

**Studi Deformasi Yang Terjadi Pada Dua Gedung Bertingkat Yang Digabungkan
(Studi Kasus Gedung Rektorat Kampus Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo)**

*Study of Deformations Occurring in Two Combined High-Rise Buildings
(Case Study of Abdurrachman Saleh University Campus Rectorate Building Situbondo)*

Oktafinaryan Elmaningtyas¹⁾, Totok Dwi Kuryanto²⁾, Pujo Priyono³⁾

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: oktaelmaningtyas@yahoo.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: totok@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: pujopriyono@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Situbondo mengalami gempa sebesar 6,3 SR yang disebabkan oleh pengaruh tumpukan tiga lempeng yang sedang aktif. Selama tahap perencanaan dan Pembangunan gedung, struktur harus direkayasa atau dirancang untuk tahan terhadap gempa tunggal yang berasal dari gempa primer terkuat yang pernah terjadi. Adanya penambahan jembatan penghubung pada dua gedung rektorat di Universitas Abdurrachman Saleh membuat struktur yang digunakan harus memenuhi syarat kesesuaian dengan konstruksi tahan gempa yang berlaku. Maka perlu dilakukan perhitungan dan analisis struktur menggunakan aplikasi SAP2000 v.24.2 pada saat gedung tanpa *skybridge* dan gedung dengan *skybridge*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kecukupan struktur dan mengetahui dampak deformasi akibat penambahan jembatan penghubung (*skybridge*) pada dua gedung rektorat di kampus Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo. Hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan SAP2000 v.24.2 yaitu nilai deformasi gedung tanpa *skybridge* dan gedung dengan *skybridge* masih kurang dari nilai deformasi yang diijinkan sehingga gedung dikategorikan aman.

Kata Kunci: *Deformasi, Gempa, SAP2000, Skybridge*

Abstract

Situbondo experienced an earthquake measuring 6.3 on the Richter scale which was caused by the influence of a stack of three active plates. During the planning and construction stages of a building, the structure must be engineered or designed to withstand a single earthquake originating from the strongest primary earthquake that has ever occurred. The addition of connecting bridges to the two rectorate buildings at Abdurrachman Saleh University means that the structures used must meet the requirements for compliance with applicable earthquake-resistant construction. So it is necessary to carry out calculations and structural analysis using the SAP2000 v.24.2 application for buildings without skybridges and buildings with skybridges. The aim of this research is to assess the adequacy of the structure and determine the impact of deformation due to the addition of a connecting bridge (skybridge) to two rectorate buildings on the Abdurrachman Saleh Situbondo University campus. The results of calculations that have been carried out using SAP2000 v.24.2 are that the deformation value for buildings without skybridges and buildings with skybridges is still less than the allowable deformation value so that the building is categorized as safe.

Keywords: *Deformation, Earthquake, SAP2000, Skybridge*

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia memiliki wilayah terpadat keempat di dunia. Fenomena ini mempengaruhi kemajuan wilayah geografis yang berbeda, yang menyebabkan lonjakan berkelanjutan dalam desain dan konstruksi struktur beton bertulang. Situbondo adalah kotamadya Jawa Timur yang terletak di wilayah Tapal Kuda. Selain hutan lindung, kawasan ini juga berbatasan dengan perkebunan tebu, perkebunan tembakau, serta kawasan budidaya udang dan perikanan.

Letak Kabupaten Situbondo yang strategis berada di titik tengah jalur transportasi darat antara Bali dan Jawa, sehingga banyak infrastruktur yang dibangun di kawasan tersebut, termasuk perguruan tinggi. Salah satu hal terpenting dalam sebuah perguruan tinggi adalah gedung rektorat yang merupakan administrasi perguruan tinggi tersebut. Pembangunan gedung rektorat kampus Universitas Abdurrachman Saleh ini terdiri dari dua gedung yang dihubungkan dengan jembatan penghubung (*skybridge*) untuk memudahkan akses antar gedung. Selama perencanaan dan konstruksi bangunan, bangunan harus dirancang tahan terhadap gempa tunggal dari gempa utama terkuat yang pernah dialami sebelumnya.

Gempa yang terjadi di Situbondo diyakini berasal dari aktivitas sesar Situbondo. Pada tahun 2018, Situbondo mengalami gempa berkekuatan 6,3 SR akibat tumbukan tiga lempeng aktif. Aktivitas seismik pasti akan terulang kembali di sekitar lubang tersebut dalam periode waktu yang singkat (menit, jam, hari, atau bulan). Aktivitas seismik selanjutnya diklasifikasikan menjadi tiga jenis: gempa susulan, gempa pendahuluan, dan gempa utama. Selain itu, gempa bumi dapat terjadi di sekitar rongga tertentu dalam jangka waktu yang lama, misalnya beberapa tahun. (Hal inilah yang diungkapkan Faisal dkk. (2013) disebut sebagai “gempa bumi berulang”. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana deformasi yang terjadi akibat adanya penambahan jembatan penghubung (*skybridge*) pada dua gedung rektorat di kampus Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo?

2. Apakah struktur yang digunakan pada pembangunan penambahan jembatan penghubung (*skybridge*) pada dua gedung rektorat di kampus Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo sudah sesuai dengan SNI 1726;2019?

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Struktur Gedung

Sistem struktur suatu bangunan terdiri dari kumpulan dan kombinasi berbagai elemen struktur yang dihubungkan dan disusun secara terpisah atau terus menerus untuk menciptakan struktur secara keseluruhan. Untuk mengakomodasi beban horizontal yang disebabkan oleh angin dan gempa bumi, sistem struktur pada gedung-gedung tinggi direkayasa dan dibangun untuk menahan berbagai tekanan akibat fluktuasi dan penyusutan suhu, ledakan eksternal dan internal serta beban kejut (*impact load*), serta antisipasi pengaruh *vibration* dan *fatigue*.

B. Bangunan Tahan Gempa

Sesuai SNI aktivitas seismik yang berlaku khususnya SNI 03-1726-2019, kriteria desain gempa bumi Indonesia ditetapkan sebagai beban kuat. Dalam bidang perencanaan seismik, secara teoritis dimungkinkan untuk merancang bangunan tahan gempa untuk menahan beban yang dikurangi dengan faktor modifikasi respons struktur (faktor R), yang menunjukkan tingkat keuletan struktur. Secara umum, elemen-elemen tertentu adalah elemen struktural yang dicirikan oleh perilaku plastifikasi ulet yang tahan terhadap keruntuhan.

C. Deformasi

Penerapan gaya pada suatu material menyebabkan deformasi. Bahan menyerap energi selama deformasi karena gaya-gaya yang bekerja selama proses deformasi. Berapapun besarnya gaya yang diberikan, benda akan mengalami transformasi baik bentuk maupun dimensinya.

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P/A}{\delta/L} \quad (1)$$

Sehingga deformasi (δ) dituliskan:

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2)$$

Keterangan:

- P = Beban (N)
- A = Luas permukaan (mm²)
- L = Panjang Awa (mm)
- E = Modulus elastisitas

D. Pembebanan Struktur

Beban operasional yang memerlukan perhitungan meliputi beban vertikal dan horizontal. Tekanan seismik dan angin merupakan contoh beban horizontal. Struktur portal dirancang khusus untuk menahan beban horizontal yang disebabkan oleh gempa bumi, karena beban ini lebih besar daripada beban angin dalam perencanaan struktur beton bertulang. Beban vertikal terdiri dari massa aktif dan inert. Agar struktur dapat digunakan dengan aman, strategi akan dirancang untuk menahan beban sesuai dengan analisis pembebanan struktur.

E. Skybridge

Jembatan penghubung (*skybridge*) juga dikenal sebagai jembatan udara atau jembatan langit yang merupakan varian jembatan yang memiliki tujuan serupa dengan jembatan konvensional. Lebih khusus lagi, sebagai jalur untuk mengurangi jarak dengan melintasi suatu rintangan tanpa menghalangi rintangan tersebut sepenuhnya. Biasanya, perbedaan dari sebuah jembatan terletak pada rintangan yang harus dilewati. Sebuah jembatan penghubung (*skybridge*), juga dikenal sebagai jembatan layang yang melintasi rintangan dengan ketinggian dan jarak antara dua bangunan di dekatnya.

3. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Alamat lokasi penelitian berada di Jalan PB Sudirman No.07 Patokan Situbondo, sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar Gambar 1.



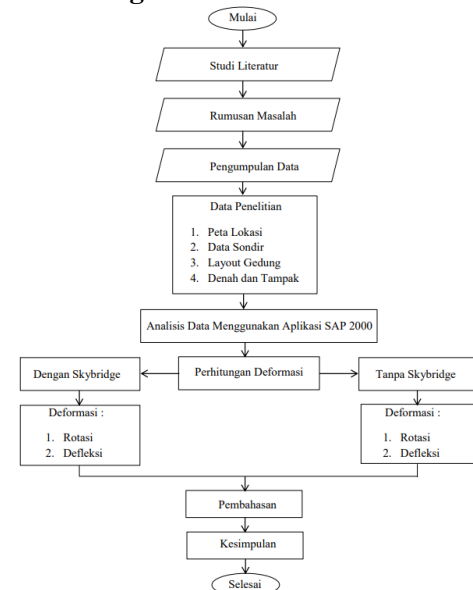
Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian
 Sumber: Google Earth, 2023

B. Data Penelitian

Data penelitian merupakan informasi yang dikumpulkan dan dianalisis untuk memecahkan masalah yang diteliti dalam penelitian. Data penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data sekunder dapat berupa teks, gambar, gambar, atau format lain yang berkaitan dengan penelitian atau observasi secara langsung.

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peta lokasi. Peta lokasi menggambarkan situs atau wilayah tertentu di mana penelitian ini dilakukan. Peta lokasi yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari *Google Earth* 2023. Sedangkan data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gambar tampak dan potongan yang diperoleh dari proyek, data sondir dan tata letak bangunan.

C. Kerangka Penelitian



Gambar 2. Kerangka Penelitian
 Sumber: Skripsi Tugas Akhir, 2023

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Spesifikasi Bangunan

1. Lokasi bangunan
 Gedung kantor rektorat Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo. Baja mutu $F_y = 390$ Mpa dan beton bertulang dengan mutu K-300 (24,90 Mpa) merupakan bahan struktur bangunan pada Gedung kantor tersebut.
2. Elevasi antar lantai
 - a. Lantai Dasar (1) ke Lantai Dua (2) = 4 meter.
 - b. Lantai Dua (2) ke Lantai Tiga (3) = 4 meter.
 - c. Lantai Tiga (3) ke Lantai Empat (4) = 4 meter.
 - d. Lantai Empat (4) ke Lantai Lima (5) = 4 meter.
 - e. Lantai Lima (5) ke Atap = 4 meter.
3. Data geometri bangunan
 - a. Bentuk Bangunan : Segi Delapan
 - b. Panjang Sisi Gedung : 4 meter
 - c. Tinggi Gedung : 20 meter
 - d. Luas : 50.91 m^2
4. Sistem dan dimensi struktur bangunan
 - a. Struktur Utama : Sistem Rangka Beton Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
 - b. Dimensi Struktur : Sesuai dengan gambar
 - c. Plat : Tebal 12 cm

B. Beban Struktur

Selain beratnya sendiri, struktur juga mengalami tambahan beban inert, beban aktif, dan beban gempa. Beban yang digunakan pada Gedung kantor rektorat Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo adalah:

1. Beban mati (DL)
 Beban sendiri struktur + beban mati tambahan. Beban mati terdiri dari berat elemen struktur (kolom, balok, plat lantai).
 - a. Plat ($t = 12 \text{ cm}$) = $0,12 \cdot 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
 - b. Beban adukan ($t = 2 \text{ cm}$) = 21 kg/m^2
 - c. Beban lantai keramik = 24 kg/m^2
 - d. Berat Plafon + Penggantung = 24 kg/m^2
 - e. Beton bertulang = 2400 kg/m^2
 - f. Pasangan batu bata = 1700 kg/m^2
 - g. Penutup lantai keramik = 24 kg/m^2
2. Beban hidup (LL)
 Beban penghuni suatu struktur Gedung mengacu pada beban yang dikenakan akibat

penggunaan atau pengoperasian struktur tersebut (SNI 1727-2020).

- a. Ruang kantor = 240 kg/m^2
 - b. Ruang komputer = 479 kg/m^2
 - c. Lobi dan koridor lantai pertama = 479 kg/m^2
 - d. Koridor diatas lantai pertama = 383 kg/m^2
3. Beban gempa (EQ)

Didesain dengan menggunakan metode *spektrum respons* sesuai dengan representasi kartografi zona gempa Indonesia. SAP 2000 menggabungkan *site loading* dengan analisa respon spektrum untuk risiko seismik tanah keras kategori A yang berdasarkan SNI seismik 1726:2019.

C. Analisis Struktur

Ketika menganalisis sistem struktur, penting untuk mempertimbangkan adanya kombinasi beban yang dihasilkan dari beberapa kasus beban yang dapat beroperasi secara bersamaan sepanjang umur desain. Meskipun kombinasi beban sementara tidak memberikan pengaruh yang terus-menerus terhadap struktur, namun konsekuensinya dimasukkan ke dalam analisis struktur. Untuk analisis struktur digunakan data yang berasal dari kombinasi beban SNI 1726:2019 dengan persamaan berikut:

1. Kombinasi 1 : 1,4 DL
2. Kombinasi 2 : 1,2 DL + 1,6 LL
3. Kombinasi 3 : 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 A
4. Kombinasi 4 : 1,2 DL + 1 LL + 1 Ex + 0,3 Ey
5. Kombinasi 5 : 1,2 DL + 1 LL ± 0,3 Ex ± 1 Ey
6. Kombinasi 6 : 0,9 DL ± 1 Ex ± 0,3 Ey
7. Kombinasi 7 : 0,9 DL ± 0,3 Ex ± 1 Ey

D. Analisis Beban Gempa Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019

1. Menentukan kategori resiko bangunan
 Klasifikasi bangunan gedung perkantoran termasuk kategori II sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 1. Kategori Resiko Bangunan

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Seluruh bangunan gedung dan struktur lainnya, kecuali yang	II

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
termasuk dalam kategori risiko I, II, III, dan IV, mencakup, namun tidak terbatas pada:	
- Perumahan	
- Rumah toko dan rumah kantor	
- Pasar	
- Gedung perkantoran	
- Gedung apartemen/rumah susun	
- Pusat perbelanjaan/mall	
- Bangunan industri	
- Fasilitas manufaktur	
- Pabrik	

Sumber: SNI 1726:2019

- Menentukan faktor keutamaan gempa
 Sebagaimana tercantum pada Tabel Kategori Resiko Bangunan dan Non Bangunan untuk Beban Gempa, faktor prioritas gempa yaitu untuk kategori risiko bangunan II adalah 1,0.

Tabel 2. Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0

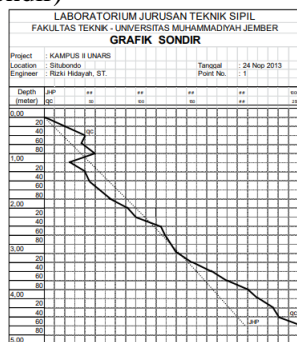
Sumber: SNI 1726:2019

- Menentukan sistem struktur dan parameter sistem (R , C_d , Ω_0)

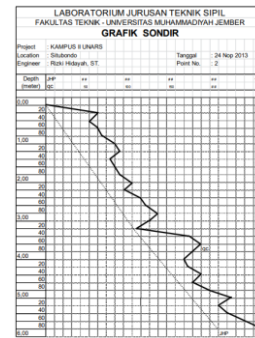
Dimasukkannya sistem penahan gaya gempa ke dalam Sistem Rangka Beton Pemikul Momen Khusus (SRPMK) ditentukan oleh struktur utama bangunan tersebut.

- Menentukan klasifikasi situs (SA-SF)

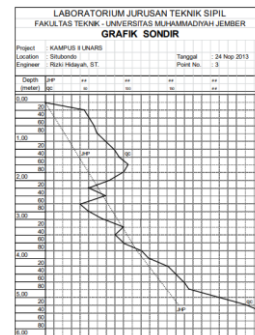
Analisis klasifikasi kelas situs tanah (grafik sondir)



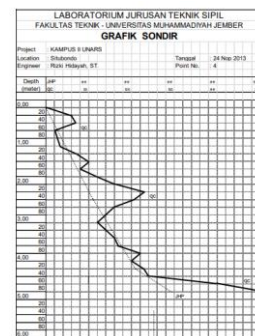
Gambar 3. Grafik Sondir Titik 1
 Sumber: Pengujian Laboratorium, 2023



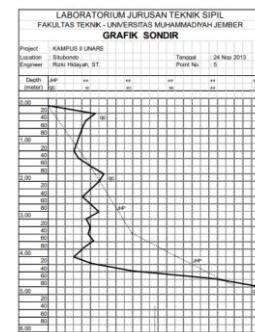
Gambar 4. Grafik Sondir Titik 2
 Sumber: Pengujian Laboratorium, 2023



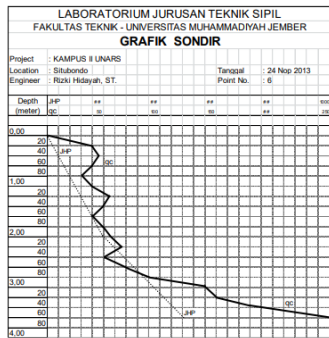
Gambar 5. Grafik Sondir Titik 3
 Sumber: Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 6. Grafik Sondir Titik 4
 Sumber: Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 7. Grafik Sondir Titik 5
 Sumber: Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 8. Grafik Sondir Titik 6
 Sumber: Pengujian Laboratorium, 2023

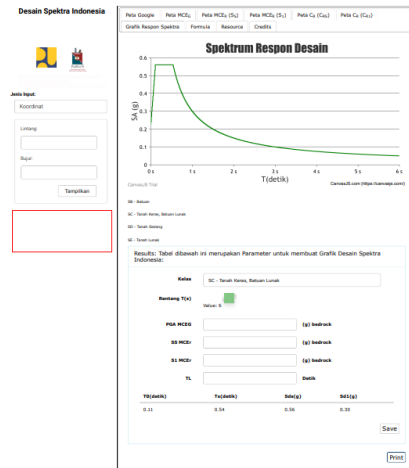
Berdasarkan data Sondir, kawasan tersebut termasuk dalam kategori lokasi tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak (SC) dengan tekanan kerucut sebesar 250.

5. Menentukan parameter percepatan tanah (S_s , S_i).
 - a. Parameter kecepatan gempa diketahui dari rsa.ciptakarya.go.id.
 - b. Jenis input: koordinat -7.733333 , 114.016667
 - c. Jenis tanah: tanah keras (SC)

Pada lokasi Gedung Rektorat Universitas Abdurrachman Saleh didapat nilai S_s : 0.6824 g dan S_i : 0.3017 g. Percepatan batuan dasar dengan periode 0,54 detik (S_1) dan peta percepatan batuan dasar singkat sebesar 0,11 detik (S_s) menginformasikan respons spektrum yang diinginkan dalam perhitungan beban gempa.

6. Menentukan faktor koefisien situs
 - a. F_a : 1,228 (interpolasi)
 - b. F_v : 0,8 (interpolasi)
7. Menentukan nilai S_{MS} dan S_{MI}
 Persamaan 7 dan 8 pada SNI 1726:2019
 - a. $S_{MS} = F_a \times S_s = 1,228 \times 0,624 = 0,8379$ g
 - b. $S_{MI} = F_v \times S_i = 0,8 \times 0,3017 = 0,2413$ g
8. Menentukan nilai SDS dan SDI
 - a. $SDS = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 0,8379 = 0,5586$ g
 - b. $SDI = 2/3 S_{MI} = 2/3 \times 0,2413 = 0,1609$ g

9. Menentukan respons spektrum
 Berdasarkan lokasi, Nilai Akselerasi Spektral yang diperoleh dari *Website* Desain Spektra Indonesia adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Desain Spektra RSA
 Sumber: Cipta Karya, 2021

10. Menentukan kategori desain seismic (KDS)
 - a. Nilai SDS kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan dalam periode singkat seperti terlihat pada Tabel 8 SNI 1726:2019 adalah sebesar 0,5586 yang setara dengan D-IV.
 - b. SDI : 0,1609 merupakan nilai yang ditetapkan pada kategori desain seismic berdasarkan parameter respon percepatan dalam periode 1 detik, seperti terlihat pada Tabel 9 SNI 1726:2019, oleh karena itu $KDS = H-IV$.
11. Menentukan Faktor R , C_r , dan Ω_0 dari sistem penahan gaya gempa
 Nilai yang diperoleh untuk rangka beton bertulang tahan momen khusus kategori desain gempa D sebagaimana ditentukan dalam SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut:
 - a. R : 8,0 (koefisien modifikasi respon)
 - b. C_r : 3,0 (factor kuat-lebih system)
 - c. Ω_0 : 5,5 (factor pembesaran defleksi)
12. Menentukan periode fundamental struktur
 - a. Berdasarkan Tabel 14 SNI 1726:2019, koefisien C_u untuk $SDI = 0,3639$ g adalah 1,4.
 - b. Seperti terlihat pada Tabel 15 SNI 1726:2019, parameter periode getar C_t pada struktur beton pemikul momen bernilai 0,0466 dan x sebesar 0,9.

- c. Untuk analisa pendahuluan struktur, maka dipakai rumus pendekatan sesuai persamaan 26 pada SNI 1726:2019 sebagai berikut:

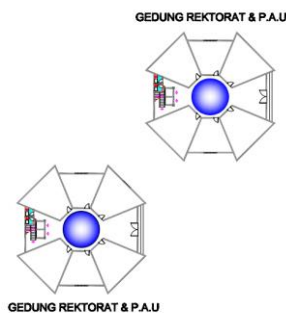
$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ &= 0,0466 \times 20^{0,9} \\ &= 0,690737 \\ &= 0,691 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{maks} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,691 \\ &= 0,9670 \text{ detik} \end{aligned}$$

d. Respon spectrum = $\frac{I}{R} \times 9,81 \text{ m/dt}^2$
 $= \frac{1,0}{8,0} \times 9,81 \text{ m/dt}^2$
 $= 1,26625$

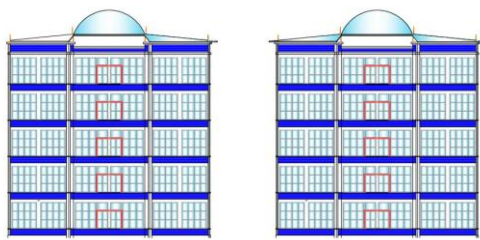
E. Perhitungan Struktur Tanpa Skybridge

1. Pemodelan struktur Gedung tanpa skybridge



Gambar 10. Denah Gedung Tanpa Skybridge

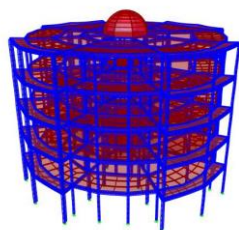
Sumber: Program Autocad, 2023



Gambar 11. Gambar Tampak Depan Gedung Tanpa Skybridge

Sumber: Program Autocad, 2023

2. Pemodelan struktur SAP2000 gedung sebelum penambahan skybridge



Gambar 12. Struktur Kondisi Gedung Tanpa Skybridge

Sumber: Program SAP2000 v24.2, 2023

3. Pemeriksaan jumlah ragam gedung tanpa skybridge

Menurut Pasal 7.9.1.1 SNI 1726:2019, analisis harus memasukkan jumlah varian yang memadai untuk memastikan bahwa gabungan varians partisipasi massa pada setiap orientasi horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau tidak kurang dari 90% dari massa sebenarnya.

Tabel 3. Modal *Participating Mass Ratios*

Step Num	Periode (dtk)	Sum Ux	Sum Uy
1	1.766	0.00	0.85
2	1.330	0.00	0.85
3	1.055	0.82	0.85
4	0.595	0.82	0.95
5	0.431	0.82	0.95
6	0.367	0.82	0.97
7	0.340	0.93	0.97
8	0.278	0.93	0.98
9	0.247	0.93	0.98
10	0.238	0.93	0.99
11	0.193	0.96	0.99
12	0.172	0.96	0.99

Sumber: Program SAP2000, 2023

Derajat partisipasi massa pada dua belas mode arah X dan Y adalah 90% (memenuhi).

4. Perbandingan geser dasar statistik dan dinamik gedung tanpa skybridge

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.4.1 tentang skala gaya, gaya geser dinamis wajib melebihi seratus persen gaya geser statis. $VD > 100\% V_s$ (skala gaya akan diberikan jika kondisi ini tidak terpenuhi).

Tabel 4. Hasil Penjumlahan Geser Dasar untuk masing-masing Gempa

Geser Dasar	Dinamik (VD) (kN)	Statistik (Vs) (kN)	Kontrol (VD > 100% Vs)
X - Direction	0.56	2.50E-11	Memenuhi
Y - Direction	0.354	4.72E-13	Memenuhi

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Kesimpulan : $VD > V_s = \text{OK!}$

5. Pemeriksaan simpangan antar lantai Gedung tanpa skybridge

Tabel 5. Simpangan Lantai Arah-X (Δx)

Lantai	Joint	Hsx (mm)	δx (mm)	$\delta yCd/I$ (mm)	Δy (mm)	$\Delta \alpha$ (ijin) (mm)	Keterangan
5	1141	4000	0.011	0.063	0.006	61.538	Aman
4	1079	4000	0.10	0.057	0.011	61.538	Aman
3	1017	4000	0.08	0.046	0.015	61.538	Aman
2	955	4000	0.006	0.031	0.017	61.538	Aman
1	383	4000	0.002	0.013	0.013	61.538	Aman

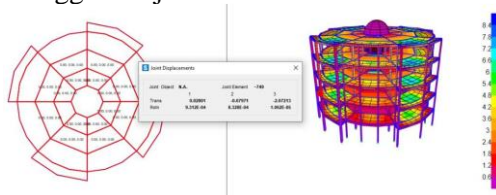
Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Tabel 6. Simpangan Lantai Arah-Y (Δy)

Lantai	Joint	Hsx (mm)	δx (mm)	$\delta yCd/I$ (mm)	Δy (mm)	$\Delta \alpha$ (ijin) (mm)	Keterangan
5	1141	4000	0.011	0.063	0.006	61.538	Aman
4	1079	4000	0.10	0.056	0.011	61.538	Aman
3	1017	4000	0.08	0.045	0.015	61.538	Aman
2	955	4000	0.006	0.030	0.017	61.538	Aman
1	383	4000	0.002	0.013	0.013	61.538	Aman

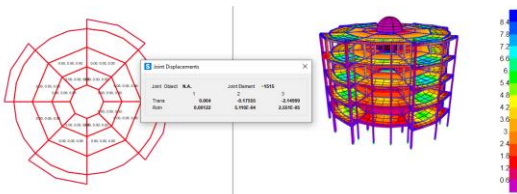
Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Langkah-langkah pengendalian perilaku yang diterapkan telah menghasilkan penyimpangan antar lantai yang tetap berada di bawah ambang batas yang diperbolehkan, sehingga menjamin keselamatan.



Gambar 13. Posisi Tumpuan Jembatan di Lantai 2

Sumber: Program SAP2000 v24.2

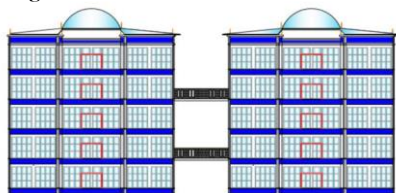


Gambar 14. Posisi Tumpuan Jembatan di Lantai 4

Sumber: Program SAP2000 v24.2

F. Perhitungan Struktur Dengan Skybridge

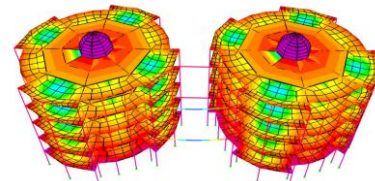
1. Pemodelan struktur Gedung dengan skybridge



Gambar 15. Tampak Depan Gedung dengan Skybridge

Sumber: Program Autocad, 2023

2. Pemodelan struktur SAP2000 gedung dengan skybridge



Gambar 16. Pemodelan struktur gedung dengan skybridge

Sumber: SAP2000 v24.2

3. Pemeriksaan jumlah ragam Gedung dengan Skybridge

Tabel 7. Modal Participating Mass Ratios

Step Num	Periode (dtk)	Sum Ux	Sum Uy
1	1.768	3.86E-05	0.85
2	1.713	3.86E-05	0.85
3	1.239	3.96E-05	0.85
4	1.054	0.82	0.95
5	0.596	0.82	0.95
6	0.593	0.82	0.97
7	0.519	0.93	0.97
8	0.428	0.93	0.98
9	0.367	0.93	0.98
10	0.367	0.93	0.99
11	0.341	0.96	0.99
12	0.339	0.96	0.99

Sumber: Hasil perhitungan SAP2000, 2023

4. Perbandingan geser dasar statistik dan dinamik gedung tanpa skybridge

Tabel 8. Hasil Penjumlahan Geser Dasar untuk Masing-Masing gempa

Geser Dasar	Dinamik (VD) (kN)	Statistik (Vs) (kN)	Kontrol (VD > 100% Vs)
X – Direction	1121.23	3.92E-08	Memenuhi
Y - Direction	0708.76	-1.87E-08	Memenuhi

Sumber: Hasil perhitungan, 2023
 5. Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai Gedung Dengan *Skybridge*

Tabel 5. Simpangan Lantai Arah-X (Δx)

Lantai	Joint	Hsx (mm)	δx (mm)	$\delta yCd/I$ (mm)	Δy (mm)	$\Delta \alpha$ (ijin) (mm)	Keterangan
5	1791	4000	0.367	2.607	0.477	61.538	Aman
4	1729	4000	0.296	2.130	0.617	61.538	Aman
3	1667	4000	0.209	1.513	0.628	61.538	Aman
2	1605	4000	0.121	0.885	0.475	61.538	Aman
1	1541	4000	0.044	0.410	0.410	61.538	Aman

Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Tabel 6. Simpangan Lantai Arah-Y (Δy)

Lantai	Joint	Hsx (mm)	δx (mm)	$\delta yCd/I$ (mm)	Δy (mm)	$\Delta \alpha$ (ijin) (mm)	Keterangan
5	1791	4000	0.367	2.017	0.388	61.538	Aman
4	1729	4000	0.296	1.628	0.480	61.538	Aman
3	1667	4000	0.209	1.148	0.483	61.538	Aman
2	1605	4000	0.121	0.665	0.420	61.538	Aman
1	1541	4000	0.044	0.245	0.245	61.538	Aman

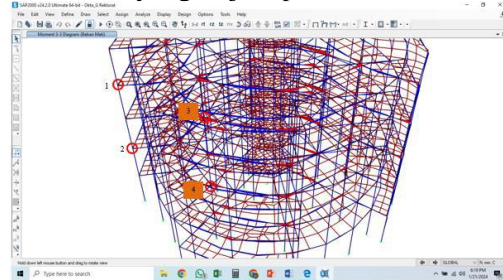
Sumber: Hasil perhitungan, 2023

Dari kontrol perilaku yang dilakukan untuk *control* perilaku simpangan antar

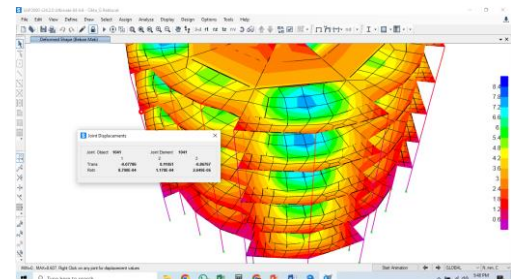
lantai (Δ) kondisi masih kurang dari simpangan antar lantai ijin sehingga aman

G. Deformasi Yang Terjadi Pada Tumpuan *Skybridge*

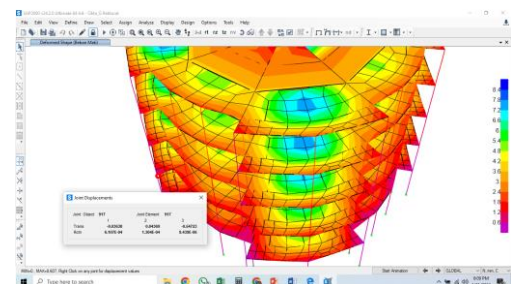
1. Deformasi yang terjadi pada struktur



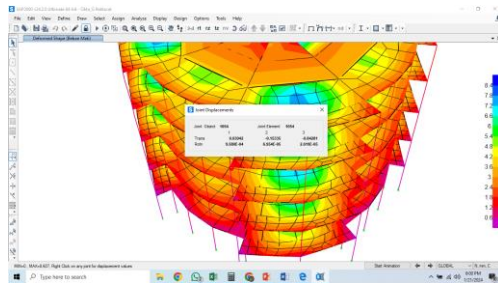
Gambar 17. Titik Joint Letak *Skybridge* Pada Gedung Sebelum Ditambah *Skybridge*
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



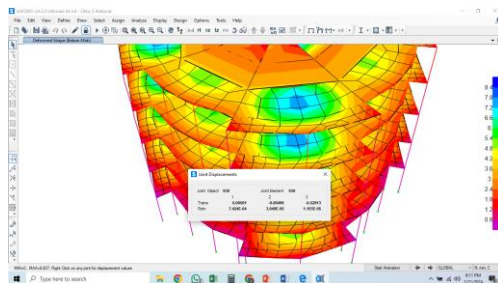
Gambar 18. Titik 1 Joint 1041(Tanpa *Skybridge*)
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



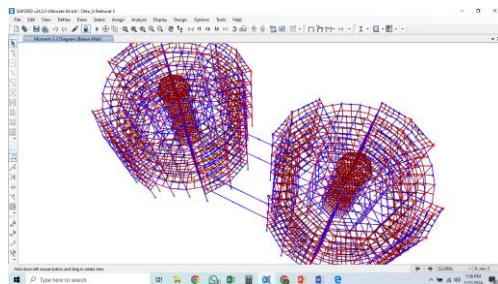
Gambar 19. Titik 2 Joint 917(Tanpa Skybridge)
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



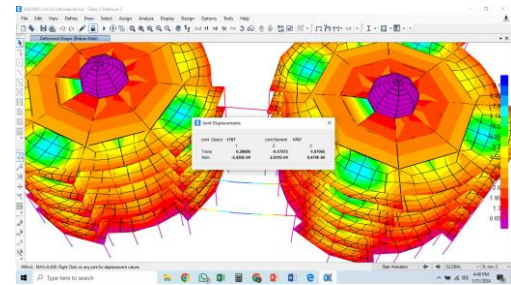
Gambar 20. Titik 3 Joint 1054(Tanpa Skybridge)
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



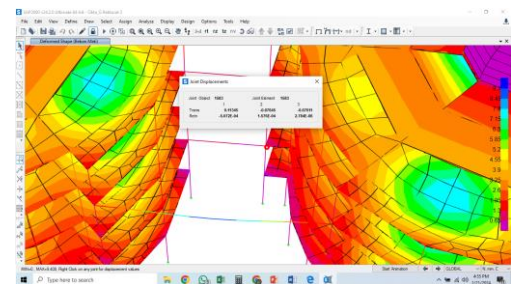
Gambar 21. Titik 4 Joint 930 (Tanpa Skybridge)
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



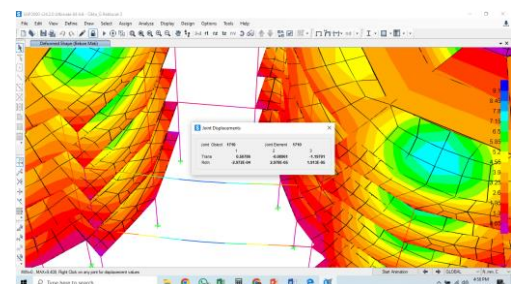
Gambar 22. Titik Joint 1707
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



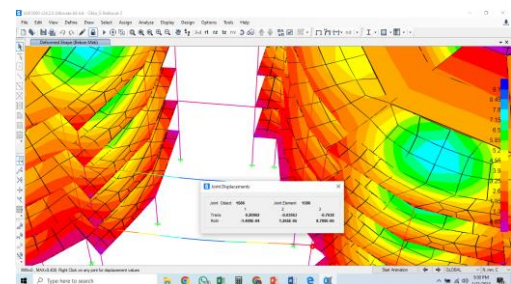
Gambar 23. Titik 1 Joint 1707
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



Gambar 24. Titik 2 Joint 1583
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



Gambar 25. Titik 3 Joint 1710
 Sumber: Program SAP2000 v24.2



Gambar 26. Titik 4 Joint 1586
 Sumber: Program SAP2000 v24.2

Tabel 7. Deformasi pada Tumpuan Skybridge

Titik	Joint	Tanpa Skybridge			Joint	Dengan Skybridge		
		x	y	z		x	y	Z
1	1041	-0.07786	0.11051	-0.86767	1707	0.28686	-0.17975	-1.07065
2	917	-0.03638	0.04369	-0.54723	1583	0.11345	-0.07645	-0.67611
3	1054	0.03042	-0.15335	-0.84281	1710	-0.50786	-0.08961	-1.19701
4	930	0.00501	-0.06496	-0.52913	1586	0.20902	-0.03953	-0.7638

Sumber: Program SAP2000 v24.2

2. Pembahasan

- a. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 1 terdapat pada joint 1041 adalah nilai $x = -0,07786$; $y = 0,11051$ dan $z = -0,86767$.
- b. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 1 terdapat pada joint 11707 adalah nilai $x = 0,28686$; $y = -0,17975$ dan $z = -1,07065$.
- c. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 2 terdapat pada joint 917 adalah nilai $x = -0,03638$; $y = 0,04369$ dan $z = -0,54723$.
- d. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 2 terdapat pada joint 1583 adalah nilai $x = 0,11345$; $y = -0,07645$ dan $z = -0,67611$.
- e. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 3 terdapat pada joint 1054 adalah nilai $x = 0,03042$; $y = -0,15335$ dan $z = -0,84281$.
- f. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 3 terdapat pada joint 1710 adalah nilai $x = -0,50786$; $y = -0,08961$ dan $z = -1,19701$.
- g. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 4 terdapat pada joint 930 adalah nilai $x = 0,00501$; $y = -0,06496$ dan $z = -0,52913$.
- h. Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 4 terdapat pada joint 1586 adalah nilai $x = 0,20902$; $y = -0,03953$ dan $z = -0,7638$.

5. Penutup

A. Kesimpulan

1. Periode getaran maksimal (T_{max}) ditentukan sebesar 0,9647 detik berdasarkan Persamaan 26 SNI 1726:2019, sedangkan periode getaran (T) yang diperoleh dari analisis spektrum gempa pada SAP 2000

adalah sebesar 0,691 detik. Oleh karena itu, struktur tersebut dianggap aman terhadap gempa jika terjadi gempa, mengingat getarannya tidak melebihi periode maksimum T_{max} . Maka pada penambahan jembatan penghubung (*skybridge*) pada dua gedung rektorat di kampus Universitas Abdurrachman Saleh Situbondo telah menggunakan struktur yang sesuai dengan SNI 1726:2019.

2. Hasil analisa yang telah dilakukan, didapatkan nilai deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 1 terdapat pada joint 1041 adalah nilai $x = -0,07786$; $y = 0,11051$ dan $z = -0,86767$ dan deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 1 terdapat pada joint 11707 adalah nilai $x = 0,28686$; $y = -0,17975$ dan $z = -1,07065$.

Nilai deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 2 terdapat pada joint 917 adalah nilai $x = -0,03638$; $y = 0,04369$ dan $z = -0,54723$ dan deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 2 terdapat pada joint 1583 adalah nilai $x = 0,11345$; $y = -0,07645$ dan $z = -0,67611$.

Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 3 terdapat pada joint 1054 adalah nilai $x = 0,03042$; $y = -0,15335$ dan $z = -0,84281$ dan deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 3 terdapat pada joint 1710 adalah nilai $x = -0,50786$; $y = -0,08961$ dan $z = -1,19701$.

Deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung sebelum penambahan *skybridge* di titik 4 terdapat pada joint 930 adalah nilai $x = 0,00501$; $y = -0,06496$ dan $z = -0,52913$ dan deformasi tumpuan *skybridge* pada gedung setelah penambahan *skybridge* di titik 4 terdapat pada joint 1586 adalah nilai $x = 0,20902$; $y = -0,03953$ dan $z = -0,7638$.

3. Hasil dari kontrol perilaku untuk gedung tanpa *skybridge* yang dilakukan untuk kontrol perilaku simpangan antar lantai kondisi masih kurang dari simpangan antar lantai ijin (SNI 1726:2019) sehingga aman.

Dari kontrol perilaku untuk gedung dengan *skybridge* yang dilakukan untuk kontrol perilaku simpangan antar lantai kondisi masih kurang dari simpangan antar lantai ijin (SNI 1726:2019) sehingga aman.

6. REFERENSI

A. Buku

- Amalia, Shany., Agus, Santosa., & Erfan, Mohammad. 2019. Analisa Perbandingan Simpangan Pada Sistem Rangka Pemikul Momen dan Sistem Ganda. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang. PAR-IV-27.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2019. SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. *Standar Nasional Indonesia*, 8, 720.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. 2019. SNI 1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. *Standar Nasional Indonesia*.

B. Artikel Jurnal

- Ahmad, H. H. (2021). Analisis Daya Dukung Tanah Pada Pondasi Dangkal Dengan Metode L Heminier Dan Meyerhof. *Jurnal Penelitian IPTEKS*, 6(1), 1-5.
- Amirsyah, P. T. (2018). Deformasi Struktur Bangunan Rumah Toko Di Medan Akibat Gempa Berulang. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10.1.
- Apriliana, N. R., Gunasti, A., & Kuryanto, T. D. (2020). Evaluasi Percepatan Pembangunan Proyek Rusunawa ASN Pemkab Malang Menggunakan Metode Crashing dengan Sistem Shift Kerja. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 5(1), 1-13.
- Didik, E., Mardjuki, M., & Jumiadi, J. 2015. Analisa pengaruh deformasi plastis terhadap struktur mikro dan kekerasan pada baja St 42. *Transmisi*, 11(1), 19–26. <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jtmt/article/view/4536/pdf>.

B. Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan dari penulis adalah diharapkan dari hasil perhitungan dapat menjadi acuan atau referensi untuk pengecekan kondisi struktur.

- Faisal, A. e. (2018). Pengaruh Faktor Dan Gempa Berulang Yang Mengandung Pulse Terhadap Deformasi SRPM Beton Bertulang. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 10.1.
- Gunasti, A., Rofiqi, A., & Priyono, P. (2019). Penerapan Metode Barchart, CPM, PERT dan Crashing Project dalam Penjadwalan Proyek Pembangunan Gedung G Universitas Muhammadiyah Jember. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 7-12.
- Gunasti, A., Dewi, I. C., & Amartya, A. A. (2022). Porsi Biaya Material Dan Upah Serta Peralatan Pada Pekerjaan Struktur Jembatan. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 7(2), 58-66.
- Ikhsan Maulana, M., Hasan, M., & Afifuddin, M. 2020. Analisis deformasi struktur bangunan aula gedung serbaguna Kabupaten Pidie Jaya akibat gempa Pidie Jaya Desember 2016. *Journal of The Civil Engineering Student*, 2(1), 29–35.
- L, Singer, A. 2013. No Title No Title. *Africa's Potential for the Ecological Intensification of Agriculture*, 53(9), 1689–1699.
- Madra, Y. M. (2003). Encircling the real. *Rethinking Marxism*, 15(3), 316–325. <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>
- Nugroho, F. (2018). Pengaruh Penggunaan Bresing Cross dan Inverted V terhadap Penulangan Kolom Bangunan Gedung Beton Bertulang. *Jurnal Momentum*, 20(2), 94–101. <https://doi.org/10.21063/JM.2018.V20.2.94-101>
- Ofori, D. A., Anjarwalla, P., Mwaura, L., Jamnadass, R., Stevenson, P. C., Smith, P., Koch, W., Kukula-Koch, W., Marzec, Z., Kasperek, E., Wyszogrodzka-Koma, L., Szwerc, W., Asakawa, Y., Moradi, S., Barati, A., Khayyat, S. A., Roselin, L. S.,

- Jaafar, F. M., Osman, C. P., ... Slaton, N. (2020). No Title. *Molecules*, 2(1), 1–12.
- Rifaldo, R., & Wibowo, P. H. (2021). Evaluasi Perhitungan Struktur Proyek Kaliban School 5 Lantai dengan Etabs. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(2), 107.
<https://doi.org/10.37253/jcep.v2i2.734>
- Sw, B., & Nursandah, A. 2016. Pengaruh Bentuk Dinding Geser Terhadap Deformasi Gedung Pada Gempa Zone 5. Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surabaya. 16-22.
- Saputra, A. W., Muhtar, M., & Priyono, P. (2020). Studi Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa (Studi kasus: Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember). *Universitas Muhammadiyah Jember*.
- D. Tesis atau Disertasi**
- Rosyadi, Alfin N. 2022. Studi Pengaruh Akibat Penambahan *Lift Emergency* Pada Gedung Kuliah Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang Terhadap Perilaku Elemen Vertikal. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Jember.