul dari komponen struktural bangunan, termasuk kolom, balok, dan pelat.

b. **Beban Hidup (*Live Load*)**

Beban hidup mengacu pada beban yang tidak bersifat tetap dan tidak selalu menekan struktur secara permanen.

Tabel 4.8 Beban Hidup

No	Jenis Ruangan	Beban Merata (kN/m ³)
1	Ridor	2,94
2	Ruang Operasi	2,81
3	Ruang Pasien	2,88
4	Ruang	2,81
5	Ruang IGD	2,40
6	Ruang Lab dan Bayi	2,81
7	Ruang Rapat/Kantor	3,92
8	Laboratorium	3,43
9	Lift	2,81
10	Des	2,94

Sumber : Perhitungan Sendiri

c. **Beban Mati Tambahan (*Super Imposed Dead Load/SIDL*)**

Beban mati tambahan merupakan beban yang diakibatkan oleh elemen struktural yang bersifat tetap dan permanen.

➤ **Untuk Lantai**

Tabel 4.9 Beban Mati Tambahan Lantai

No	Jenis Beban Mati	Berat Jenis (kN/m ³)	Beban Merata (kN/m ²)
1	Lantai setebal 1 cm	16	0,16
2	Lantai setebal 3 cm	22	0,66

3	Amik setebal 1 cm	22	0,22
4	ond & Penggantung		0,2
5	ding Rebah		1,8
6	(Mekanikal & Elektrikal		0,25
		TOTAL	3,29

Sumber : Perhitungan Sendiri

➤ Untuk Atap

Tabel 4.10 Beban mati Tambahan Atap

No	Jenis Beban Mati	Beban Merata (kN/m ²)	
1	on Penggantung	0,20	
2	(Mekanikal & Elektrikal)	0,25	
		TOTAL	0,45

Sumber : Perhitungan Sendiri

Beban Gempa pada Struktur

Perhitungan beban gempa pada struktur bangunan Gedung Rumah

Sakit ini mengacu pada SNI 1729:2019 mengenai "Tata Cara Perancangan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung". Dalam standar tersebut, respon gempa direncanakan berdasarkan probabilitas terjadinya gempa dengan periode ulang 2500 tahun, yaitu sebesar 2/3 dari nilai S_{ms}.

Kombinasi Pembebanan

Dengan mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perancangan Struktur Bangunan Gedung dan Non Bangunan Gedung, maka disusunlah perancangan struktur tugas akhir Analisis Perancangan Bangunan Gedung 15 Lantai di Daerah dengan Intensitas Gempa Tinggi dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) di Kota Bengkulu. Berdasarkan Pasal 5.3.1 SNI 2847:2019, perancangan harus memperhitungkan kombinasi beban.

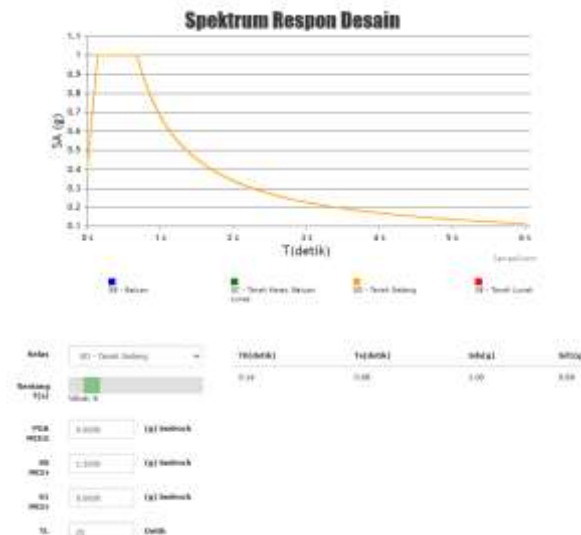
Tabel 4.11 Kombinasi Pembebanan

Nomor	DL	SIDL	LL	L _r	R	W ₁	W ₂	E ₁	E ₂
1	11	14	14						
2	21	12	12	1,6	0,5				
	22	12	12	1,6		0,5			
	31	12	12	1	1,6				
	32	12	12	1,6		0,5			
	33	12	12	1,6			0,5		
3	34	12	12	1,6		0,375	0,375		
	35	12	12	1	1,6				
	36	12	12		1,6	0,5			
	37	12	12		1,6		0,5		
	38	12	12		1,6	0,375	0,375		
4	41	12	12	1	0,5				
	42	12	12	1	0,5			1	
	43	12	12	1	0,5		0,75	0,75	
	44	12	12	1		0,5	1		
	45	12	12	1		0,5	0,75	0,75	
5	51	0,9	0,9				1		
	52	0,9	0,9				1		
	53	0,9	0,9			0,75	0,75		
6	61	1,3370	1,3370	1				1,2	0,39
	62	1,3370	1,3370	1				1,2	-0,39
	63	1,3370	1,3370	1				-1,2	0,39
	64	1,3370	1,3370	1				-1,2	-0,39
	65	1,3370	1,3370	1				0,39	1,2
	66	1,3370	1,3370	1				-0,39	1,2
	67	1,3370	1,3370	1				0,39	-1,2
	68	1,3370	1,3370	1				-0,39	-1,2
7	71	0,7690	0,7690					1,2	0,39
	72	0,7690	0,7690					1,2	-0,39
	73	0,7690	0,7690					-1,2	0,39
	74	0,7690	0,7690					-1,2	-0,39
	75	0,7690	0,7690					0,39	1,2
	76	0,7690	0,7690					-0,39	1,2
	77	0,7690	0,7690					0,39	-1,2
	78	0,7690	0,7690					-0,39	-1,2

Sumber : Perhitungan Sendiri

Parameter Respon Spektrum Gempa Terpetakan (Nilai S_s dan S₁)

Koordinat lokasi bangunan dimasukkan ke dalam aplikasi respons spektrum Indonesia yang disediakan PUSKIM di situs web rsapuskim2019.litbang.pu.go.id untuk mendapatkan parameter respons spektrum gempa. Seperti terlihat pada gambar terlampir, data parameter respons spektrum S_s adalah 1,5000 dan S₁ adalah 0,6000 setelah memasukkan koordinat lokasi bangunan atau nama kota.



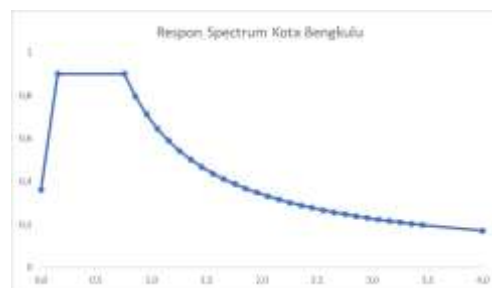
Gambar 4.2 Grafik Respon Spektra
 Sumber : rsapuskim2019.litbang.pu.go.id.

Jadi didapat data nilai parameter respon spektra terpetakan seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.12 Parameter Respon Spektra

Variabel	Nilai
FPGA	0,6000
Ss (g)	1,5000
S1	0,6000

Sumber : rsapuskim2019.litbang.pu.go.id.



Gambar 4.3 Grafik Respon Spektra Kota Bengkulu
 Sumber : Perhitungan Sendiri

Klasifikasi Situs

Tabel 4.14 Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	N atau N_{eq}	\bar{s}_{u1} (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $s_{uv} < 2.5$ 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)		

Sumber : SNI 1726-2019

Parameter Percepatan Gempa

Koefisien lokasi dan faktor amplifikasi seismik dihitung pada dua interval waktu, 0,2 detik dan 1 detik, untuk menentukan parameter respons spektral percepatan gempa bumi di permukaan tanah. F_a untuk percepatan getaran periode pendek dan F_y untuk percepatan getaran satu detik adalah contoh faktor amplifikasi ini. Karakteristik respons spektral percepatan disebut sebagai SM1 untuk periode 1 detik dan SMS untuk periode pendek, tergantung pada klasifikasi tanah setempat.

Tabel 4.15 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s < 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s > 1,5$
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	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 4.16 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_1					
	$S_1 < 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 > 0,6$
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 ^(a)					

Sumber : SNI 1726-2019

Analisis Struktur

Berat Seismik Efektif

Dalam menentukan berat total struktur, diperhitungkan beban dari elemen struktur (beban mati utama), beban mati tambahan, serta sebagian dari beban hidup yang telah disesuaikan. Untuk keperluan analisis gempa, hanya beban hidup yang dianggap konstan yang dimasukkan dalam perhitungan. Nilai ini umumnya ditentukan berdasarkan fungsi bangunan, di mana untuk gedung, besaran beban hidup permanen yang diperhitungkan adalah sebesar 30% dari total beban hidup.

➤ SRPMK

Tabel 4.17 Nilai *Center of Mass and Rigid* (SRPMK)

Sumber : Hasil Output ETABS

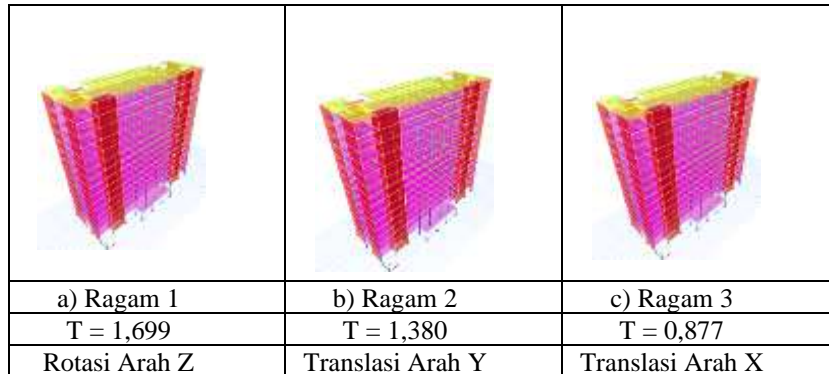
Lantai	Massa (kg)
Story15	533589,82
Story14	987420,74
Story13	933414,53
Story12	933414,53
Story11	933414,53
Story10	952451,29
Story9	971939,29
Story8	971939,29
Story7	971939,29
Story6	971939,29
Story5	992903,32
Story4	1012134,4
Story3	1012134,4
Story2	1012141,6
Story1	1104870,2

Jadi untuk total berat seismic efektif untuk desain struktur gedung Rumah Sakit dengan SRPMK adalah sebesar 140192 kN.

Berat Seismik Efektif

Getaran bebas akibat gempa dianalisis secara dinamis menggunakan *software* ETABS, yang menghasilkan variasi mode getar struktur. Visualisasi bentuk ragam getar tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah.

➤ SRPMK



Gambar 4.4 Bentuk Ragam dan Geser Struktur (SRPMK)

Sumber : Hasil Output ETABS

Hasil analisis dinamik gempa menggunakan *software* ETABS pada struktur gedung dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menampilkan bentuk ragam getar beserta periode getarnya.

Kontrol Analisis Dinamik Gempa

Tabel di bawah ini menunjukkan kontribusi partisipasi massa dari masing-masing 20 mode getaran yang digunakan dalam penelitian ini.

➤ SRPMK

Tabel 4.18 Nilai Partisipasi Massa Bangunan

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	1,699	0,64	0	0	0,64	0	0	0	0,4147	0,0062	0	0,4147	0,0062
Modal	2	1,38	0	0,6364	0	0,64	0,6364	0	0,4264	0	0	0,4264	0,4147	0,0062
Modal	3	0,877	0,0052	0	0	0,6452	0,6364	0	0	0,0041	0,6403	0,4264	0,4188	0,6465
Modal	4	0,34	0,1953	0	0	0,8405	0,6364	0	0	0,2422	0,0034	0,4264	0,661	0,6499
Modal	5	0,268	0	0,2037	0	0,8405	0,8401	0	0,2315	0	0	0,6579	0,661	0,6499
Modal	6	0,182	0,0041	0	0	0,8447	0,8401	0	0	0,0048	0,1942	0,6579	0,6657	0,8441
Modal	7	0,139	0,071	0	0	0,9157	0,8401	0	0	0,1295	0,0019	0,6579	0,7953	0,846
Modal	8	0,109	0	0,0741	0	0,9157	0,9142	0	0,1338	6,581E-07	0	0,7917	0,7953	0,846
Modal	9	0,08	0,0357	6,344E-07	0	0,9514	0,9142	0	1,305E-06	0,0802	0,0001	0,7917	0,8755	0,8461
Modal	10	0,075	0,0008	0	0	0,9522	0,9142	0	0	0,0014	0,0726	0,7917	0,8768	0,9186
Modal	11	0,063	1,211E-06	0,0372	0	0,9522	0,9514	0	0,0831	2,63E-06	0	0,8748	0,8768	0,9186
Modal	12	0,055	0,0193	2,146E-06	0	0,9715	0,9514	0	4,991E-06	0,0471	0,0003	0,8748	0,924	0,9189
Modal	13	0,044	0,0009	0	0	0,9724	0,9514	0	8,55E-07	0,002	0,0359	0,8748	0,926	0,9548
Modal	14	0,043	2,371E-05	0,0201	0	0,9724	0,9715	0	0,049	0,0001	2,13E-06	0,9238	0,926	0,9548
Modal	15	0,042	0,0108	4,503E-05	0	0,9832	0,9715	0	0,0001	0,0282	0,0002	0,9239	0,9542	0,955
Modal	16	0,034	0,0063	5,083E-06	0	0,9895	0,9715	0	1,303E-05	0,0169	0,0001	0,9239	0,9711	0,955
Modal	17	0,033	2,513E-06	0,0115	0	0,9895	0,983	0	0,0296	7,043E-06	0	0,9535	0,9711	0,955
Modal	18	0,03	0,0006	0	0	0,9901	0,983	0	0	0,0015	0,0188	0,9535	0,9725	0,9738
Modal	19	0,029	0,0033	5,227E-07	0	0,9934	0,983	0	1,341E-06	0,0092	0,0002	0,9535	0,9817	0,974
Modal	20	0,028	0,0001	6,5E-07	0	0,9935	0,983	0	1,826E-06	0,0002	5,135E-06	0,9535	0,9819	0,974

Sumber : Hasil Output ETABS

Tabel 4.19 Nilai Partisipasi Massa

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	99,35
Modal	Acceleration	UY	100	98,3
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Sumber : Hasil Output ETABS

Dari tabel 4.18 menunjukkan bahwa rasio partisipasi massa bangunan sudah terpenuhi lebih dari 90% pada ragam 8 sehingga sudah memenuhi atura pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.1 mengenai partisipasi massa/jumlah ragam.

Kontrol Nilai Fundamental Struktur

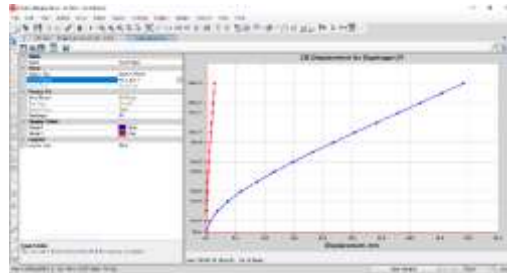
Koefisien periode maksimum (C_u) sebagaimana tercantum dalam Tabel 17 SNI 1726:2019 harus dipenuhi oleh nilai periode fundamental awal struktur (T_a) yang ditentukan melalui pemodelan dan analisis numerik dengan menggunakan perangkat lunak struktur. Persamaan 36 SNI 1726:2019 juga dapat digunakan untuk menghitung pendekatan terhadap nilai periode fundamental (T_a) dengan tinggi bangunan (h_n) 53 meter. Tabel 18 SNI 1726:2019 memberikan nilai konstanta C_t dan eksponen x . Berdasarkan regulasi dalam SNI 1726:2019, periode fundamental struktur (T) hasil analisis tidak diperkenankan melampaui batas atas yang ditetapkan melalui koefisien perioda maksimum (C_u). Nilai C_u tersebut dirujuk dari Tabel 17 dalam standar yang sama dan berfungsi sebagai batas kontrol terhadap perioda desain bangunan. Karena periode getar struktur gedung hasil perhitungan T_{cx} dan T_{cy} melebihi nilai batas maksimum T_{max} , maka untuk analisis beban gempa pada struktur tersebut digunakan periode getar sebesar 1,342 detik.

Kontrol Gaya Geser

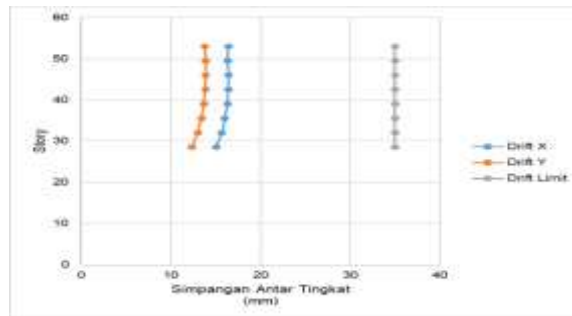
Perhitungan gaya geser desain mengacu pada ketentuan SNI 1726-2019 pasal 7.8.1, yang mengharuskan perhitungan nilai koefisien respons seismik (C_s). Nilai yang dihasilkan menunjukkan nilai C_s sebesar 0,1929 g, C_{Smax} sebesar 0,1086 g dan C_{Smin} 0,0643 g jadi untu c yang digunakan yaitu 0,1929 g.

Kontrol Simpangan Antar Lantai

Persyaratan kriteria simpangan struktur mengikuti pedoman yang tertulis dalam SNI 1726-2019 dengan mempertimbangkan faktor



Gambar 4.5 Grafik Simpangan Antar Lantai
Sumber : Software ETABS



Gambar 4.6 Simpangan Antar Tingkat Arah x dan Y
Sumber : Perhitungan Sendiri

Kontrol P-Delta

Menurut pasal 7.8.7 SNI 1726-2019, jika nilai koefisien stabilitas (θ), yang ditentukan dengan rumus berikut, berada pada atau di bawah batas 0,10, maka dampak P-Delta terhadap gaya geser tingkat, momen struktural, dan simpangan antar tingkat tidak perlu dipertimbangkan.

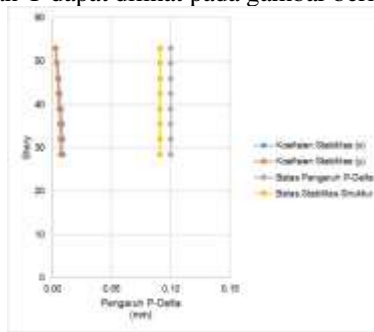
➤ SRPMK

Tabel 4.21 P-Delta Arah X dan Y

Story	Elevasi	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh h P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
		Δ_x (mm)	Δ_y (mm)	P (kN)	V_x (kN)	V_y (kN)		θ_X	θ_Y			
Lantai 15	53	16,423	13,776	4110,381	1837,337	1762,041	3500	0,0029	0,0025	0,1	0,0909	OK
Lantai 14	49,5	16,313	13,878	14281,38	4248,255	4166,692	3500	0,0043	0,0037	0,1	0,0909	OK
Lantai 13	46	16,460	13,904	24515,92	5926,959	5945,151	3500	0,0053	0,0045	0,1	0,0909	OK
Lantai 12	42,5	16,401	13,867	34686,91	7052,823	7242,399	3500	0,0063	0,0052	0,1	0,0909	OK
Lantai 11	39	16,313	13,888	44921,46	7854,255	8241,693	3500	0,0073	0,0058	0,1	0,0909	OK
Lantai 10	35,5	16,027	13,405	55343,57	8534,356	9113,878	3500	0,0081	0,0063	0,1	0,0909	OK
Lantai 9	32	15,682	12,984	66211,45	9220,397	9947,239	3500	0,0088	0,0067	0,1	0,0909	OK
Lantai 8	28,5	15,026	12,375	77015,79	9958,521	10775,26	3500	0,0091	0,0069	0,1	0,0909	OK
Lantai 7	25	14,212	11,554	87883,68	10778,64	11628,42	3500	0,0090	0,0068	0,1	0,0909	OK
Lantai 6	21,5	13,094	10,523	98688,01	11655,09	12484,36	3500	0,0086	0,0065	0,1	0,0909	OK
Lantai 5	18	11,689	9,273	109022,9	12526,6	13282,02	3500	0,0079	0,0059	0,1	0,0909	OK
Lantai 4	14,5	9,995	7,880	119676,5	13366,68	14004,39	3500	0,0070	0,0052	0,1	0,0909	OK
Lantai 3	11	7,975	6,219	130393,7	14090,52	14588,21	3500	0,0058	0,0043	0,1	0,0909	OK
Lantai 2	7,5	5,562	4,283	141047,3	14600,84	14977,83	3500	0,0042	0,0031	0,1	0,0909	OK
Lantai 1	4	2,779	2,083	152127,8	14868,58	15170,97	4000	0,0019	0,0014	0,1	0,0909	OK

Sumber : Perhitungan Sendiri

Dari pengecekan P-Delta arah X dan Y pada Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) menghasilkan grafik P-Delta arah X dan Y dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 4.7 Cek Stabilitas P-Delta Arah X dan Y
 Sumber : Perhitungan Sendiri

**Kontrol Ketidakberaturan Struktur
 Ketidakberaturan Horizontal**

Merujuk pada Tabel 13 dalam SNI 1726:2019, ketidakberaturan horizontal pada struktur dijelaskan melalui ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

Tabel 4.22 Ketidakberaturan Horizontal

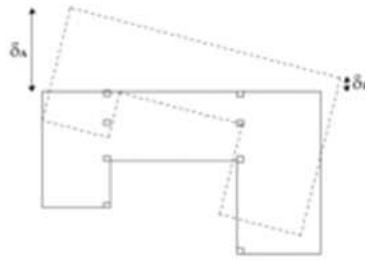
Tabel 13 - Ketidakberaturan horizontal pada struktur

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Penyal-selamatan	Pemeriksaan kategori desain minimum
1. Ketidakberaturan bentuk struktural atau jika struktural bukan bentuk struktural yang ditinjau untuk setiap lantai yang ditinjau dengan $\delta_A = 1,0$ di setiap sisi yang ditinjau terhadap batas maksimum untuk setiap arah. Pemeriksaan ketidakberaturan bentuk dalam penyal-selamatan harus hanya untuk struktur di mana ketidakberaturan bentuk atau ketidakteraturan.	7.3.3.4 7.3.3 7.3.6.4 7.3.1.1 Tabel 13 7.3.1.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
2. Ketidakberaturan bentuk horizontal struktural atau jika struktural bukan bentuk horizontal struktural yang ditinjau untuk setiap lantai yang ditinjau dengan $\delta_B = 1,0$ di setiap sisi yang ditinjau terhadap batas maksimum untuk setiap arah. Pemeriksaan ketidakberaturan bentuk horizontal dalam penyal-selamatan harus hanya untuk struktur di mana ketidakberaturan bentuk atau ketidakteraturan.	7.3.3.1 7.3.3.2 7.3.3.3 7.3.3.4 7.3.3.5 7.3.3.6 7.3.3.7	E dan F B, C, dan D C, dan D D B, C, dan D
3. Ketidakberaturan sudut dalam struktural atau jika bukan sudut struktural dalam struktural yang ditinjau untuk setiap lantai yang ditinjau dengan $\delta_C = 1,0$ di setiap sisi yang ditinjau terhadap batas maksimum untuk setiap arah.	7.3.3.8 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
4. Ketidakberaturan diskontinuitas struktural struktural atau jika struktural bukan diskontinuitas struktural struktural yang ditinjau untuk setiap lantai yang ditinjau dengan $\delta_D = 1,0$ di setiap sisi yang ditinjau terhadap batas maksimum untuk setiap arah.	7.3.3.9 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
5. Ketidakberaturan bentuk pergeseran luas lantai terhadap bidang struktural atau jika struktural bukan bentuk pergeseran luas lantai terhadap bidang struktural yang ditinjau untuk setiap lantai yang ditinjau dengan $\delta_E = 1,0$ di setiap sisi yang ditinjau terhadap batas maksimum untuk setiap arah.	7.3.3.10 7.3.3.11 7.3.3 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
6. Ketidakberaturan sistem pergeseran diskontinuitas atau jika struktural bukan sistem pergeseran diskontinuitas struktural yang ditinjau untuk setiap lantai yang ditinjau dengan $\delta_F = 1,0$ di setiap sisi yang ditinjau terhadap batas maksimum untuk setiap arah.	7.3.3.12 Tabel 13 7.3.3.13 7.3.3.14	C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber : SNI 1726-2019

Ketidakteraturan Torsi

Nilai simpangan δ_A dan δ_B didapatkan dari displacement joint pada lantai yang ditinjau. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.



(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b

Gambar 4.8 Ketidakberaturan Torsi 1a) dan 1b)

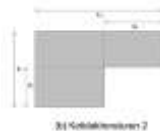
Sumber : SNI 1726-2019

Rekapitulasi hasil perhitungan pengaruh torsi disajikan pada tabel di bawah ini :
 Tabel 4.23 *Story Maks Over Drift Arah X*

Lantai	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
15	1,045	OK	1,054	OK
14	1,045	OK	1,054	OK
13	1,046	OK	1,054	OK
12	1,046	OK	1,054	OK
11	1,047	OK	1,053	OK
10	1,047	OK	1,054	OK
9	1,047	OK	1,053	OK
8	1,048	OK	1,053	OK
7	1,048	OK	1,053	OK
6	1,049	OK	1,053	OK
5	1,049	OK	1,051	OK
4	1,049	OK	1,051	OK
3	1,051	OK	1,051	OK
2	1,052	OK	1,051	OK
1	1,067	OK	1,052	OK

Sumber : Perhitungan Sendiri

Berdasarkan hasil perhitungan torsi arah x, diperoleh bahwa struktur memiliki simpangan antar tingkat maksimum yang berada di bawah 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur, atau berada dalam rentang $1,2\delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4\delta_{avg}$. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur mengalami ketidakberaturan torsi, namun tidak termasuk dalam kategori ketidakberaturan torsi berlebihan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 4.9 Ketidakberaturan Sudut Dalam

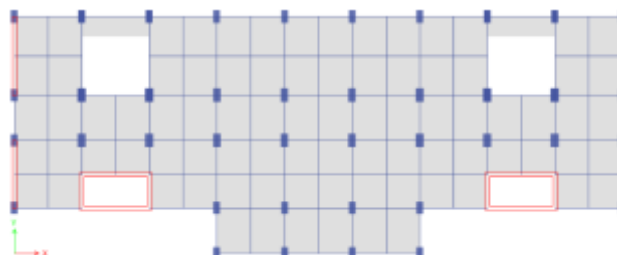
Sumber : SNI 1726-2019

Gambar 4.10 *Layout* Bangunan

Sumber : *Software ETABS*

Berdasarkan gambar *layout* bangunan yang telah disajikan sebelumnya, dilakukan proses verifikasi dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.24 Pengecekan Bangunan Terhadap Ketidakberaturan Sudut Dalam



DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.5683>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Sumber : Perhitungan Sendiri

Berdasarkan data pada tabel di atas, diperoleh bahwa nilai perbandingan P_x/L_x dan P_y/L_y masing-masing melebihi 0,15. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur ini memiliki ketidakberaturan pada sudut dalam.

1. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Diskontinuitas diafragma menyebabkan ketidakberaturan ketika bukaan pada lantai tersebut luasnya lebih dari 50% dari luas total lantai. Ilustrasi kondisi ini dapat dilihat pada gambar berikut.



(c) Ketidakberaturan 3

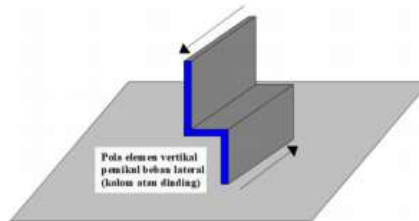
Gambar 4.11 Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Sumber : SNI 17-26-2019

Dari tabel di atas didapatkan bahwa nilai A_{bukaan}/A_{total} memiliki nilai $< 0,5$. Hal ini berarti struktur tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

2. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Ketidakteraturan akibat pergeseran pada arah tegak lurus bidang terjadi ketika elemen-elemen vertikal, seperti kolom dan dinding geser (shearwall), tidak tersambung secara kontinu dari lantai bawah hingga lantai atas. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada gambar berikut..



(d) Ketidakberaturan 4

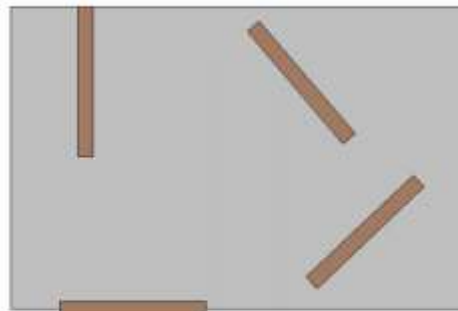
Gambar 4.12 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Sumber : SNI 1726-2019

Hasil inspeksi struktur tidak menunjukkan adanya kolom yang tidak berlanjut secara vertikal pada beberapa titik, sehingga ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus bidang tidak terjadi pada gedung ini.

3. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel

Ketidakteraturan ini muncul apabila elemen vertikal (arah Y), contohnya kolom, tidak tegak lurus terhadap sumbu ortogonal (arah X), sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut.



(e) Ketidakberaturan 5

Gambar 4.13 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel

Sumber : SNI 1726-2019

Karena sumbu Y pada struktur ini tegak lurus terhadap sumbu X, maka gedung tersebut tidak mengalami ketidakberaturan akibat sistem nonparalel.

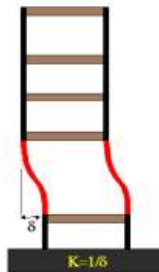
Ketidakberaturan Vertikal

Merujuk pada SNI 1726:2019, ketidakberaturan vertikal terhadap struktur dijelaskan pada ketentuan berikut :

Tabel 14 – Ketidakberaturan vertikal pada struktur

Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Passai referensi	Penetapan kategori desain struktur
1a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak ditunjukkan oleh nilai koefisien tingkat yang lebih besar daripada koefisien tingkat di atasnya. Koefisien tingkat juga tingkat di atasnya.	Tabel 15	D, E, dan F
1b. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan ditunjukkan oleh nilai koefisien tingkat yang lebih besar daripada koefisien tingkat di atasnya. Koefisien tingkat juga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 15	D, dan F D, E, dan F
2. Ketidakberaturan Berat (Massa) ditunjukkan oleh nilai massa efektif di beberapa tingkat lebih dari 15% massa efektif tingkat di atasnya. Nilai yang lebih tinggi dari level di beberapa titik yang ditunjukkan.	Tabel 15	D, E, dan F
3. Ketidakberaturan Geseran Vertikal ditunjukkan oleh nilai geseran horizontal maksimum per tingkat yang sama di beberapa tingkat lebih dari 120% geseran horizontal maksimum per tingkat yang sama di tingkat di atasnya.	Tabel 15	D, E, dan F
4. Ketidakberaturan Aksial Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral ditunjukkan oleh nilai momen lentur maksimum per tingkat yang lebih besar dari panjang elemen di atas koefisien reduksi ketahanan elemen per tingkat di tingkat di atasnya.	7.3.3.3 Tabel 15	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Aksial Diskontinuitas pada Kekakuan Lateral Tingkat ditunjukkan oleh nilai koefisien lateral tingkat yang lebih dari 85% koefisien lateral tingkat di atasnya. Koefisien lateral tingkat adalah koefisien total seluruh elemen pemikul momen yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditunjukkan.	7.3.3.1 Tabel 15	E, dan F D, E, dan F
6. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Aksial Diskontinuitas pada Kekakuan Lateral Tingkat ditunjukkan oleh nilai koefisien lateral tingkat yang lebih dari 85% koefisien lateral tingkat di atasnya. Koefisien lateral tingkat adalah koefisien total seluruh elemen pemikul momen yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditunjukkan.	7.3.3.3 Tabel 15	D, E, dan F D, dan C D, E, dan F

Tabel 4.25 Ketidakberaturan Vertikal
 Sumber : SNI 1726-2019



(a) Ketidakberaturan 1a dan 1b
 Gambar 4.14 Ketidakberaturan Tingkat Lunak
 Sumber : SNI 1726-2019

Pemeriksaan terhadap ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dapat dilihat dengan merujuk pada tabel berikut ini:

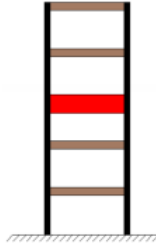
Tabel 4.26 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak
 Sumber : Perhitungan Sendiri

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN/m	Cek	Kekakuan kN/m	Cek
15	93030,021	OK	134766,821	OK
14	242545,117	OK	352235,292	OK
13	376274,197	OK	548572,247	OK
12	494796,629	OK	724794,146	OK
11	603654,884	OK	890280,124	OK
10	710875,947	OK	1054814,36	OK
9	817763,22	OK	1223104,45	OK
8	929949,087	OK	1401428,8	OK
7	1055701,64	OK	1608093,03	OK
6	1209196,93	OK	1862824,99	OK
5	1412804,47	OK	2198712,32	OK
4	1707540,21	OK	2666790,04	OK
3	2198969,42	OK	3454619,95	OK
2	3226587,81	OK	5099333,37	OK
1	6691280,34	OK	10690004,7	OK

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, bisa dimaknakan bahwa struktur gedung tersebut tidak menunjukkan adanya ketidakberaturan pada kekakuan tingkat lunak.

1. Ketidakberaturan Berat (*Massa*)

Ketidakberaturan massa (berat) terjadi apabila massa efektif pada suatu tingkat tertentu melebihi 150% massa efektif tingkat yang bersebelahan.



(b) Ketidakberaturan 2

Gambar 4.15 Ketidakberaturan Berat (Massa)
 Sumber : SNI 1726-2019

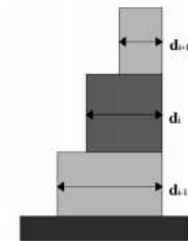
Pemeriksaan ketidakberaturan berat dapat diamati melalui tabel berikut ini:
 Tabel 4.27 Pengecekan Bangunan terhadap Ketidakberaturan Berat

Lantai	Massa kg	Cek
15	906881,56	OK
14	917047,62	V.2
13	921572,82	OK
12	925022,82	OK
11	921572,82	OK
10	907187,77	OK
9	886155,77	OK
8	873672,77	OK
7	880173,77	OK
6	879073,77	OK
5	861296,09	OK
4	864304,09	OK
3	870784,09	OK
2	867074,09	OK
1	1058808,96	OK

Sumber : Perhitungan Sendiri

Setelah melakukan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa struktur gedung mengalami ketidakberaturan massa pada lantai 14.

Ketidakberaturan geometri vertikal dikatakan terjadi apabila ukuran sistem kolom penopang beban lateral pada satu tingkat lebih besar dari 130% dibandingkan tingkat di sebelahnya.



(c) Ketidakberaturan 3

Gambar 4.16 Ketidakberaturan geometri vertikal
 Sumber : SNI 1726-2019

Kontrol ketidakberaturan geometri vertikal disajikan dari tabel berikut :

Tabel 4.28 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal

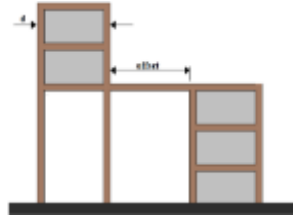
Lantai	L mm	Cek
15	800	OK
14	800	OK
13	800	OK
12	800	OK
11	800	OK
10	1000	OK
9	1000	OK
8	1000	OK
7	1000	OK
6	1000	OK
5	1200	OK
4	1200	OK
3	1200	OK
2	1200	OK
1	1200	OK

Sumber : Perhitungan Sendiri

Menurut data desain, ukuran kolom pada setiap tingkat struktur ini seragam, sehingga bangunan tersebut tidak menunjukkan adanya ketidakberaturan geometri vertikal.

Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Ketidaksinambungan pada bidang elemen vertikal penahan gaya lateral dianggap menyebabkan ketidakberaturan jika offset melebihi panjang elemen atau terjadi pengurangan kekakuan pada tingkat bawah. Penjelasan visual dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.17 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Sumber : SNI 1726-2019

Dari data desain diketahui bahwa seluruh kolom pada struktur ini tersambung vertikal dengan utuh, sehingga ketidakberaturan akibat ketidaksinambungan bidang pada elemen vertikal penahan gaya lateral tidak muncul.



Gambar 4.18 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Sumber : SNI 1726-2019

Evaluasi terhadap Ketidakteraturan yang Timbul akibat Ketidaksinambungan Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.29 Pengecekan Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan kN	Cek	Kekakuan kN	Cek
15	775,0737	OK	785,7660	OK
14	1676,5018	OK	1267,6348	OK
13	2216,0736	OK	2884,7311	OK
12	2765,2760	OK	3246,257	OK
11	3089,2482	OK	3894,1888	OK
10	3367,2003	OK	4082,1069	OK
9	3638,0737	OK	4455,6457	OK
8	3929,9608	OK	4825,7876	OK
7	4259,848	OK	5211,2192	OK
6	4559,8615	OK	5525,8571	OK
5	4849,4067	OK	5973,3321	OK
4	5176,2261	OK	6277,1826	OK
3	5560,566	OK	6511,6613	OK
2	5761,9712	OK	6712,5055	OK
1	5867,8529	OK	6860,0726	OK

Sumber : Perhitungan Sendiri

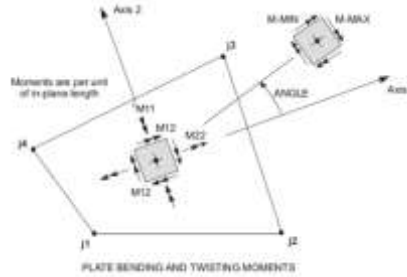
Hasil pemeriksaan terhadap struktur menunjukkan bahwa tidak ditemukan adanya ketidakberaturan yang disebabkan oleh diskontinuitas kekuatan lateral pada tingkat bangunan.

Desain Komponen Struktur

Dalam proses perancangannya, struktur bangunan ini merujuk pada standar SNI 2847:2019 yang membahas persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Setiap komponen yang berfungsi menahan beban momen dirancang secara khusus untuk memiliki daktilitas yang baik. Hal ini penting agar bangunan tetap berdiri kokoh dan mampu menyerap energi gempa jika sewaktu-waktu terjadi. Komponen yang dirancang mencakup pelat, balok, kolom, sambungan balok-kolom, hingga dinding geser.

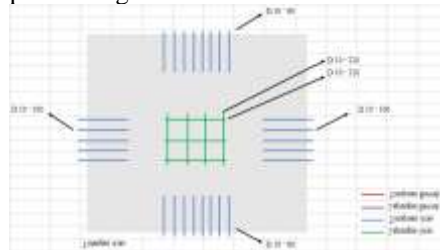
Perancangan Pelat

Pelat beton bertulang adalah bagian struktur bangunan yang berbentuk horizontal dan diperkuat oleh tulangan baja. Meski tipis, pelat ini mampu menahan beban vertikal di atasnya. Karena posisinya yang rata dan kaku, pelat juga berperan sebagai diafragma, yaitu elemen yang menstabilkan struktur dengan menyalurkan beban lateral ke elemen vertikal seperti balok dan kolom.

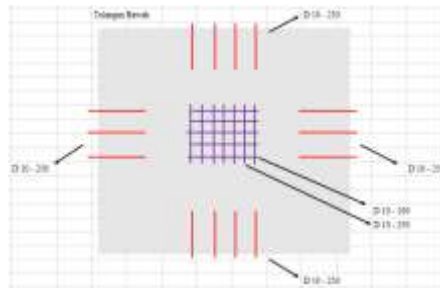


Gambar 4.19 Local Axes Plat
Sumber : SNI 2837-2019

Hasil perhitungan perancangan pelat sebagai berikut :



Gambar 4.20 Perancangan Pelat Tulangan Atas
Sumber : Perhitungan Sendiri



Gambar 4.21 Perancangan Pelat Tulangan Bawah
Sumber : Perhitungan Sendiri

Kontrol Analisis Dinamik Gempa

Pasal 7.9.1 SNI 1726:2019 menyatakan bahwa jumlah mode getaran dengan keterlibatan massa minimal 100% harus disertakan dalam analisis dinamik. Seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini, 20 mode getaran dengan partisipasi massa yang sesuai digunakan dalam penelitian ini.

➤ SRPMK

Tabel 4.40 Nilai Partisipasi Massa Bangunan (SRPMK)

TABLE: Modal Participating Mass Ratios														
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	2.308	6,736E-06	0,6505	0	6,736E-06	0,6505	0	0,4142	3,987E-06	3,014E-06	0,4142	3,987E-06	3,014E-06
Modal	2	1,743	0,5307	0,0000107	0	0,5307	0,6505	0	3,544E-06	0,3292	0,1384	0,4142	0,3292	0,1384
Modal	3	1,295	0,1148	0	0	0,6454	0,6505	0	0	0,0899	0,559	0,4142	0,4191	0,6974
Modal	4	0,489	9,329E-07	0,1862	0	0,6454	0,8367	0	0,2426	0	0	0,6568	0,4191	0,6974
Modal	5	0,422	0,0768	8,41E-07	0	0,7222	0,8367	0	1,206E-06	0,1009	0,0814	0,6568	0,52	0,7788
Modal	6	0,283	0,1214	0	0	0,8436	0,8367	0	0	0,1449	0,0704	0,6568	0,6649	0,8492
Modal	7	0,197	0	0,0707	0	0,8436	0,9074	0	0,1228	0	6,317E-07	0,7796	0,6649	0,8492
Modal	8	0,189	0,0231	0	0	0,8667	0,9074	0	0	0,0411	0,0419	0,7796	0,706	0,8911
Modal	9	0,116	0,0527	7,256E-07	0	0,9194	0,9074	0	1,493E-06	0,0968	0,0199	0,7796	0,8028	0,9111
Modal	10	0,111	0	0,0364	0	0,9194	0,9438	0	0,0794	0	3,885E-06	0,859	0,8028	0,9111
Modal	11	0,11	0,0084	3,074E-06	0	0,9277	0,9438	0	6,611E-06	0,0192	0,0254	0,8591	0,8221	0,9365
Modal	12	0,075	0,0072	1,529E-06	0	0,935	0,9438	0	3,623E-06	0,0173	0,0121	0,8591	0,8394	0,9486
Modal	13	0,074	0	0,021	0	0,935	0,9648	0	0,0493	0	1,813E-06	0,9084	0,8394	0,9486
Modal	14	0,067	0,024	0	0	0,959	0,9648	0	0	0,054	0,0121	0,9084	0,8934	0,9607
Modal	15	0,056	0,0038	0	0	0,9629	0,9648	0	8,81E-07	0,0099	0,0077	0,9084	0,9033	0,9684
Modal	16	0,055	0	0,0127	0	0,9629	0,9775	0	0,0319	0	5,274E-07	0,9402	0,9033	0,9684
Modal	17	0,046	0,0145	0	0	0,9774	0,9775	0	0	0,0358	0,0055	0,9402	0,939	0,9739
Modal	18	0,045	0,0013	0	0	0,9787	0,9775	0	0	0,0034	0,0062	0,9402	0,9425	0,9801
Modal	19	0,043	0	0,0082	0	0,9787	0,9857	0	0,0211	0	0	0,9614	0,9425	0,9801
Modal	20	0,037	0,002	0	0	0,9807	0,9857	0	1,293E-06	0,0054	0,0026	0,9614	0,9479	0,9827

Sumber : Hasil Output ETABS

Tabel 4.41 Nilai Partisipasi Massa (SRPMK)

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
Case	ItemType	Item	Static	Dynamic
			%	%
Modal	Acceleration	UX	100	98,07
Modal	Acceleration	UY	100	98,57
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Sumber : Hasil Output ETABS

Dari tabel 4.18 menunjukkan bahwa rasio partisipasi massa bangunan yang tidak menggunakan Dinding Geser (*Shear Wall*) sudah terpenuhi lebih dari 90% pada ragam 8 sehingga sudah memenuhi aturan pada SNI 1726-2019 pasal 7.9.1 mengenai partisipasi massa/jumlah ragam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perancangan struktur bangunan 15 lantai di wilayah dengan intensitas seismik tinggi Kota Bengkulu menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), dapat disimpulkan bahwa struktur yang direncanakan telah memenuhi ketentuan ketahanan gempa sesuai SNI 1726:2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa kontrol partisipasi massa dan bentuk ragam telah tercapai sesuai persyaratan, baik pada sistem tanpa maupun dengan dinding geser, serta simpangan antar lantai dan pengaruh P-Delta berada dalam batas izin. Selain itu, perancangan elemen struktur beton bertulang yang mengacu pada SNI 2847:2019 menghasilkan dimensi dan penulangan pelat, balok, dan kolom yang memenuhi kriteria kekuatan, kekakuan, dan daktilitas, sehingga struktur dinilai mampu memberikan kinerja yang aman dan andal dalam menahan beban gempa rencana di daerah seismik tinggi.

Referensi

- Agus, A., Muzani, S., Zhafira, T., Widorini, T., & Setiawan, B. (2025). Analisis Struktur Berdasarkan Sni 1726:2019 Pada Gedung Asrama Di Pedurungan Semarang. *Jurnal Teknik Sipil : Rancang Bangun*, 11(02), 120–125.
- Annisa, F., Ningrum, S., Resi, R., Amalia, Y., Dharmawan, A., Wahananta, B. M., & Ariks, E. Y. (2023). Pembangunan Kembali Pasca Tsunami Aceh Di Kecamatan Meuraxa Kota Banda Aceh: Analisis Spasial Dan Sektoral. *Jurnal Widya Bhumi*, 3(2), 81–98.
- Darwis, S. H. Dan M. (2024). Implementasi Software Etabs (Extended Three Dimensional Analysis Of Building System). *Jurnal Bangunan Konstruksi*, 02(2), 104–109.
- Faisol, A. (2024). Perencanaan Struktur Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 3, 649–661.
- Falah, F. F. (2024). Redesain Struktur Gedung Dengan Menggunakan Shear Wall. *Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, 2(May), 55–64.
- Handayani, N. K. (2022). Perencanaan Dinding Geser Pada Gedung Kuliah 7 Lantai Dengan Sistem Ganda. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 9–15.
- Imani, R. (2021). Analisa Beban Lateral Akibat Gempa Dengan Metode Statik Ekuivalen. *Rang Teknik Journal*, 4(1), 11–16.
- Nasution, A. E. (2020). Desain Elemen Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk). *Jurnal Komposits*, 1(1).
- Pait, S. S., Shulhan, M. A., & Sulistyorini, D. (2021). Analisis Perilaku Dinamik Struktur Gedung Perkantoran Empat Lantai Di Daerah Istimewa Yogyakarta Terhadap Beban Gempa Sni 1726 : 2019. *Iejst (Industrial Engineering Journal Of The University Of Sarjanawiyata Tamansiswa)*, 65–77.
- Parabi, A. D., Pratama, C. A., Adibah, F., & Syahla, A. (2026). Desain Struktur Bangunan Bertingkat Tahan Gempa Di Wilayah Pontianak. *Jurnal Sosial Dan Teknologi (Sostech)*, 6(1), 184–194.
- Qadri, F. Al. (2024). Analisis Bangunan Tahan Gempa Pada Proyek Pembangunan Puskesmas Kotamatsum. *Konferensi Nasional Social Dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, 1202–1210.

12. Rahman, F. N. F. (2024). Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Hotel. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 12(3), 147–160.
13. Supriani, F. (2023). Studi Mitigasi Gempa Di Bengkulu Dengan Membangun Rumah Tahan Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Inersia*, 1(1), 7–16.
14. Werang, F. B. (2021). Rangka Pemikul Momen Khusus Pada Bangunan Tiga (3) Lantai Kampus Sekolah Tinggi Filsafat Katolik (Stfk) Ledalero Kabupaten Sikka. *Jurnal Startek*, 7(1), 17–21.
15. Wildan, M., & Lestyowati, Y. (2025). Gedung Perkuliahan Enam Lantai Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (Srpmk). *Jurnal Penelitian Ilmiah Interdisipliner*, 9(10), 179–191.