

## Studi Perbandingan Kinerja Seismik Bangunan Struktur Baja dengan Menggunakan *Pushover* dan *Time History*

Imam Abdullah<sup>1)</sup>, Novi Asniar<sup>2)</sup>, Dedi Budiman<sup>3)</sup>

<sup>1, 2, 3)</sup> *Fakultas Teknik, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Kota Tasikmalaya, Indonesia.*  
Email: 2003020022@unper.ac.id<sup>1)</sup>, noviasniar@unper.ac.id<sup>2)</sup>,  
dedibudiman@unper.ac.id<sup>3)</sup>

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v15i1.1190>

(Received: 01 September 2024 / Revised: 03 December 2024 / Accepted: 06 January 2025)

### Abstrak

Suatu bangunan pasti selalu dihadapkan dengan risiko keruntuhan dan kerusakan struktur salah satunya oleh peristiwa gempa. Sejauh ini analisis *pushover* dan analisis *time history* merupakan dua pendekatan yang sering dilakukan dalam mengevaluasi kinerja struktur suatu bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi suatu bangunan warehouse material konstruksi baja di Cikarang melalui dua pendekatan analisis nonlinear sebagai perbandingan hasil kinerja struktur. Metode penelitian ini adalah kuantitatif dengan data analisis yang digunakan adalah data teknis, geometri dan data parameter gempa. Dari hasil analisis *pushover* dan *time history*, didapatkan tingkat kinerja struktur yang sama yaitu termasuk kategori *Immediate Occupancy* (IO) baik untuk *displacement* arah X dan arah Y. Target *displacement* yang didapat dari *pushover* X sebesar 0,092 m dan *pushover* Y 0,069 m. Sedangkan *displacement* maksimum yang didapat dari hasil *time history* arah X berdasarkan rekaman gempa *El Centro* adalah sebesar 0,016 m dan rekaman gempa Pulau Sikuai pada arah Y 0,0047 m.

Kata Kunci: *Gempa, Struktur Baja, Analisis Pushover, Analisis Riwayat Waktu, Kinerja Struktur*

### Abstract

A building must always be faced with the risk of collapse and structural damage, one of which is by earthquake events, so far pushover analysis and time history analysis are two approaches that are often carried out in evaluating the structural performance of a building, this study aims to evaluate a steel construction material warehouse building in Cikarang through two nonlinear analysis approaches as a comparison of structural performance results. This research method is quantitative with the analysis data used are technical data, geometry and earthquake parameter data. From the results of pushover and time history analysis, the same level of structural performance is obtained, namely including the Immediate Occupancy (IO) category for both X-direction and Y-direction displacement. The target displacement obtained from the X pushover is 0.092 m and the Y pushover is 0.069 m. While the maximum displacement obtained from the results of the X pushover is 0.092 m and 0.069 m. While the maximum displacement obtained from the X direction time history results based on the El Centro earthquake recording is 0.016 m and the Sikuai Island earthquake recording in the Y direction is 0.0047 m.

Keywords: *Earthquake, Steel Structure, Pushover Analysis, Time History Analysis, Structure Performance*

## 1. Latar Belakang

Suatu bangunan pasti selalu dihadapkan dengan risiko keruntuhan dan kerusakan struktur, banyaknya ragam faktor yang dapat mempengaruhi serta membebani pada bangunan yang diakibatkan oleh adanya gaya (gaya lateral/gaya gravitasi) menyebabkan terganggunya kestabilan elemen struktur bangunan tersebut. Salah satu pembebanan yang paling berisiko memberikan dampak dengan tingkat fatalitas yang tinggi adalah ketika terjadi bencana alam gempa bumi khususnya yang disebabkan oleh peristiwa gempa bumi akibat tektonik (Chen & Lui, 2006).

Faktor keruntuhan struktur bangunan, terutama bangunan dengan menggunakan material baja sebagai struktur konstruksinya, ini bisa menjadi lebih kritis. Mengingat keuntungan konstruksi baja yang mempunyai kekuatan tinggi akan tetapi lemah terhadap stabilitas, sedangkan beban gempa mengakibatkan ketidakstabilan struktur gedung bertingkat. Menjadikan gedung struktur baja rawan kestabilan terhadap beban gempa (Saputra, 2015) sehingga ketahanan dan kapabilitas deformasinya harus dievaluasi dengan cermat serta diperlukan pemahaman yang mendalam tentang perilaku seismik pada struktur bangunan, dalam merespon terhadap perubahan pembebanan pada struktur serta menilai performa/kinerja struktur tersebut untuk mengantisipasi sebelum terjadinya bencana gempa. Berkaitan dengan kondisi tersebut beberapa penelitian sudah dilakukan terkait analisis kinerja seismik pada struktur bangunan dengan konsep desain berbasis kinerja (performance based, PBD).

Untuk objek dengan struktur baja beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan pada umumnya tidak membandingkan secara langsung mengenai tingkat kinerja struktur yang diamati, diantaranya adalah penelitian Ilham, (2021) mengaplikasikan analisis *pushover* dan *time history* pada analisis kinerja bangunan rangka baja dengan bresing tahan tekuk penelitiannya menunjukkan hasil modal *pushover* dengan nonlinear *time history* pada bangunan 15 lantai yang cukup mirip. Kemudian Mohammad Rosul Zainuddin Malik & Bantot Sutriyono, (2023) menggunakan analisis *pushover* dalam studi perbandingan perilaku gedung struktur baja sistem bresing eksentris tipe *inverted-v* dan sistem bresing konsentris tipe-x terhadap beban gempa. Penelitian yang sama yaitu implementasi analisis *pushover* untuk menentukan perilaku seismik dan tingkat kinerja struktur material baja dilakukan oleh (Setiawan et al., 2023), (Desimaliana et al., 2022) dan (Agus & Wirawan, 2023).

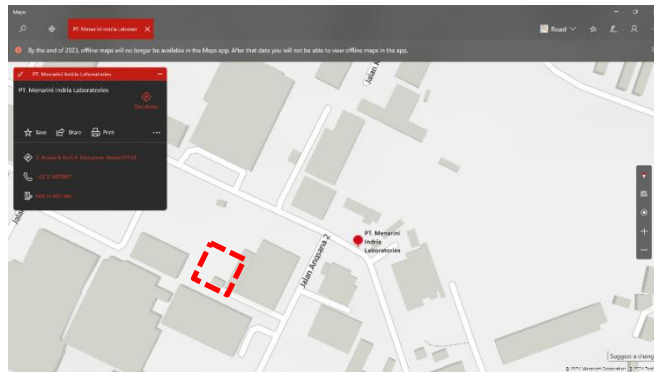
Metode membandingkan dua pendekatan analisis seismik yaitu *pushover* dan *time history* cukup banyak pada bangunan material struktur beton bertulang, diantaranya penelitian oleh Haryono, (2011) (Herdiansah & Yuana, 2012), kemudian Anam et al., (2020) dengan hasil Analisa yang didapat adalah level kinerja dari kedua metode tersebut adalah relatif sama. Sehingga berdasarkan hal tersebut, metode analisis *static nonlinear (pushover)* dan *dynamic nonlinear (time history)* menarik untuk diaplikasikan pada bangunan dengan material struktur yang berbeda, yaitu pada bangunan *warehouse* dengan material struktur baja dalam hal ini merupakan bangunan dari PT. Menarini Indria Laboratories dengan tujuan untuk menganalisis perilaku struktur bangunannya saat terjadi gempa serta membandingkan hasil analisis terhadap tingkat kinerja seismiknya, hal ini berdasarkan pertimbangan material struktur baja yang digunakan mengakibatkan tingkat kritis yang terbilang cukup tinggi dalam faktor keruntuhan struktur

bangunannya. Maka dari itu evaluasi kinerja sangat penting dilakukan terhadap bangunan tersebut. Adapun dalam tahapan penelitiannya pemodelan bangunan dilakukan dengan bantuan *software* dan berdasarkan peraturan SNI 1726:2019 (gempa), SNI 1727:2020 (pembebanan) dan SNI 1729:2020 (baja).

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Lokasi, Waktu dan Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan (oktober 2023 s.d. januari 2024) dengan objek penelitian mengenai bangunan *warehouse* milik perusahaan farmasi PT.Menarini Indria *Laboratories*, yang berlokasi di Jl. Akasia II No.9 A, Sukaresmi, Cikarang, Kab. Bekasi, Jawa Barat, 17530 dengan titik koordinat lokasi garis lintang -6.318083, dan garis bujur 107.126884, dengan bentuk bangunan beraturan (simetris) seperti diperlihatkan pada Gambar 1 dan jenis penelitian berisifat kuantitatif.



Gambar 1 Lokasi bangunan warehouse PT. Menarini Indria *Laboratories*

### 2.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang didapat merupakan data-data perencanaan bangunan *warehouse* tersebut (*shop drawing*) arsitek dan struktur. Data tersebut digunakan untuk pemodelan struktur 3D dengan bantuan *software structure 3D* dilanjutkan ke tahapan analisis pemodelan struktur, asumsi bangunan berdiri di atas tanah sedang berdasarkan pengamatan langsung di lapangan.

### 2.3 Tahapan Studi

Langkah-langkah utama tahapan studi dari penelitian ini meliputi pengumpulan data primer berupa data teknis bangunan, data gambar kerja (DED), data elemen struktur. Kemudian data sekunder berupa data analisis perencanaan, data gempa wilayah.

Tahapan berikutnya Pemodelan struktur; Pembebanan struktur; Analisis *respond spectrum*; Pemodelan analisis *pushover* dan *time history* dilanjut dengan Analisis kinerja struktur *pushover* dan *time history*

### 2.4 Pemodelan Struktur

#### 2.4.1 Deskripsi Bangunan

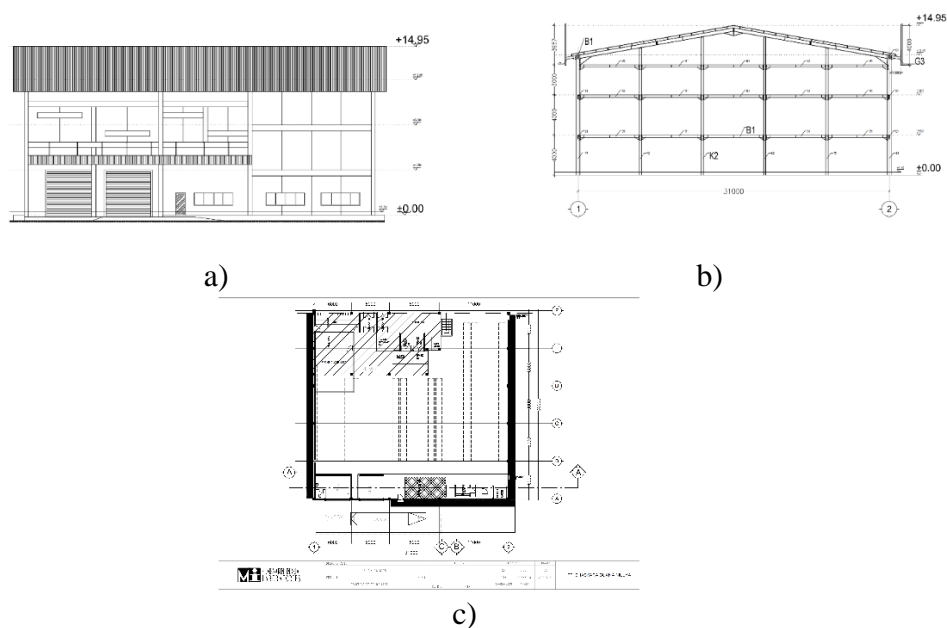
Deskripsi bangunan mengenai data teknis serta perencanaan gambar kerja perencanaannya (*detailed engineering drawing*) bangunan *warehouse* seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data teknis bangunan *warehouse*.

Keterangan	Uraian
Owner	: PT. Menarini Indria <i>Laboratories</i>
Main Contractor	: PT. Bhaskara Buana Mulya
Lokasi objek penelitian	: Jl. Akasia II No.9 A, Sukaresmi, Cikarang, Kab. Bekasi, Jawa Barat, 17530
Koordinat garis lintang	: -6.318083
Koordinat garis bujur	: 107.126884
Fungsi bangunan	: Pabrik
Ukuran bangunan	: 30 x 31 m
Luas bangunan	: ± 930 m <sup>2</sup>
Tinggi bangunan	: ± 14 m1
Material struktur	: Baja

### 2.4.2 Gambar Kerja (DED)

Gambar kerja merupakan gambaran Mengenai data gambar kerja (DED) PT.Menarini Indria *Laboratories* seperti diperlihatkan pada Gambar 2



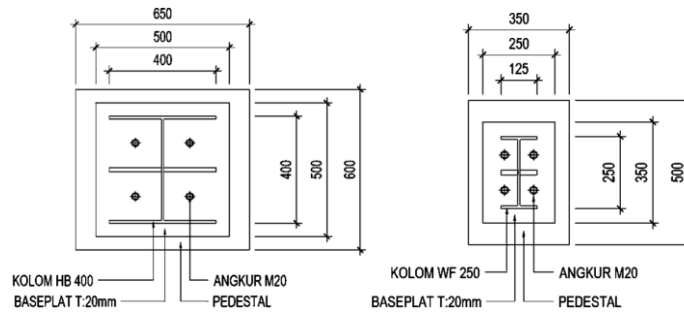
Gambar 2 a) *Facade (shop drawing) warehouse* PT. Menarini Indria Lab; b) Potongan - A (*shop drawing*) bangunan *Warehouse* PT. MIL, c) Denah (*shop drawing*) existing bangunan *warehouse* PT. MIL

### 2.4.3 Data Penampang Kolom

Data penampang kolom yaitu kolom 1 (K1) dan kolom 2 (K2) seperti diperlihatkan pada Tabel 2 dan Gambar 3

Tabel 2 Data teknis elemen struktur kolom bangunan *warehouse*.

Steel structure – Column		
Kolom – 1	K1	HB-400•400•13•21 mm
Kolom – 2	K2	WF-250•125•6•9 mm



Gambar 3 Kolom-1 dan kolom-2, (H beam dan WF beam)

## 2.5 Kombinasi Pembebanan

Pada dasarnya struktur bangunan harus direncanakan dengan memasukan pembebanan yang digabung menjadi kombinasi beban layan (gaya gravitasi) dan beban gempa (gaya lateral) yang mungkin terjadi, Adapun ketentuan yang mengatur mengenai kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726-2019. Dalam penelitian ini kombinasi pembebanan disesuaikan dengan peraturan yang berlaku, di mana metode kombinasi pembebanan yang digunakan adalah metode ultimit, karena umumnya metode ini digunakan untuk pembebanan pada elemen struktur atas (kolom, balok, pelat) pada konstruksi bangunan sehingga mendasari digunakannya kombinasi pembebanan metode ultimit ini.

## 2.6 Analisis Respond Spectrum

*Respond spectrum* adalah metode analisis berupa pendekatan yang menggunakan nilai percepatan tanah maksimum akibat gempa yang mungkin terjadi berdasarkan riwayat gempa yang pernah terjadi (Erick & Susilo, 2022).

Response spectrum adalah spektrum yang ditampilkan dalam bentuk kurva antara periode struktur ( $T$ ), dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Persamaan spektrum respons Untuk  $T < T_0$ , nilai spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) ditentukan oleh persamaan berikut:

$$S_a = SDS \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (1)$$

Untuk  $T_0 \leq T < T_{S1}$ , nilai spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) adalah sama dengan nilai SDS ditentukan oleh persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2)$$

Untuk  $T_S \leq T < T_L$ , nilai spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) ditentukan oleh persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_1}{T^2} \quad (3)$$

Untuk rumus  $T_0$  dan  $T_s$ , sebagai berikut:

$$T_0 = \left( 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) \quad (4)$$

$$T_S = \left( \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) \quad (5)$$

di mana:

$T$  = Periode getar fundamental struktur

$T_L$  = Peta transisi periode panjang

Fokus dari analisis *response spectrum* adalah pada tanggapan spektrum akselerasi tanah yang dihasilkan oleh gempa bumi, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk memperkirakan *respons* strukturnya. Berikut data parameter beban gempa yang dihasilkan melalui program *Response Spectrum Analysis* (RSA) Ciptakarya sesuai dengan SNI 1726-2019 yang dijelaskan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Data parameter beban gempa untuk analisis *response spectrum*.

Uraian	Keterangan		
Lokasi	:	Kec. Cikarang, Kab. Bekasi (-6,318 & 107,1268)	
Kelas situs	:	Tanah Sedang	SD Data
Acuan ketentuan	:	ASCE 7-16	Referensi
	:	SNI 1726:2019	
Kategori risiko bangunan	:	II (bangunan pabrik)	Tabel 2.5
Faktor keutamaan gempa	:	1,0	$I_e$ Tabel 2.6
Parameter percepatan gempa	:	0,8117•g	$S_s$ RSA Ciptakarya
	:	0,3821•g	$S_1$ RSA Ciptakarya
Parameter faktor amplifikasi	:	1,175	$F_a$ Tabel 2.8
	:	1,917	$F_v$ Tabel 2.9
Koef. Situs & parameter <i>resp spectrum</i>	:	0,954	$S_{ms}$ $F_a \cdot S_s$
	:	0,732	$S_{m1}$ $F_v \cdot S_1$
Parameter percepatan <i>spectrum</i> desain	:	0,636	$S_{DS}$ $(2/3) \cdot F_a \cdot S_s$
	:	0,488	$S_{D1}$ $(2/3) \cdot F_v \cdot S_1$
<i>Resp. spectrum</i> percepatan desain	:	0,153	$T_0$ $0.2 \cdot S_{D1} / S_{DS}$
	:	0,768	$T_s$ $S_{D1} / S_{DS}$
<i>Resp. spectrum</i> percepatan desain	:	0,2544	$S_a$ $T < T_0$
	:	0,636	$S_a$ $T < T_0 < T_s$
	:	0,2544	$S_a$ $T_0 > T_s$
Kategori desain seismik	:	II - D	Tabel 2.10
	:	II - D	Tabel 2.11
Sistem pemikul gaya seismik	:	SPRMK/SPRMM	Tabel 2.12

## 2.7 Analisis Static Nonlinear (Pushover)

Pushover merupakan analisis yang menampilkan bagaimana tahapan keruntuhan serta mengetahui perilaku deformasi plastis dengan pemberian beban dorong statik pada elemen struktur secara horisontal yang besar bebannya ditingkatkan bertahap sampai struktur tersebut mencapai target perpindahan atau keruntuhan tertentu, Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis (Mamesah et al., 2014). Hasil *pushover* yaitu mengenai *performance level* yang terbagi dalam tingkat kerusakan bangunannya di mana nilai *performance level* ditentukan berdasarkan peraturan ATC-40 (*Capacity Spectrum*), FEMA 356 (*Displacement Coefficient*) dan FEMA 440 (*Coefficient Modified*) ditampilkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 *Performance Level* berdasarkan ATC-40

Batas simpangan antar lantai	Tingkat kinerja struktur ( <i>performance level</i> )			
	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<i>Damage Control (DC)</i>	<i>Life safety (LS)</i>	<i>Structure Stability (SS)</i>
<i>Maximum total drift</i> (simpangan antar lantai)	0,01	0,01-0,02	0,02	$0,33 \frac{v_t}{\pi}$
<i>Maksimum inelastic drift</i> (simpangan plastis maks.)	0,005	0,005-0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Tabel 5 *Performance Level* berdasarkan FEMA 356 & FEMA 440

Level desain gempa	Tingkat kinerja struktur ( <i>performance level</i> )			
	<i>O</i>	<i>IO</i>	<i>LS</i>	<i>CP</i>
	<i>Level (1-A)</i>	<i>Level (1-B)</i>	<i>Level (3-C)</i>	<i>Level (5-E)</i>
72 Tahun (50% DBE)		X	X	X
225 Tahun (70% DBE)			X	X
474 Tahun (DBE)				X
2475 Tahun (MCE)				X
<i>Drift (Simpangan)</i>	0 – 0,005	0,005 – 0,01	0,01 – 0,02	0,02 – 0,04

*Kala Ulang*

Faktor keutamaan IV, III, I, II

Untuk menganalisis hasil evaluasi kinerja seismik bangunan *warehouse* berdasarkan ATC-40 (*Capacity Spectrum Method*) dengan nilai yang didapatkan berdasarkan hasil analisis *software* serta persamaan rumus (6) dan perasamaan rumus (7).

Simpangan total maksimum (*Maximum total drift*)

$$\frac{D_t}{H} \tag{6}$$

Simpangan inelastis maksimum

$$\frac{D_t - D_1}{H} \tag{7}$$

Hasil evaluasi kinerja seismik bangunan *warehouse* berdasarkan FEMA 356 (*Displacement Coefficient*) dengan nilai yang didapatkan berdasarkan hasil analisis *software* serta persamaan rumus (8) Tabel 9

$$\delta_T = C_0 \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times S_a \times \left(\frac{T_e}{2, \pi}\right)^2 \times g r v \tag{8}$$

Dalam peraturan SNI 1726:2019 yang mengatur pada penelitian ini bahwa bangunan *warehouse* termasuk kedalam kategori struktur lainnya dengan kategori risiko II, maka persamaan yang digunakan adalah,

$$0,020 \cdot H \tag{9}$$

Berdasarkan persamaan 9 didapat Hasil akhir simpangan izin

$$0,020 \cdot 14 \text{ m} = 0,280 \text{ m}$$

## 2.8 Analisis Dynamic Nonlinear (NL-Time History)

Metode *time history* adalah metode analisis untuk menentukan beban dinamis yang memiliki waktu lama atau pendek seperti *water hammer*, gempa bumi, dan lain-lain. Beban dinamis adalah gaya yang bekerja (eksitasi) pada struktur sistem perpipaan yang bervariasi terhadap waktu (Mamesah et al., 2014). Dalam analisis *NL-Time History* ini penelitian dilakukan dengan menggunakan catatan data rekaman gempa yang pernah terjadi di beberapa negara yang diperoleh melalui

PEER *Ground Motion Database* NGA – West 2 dalam (Davis Hall, University of California, n.d.) dan sumber rekaman gempa lainnya diperoleh melalui situs *Center for Engineering Strong Motion Data*.

Percepatan gempa rencana (akselerogram) pada analisis *time history* penelitian ini, *ground motion* yang digunakan sudah sesuai dengan peraturan SNI 1726-2012, Pasal 11.1.3 dan Pasal 11.2.3 dengan menggunakan kurva *response spectrum* daerah Bekasi sebagai *spectralmatching* dengan rekaman yang digunakan (*ground motion*) berdasarkan rekaman gempa *El-Centro*, Kobe, Chi-chi, dan rekaman gempa Pulau Sikuai *Southern Sumatera*. Berikut detail rekaman gempa sebagaimana pada Tabel 6.

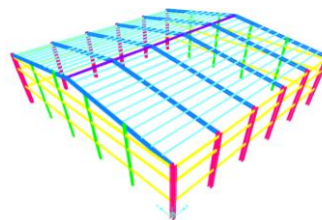
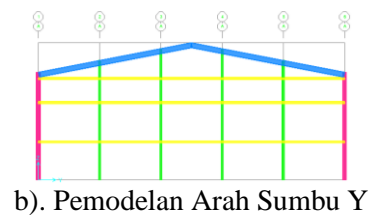
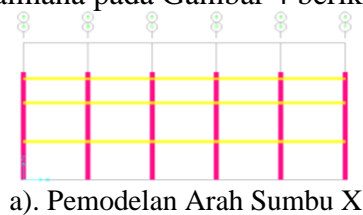
Tabel 6. Rekaman Gempa yang Digunakan

No	Event	Stasiun	Tahun	SR
1	<i>El-Centro</i>	California	1940	7,1
2	Kobe	Jepang	1995	7,2
3	Chi-Chi	Taiwan	1999	7,6
4	Pulau Sikuai	Indonesia	2007	6,4

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini *software structure* 3D membantu menampilkan pemodelan mengenai bentuk serta gambaran bangunannya, menampilkan elemen struktur yang digunakan, mendefinisikan mutu material, serta memberikan hasil analisis yang nantinya dapat dilanjutkan ke dalam analisis perhitungan untuk mencapai tujuan penelitian yaitu tingkat kinerja struktur (*performance level*) pada bangunan *warehouse* PT. Menarini Indria *Laboratories*. Berdasarkan data teknis bangunan meliputi spesifikasi material dan elemen struktur maka didapat hasil pemodelan struktur bangunan *warehouse* PT. Menarini Indria *Laboratories* sebagaimana pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4 Hasil Pemodelan Struktur Menggunakan *Software Structure* 3D

#### 3.2 Pembebanan Struktur

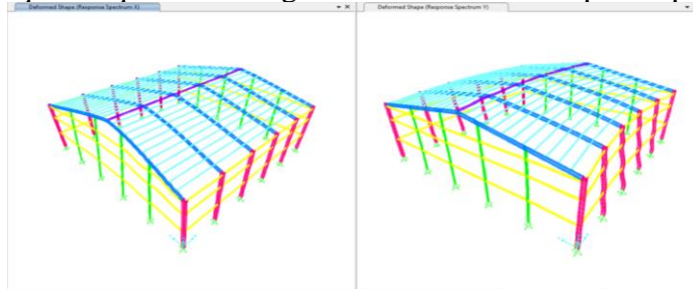
Tahapan lanjutan setelah pemodelan adalah dengan memasukan seluruh pembebanan ke dalam *software structure* 3D, mengenai beban gravitasi serta beban lateral pada bagian elemen struktur yang mungkin menerima beban. Kemudian



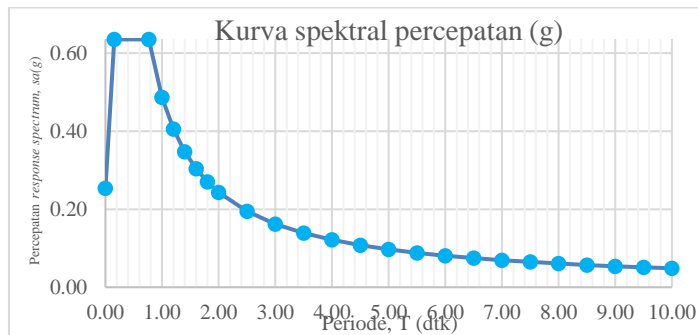
setelah pembebanan pada elemen strukturnya dilanjut dengan memasukan kombinasi pembebanan dari kedua jenis beban tersebut dengan berdasarkan acuan ketentuan SNI 1727-2020 (mengenai pembebanan) , SNI 1726-2019 (gempa) serta PPURG 1987.

### 3.3 Hasil Analisa *Respond Spectrum*

Dalam analisis *response spectrum* menggunakan program RSA Ciptakarya, kurva response spectrum dihasilkan berdasarkan percepatan dan periode waktu dari data koordinat wilayah objek penelitian. Hasil analisis *response spectrum* dengan parameter beban gempa ditampilkan pada Tabel 3, yang kemudian digunakan sebagai input dan dijalankan pada perangkat lunak Structure 3D. Beberapa keluaran dari analisis *response spectrum* dengan *Structure 3D* ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Bentuk deformasi *response spectrum* (*Software structure*)



Gambar 6 Luaran analisis kurva *response spectrum* (*Software structure*)

Pada Gambar 6 merupakan luaran analisis kurva *response spectrum* diketahui bahwa nilai spektral percepatan tertinggi adalah pada PSA 0,635 g pada rentang periode 0,15 sampai 0,77 detik. Berdasarkan pembebanan sesuai luaran *response spectrum* pada kurva spektral percepatan pada Gambar 6 didapat hasil displacement seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 Luaran *displacement story response*.

(story)	Load case	$\delta_{ex}$		Load case	$\delta_{ey}$	
		mm	m		mm	m
1	Response spectrum X	5,72	0,005	Response spectrum Y	1,17	0,001
2		10,28	0,010		2,04	0,002
3		13,03	0,013		4,45	0,002

Sehingga berdasarkan hasil *displacement story* tersebut didapat hasil simpangan antar lantai nya seperti diperlihatkan padaq Tabel 8.

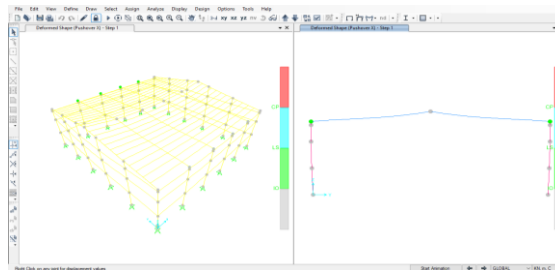
Tabel 8 Hasil analisis simpangan antar tingkat *response spectrum*.

Story	Displacement		Elastic Drift		Height H	Plastic Drift		Drift Limit	Cek
	$\delta_{ex}$ (mm)	$\delta_{ey}$ (mm)	$\delta_{ex}$ (mm)	$\delta_{ey}$ (mm)		$\Delta_X$ (mm)	$\Delta_Y$ (mm)		
3	13,03	4,45	2,75	2,41	2500	15,12	2,25	38,46	Ok
2	10,28	2,04	4,56	0,87	4000	25,08	4,78	61,53	Ok
1	5,72	1,17	5,72	1,17	4000	31,46	6,43	61,53	Ok

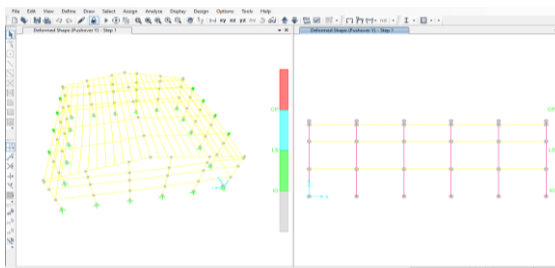
### 3.4 Hasil Analisa Pushover

#### 3.4.1 Sendi Plastis

Adapun hasil analisis *software structure* 3D mengenai deformasi akibat adanya beban dorong dari sendi plastis (*hinge*) yang diberikan kedalam elemen struktur, hasilnya seperti diperlihatkan pada Gambar 7, 8 dan Gambar 9.

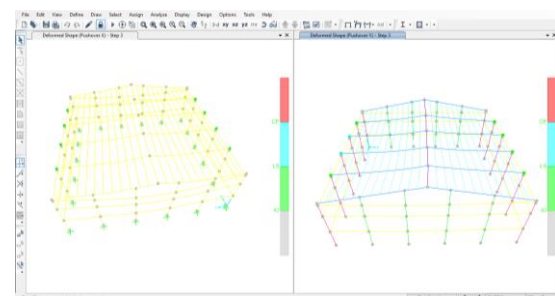


Gambar 7 Luanan sendi plastis (*hinge*) step-1 (*Software structure* 3D)



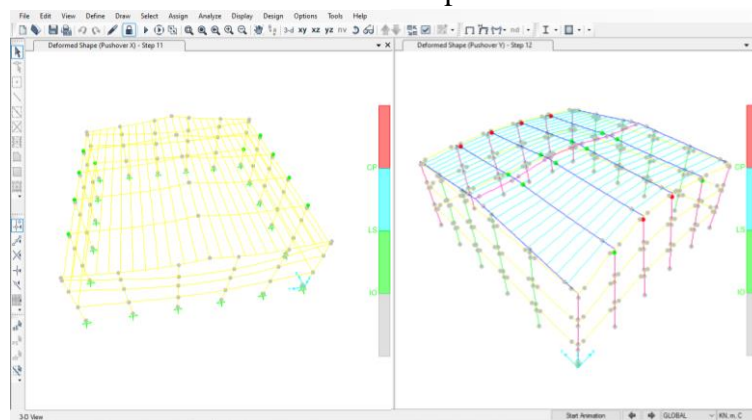
Gambar 8 Luanan sendi plastis (*hinge*) step-2 (*Software structure* 3D)

Pada *step* 1 pemberian beban dorong (*pushover*) pada titik pertemuan struktur bangunan (*pushover* arah Y) sebagaimana pada Gambar 7, dan pada *step* 2 (*pushover* arah X) sebagaimana pada Gambar 8 menghasilkan level kerusakan bangunan IO dan LS yang mengindikasikan struktur masih mampu menahan beban tanpa kerusakan yang signifikan.



Gambar 9 Luanan sendi plastis (*hinge*) step-3 (*Software structure* 3D)

Pada step 3 sebagaimana pada Gambar 9 beban dorong berlanjut mengakibatkan sendi plastis mulai menunjukkan indikasi level collapse prevention hal ini juga menandai awal dari kondisi kritis pada struktur.



Gambar 10 Luaran sendi plastis (*hinge*) maximum (Software structure 3D)

Selanjutnya pada Gambar 10 merupakan luaran dari step 11 pembebanan di mana dapat terlihat sendi plastis atau struktur mencapai batas maksimum kapasitasnya, hal ini menunjukkan potensi kegagalan total jika beban terus meningkat.

### 3.4.2 Titik Kinerja (*Performance Point*)

*Performance point* adalah titik untuk mengetahui kapasitas dari suatu bangunan (Khairiyah Nasty & Afifuddin, 2020). Berdasarkan hasil analisis *pushover* pemberian beban dorong pada sendi plastis bangunan *warehouse* maka nilai titik kinerja struktur yang didapat dengan menggunakan metode ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440, dengan nilai simpangan antar lantai (*total drift*) yang dihasilkan serta *performance level* untuk *pushover* arah sumbu X dan arah sumbu Y pada masing-masing metode berikut ini sebagaimana disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9 Tingkat kinerja struktur (*performance level*)

Keterangan	ATC-40		FEMA 356		FEMA 440	
	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu X	Sumbu Y
Target perpindahan	0,061 m	0,061 m	0,092 m	0,069 m	0,092 m	0,069 m
Total Drift	0,0043 m	0,0043 m	0,006 m	0,005 m	0,006 m	0,005 m
Plastic Drift	0,004 m	0,004 m	0,004 m	0,003 m	0,004 m	0,003 m
Tingkat kinerja struktur	(IO)		(IO)		(IO)	

Tabel 10 Rekapitulasi simpangan izin hasil analisis *pushover*

Arah	Keterangan	ATC-40	FEMA 356/440	Batas izin (SNI 1729:2019)	Cek
X	<i>displacement</i>	0,061 m	0,092 m	0,280 m	Ok
Y		0,044 m	0,069 m	0,280 m	Ok

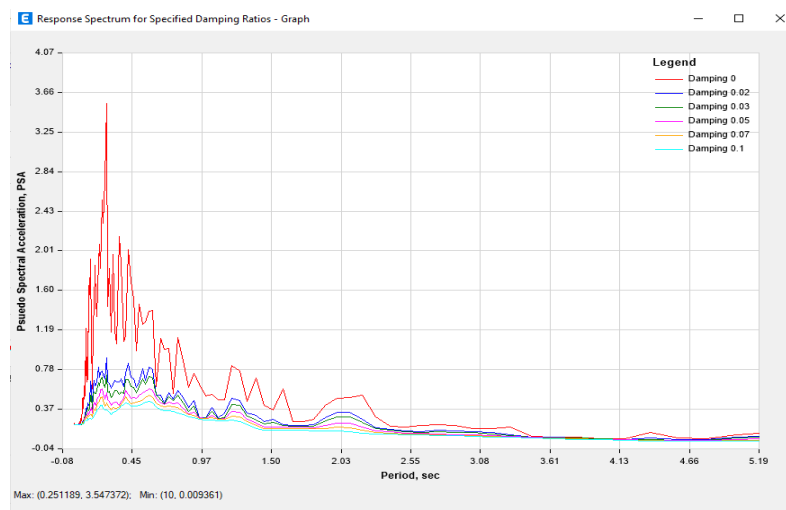
Bedasarkan hasil analisis *pushover* simpangan izin dari arah sumbu X dan Y memenuhi batas izin sesuai SNI 1726:2019. Kemudian hasil menunjukkan Target perpindahan terbesar diantara perbandingan ketiga metode dengan analisis *pushover* arah X sebesar  $\delta_t = 0,092$  m dan *pushover* pada arah Y sebesar  $\delta_t = 0,069$  m berdasarkan hasil dari FEMA 356 Kinerja struktur tersebut berada diantara batas *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Hasil tersebut terkonfirmasi dengan beberapa penelitian serupa diantaranya (Wiryadi et al., 2022), (Mayta Riana & Awaluddin, 2023) dan (Reza P et al., 2024) yang menunjukkan kinerja struktur yang sama sehingga menguatkan analisis *pushover* sesuai SNI 1726:2019 dan FEMA 356 efektif dalam mengevaluasi tingkat kinerja struktur bangunan terhadap beban gempa.

### 3.5 Hasil Analisa *Time History*

Berdasarkan data rekaman gempa sebagaimana pada Tabel 6, maka pada tahapan ini dilakukan proses penentuan dan memasukan data rekaman gempa untuk kemudian dilakukan proses pendefinisian pembebanan analisis *time history*.

#### 3.5.1 *Spectral Matching*

Dilakukan proses *spectral matching* pada rekaman gempa Chi-Chi, *El-Centro*, Kobe dan Pulau Sikuai dengan *respond spectrum* Kecamatan Cikarang Kabupaten Bekasi.



Gambar 11 Kurva *Response Spectrum* Rekaman Gempa *Spectralmatching*

Pada Gambar 11 merupakan kurva hasil pencocokan (*Spectral matching*) antara data rekaman gempa aktual yaitu rekaman gempa *El-Centro*, Kobe, Chi-chi, dan rekaman gempa Pulau Sikuai Southern Sumatera, dengan data *response spectrum* pada lokasi wilayah gempa yang ditinjau.

#### 3.5.2 Hasil *Displacement*

Berdasarkan hasil *spectral matching* dan pendefinisian pembebanan yang telah di input kedalam *software structure* didapat hasil *displacement* berdasarkan hasil dari luaran tingkat kinerja struktur pada masing-masing rekam gempa yang digunakan. Hasil *deplacement* yang didapat dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Rekapitulasi hasil analisis *time history*

Story	Displacement							
	Chi-chi		El Centro		Kobe		Pulau Sikuai	
	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$	$\delta_{eX}$	$\delta_{eY}$
<i>rafter</i>	0,162	0,058	0,388	0,054	0,185	0,059	0,179	0,063
3	0,011	0,0022	0,016	0,0023	0,012	0,0032	0,012	0,0047
2	0,009	0,0018	0,012	0,0019	0,009	0,0027	0,009	0,0039
1	0,005	0,0010	0,007	0,0011	0,005	0,0015	0,005	0,0022

Berdasarkan hasil analisis *time history* yang disesuaikan dengan peraturan SNI 1726-2019 didapatkan hasil kinerja batas layan dan batas ultimit masih aman untuk semua akselerogram gempa yang digunakan. *Displacement* terbesar berdasarkan masing-masing rekaman gempa disimpulkan bahwa pengaruh rekaman gempa *El Centro* pada analisis *time history* arah X merupakan nilai terbesar dari rekaman gempa lainnya dengan nilai  $\delta_x = 0,016$  m pada *joint object-133*, hasil tersebut sejalan dengan beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa akselerogram *El Centro* sering menghasilkan displacement yang lebih tinggi karena karakteristiknya yang lebih intens dibanding rekaman gempa lainnya diantaranya penelitian oleh (Listyorini et al., 2015) dan (Simbolon et al., 2023). sedangkan pengaruh pada arah Y nilai displacement terbesar terjadi pada rekaman gempa Pulau Sikuai sebesar  $\delta_x = 0,0047$  m berdasarkan *joint object-133*.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis disimpulkan bahwa analisis *pushover* menunjukkan perpindahan terbesar pada arah X sebesar 0,092 m dan arah Y sebesar 0,069 m. Sedangkan untuk analisis *time history*, perpindahan terbesar dihasilkan oleh rekaman gempa *El Centro* untuk arah X (0,016 m) dan gempa Pulau Sikuai untuk arah Y (0,0047 m) pada *joint object - 133*.

Untuk tingkat kinerja struktur kedua metode menunjukkan berada pada kondisi *Immediate Occupancy* (IO), dengan kinerja struktur berada diantara batas IO dan LS berdasarkan FEMA 356. Sehingga dari hasil perpindahan yang didapat untuk analisis *pushover* lebih besar dibandingkan analisis *time history*, meskipun selisihnya tidak signifikan.

##### 4.2 Saran

Adanya keterbatasan pada *software* menjadikan pemodelan secara keseluruhan tidak sama persis dengan kondisi aktual bangunannya, adapun kesamaan pemodelan antara bentuk bangunan yang dimodelkan diantaranya mengenai dimensi geometri bangunan, ketinggian bangunan, serta elemen strukturnya, sehingga perlunya studi yang lebih mendalam terhadap kemampuan struktur bangunan dengan pertimbangan aspek teknis.

#### Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT.Menarini Indria Laboratories dan PT. Bhaskara Buana Mulya yang telah mendukung dan membantu dalam memberikan data maupun informasi untuk tujuan penelitian ini

### Daftar Kepustakaan

- Agus, I. P., & Wirawan, P. (2023). Performance Analysis of Tall Building With Diagrid As an. 12(1), 112–120.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building (FEMA 356). Federal Emergency Management Agency, November, 1–518.
- Anam, S., Sutriyono, B., & Trimurtiningrum, R. (2020). Studi Perbandingan Kinerja Gedung Beton Bertulang SRPMK 6 Lantai Dengan Menggunakan Metode Pushover dan Nonlinear Time History Analysis. Jurnal “MITSU” Media Informasi Teknik Sipil, 8(1), 33–41.
- Chen, W. F., & Lui, E. M. (2006). Earthquake Engineering For Structural Design. In CRC Press (Vol. 01).
- Davis Hall, University of California, B. (n.d.). PEER Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center. [https://ngawest2.berkeley.edu/users/sign\\_in?unauthenticated=true](https://ngawest2.berkeley.edu/users/sign_in?unauthenticated=true)
- Desimaliana, E., Diredja, N. V., & Syahputra, R. (2022). Analisis Pushover terhadap Ketidakberaturan Horizontal pada Struktur Gedung Baja Komposit. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 8(2), 118. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v8i2.118>
- Erick, K., & Susilo, A. J. (2022). Studi Parametrik Dengan Respons Spektrum Terhadap Deformasi Dinding Diafragma Pada Basement Dengan Metode Elemen Hingga. JMITS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 5(2), 359–372. <https://doi.org/10.24912/jmits.v5i2.16659>
- FEMA 440. (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Federal Emergency Management Agency, June, 392.
- Haryono, S. (2011). Kajian Penggunaan Nonlinear Static Pushover Analysis dengan Metoda ATC-40, FEMA 356, FEMA 440 dan Perilaku Seismik Inelastic Time History Analysis Untuk Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Pasca Gempa. 14(5), 1–23.
- Herdiansah, Y., & Yuana, P. S. (2012). Studi Komparasi Analisis Inelastis Dinamik Riwayat Waktu dan Statik Pushover Terhadap Kinerja Struktur (pp. 1–11).
- Ilham. (2021). Analisis Kinerja Bangunan Rangka Baja dengan Bresing Tahan Tekuk terhadap Beban Gempa. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 6(2), 98. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v6i2.98>
- Khairiyah Nasty, S., & Afifuddin, M. (2020). Kinerja Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Pushover. Journal of The Civil Engineering Student, 2(3), 274–280.
- Listyorini, Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2015). Evaluasi Kinerja Sstruktur Gedung Dengan Analisis Time History (Studi Kasus : Gedung Rumah Sakit Bethesda Yogyakarta). Matriks Teknik Sipil, 1047–1055.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. Jurnal Sipil Statik, 2(4), 214–224.
- Mayta Riana, Y., & Awaluddin, A. (2023). Analisis Pushover Struktur Gedung Bangsal Ibu Dan Anak Rumah Sakit Sardjito Yogyakarta Berdasarkan Atc-40, Fema-356, Dan Fema-440 Yoakima Mayta Riana, Ir. Ali Awaluddin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU., ACPE.

- Mohammad Rosul Zainuddin Malik, & Bantot Sutriyono. (2023). Studi Perbandingan Perilaku Gedung Struktur Baja Sistem Bresing Eksentris Tipe Inverted-V Dan Sistem Bresing Konsentris Tipe-X Terhadap Beban Gempa. *Journal of Scientech Research and Development*, 5(2), 714–730. <https://doi.org/10.56670/jsrd.v5i2.247>
- PU, D. (1987). Pedoman Perencanaan Pembebanan Rumah dan Gedung.
- Reza P, B., Kurniawan S, A., & Agung W, M. (2024). Dengan Metode Analisis Pushover An Evaluation Of Structural Performance Of The Faculty Of Mathematics And Natural Sciences Building At Jenderal Soedirman University Against Earthquake Using Pushover Analysis Method. 5(2), 73–78.
- Saputra, A. W. (2015). Studi Perencanaan Struktur Baja Tahan Gempa (Studi kasus : Gedung Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Jember). *Teknik Sipil*, 151, 10–17.
- Seismic Safety Commision, C. (1999). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Vol 1. IEE Colloquium (Digest), 1(118), 7–12. <https://doi.org/10.1049/ic:19990660>
- Setiawan, A., Hasan, M., & Saidi, T. (2023). Perkuatan Seismik Struktur Gedung Berlantai Tujuh Menggunakan Sistem Bresing Baja. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 113. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.857>
- Simbolon, S. C. R., Tampubolon, S. P., & Mulyani, A. S. (2023). Performance Analysis of Horizontal Irregular Buildings Based on Respons Spektrum and Time History Methode. *Jurnal PenSil*, 12(3), 363–374. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v12i3.37850>
- SNI 1726:2019. (2019). Sni 1726:2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung, 8, 254.
- SNI 1727:2020. (2020). Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain 1727:2020. Badan Standar Nasional 1727:2020, 8, 1–336.
- SNI 1729:2020. (2020). SNI 1729 Tahun 2020 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Badan Standar Nasional 1729:2020, 8, 311.
- Wiryadi, I. G. G., Wirawan, I. P. A. P., Tubuh, I. K. D. K., & Candra, I. M. A. (2022). Level Kinerja Struktur Gedung Fakultas Pariwisata Universitas Udayana Berdasarkan Fema 356 Dan Atc-40. *Jurnal Teknik Gradien*, 14(1), 25–34. <https://doi.org/10.47329/teknikgradien.v14i1.832>