



Analisis Pengaruh Penambahan Struktur Jembatan Penghubung Pada Gedung FMIPA 4 Lantai

Tesalonika I. Manglassa^{#a}, Reky S. Windah^{#b}, Ronny E. Pandaleke^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^atesalonikamanglassa021@student.unsrat.ac.id, ^brekywindah@unsrat.ac.id, ^cronny_pandaleke@yahoo.com

Abstrak

Keamanan struktur bangunan menjadi suatu aspek penting, terutama di wilayah rawan gempa bumi seperti Indonesia, khususnya Manado yang terletak pada zona gempa. Hal ini menjadikan analisis perilaku struktur menjadi semakin krusial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan struktur jembatan penghubung pada gedung FMIPA 4 lantai dan mengamati perilaku struktur dengan dan tanpa struktur jembatan penghubung. Penelitian ini menggunakan metode analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019 dengan pendekatan pemodelan struktural dan simulasi menggunakan software. Analisis dilakukan dengan menggunakan dua model bangunan dimana, model pertama tanpa struktur jembatan dan model kedua dengan struktur jembatan. Kedua model struktur memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a, 2, 5, dan vertikal tipe 3. Penambahan struktur jembatan meningkatkan gaya dalam struktur, terutama pada kolom dan balok di sekitar lokasi jembatan. Simpangan antar lantai pada kedua model masih dalam kategori aman sesuai SNI 1726:2019, dengan simpangan terbesar terjadi pada model 1 arah X dan Y, yaitu 19,804 mm dan 26,646 mm. Penambahan struktur jembatan penghubung pada gedung perkuliahan 4 lantai meningkatkan gaya dalam struktur, namun memperkecil simpangan yang terjadi.

Kata kunci: Jembatan penghubung, analisis perilaku struktur, respons spektrum, SNI 1726:2019, software

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dalam perkembangan dunia Pendidikan saat ini, jumlah mahasiswa di Indonesia juga semakin meningkat. Universitas sebagai pusat pendidikan tinggi memerlukan fasilitas yang memadai untuk menunjang proses pembelajaran dan kegiatan akademik. Khususnya di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Sam Ratulangi Manado, kebutuhan akan gedung perkuliahan yang aman, efisien, dan mampu menahan beban hidup serta gempa bumi menjadi sangat penting.

Indonesia secara geografis terletak di wilayah yang rentan terhadap aktivitas gempa bumi, dimana Indonesia terletak pada daerah lingkaran api (*ring of fire*) (Prayuda dalam Nurul Hidayati et al., 2023), khususnya wilayah Manado terletak pada zona gempa. Berdasarkan pada kategori desain gempa Parameter Respon Percepatan Periode Pendek masuk pada kategori D yang dimana kategori D termasuk pada tingkat resiko kegempaan yang tinggi (Laily, R., Sumajouw, M. D., & Wallah, S. E. 2019), hal ini menuntut perhatian khusus terhadap keamanan struktur bangunan. sehingga analisa perilaku struktur menjadi semakin krusial.

Universitas Sam Ratulangi memiliki berbagai fasilitas yang mendukung proses pembelajaran dan kegiatan akademik, termasuk gedung perkuliahan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) dengan luas bangunan ± 190 m². Gedung ini terdiri dari empat lantai dengan tinggi antar lantai sebesar 3,96 m. Gedung ini dirancang dengan memiliki struktur jembatan penghubung yang berfungsi untuk menghubungkan gedung FMIPA 4 lantai dengan gedung existing.

Pada umumnya, gedung kuliah memiliki tingkat beban yang tinggi akibat penggunaan yang intensif dan kapasitas besar untuk menampung mahasiswa. Khususnya, bangunan gedung tinggi dengan adanya jembatan yang menghubungkan dua gedung menjadi fokus perhatian utama karena gedung dapat menghadapi berbagai beban struktural dan gempa bumi. Maka dari itu untuk memastikan keamanan dan ketahanan suatu struktur gedung, diperlukan analisis yang mendalam terkait perilaku struktur dalam hal ini perilaku pada struktur gedung apabila terdapat struktur jembatan penghubung dan apabila tidak memiliki penambahan struktur jembatan penghubung pada gedung FMIPA 4 lantai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diperoleh rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana perilaku struktur gedung FMIPA 4 lantai tanpa adanya penambahan struktur jembatan penghubung?
2. Bagaimana perilaku struktur gedung FMIPA 4 lantai akibat adanya penambahan struktur jembatan penghubung?
3. Apakah terdapat perbedaan perilaku struktur antara adanya penambahan struktur jembatan penghubung dan tidak adanya jembatan penghubung?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat diambil tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui bagaimana perilaku struktur gedung FMIPA 4 lantai tanpa adanya penambahan struktur jembatan penghubung.
2. Untuk mengetahui bagaimana perilaku struktur gedung FMIPA 4 lantai akibat adanya penambahan struktur jembatan penghubung.
3. Untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan perilaku struktur antara adanya penambahan struktur jembatan penghubung dan tidak adanya jembatan penghubung.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi bangunan berada di bagian kampus UNSRAT Kleak, Kec. Malalayang, Kota Manado, Sulawesi Utara.

2.2. Data Struktur

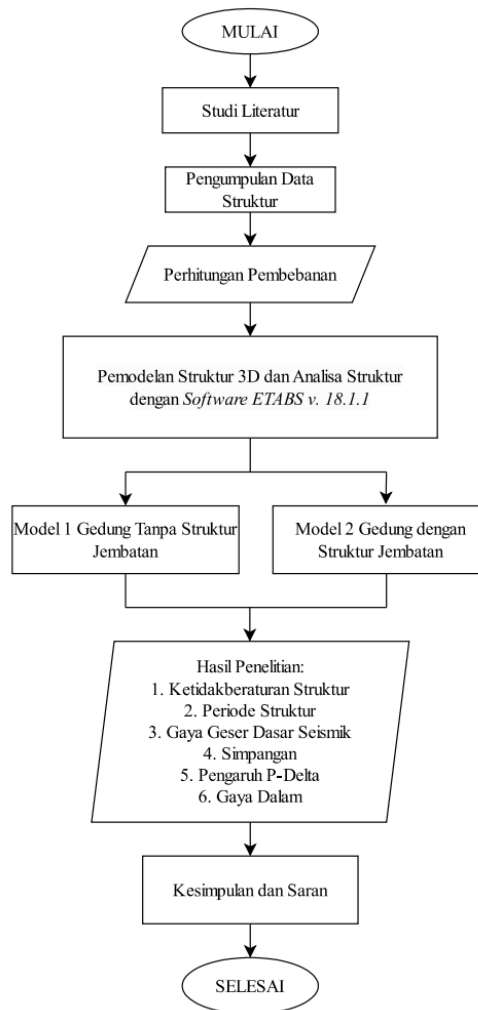
Fungsi Bangunan	: Gedung Kuliah
Jumlah Lantai	: 4 Lantai
Tinggi antar Lantai	: 3,96 meter
Dimensi Bangunan	: Model 1 = 21,5 m × 9,274 m Model 2 = 21,5 m × 18,084 m
Struktur bangunan	: Bangunan Beton Bertulang.

2.3. Data Material

Mutu beton (f'_c)	: 30 MPa
Berat Jenis	: 24 kN/m ³
Modulus elastisitas beton (E_c)	: $4700\sqrt{f'_c} = 25742,96$ MPa
Mutu baja tulangan utama	: 420 MPa
Mutu baja tulangan sengkang	: 280 MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 MPa

2.4. Diagram Alir Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan menurut alur pada Gambar 1.

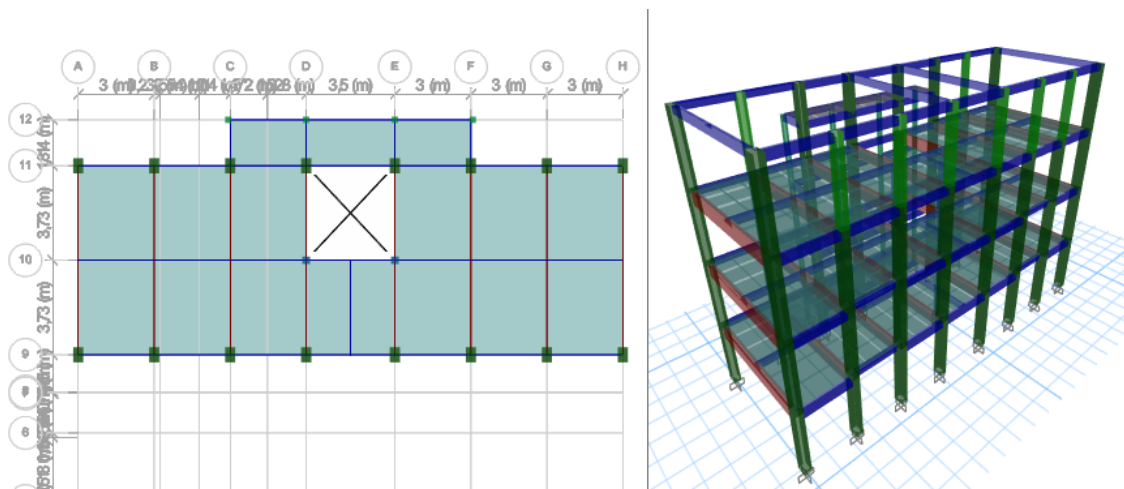


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

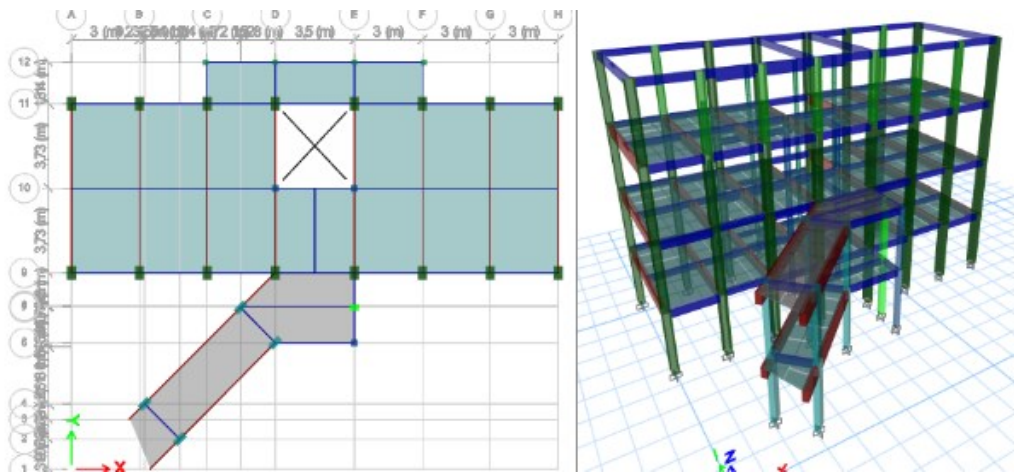
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan struktur

Dalam penelitian ini dianalisa 2 model struktur. Dimana model 1 merupakan gedung yang dimodelkan tanpa adanya struktur jembatan penghubung sedangkan model 2 adalah gedung yang dimodelkan dengan adanya struktur jembatan penghubung.



Gambar 2. Model 1 Tanpa Jembatan



Gambar 3. Model 2 Dengan jembatan

3.2 Pembebanan Struktur

3.2.1. Beban Mati

1. Berat sendiri struktur
 - a. Beton bertulang = 24 kN/m²
2. Beban mati tambahan pada plat lantai
 - a. *Finishing* Lantai = 0,77 kN/m²
 - b. Plambing dan ME = 0,3 kN/m²
 - c. Rangka Plafond = 0,1 kN/m²
 - d. *Waterproofing* = 0,05 kN/m²
 - e. Plafond gypsum 9mm = 0,072 kN/m²
 - f. Beban dinding = 9,31 kN/m
3. Beban mati tambahan plat atap
 - a. Spesi (1 cm) = 0,23 kN/m²
 - b. Plambing dan ME = 0,3 kN/m²
 - c. Rangka Plafond = 0,1 kN/m²
 - d. *Waterproofing* = 0,05 kN/m²
 - e. Plafond gypsum 9mm = 0,072 kN/m²
 - f. Beban tangki air = 7,5 kN/m²
4. Beban rangka atap
 - a. Beban rangka atap = 11,55 kN

3.2.2. Beban Hidup

1. Beban hidup tiap lantai
 - a. Ruang kelas = 1,92 kN/m²
 - b. Ruang pertemuan = 4,79 kN/m²
 - c. Toilet = 2,87 kN/m²
 - d. Koridor = 4,79 kN/m²
2. Beban hidup atap
 - a. Beban hidup atap = 0,96 kN/m²

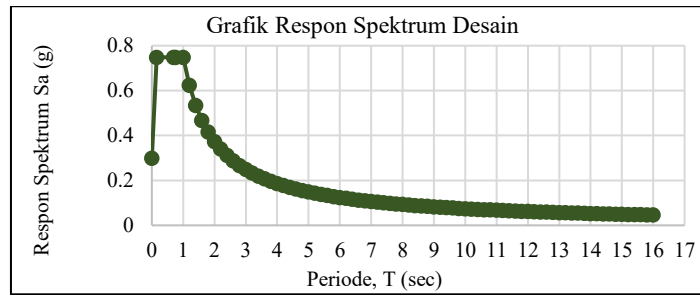
3.2.3. Beban Gempa

Berdasarkan data gempa yang diperoleh dengan menggunakan lokasi gempa Manado, maka diperoleh nilai Percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) dan Percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1)

$$(S_s) = 1,0329g$$

$$(S_1) = 0,4592 g$$

Berdasarkan hasil parameter percepatan gempa, diperoleh grafik spektrum respon desain seperti yang disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Respon Spektrum Desain

3.3 Analisis Ketidakberaturan Horizontal

3.3.1. Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebih

1. Bangunan model 1 tanpa struktur jembatan

Tabel 1. Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebih Model 1

Story	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
Story4	1,186	OK	1,200	H.1a
Story3	1,017	OK	1,017	OK
Story2	1,021	OK	1,030	OK
Story1	1,008	OK	1,036	OK

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan Tabel 1, struktur model 1 mengalami ketidakberaturan torsi 1.a pada arah Y story 4, dimana rasio (simpangan maksimum/simpangan rata-rata) melebihi 1,2 dan kurang dari 1,4. Adanya ketidakberaturan torsi 1.a, maka diterapkan konsekuensi ketidakberaturan sesuai persyaratan dengan langkah-langkah perbaikan yaitu momen torsi tak terduga (M_{ta}) masing-masing Tingkat harus diperhitungkan dengan faktor pembesaran torsi.

$$\text{Faktor pembesaran torsi } (A_X) = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2$$

Tabel 2. Eksentrisitas Desain Akibat Ketidakberaturan Torsi Model 1

Arah X	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	% (5% A_x)	Ecc. (m)
Story4	1,186	0,977	4,9%	0,453
Story3	1,017	0,718	3,6%	0,333
Story2	1,021	0,724	3,6%	0,336
Story1	1,008	0,706	3,5%	0,327
Arah Y	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	% (5% A_x)	Ecc. (m)
Story4	1,200	1,000	5,0%	1,075
Story3	1,017	0,718	3,6%	0,772
Story2	1,030	0,737	3,7%	0,792
Story1	1,036	0,745	3,7%	0,801

Sumber: Hasil Analisis, 2024

2. Bangunan model 2 dengan struktur jembatan

Tabel 3. Ketidakberaturan Torsi dan Torsi Berlebih Model 2

Story	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
Story4	1,228	H.1a	1,237	H.1a
Story3	1,042	OK	1,067	OK
Story2	1,094	OK	1,076	OK
Story1	1,047	OK	1,088	OK

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Arah X dan Y mengalami ketidakberaturan torsi 1.a pada story 4, dimana rasio (simpangan maksimum/simpangan rata-rata) melebihi 1,2 dan kurang dari 1,4. Maka diterapkan konsekuensi ketidakberaturan, dimana faktor pembesaran torsi dikalikan dengan momen torsi tak terduga di masing-masing tingkat dengan memperhitungkan eksentrisitas sebesar 5% x (L tegak lurus terhadap arah gaya gempa yang bekerja).

Tabel 4. Eksentrisitas Desain Akibat Ketidakberaturan Torsi Model 2

Arah X	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	% (5%A_x)	Ecc. (m)
Story4	1,228	1,047	5,2%	0,947
Story3	1,042	0,754	3,8%	0,682
Story2	1,094	0,831	4,2%	0,752
Story1	1,047	0,761	3,8%	0,688
Arah Y	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	% (5%A_x)	Ecc. (m)
Story4	1,237	1,063	5,3%	1,142
Story3	1,067	0,791	4,0%	0,850
Story2	1,076	0,804	4,0%	0,864
Story1	1,088	0,822	4,1%	0,884

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.3.2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila dua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih dari 15% dimensi denah struktur pada arah yang ditentukan.

Pada bangunan model 1 tanpa adanya penambahan struktur jembatan, struktur memiliki ketidakberaturan sudut dalam arah X dan arah Y dimana hasil $L_x/P_x = 27,91\%$ dan $L_y/P_y = 19,56\%$ telah melebihi 15% dimensi denah struktur. Begitu pula dengan bangunan model 2 dengan adanya penambahan struktur jembatan, terjadi ketidakberaturan sudut dalam arah X dan arah Y dimana hasil $L_x/P_x = 41,86\%$ dan $L_y/P_y = 48,72\%$ telah melebihi 15% dimensi denah struktur.

3.3.3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma terjadi apabila daerah yang terpotong atau memiliki daerah bukaan lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang tertutup. Berdasarkan ketentuan tersebut bangunan model 1 dan model 2 tidak memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 3.

3.3.4. Kontinuitas Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

Dalam penelitian ini Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang tidak terjadi pada kedua model bangunan yang diteliti karena semua elemen penahan gempa seperti kolom, tidak memiliki pergeseran melintang terhadap bidang.

3.3.5. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel

Ketidakberaturan ini ada jika ada elemen vertikal pemikul gaya lateral berupa kolom yang tidak simetris terhadap sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Pada bangunan model 1 ketidakberaturan tipe ini tidak terjadi karena seluruh elemen vertikal berupa kolom berada tepat pada sumbu X dan Y. Sedangkan, pada bangunan model 2 terdapat ketidakberaturan sistem non paralel karena terdapat beberapa elemen vertikal berupa kolom yang tidak tegak lurus pada sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.

3.4. Analisis Ketidakberaturan Vertikal

3.4.1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Dan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan

Ketidakberaturan Tingkat Lunak (1.a) dan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (1.b), terjadi apabila:

$$Kx < 0,7 K(x + 1) \text{ atau } Kx < 0,8 [K(x + 1) + K(x + 2) + K(x + 3)]/3$$

$$Kx < 0,6 K(x + 1) \text{ atau } Kx < 0,7 [K(x + 1) + K(x + 2) + K(x + 3)]/3$$

Dengan: K = kekakuan, x = suatu Tingkat. Berdasarkan persamaan di atas maka pada bangunan model 1 dan model 2 tidak terjadi ketidakberaturan vertikal tipe 1a dan 1b.

3.4.2. Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan Massa terjadi apabila massa efektif di sembarang tingkat melebihi 150% massa efektif tingkat dekatnya. Dalam penelitian ini, struktur model 1 dan model 2 tidak memiliki tipe ini, karena kedua model gedung memiliki hasil massa efektif suatu tingkat lebih kecil dari 150% massa efektif tingkat didekatnya.

3.4.3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal dapat terjadi apabila terdapat dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sembarang tingkat melebihi 130% dimensi horizontal tingkat di dekatnya. Perbandingan dimensi arah Y pada lantai 3 adalah $150\% > 130\%$. Maka struktur memiliki ketidakberaturan tipe 3 yaitu ketidakberaturan geometri vertikal baik model 1 maupun model 2.

3.4.4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral terjadi apabila terdapat pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.

Dalam penelitian ini untuk kedua model yang dianalisa tidak memiliki ketidakberaturan ini dikarenakan elemen vertikal pada model 1 dan model 2 tidak memiliki pergeseran pada tingkat tertentu selebar elemen vertikal tersebut.

3.4.5. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Dan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas Pada Kekuatan Lateral Tingkat

Ketidakberaturan tipe 5a 5b terjadi apabila

$$Vx < 0,8 V(x + 1)$$

$$Vx < 0,65 V(x + 1)$$

Dengan: V = kekuatan lateraal, x = suatu Tingkat. Berdasarkan persamaan di atas maka pada bangunan model 1 dan model 2 tidak terjadi ketidakberaturan vertikal tipe 5a dan 5b.

3.5. Analisis perilaku struktur

3.5.1. Periode fundamental struktur

Periode fundamental struktur pendekatan dan periode maksimum dihitung sebagai berikut:

$$T_a = C_t \times h^x = 0,0466 \times 15,84^{0,9} = 0,5600 \text{ detik}$$

$$T_{\max} = C_u \times T_a = 1,4 \times 0,5600 = 0,7840 \text{ detik}$$

Berdasarkan SNI 1726:2019, periode struktur (T) ditentukan sesuai syarat yaitu, Apabila nilai $T_c < T_a$ maka $T = T_a$, $T_a < T_c < T_{\max}$ maka $T = T_c$, sedangkan apabila $T_c > T_{\max}$ maka $T = T_{\max}$. Sehingga berdasarkan tabel 8, periode fundamental struktur lebih besar dibandingkan dengan periode fundamental struktur model 2. Sehingga dapat disimpulkan penambahan struktur jembatan pada bangunan memiliki pengaruh pada periode yang dihasilkan.

3.5.2. Partisipasi Massa / Jumlah Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1, jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90 % dari massa aktual. Berdasarkan tabel 9 dan tabel 10 partisipasi massa pada kedua model struktur telah memenuhi syarat 90% partisipasi massa.

Tabel 5. Periode Getar Struktur

Kondisi Bangunan	Periode Struktur (Tc)		Periode Pakai (T)	
	X	Y	X	Y
Model 1	0,527	0,591	0,560	0,591
Model 2	0,495	0,559	0,560	0,560

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tabel 6. Kontrol Partisipasi Massa Struktur Model 1

Case	Mode	Period	SumUX	SumUY	SumRZ
		sec			
Modal	1	0,591	0	0,7915	0
Modal	2	0,541	0,0066	0,7915	0,7937
Modal	3	0,527	0,8581	0,7915	0,8008
Modal	4	0,19	0,8581	0,9089	0,8008
Modal	5	0,181	0,8597	0,9089	0,908
Modal	6	0,176	0,9497	0,9089	0,9091
Modal	7	0,14	0,9497	0,9136	0,9091
Modal	8	0,14	0,9498	0,9136	0,9144
Modal	9	0,135	0,9671	0,9136	0,9153
Modal	10	0,133	0,9671	0,9139	0,9153
Modal	11	0,132	0,9671	0,9142	0,9153
Modal	12	0,128	0,9675	0,9142	0,9171

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tabel 7. Kontrol Partisipasi Massa Struktur Model 2

Case	Mode	Period	SumUX	SumUY	SumRZ
		sec			
Modal	1	0,559	0,0647	0,7192	0,000015
Modal	2	0,531	0,1694	0,7265	0,6876
Modal	3	0,495	0,8456	0,7759	0,7861
Modal	4	0,196	0,8526	0,8636	0,8218
Modal	5	0,189	0,8649	0,9071	0,8931
Modal	6	0,176	0,9427	0,9073	0,9083
Modal	7	0,139	0,9427	0,9106	0,9093
Modal	8	0,139	0,9427	0,9116	0,913
Modal	9	0,134	0,9603	0,9116	0,9141
Modal	10	0,133	0,9604	0,9119	0,9141
Modal	11	0,132	0,9604	0,9123	0,9141
Modal	12	0,128	0,9607	0,9123	0,9164

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.5.3. Gaya Geser Dasar Seismik (Base Shear)

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4, Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (Vt) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/Vt.

Tabel 8. Gaya Geser Dasar Terkoreksi

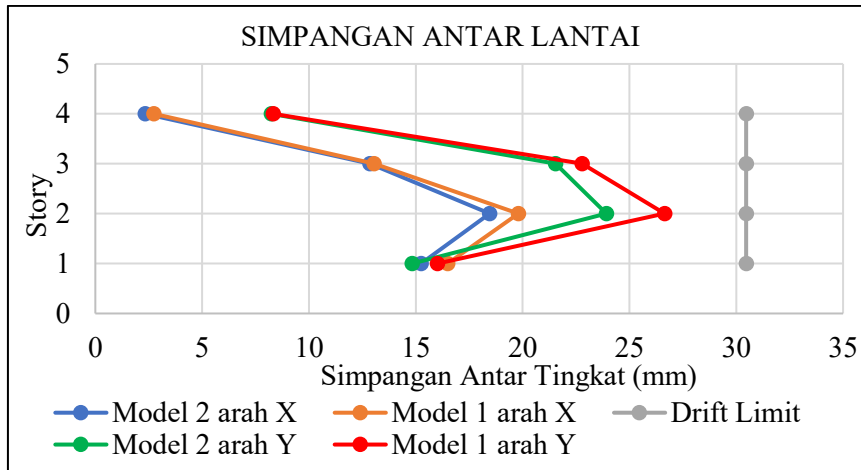
Variasi Bangunan	Arah	Faktor Skala	Base Shear (kg)		kontrol
		V/Vt	Statis (V)	Dinamis (Vt)	(V/Vt)*100%
Model 1	X	1,158	595,7191	595,7191	100
	Y	1,248	595,7191	595,7191	100
Model 2	X	1,265	661,6756	661,6756	100
	Y	1,319	661,6756	661,6756	100

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Gaya geser dasar dinamik $\leq 100\%$ dari hasil perhitungan gaya geser statis. Sehingga harus

dikalihkan dengan faktor skala gempa berdasarkan ordinat ragam spektrumnya. Berdasarkan hasil koreksi, gaya geser dasar seismik (*Base Shear*) mengalami kenaikan dimana gaya geser dasar pada struktur model 2 lebih besar 11,07% dibandingkan gaya geser dasar pada struktur model 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan model 2 dengan adanya penambahan struktur jembatan lebih mampu menahan gaya gempa dibandingkan dengan bangunan model 1 tanpa struktur jembatan.

3.5.4. Simpangan antar Tingkat

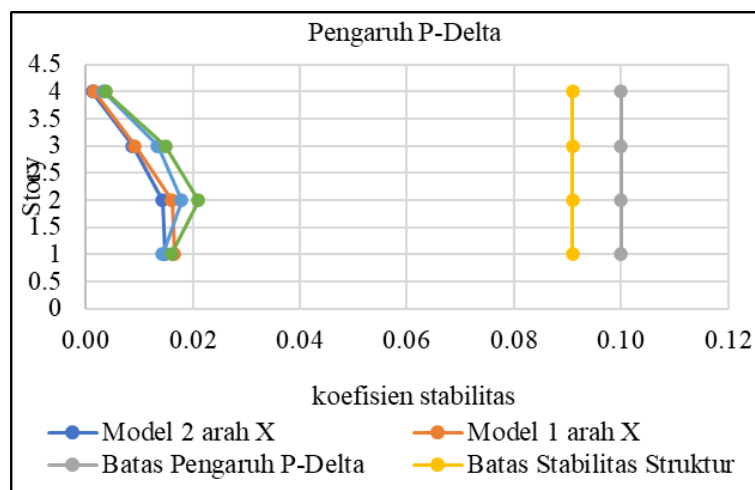


Gambar 5. Grafik Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan hasil analisa, nilai simpangan yang dihasilkan pada struktur bangunan model 2 mengalami penurunan dari nilai simpangan pada struktur bangunan model 1. Nilai simpangan arah X mengalami penurunan terbesar pada story 4 dengan presentase penurunan sebesar 14,7%. Sedangkan untuk nilai simpangan arah Y mengalami penurunan terbesar pada story 2 dengan presentase penurunan sebesar 10,2%.

3.5.5. Pengaruh P-Delta

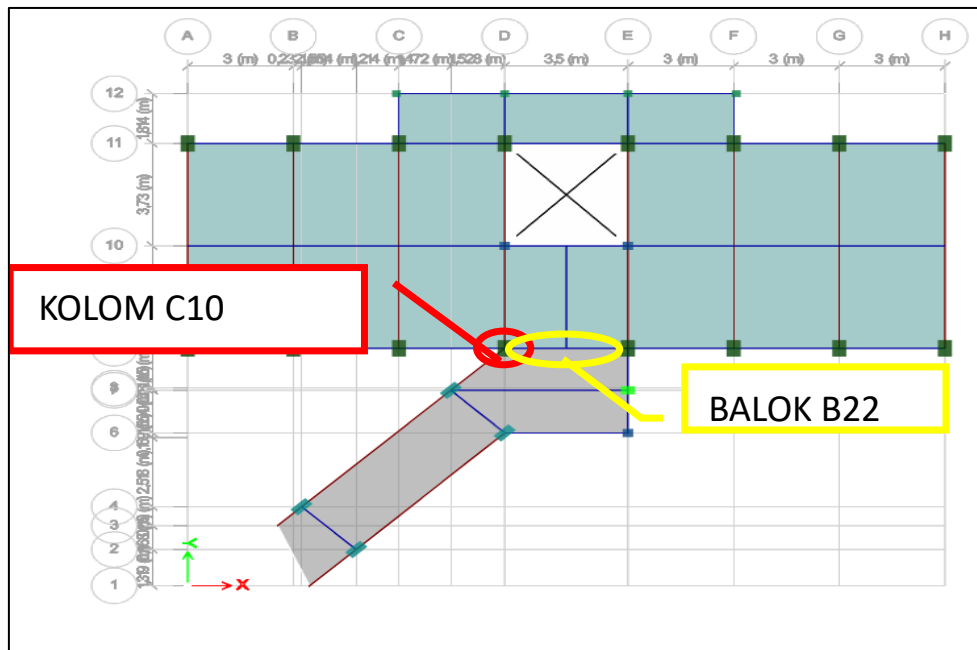
Pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan apabila koefisien stabilitas (θ) kurang dari 0,10. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh hasil pengaruh P-Delta pada model 1 dan 2 terhadap arah x dan y, memiliki nilai koefisien stabilitas (θ) kurang dari 0,10 dan kurang dari θ_{max} . Sehingga kedua model struktur dapat dikatakan stabil dan pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan.



Gambar 6. Pengaruh P-Delta

3.6. Analisis Gaya Dalam

Analisis Gaya dalam ditinjau pada kolom C10 dan balok B22 yang merupakan kolom dan balok yang ada pada setiap variasi bangunan dan terkoneksi langsung pada struktur jembatan yang ditambahkan pada struktur model 2.

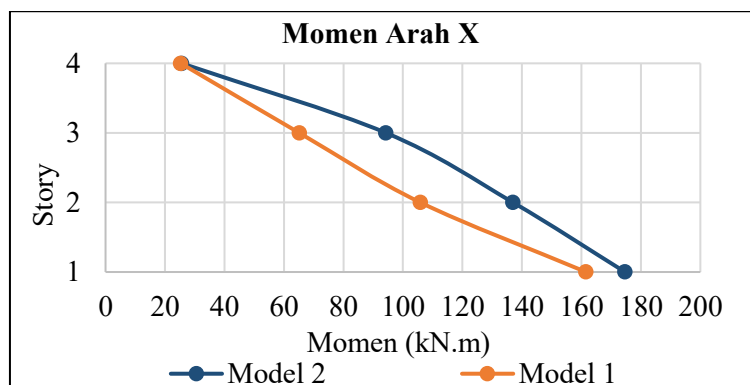


Gambar 7. Denah Tinjauan Kolom dan Balok

3.6.1. Gaya Dalam Kolom

1. Gaya momen kolom

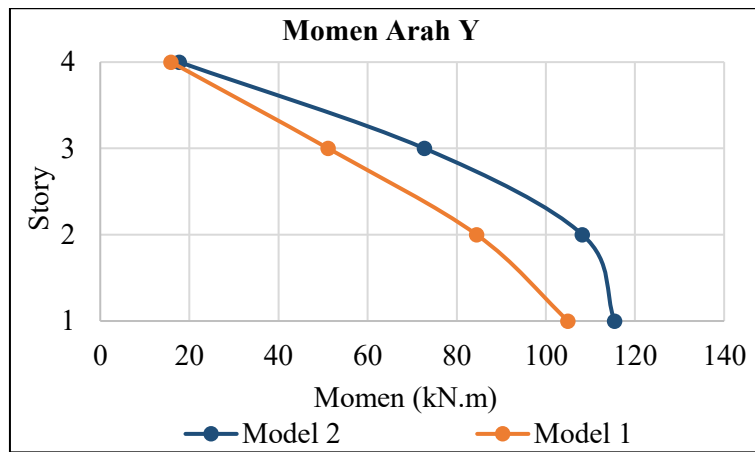
Nilai momen yang dihasilkan pada bangunan model 1 mengalami peningkatan pada bangunan model 2 dimana perbandingan nilai momen pada variasi bangunan model 2 terhadap momen kolom bangunan model 1 mengalami peningkatan terbesar pada kolom story 3 sebesar 44,75% kenaikan pada momen kolom arah X dan 42,24% kenaikan pada momen kolom arah Y dengan rata-rata kenaikan sebesar 22% di seluruh lantai.



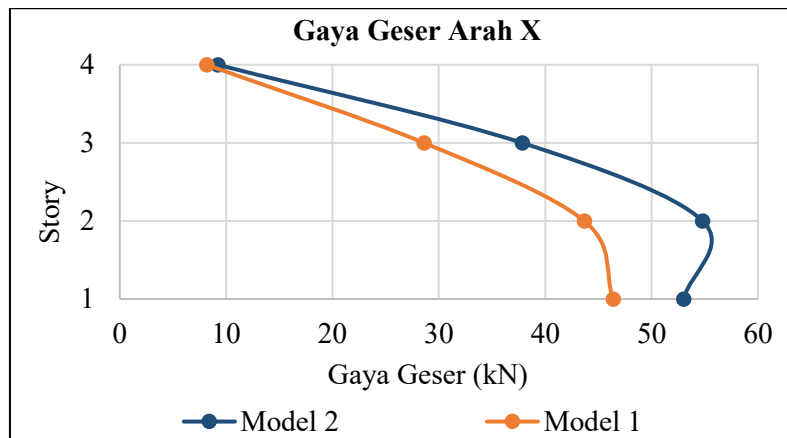
Gambar 8. Grafik Momen Kolom Arah X

2. Gaya geser kolom

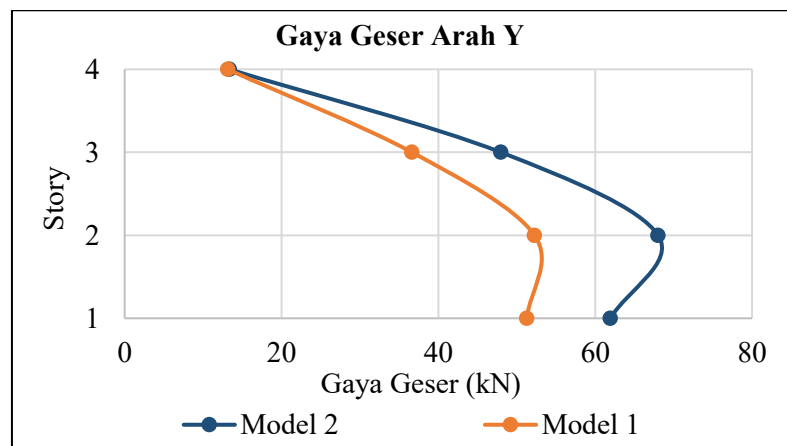
Gaya geser yang dihasilkan pada kedua model bangunan mengalami peningkatan. Dimana perbandingan nilai gaya geser pada variasi bangunan model 2 terhadap gaya geser kolom bangunan model 1 mengalami peningkatan terbesar pada kolom story 3 sebesar 32,3% pada momen kolom arah X dan 31,0% pada momen kolom arah Y dengan rata-rata kenaikan sebesar 21,1% diseluruh lantai.



Gambar 9. Grafik Momen Kolom Arah Y



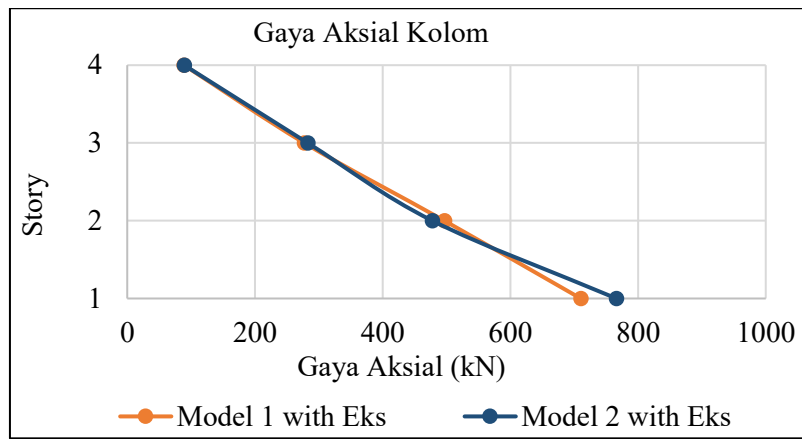
Gambar 10. Gaya Geser Kolom Arah X



Gambar 11. Gaya Geser Kolom Arah Y

3. Gaya aksial kolom

Gaya aksial kolom yang dihasilkan pada kedua model bangunan mengalami peningkatan. Dimana perbandingan nilai gaya aksial kolom pada variasi bangunan model 2 terhadap gaya aksial kolom bangunan model 1 mengalami peningkatan terbesar pada kolom story 1 sebesar 7,87% dengan rata-rata kenaikan sebesar 1,6% diseluruh lantai.

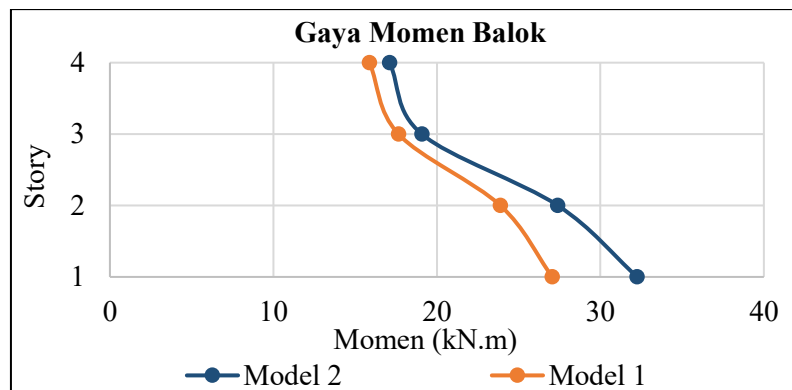


Gambar 12. Gaya Aksial Kolom

3.6.2. Gaya dalam balok

1. Gaya momen balok

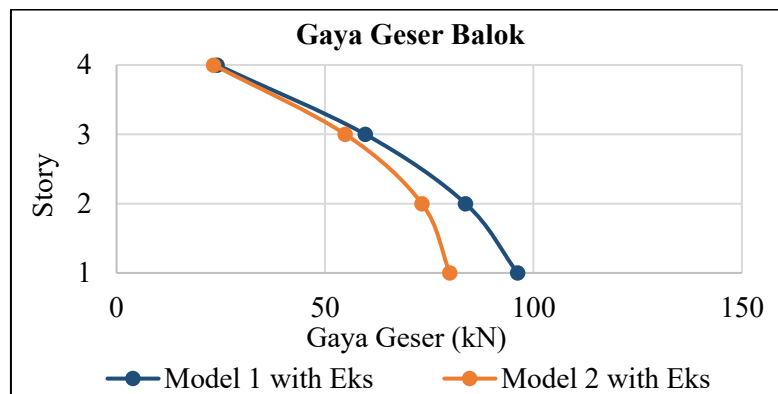
Momen balok yang dihasilkan pada kedua model bangunan mengalami peningkatan. Dimana perbandingan nilai momen balok pada variasi bangunan model 2 terhadap momen balok bangunan model 1 mengalami peningkatan terbesar pada balok story 1 sebesar 19,2% dengan kenaikan rata-rata 12,4% diseluruh lantai.



Gambar 13. Gaya Momen Balok

2. Gaya geser balok

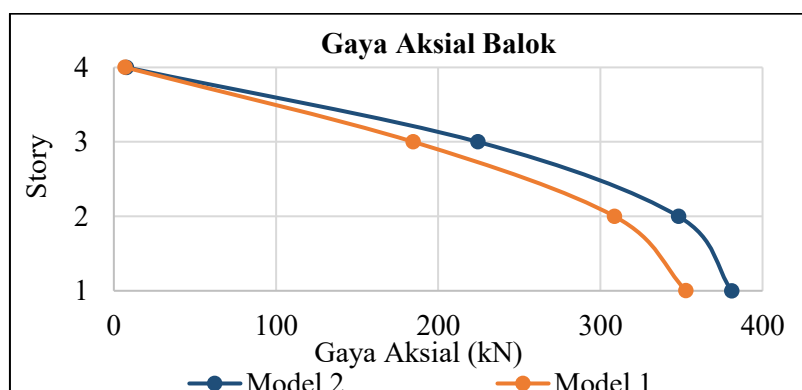
Gaya aksial balok yang dihasilkan pada kedua model bangunan mengalami peningkatan. Perbandingan nilai gaya aksial kolom pada variasi bangunan model 2 terhadap gaya aksial kolom bangunan model 1 mengalami peningkatan terbesar pada kolom story 3 sebesar 21,5% dengan rata-rata kenaikan sebesar 13,1% diseluruh lantai.



Gambar 14. Gaya Geser Balok

3. Gaya aksial balok

Gaya aksial balok yang dihasilkan pada kedua model bangunan mengalami peningkatan. Dimana perbandingan nilai gaya aksial kolom pada variasi bangunan model 2 terhadap gaya aksial kolom bangunan model 1 mengalami peningkatan terbesar pada kolom story 3 sebesar 21,5% dengan rata-rata kenaikan sebesar 13,1% diseluruh lantai.



Gambar 15. Gaya Aksial Balok

4. Kesimpulan

- Variasi bangunan model 1 tanpa penambahan struktur jembatan penghubung menunjukkan ketidakberaturan horizontal tipe 1a arah Y dan Tipe 2, serta ketidakberaturan vertikal tipe 3. Partisipasi massa telah mencapai 90% dari persyaratan, dan pengaruh P-Delta sesuai dengan persyaratan dimana nilai θ tidak melampaui θ_{max} . Simpangan terbesar terjadi pada lantai 2 arah Y.
- Untuk variasi bangunan model 2 dengan penambahan struktur jembatan penghubung menunjukkan ketidakberaturan horizontal tipe 1a arah X dan Y, Tipe 2, serta tipe 5, dan ketidakberaturan vertikal tipe 3. Partisipasi massa telah mencapai 90% dari persyaratan, dan pengaruh P-Delta sesuai dengan persyaratan dimana nilai θ tidak melampaui θ_{max} . Simpangan terbesar terjadi pada lantai 2 arah Y.
- Terdapat perbedaan perilaku struktur antara bangunan model 1 tanpa adanya penambahan struktur jembatan penghubung dan bangunan model 2 dengan adanya penambahan struktur jembatan penghubung. Yaitu pada bangunan model 1, memiliki ketidakberaturan struktur yang lebih sedikit dibandingkan dengan bangunan model 2. Sedangkan periode struktur yang dihasilkan bangunan model 2 memiliki periode yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan penambahan struktur jembatan pada gedung perkuliahan 4 lantai dapat memperkecil periode struktur. Sementara itu, simpangan yang terjadi pada bangunan model 1 lebih besar daripada simpangan yang terjadi pada bangunan model 2. Sedangkan gaya dalam yang dihasilkan bangunan model 1 lebih kecil daripada gaya dalam yang dihasilkan bangunan model 2

5. Saran

- Penelitian ini hanya menggunakan analisis dinamik respon spektrum. Oleh karena itu, untuk analisis lebih lanjut, disarankan untuk menggunakan analisis dinamik time history sebagai pembandingan.
- Analisis perlu dilakukan pada bangunan yang lebih tinggi dan kompleks untuk memahami perilakunya secara lebih mendalam.

Referensi

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726-2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847-2019. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727-2020. Jakarta.

- Laily, Rivaldo. Sumajouw, M.D.J. Wallah, Steenie E. 2019. *Perencanaan Gedung Training Center Konstruksi Beton Bertulang 4 Lantai di Kota Manado*. Jurnal Sipil Statik, Volume 7, No. 8.
- Schodek, D. L., Subagdja, D., & Suryoatmono, B. 1999. *Struktur*. Erlangga.
- Rahmadani, Masnawari. Aprollin, Ririt. Murtinugraha, Eka. 2019. *Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Secara Horizontal dengan Dilatasi Terhadap Gempa*. Jurnal Menara Teknik Sipil, Vol. XIV No. 2.
- Hilmi, Muhammad. Erizal. Febrita, Joana. 2021. *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Vol. 6 No. 3.
- Hermawan, Dwi. Marsil. Bastian, Elfania. *Analisa Pengaruh Dilatasi Bangunan Gedung Tinggi Menggunakan Etabs pada Bangunan Berdenah T*. 2022. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, Vol. 2 No. 1.
- Nurseptiani, Tari. 2023. *Analisa Perilaku Struktur Gedung Bertingkat yang Menggunakan Base-Isolation Systems*. Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia, Vol. 8 No. 10.
- Syarafa, Annisa Alifia. Rahmayanti, Novi. Saputra, Elvis. 2023. *Analisis Respond Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal pada Gedung Perkuliahan di Yogyakarta dengan Menggunakan SNI 1726-2019*. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, Vol. 2 No. 2.