

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

5.1.1 Data Gedung

Tabel 5. 1 Data Umum Gedung

Nama Bangunan	Puskesmas Gunungsari
Lokasi	Jl. Tentara Pelajar No. 75, Kel. Pekiringan, Kec. Kesambi, Kota Cirebon
Fungsi Bangunan	Fasilitas Kesehatan
Panjang Bangunan	33 m
Lebar Bangunan	18 m
Jumlah Lantai	3 lantai
Tinggi Antar Lantai	4 m; 4 m; 4 m
Tinggi Total Bangunan	13,1 m

Sumber: *Design Engineering Detail*

Tabel 5. 2 Data Material

Nama Material	Spesifikasi Material
Beton K-250	Kuat tekan beton (f_c') = 20.75 MPa
	Massa jenis = 2400 Kg/m ³
	Modulus elastisitas = 23500 MPa
Baja Tulangan Ulir BJTS 420B	Massa jenis = 7850 Kg/m ³
	Modulus elastisitas = 200000 MPa
	Kuat leleh (f_y) = 420 MPa
	Kuat tarik (f_u) = 525 MPa
Baja BJ37	Massa jenis = 7850 Kg/m ³
	Modulus elastisitas = 200000 MPa
	Kuat leleh (f_y) = 240 MPa
	Kuat tarik (f_u) = 370 MPa
Baja Ringan	Massa jenis = 7850 Kg/m ³
	Modulus elastisitas = 200000 MPa
	Kuat leleh (f_y) = 550 MPa
	Kuat tarik (f_u) = 550 MPa

Sumber: *Design Engineering Detail*

Tabel 5. 3 Dimensi Elemen Struktur

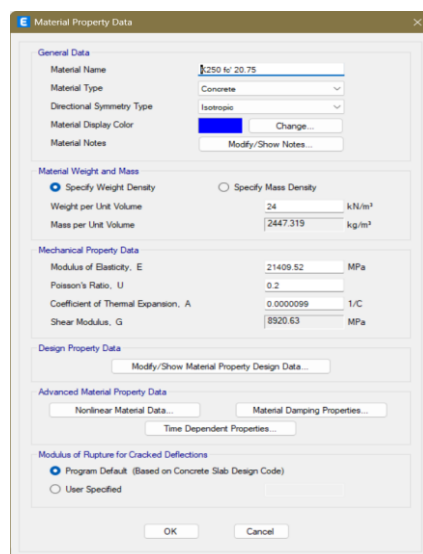
Elemen Struktur	Keterangan
Kolom	HB 250×250×9×14
	HB 200×200×8×12
	HB 150×150×7×10
Balok	WF 350×175×7×11
	WF 350 HCO 525×175×7×11
	WF 300×150×6,5×9
	WF 250×125×6×9
	WF 200×100×5,5×8
Pelat Lantai	S1 (t = 15 cm)
	S2 (t = 12 cm)
Kuda- Kuda	C 75×35, t = 1 mm
Reng	R4 tebal 0,60 mm

Sumber: *Design Engineering Detail*

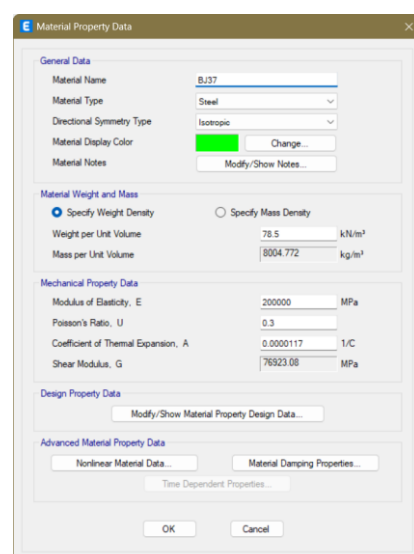
5.1.2 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan program ETABS v22. Proses pemodelan diawali dengan mendefinisikan elemen-elemen struktur, seperti balok, pelat, kolom, dan atap. Data elemen struktur yang digunakan disesuaikan dengan data eksisting yang diperoleh dari lapangan.

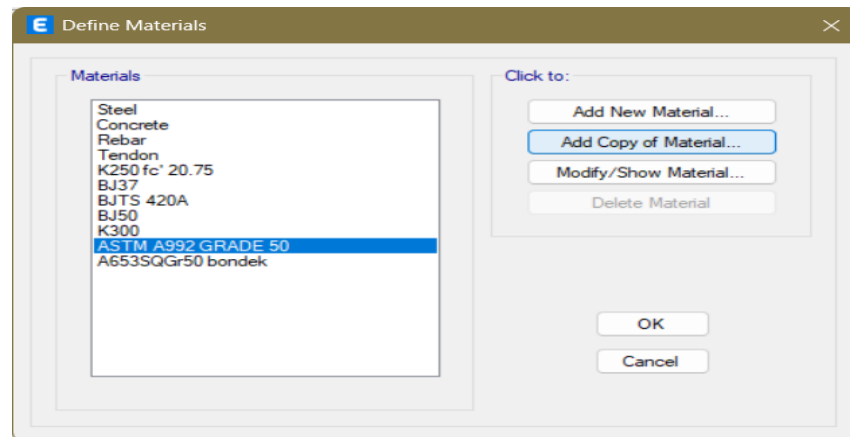
1. Mendefinisikan material dengan menggunakan *Define – Materials Properties– Add New Material*



Gambar 5. 1 Material Beton
Sumber: ETABS v22

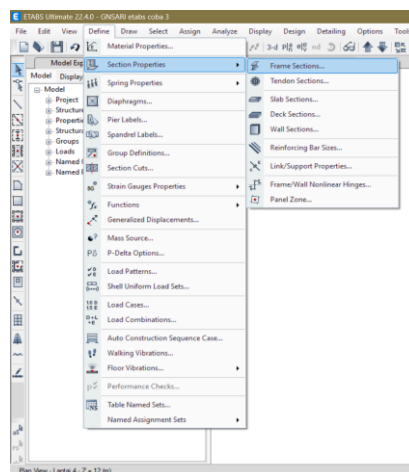
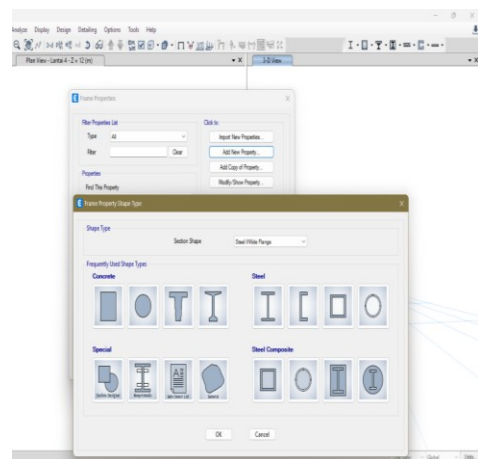
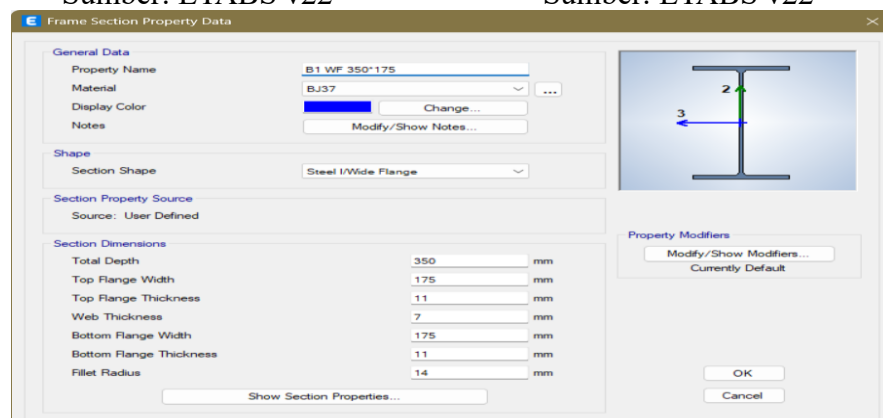


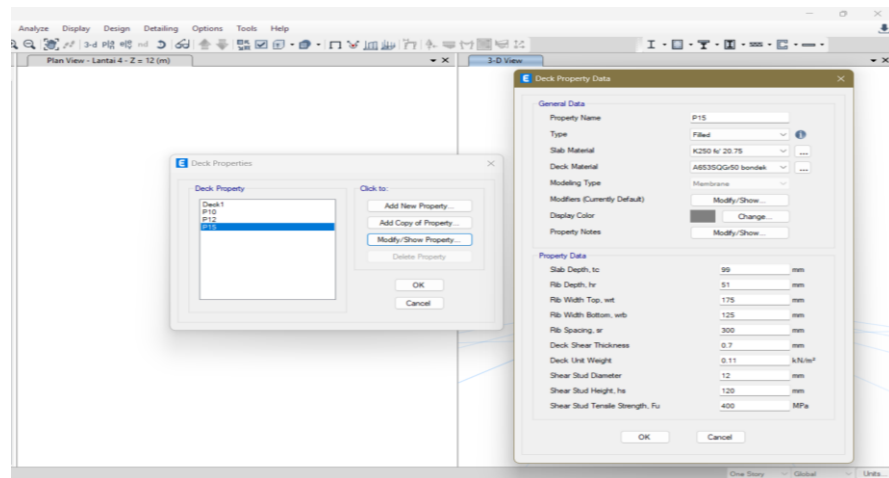
Gambar 5. 2 Material Baja
Sumber: ETABS v22

Gambar 5. 3 *Define Materials*

Sumber: ETABS v22

2. Mendefinisikan elemen kolom, balok, pelat, kuda-kuda dan reng dengan langkah *Define – Section Properties– Frame Section/Deck Section*.

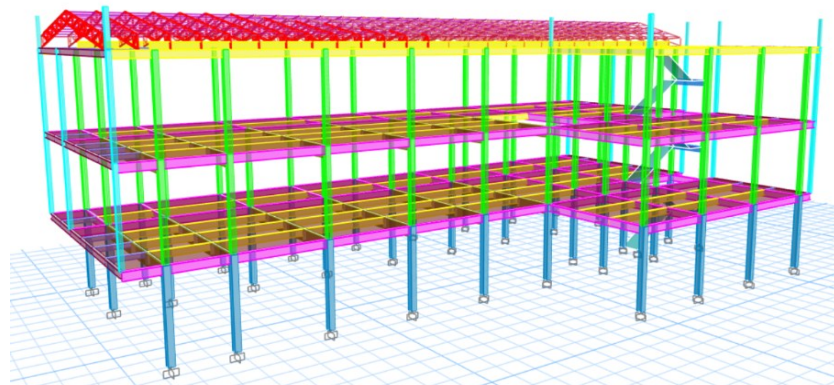
Gambar 5. 4 *Section Properties*
Sumber: ETABS v22Gambar 5. 5 *Frame Section*
Sumber: ETABS v22Gambar 5. 6 *Frame Section Property Data*
Sumber: ETABS v22



Gambar 5. 7 Deck Property Data

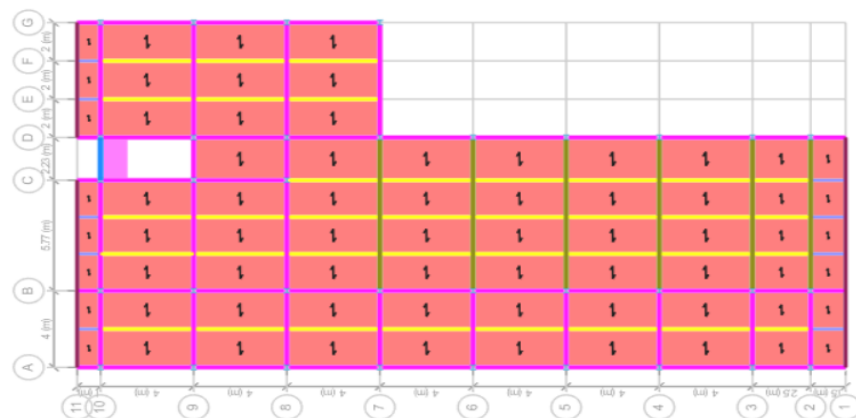
Sumber: ETABS v22

Setelah pemodelan seluruh elemen struktur selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah menyusun model gedung tiga dimensi (3D) pada program ETABS v22.



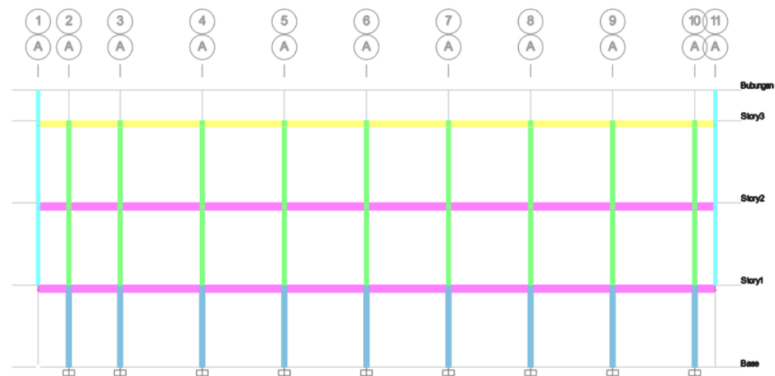
Gambar 5. 8 Tampak 3D Gedung Puskesmas Gunungsari

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

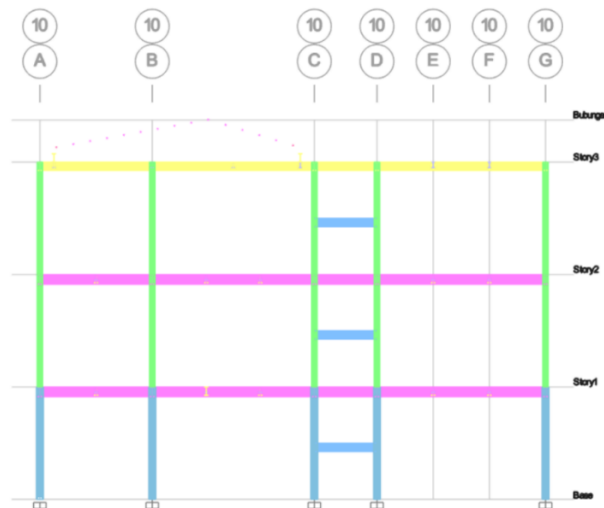


Gambar 5. 9 Tampak X-Y Gedung Puskesmas Gunungsari

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 10 Tampak Y-Z Gedung Puskesmas Gunungsari
Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 11 Tampak X-Z Gedung Puskesmas Gunungsari
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

5.1.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yang diperhitungkan dalam penelitian ini meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban hujan, dan beban angin yang mengacu pada SNI 1727:2020 serta PPIUG 1987. Selain itu, perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019. Adapun perhitungan masing-masing beban dijelaskan sebagai berikut.

1. Pembebanan pada Struktur Atap

a. Data Teknis Atap Spandek

- Berat penutup atap spandek pasir $= 0,051 \text{ kN/m}^2$

- Berat plafond gypsum + rangka = 0,172 kN/m²
- Jarak antar reng = 0,60 m
- Jarak antar kuda-kuda = 1,10 m
- Sudut kuda-kuda = 10°

b. Perhitungan Beban Mati

Beban mati (*Dead Load*) pada struktur atap dihitung secara otomatis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS. Sementara itu, beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*) didefinisikan sebagai beban permanen yang berasal dari elemen-elemen nonstruktural atau komponen tambahan yang melekat pada bangunan.

Beban mati tambahan pada atap spandek terdiri atas penutup atap, plafon gypsum, dan rangka penggantung. Beban tersebut dikonversi menjadi beban garis.

Tabel 5. 4 Beban Mati Tambahan Atap Spandek

Komponen	Beban area, (kN/m ²)	Lebar tributari, (m)	Beban garis, (kN/m)
Penutup atap	0,052	0,60	0,0306
Plafon + rangka	0,172	8	1,376
Total			1,4066

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

c. Perhitungan Beban Hidup Atap (L_r)

Berdasarkan SNI 1727:2020, beban hidup atap (L_r) sebesar 0,96 kN/m². Beban tersebut dikonversi menjadi beban garis berdasarkan jarak antar reng 0,60 m sebagai berikut:

Tabel 5. 5 Beban Hidup Atap

Komponen	Beban area, (kN/m ²)	Lebar tributari, (m)	Beban garis, (kN/m)
Beban hidup atap	0,96	0,60	0,576

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

d. Perhitungan Beban Air Hujan

1) Beban Air Hujan pada Atap Miring

$$RL = 40 - (0,8 \times \alpha)$$

$$RL = 40 - (0,8 \times 10^\circ)$$

$$RL = 32 \text{ Kg/m}^2$$

Berdasarkan PPIUG 1987, untuk atap miring beban hujan tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m².

$$RL_{\text{max}} = 20 \text{ Kg/m}^2$$

$$RL_{\text{pakai}} = 20 \text{ Kg/m}^2 = 0,196 \text{ kN/m}^2$$

Beban hujan merata pada reng:

$$q = 0,196 \text{ kN/m}^2 \times 0,60 \text{ m}$$

$$q = 0,1177 \text{ kN/m}$$

2) Beban Air Hujan pada Atap Datar (Dak)

Beban hujan pada atap datar dihitung berdasarkan ketentuan SNI 1727:2020 dengan mempertimbangkan tinggi genangan air akibat penyumbatan saluran drainase (d_s) dan tinggi air hujan di atas atap (d_h).

$$RL = 0,0098 \times (d_s + d_h)$$

$$d_s = 30 \text{ mm}$$

$$d_h = 10 \text{ mm}$$

$$RL = 0,0098 \times (d_s + d_h)$$

$$RL = 0,0098 \times (30 + 10)$$

$$RL = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

e. Perhitungan Beban Angin

Beban angin dihitung menggunakan fasilitas *Auto Wind Load* pada ETABS dengan memasukkan parameter pembebanan sesuai ketentuan SNI 1727:2020.

Berdasarkan SNI 1727:2020 Pasal 26.1.2.1, prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah Prosedur Analisis Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) untuk Bangunan Gedung dari Semua Ketinggian sebagaimana diatur dalam Pasal 27. Oleh

karena itu, sebelum dilakukan pemodelan pada ETABS, terlebih dahulu ditentukan parameter-parameter pembebanan angin.

1) Kategori Risiko Bangunan

- Sesuai persyaratan yang ada bangunan gedung tergolong kategori risiko IV. (SNI 1726:2019, Pasal 6.5)

2) Kecepatan Angin Dasar, V

- $V = 40$ m/s. (HB 212-2002)

3) Faktor Arah Angin, K_d

- $K_d = 0,85$. (SNI 1727:2020, Tabel 26.2-1)

4) Kategori Eksposur

- Eksposur B (daerah perkotaan dengan banyak penghalang berupa bangunan, rumah, dan fasilitas kota).
(SNI 1727:2020, Pasal 26.7.2)

5) Faktor Topografi, K_{zt}

- $K_{zt} = 1,0$. (SNI 1727:2020, Pasal 26.8.2)

6) Klasifikasi Ketertutupan

- Bangunan tergolong bangunan tertutup.
(SNI 1727:2020, Pasal 26.13-1)

7) Koefisien Tekanan Internal, (G_{Cpi})

Berdasarkan Tabel 26.13-1 SNI 1727:2020, bangunan diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup sehingga diperoleh:

- $G_{Cpi} = + 0,18$
- $G_{Cpi} = - 0,18$

(SNI 1727:2020, Pasal 26.13-1)

8) Faktor Efek Tiupan Angin, G

- $G = 0,85$. (SNI 1727:2020, Tabel 26.6-1)

9) Koefisien Tekanan Velositas K_z atau K_h

Tabel 5. 6 Konstanta Eksposur Dataran

Eksposur	α	Z_g (m)	$\hat{\alpha}$	$\hat{b}$	$\hat{a}$	$\hat{b}$	c	f (m)	$\hat{e}$	Z_{min} (m) ^a
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0	4,57
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

Sumber: SNI 1727:2020, Tabel 26.11-1

$$\alpha = 7$$

$$\begin{aligned} z &= \frac{\text{tinggi atap} + \text{tinggi bangunan}}{2} \\ &= \frac{13,10 + 12}{2} \\ &= 12,55 \text{ m (SNI 1727:2020, Pasal 27.6)} \end{aligned}$$

$$Z_g = 365,76 \text{ m}$$

Nilai koefisien eskposur untuk $z > 15 \text{ ft (4,6 m)}$ dan $z < Z_g$. (SNI 1727:2020, Pasal 26.10.1)

$$\begin{aligned} - K_z &= 2,01 \left(\frac{z}{Z_g} \right)^{2/\alpha} \\ &= 2,01 \left(\frac{12,55}{365,76} \right)^{2/7} \\ &= 0,767 \end{aligned}$$

10) Tekanan Velositas q_z atau q_h . (SNI 1727:2020, Pasal 26.10.2)

$$\begin{aligned} - q_z &= 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \\ &= 0,613 \times 0,767 \times 1,0 \times 0,85 \times (40)^2 \\ &= 639,43 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

11) Koefisien Tekanan C_p atau C_N

Sebelum menentukan beban angin ketika datang dan pergi, terlebih dahulu tentukan nilai C_p (koefisien tekan atap). Sesuai pada SNI 1727:2020, C_p angin datang dan angin pergi ditentukan dari 2 (dua) komponen, yaitu:

$$\text{Sudut atap} = 10^\circ$$

$$h/L = 0,6972$$

Karena nilai h/L kurang dari 1 dan sudut (θ) sebesar 10° , sehingga didapatkan:

- C_p Arah X

$$\text{Sisi angin datang} = -1.06$$

$$\text{Sisi angin pergi} = -0,579$$

2. Pembebanan pada Struktur Gedung

a. Beban Angin pada Dinding

Beban angin dihitung menggunakan fasilitas *Auto Wind Load* pada ETABS dengan memasukkan parameter pembebanan sesuai ketentuan SNI 1727:2020.

Pada SNI 1727:2020 Pasal 27.3.5, C_p angin datang, angin pergi, dan angin tepi untuk L/B 1,70 didapatkan:

- Dinding sisi angin datang = 0,8
- Dinding Sisi angin pergi = -0,36
- Dinding sisi angin tepi = -0,7

b. Beban Mati

Beban mati (*Dead Load*) pada struktur gedung dihitung secara otomatis menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS. Sementara itu, beban mati tambahan (*Superimposed Dead Load*) didefinisikan sebagai beban permanen yang berasal dari elemen-elemen nonstruktural atau komponen tambahan yang melekat pada bangunan.

1) Beban Mati Tambahan pada Dinding

Tabel 5. 7 Komponen dinding

Komponen	Beban (kN/m ²)
Plaster + Aci	0,25
Bata ringan tebal 10 cm	0,70
Kaca tebal 5 mm	0,123

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

a) Dinding 1

$$\text{Luas dinding} = 4 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 1,20 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} = 1,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 14,6 - 1,20 = 13,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, } W_j = (1,2 \times 0,123) + 0,023 = 0,171 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 13,4 \times (0,25 + 0,70) + 0,171 \\ &= 12,901 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 12,901 / 4$$

$$q = 3,22 \text{ kN/m}$$

b) Dinding 2

$$\text{Luas dinding} = 4 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 2,4 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} = 2,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 14,6 - 2,4 = 12,2 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jendela, } W_j &= 2 ((1,20 \times 0,123) + 0,023) \\ &= 0,342 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 12,2 \times (0,25 + 0,70) + 0,342 \\ &= 11,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 11,93 / 4$$

$$q = 2,84 \text{ kN/m}$$

c) Dinding 3

$$\text{Luas dinding} = 4 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 2 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} = 2,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 14,6 - 2,0 = 12,6 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jendela, } W_j &= ((1,20 \times 0,123) + 0,023) + ((0,8 \times \\ &0,123) + 0,019) = 0,288 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 12,6 \times (0,25 + 0,70) + 0,288 \\ &= 12,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 12,26 / 4$$

$$q = 3,1 \text{ kN/m}$$

d) Dinding 4

$$\text{Luas dinding} = 8 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 29,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela, } A_{j1} = 3 \times (1,20 \times 1,0) = 3,60 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas Jendela, } A_{j2} = 1 \times (0,8 \times 1,0) = 0,80 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas jendela} = 4,40 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 29,2 - 4,4 = 24,8 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jendela, } W_{j1} &= 3 \times (1,20 \times 0,123) + 0,023 \\ &= 0,466 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jendela, } W_{j2} = (0,8 \times 0,123) + 0,019 = 0,117 \text{ kN}$$

$$\text{Total Berat jendela} = 0,58 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat dinding, } W_d &= 24,8 \times (0,25 + 0,70) + 0,58 \\ &= 24,14 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 24,14 / 8$$

$$q = 3,02 \text{ kN/m}$$

e) Dinding 5

$$\text{Luas dinding} = 4 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat dinding, } W_d = 14,6 \times (0,25 + 0,70) = 13,87 \text{ kN}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 13,87 / 4$$

$$q = 3,46 \text{ kN/m}$$

f) Dinding 6

$$\text{Luas dinding} = 1,5 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 5,47 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat dinding, } W_d = 5,47 \times (0,25 + 0,70) = 5,19 \text{ kN}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 5,19 / 1,50$$

$$q = 3,46 \text{ kN/m}$$

g) Dinding 7

$$\text{Luas dinding} = 1,5 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 5,47 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 1,20 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} = 1,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 5,47 - 1,20 = 4,27 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, } W_j = (1,2 \times 0,123) + 0,023 = 0,171 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat dinding, } W_d &= 4,27 \times (0,25 + 0,70) + 0,171 \\ &= 4,23 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 4,23 / 1,50$$

$$q = 2,82 \text{ kN/m}$$

h) Dinding 8

$$\text{Luas dinding} = 1 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 3,65 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat dinding, } W_d = 3,65 \times (0,25 + 0,70)$$

$$= 3,47 \text{ kN}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 3,47 / 1$$

$$q = 3,47 \text{ kN/m}$$

i) Dinding 9

$$\text{Luas dinding} = 2,5 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 9,13 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 1,20 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} = 1,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 9,13 - 1,20 = 7,93 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, } W_j = (1,2 \times 0,123) + 0,023 = 0,171 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 7,93 \times (0,25 + 0,70) + 0,171 \\ &= 7,70 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 7,70 / 2,5$$

$$q = 3,08 \text{ kN/m}$$

j) Dinding 10

$$\text{Luas dinding} = 6,0 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 21,9 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 2,0 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 3,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 21,9 - 3,0 = 18,9 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, } W_j = (3,0 \times 0,123) + 0,036 = 0,405 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 18,9 \times (0,25 + 0,70) + 0,405 \\ &= 18,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 18,36 / 6$$

$$q = 3,06 \text{ kN/m}$$

k) Dinding 11

$$\text{Luas dinding} = 4 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 2,0 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 3,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 14,6 - 3,0 = 11,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, } W_j = (3,0 \times 0,123) + 0,036 = 0,405 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 11,6 \times (0,25 + 0,70) + 0,405 \\ &= 12,76 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 11,42 / 4$$

$$q = 2,85 \text{ kN/m}$$

l) Dinding 12

$$\text{Luas dinding} = 5,77 \times 3,65 = 21,06 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela, Aj1} = 2,0 \times 1,5 = 3 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas Jendela, Aj2} = 1,33 \times 1,20 = 1,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas jendela} = 4,60 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 21,06 - 4,60 = 16,46 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, Wj} = (3,0 \times 0,123) + 0,036 = 0,405 \text{ kN}$$

$$\text{Berat jendela, Wj} = (1,6 \times 0,123) + 0,026 = 0,222 \text{ kN}$$

$$\text{Total berat jendela} = 0,627 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, Wd} &= 16,46 \times (0,25 + 0,7) + 0,627 \text{ kN} \\ &= 16,26 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 16,26 / 5,77$$

$$q = 2,82 \text{ kN/m}$$

m) Dinding 13

$$\text{Luas dinding} = 2,23 \times 3,65 = 8,14 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas jendela} = 1,33 \times 1,20 = 1,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 8,14 - 1,6 = 6,45 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat jendela, Wj} = (1,6 \times 0,123) + 0,026 = 0,222 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, Wd} &= 6,45 \times (0,25 + 0,7) + 0,222 \\ &= 6,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 6,35 / 2,23$$

$$q = 2,85 \text{ kN/m}$$

n) Dinding 14

$$\text{Luas dinding} = 6,0 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 21,9 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas } \textit{bouvenlight} = 1,2 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 21,9 - 0,6 = 21,3 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat } \textit{bouvenlight}, W_b = (0,6 \times 0,123) + 0,018 = 0,092 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 21,3 \times (0,25 + 0,70) + 0,092 \\ &= 20,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 20,33 / 6$$

$$q = 3,38 \text{ kN/m}$$

o) Dinding 15

$$\text{Luas dinding} = 4,0 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas } \textit{bouvenlight} = 2 (1,2 \times 0,5) = 1,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 14,6 - 1,20 = 13,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat } \textit{bouvenlight}, W_b = 2 ((0,6 \times 0,123) + 0,018) = 0,184 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 13,4 \times (0,25 + 0,70) + 0,184 \\ &= 12,914 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 12,914 / 4$$

$$q = 3,23 \text{ kN/m}$$

p) Dinding 16

$$\text{Luas dinding} = 4,0 \text{ m} \times 3,65 \text{ m} = 14,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas } \textit{bouvenlight} = 1,2 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas efektif dinding} = 14,6 - 0,6 = 14 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat } \textit{bouvenlight}, W_b = (0,6 \times 0,123) + 0,018 = 0,092 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding, } W_d &= 14 \times (0,25 + 0,70) + 0,092 \\ &= 13,39 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban garis yang bekerja pada balok:

$$q = 13,39 / 4$$

$$q = 3,34 \text{ kN/m}$$

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Beban Dinding

Komponen	Berat (kN)	Beban garis (kN/m)
Dinding 1	12,90	3,22
Dinding 2	11,93	2,84
Dinding 3	12,26	3,10
Dinding 4	24,14	3,02
Dinding 5	13,87	3,46
Dinding 6	5,19	3,46
Dinding 7	4,23	2,82
Dinding 8	3,47	3,47
Dinding 9	7,70	3,08
Dinding 10	18,36	3,06
Dinding 11	11,42	2,85
Dinding 12	16,26	2,82
Dinding 13	6,35	2,85
Dinding 14	20,33	3,38
Dinding 15	12,91	3,23
Dinding 16	13,39	3,34

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Beban dinding yang telah diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam *software* sebagai beban garis pada balok.

2) Beban Mati Tambahan pada Pelat

Beban mati tambahan pada pelat merupakan beban permanen selain berat sendiri pelat yang bekerja selama umur bangunan. Beban ini meliputi berat lapisan penutup lantai, spesi, plafon, instalasi, serta komponen lain yang menempel secara tetap pada struktur.

Perhitungan beban mati tambahan pada pelat lantai 2 dan 3 serta atap dilakukan berdasarkan material finishing dan komponen pelengkap yang digunakan pada bangunan.

a) Beban pada pelat lantai 2 dan 3

Tabel 5. 9 BMT pada Pelat Lantai 2 dan 3

Komponen	Beban Area (kN/m²)
Granit	0,265
Spesi 2,5 cm	0,515
Plafond + penggantung	0,172
Instalasi MEP	0,250
Total	1,202

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

b) Beban pada pelat atap

Tabel 5. 10 BMT pada Pelat Atap

Komponen	Beban Area(kN/m²)
Spesi 2,5 cm	0,515
Plafond + penggantung	0,172
Instalasi MEP	0,250
Waterproofing	0,039
Total	0,976

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

c. Beban Hidup

Beban hidup pada bangunan fasilitas kesehatan ditentukan berdasarkan fungsi dan penggunaan ruang sesuai ketentuan yang tercantum dalam SNI 1727:2020. Besarnya beban hidup yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung puskesmas ini disajikan pada Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Beban Hidup pada Lantai

Komponen	Beban Area (kN/m²)
Koridor di atas lantai pertama	3,83
Ruang pertemuan	4,79
Tangga	4,79
Ruang pasien	1,92
Laboratorium	2,87
Lobi	4,79

Sumber: SNI 1727:2020

5.1.4 Beban Gempa

Beban gempa pada penelitian ini dianalisis menggunakan metode *time history* yang telah disesuaikan (*spectral matching*) terhadap target respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019. Target respons spektrum diperoleh menggunakan aplikasi Desain Spektra Indonesia Kementerian PUPR sesuai lokasi bangunan yang ditinjau.

1. Respons Spektrum

a. Penentuan Kategori Risiko Dan Faktor Keutamaan Gempa

- Fungsi bangunan : Fasilitas kesehatan
- Kategori risiko : IV
- Faktor keutamaan gempa : 1,5
- Kelas situs : Tanah keras (SC)

b. Nilai S_S dan S_1

Nilai S_S dan S_1 diperoleh berdasarkan koordinat lokasi penelitian yang dimasukkan ke dalam aplikasi Desain Spektra Indonesia, yaitu pada lintang -6,714558954125017 dan bujur 108,55329280885086.

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas
 SC - Tanah Keras, Batuan Lunak

Rentang T(s)
 Value: 6

PGA MCEg
 0.3281
 (g) bedrock

SS MCEr
 0.7195
 (g) bedrock

S1 MCEr
 0.3292
 (g) bedrock

TL
 20
 Detik

T0(detik)	Ts(detik)	Sds(g)	Sd1(g)
0.11	0.57	0.58	0.33

Save

Gambar 5. 12 Target Spektrum Respons Desain
 Sumber: Web Desain Spektra Indonesia

Tabel 5. 12 Nilai S_S dan S_1

Parameter gerak tanah	Web Desain Spektra Indonesia
S_S	0,7195
S_1	0,3292

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

c. Nilai F_a dan F_v

Berdasarkan nilai S_S , S_1 , dan kelas situs SC, koefisien situs F_a dan F_v ditentukan melalui interpolasi linier sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 5. 13 Nilai F_a dan F_v

Koefisien Situs	Nilai
F_a	1,212
F_v	1,500

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

d. Nilai S_{MS} dan S_{M1} Tabel 5. 14 Nilai S_{MS} dan S_{M1}

Parameter	Persamaan	Nilai
S_{MS}	$F_a \times S_S$	0,872
S_{M1}	$F_v \times S_1$	0,494

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

e. Nilai S_{DS} dan S_{D1} Tabel 5. 15 Nilai S_{DS} dan S_{D1}

Parameter	Persamaan	Nilai
S_{DS}	$\frac{2}{3} \times S_{MS}$	0,581
S_{D1}	$\frac{2}{3} \times S_{M1}$	0,329

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

f. Kategori Desain Seismik

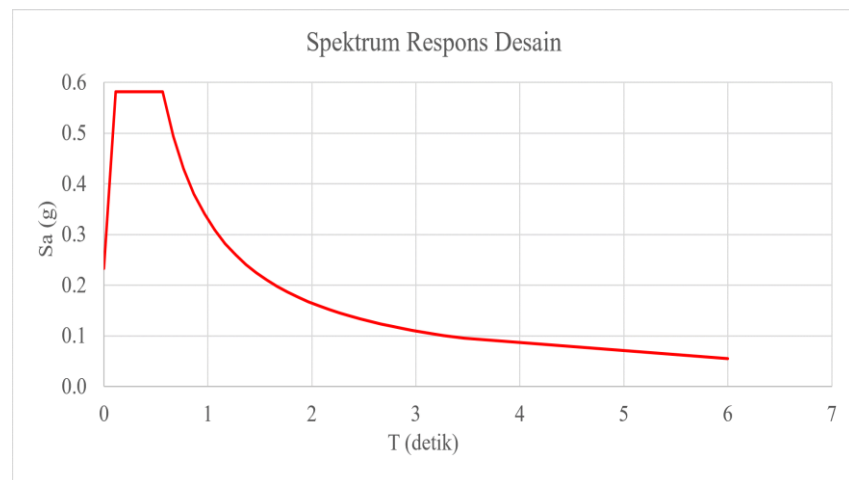
Berdasarkan nilai S_{DS} sebesar 0,581 dan S_{D1} sebesar 0,329 serta kategori risiko IV, maka kategori desain seismik bangunan ditetapkan sebagai Kategori Desain Seismik D (KDS D) sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 6.5.

g. Kurva Respons Spektrum Desain

Tabel 5. 16 Nilai T_0 dan T_s

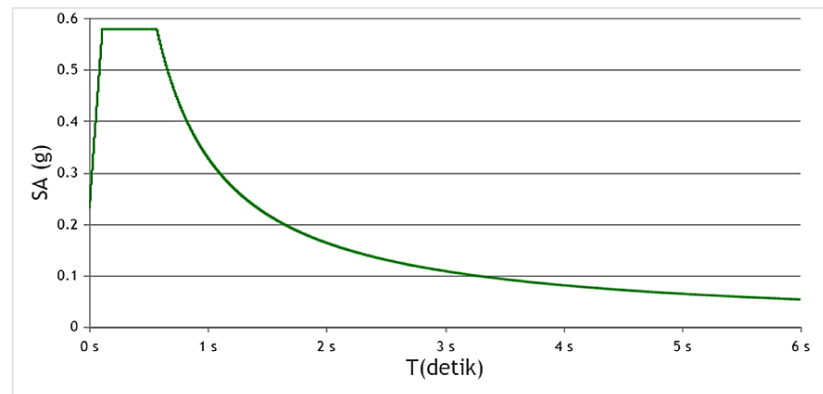
Periode	Persamaan	Nilai (detik)
T_0	$0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	0,113
T_s	$\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$	0,566

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 13 Grafik Respons Spektrum

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 14 Grafik Respons Spektrum

Sumber: Web Desain Spektra Indonesia

h. Menentukan Sistem dan Parameter Struktur

Berdasarkan hasil penentuan Kategori Desain Seismik (KDS) D, bangunan ini termasuk ke dalam Kategori Desain Seismik D yang menunjukkan tingkat risiko kegempaan tinggi. Selain itu, berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2021,

bangunan puskesmas termasuk dalam kategori *low-rise building*. Oleh karena itu, sistem struktur yang digunakan harus memenuhi ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726:2019.

Namun, berdasarkan informasi dari pihak konsultan gedung eksisting menggunakan Sistem Rangka Baja Pemikul Momen Biasa (SRBPMB). Berdasarkan SNI 1726:2019, parameter struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Koefisien modifikasi respons, R = 3,5
- Faktor kuat lebih sistem, Ω_0 = 3
- Faktor pembesaran defleksi, C_d = 3

i. Perhitungan Periode Fundamental

Periode fundamental struktur (T) diperoleh dari hasil analisis menggunakan program ETABS. Selanjutnya, nilai periode tersebut dibandingkan dengan periode pendekatan (T_a) dan periode maksimum yang diizinkan ($C_u \times T_a$) sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Nilai periode yang digunakan dalam analisis adalah nilai yang memenuhi batasan yang dipersyaratkan oleh SNI 1726:2019.

Tabel 5. 17 Periode Fundamental

Periode	Persamaan	Nilai (detik)
$T_{a \min}$	$C_t \times h_n^x$	0,581
$T_{a \max}$	$C_u \times T_a$	0,813
T_c (program)		1,368

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan FEMA 356 , jika memiliki nilai periode getar alami struktur (T_c) yang di dapatkan dari program maka digunakan ketentuan:

- Jika $T_c > T_{a \max}$ maka $T = T_{a \max}$
- Jika $T_{a \min} \leq T_c \leq T_{a \max}$ maka $T = T_c$
- Jika $T_c < T_{a \min}$ maka $T = T_{a \min}$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai periode fundamental struktur dari program ETABS (T_c) sebesar 1,368 detik. Nilai tersebut lebih besar dari $T_{a\max}$ sebesar 0,813 detik, sehingga digunakan nilai periode fundamental T sebesar 0,813 detik.

2. Pengambilan Data *Time History*

Data rekaman gempa pada penelitian ini dipilih dengan mengacu pada Buku Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2022. Berdasarkan buku tersebut, sumber gempa dikelompokkan menjadi tiga jenis mekanisme patahan, yaitu *shallow crustal*, *benioff*, dan *megathrust*.

Tabel 5. 18 Parameter Rekaman Gempa Lokasi Penelitian

Jenis Gerak Tanah	Magnitudo	Jarak (km)
Periode Struktur	3 detik	3 detik
<i>Benioff</i>	7,6 – 7,8	120 – 200
<i>Shallow Crustal</i>	6,4 – 6,6	10 – 20
<i>Megathrust</i>	8,6 – 8,8	200 – 250

Sumber: Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia

Berdasarkan hasil analisis bahaya gempa dan kondisi geologi regional, sumber gempa yang dianggap paling dominan mempengaruhi lokasi penelitian adalah gempa kerak dangkal (*shallow crustal*) yang berasal dari aktivitas Sesar Baribis. Oleh karena itu, rekaman gempa yang digunakan dalam analisis riwayat waktu dipilih dari kelompok gempa *shallow crustal*. Hasil analisis deagregasi digunakan sebagai acuan dalam memilih *ground motion* dari database PEER Berkeley.

Tabel 5. 19 Parameter Rekaman Gempa Terpilih

No	Kejadian	Tahun	RSN	M_w	V_s (m/s)	Rrup (km)	Durasi (s)
1	Imperial Valley 06	1979	164	6,53	471,53	15,19	36,4
2	Kozani Greece 01	1995	1126	6,4	649,67	19,54	8,6
3	San Simeon	2003	4013	6,52	509,04	19,01	18,8

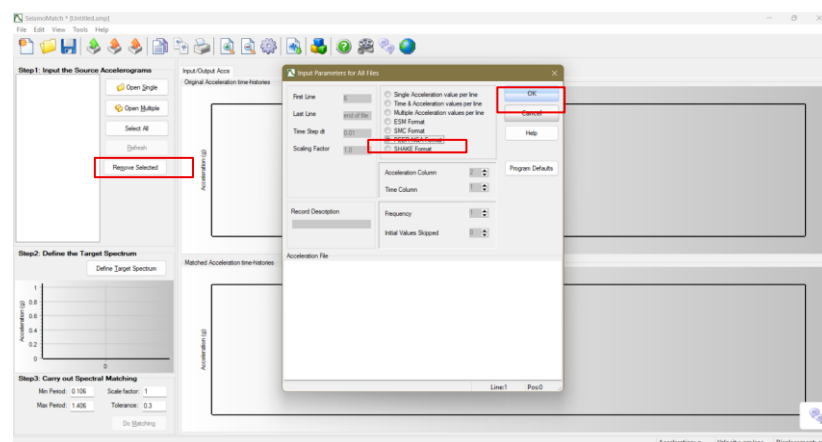
Sumber: Web NGA West

3. Matching Data Time History

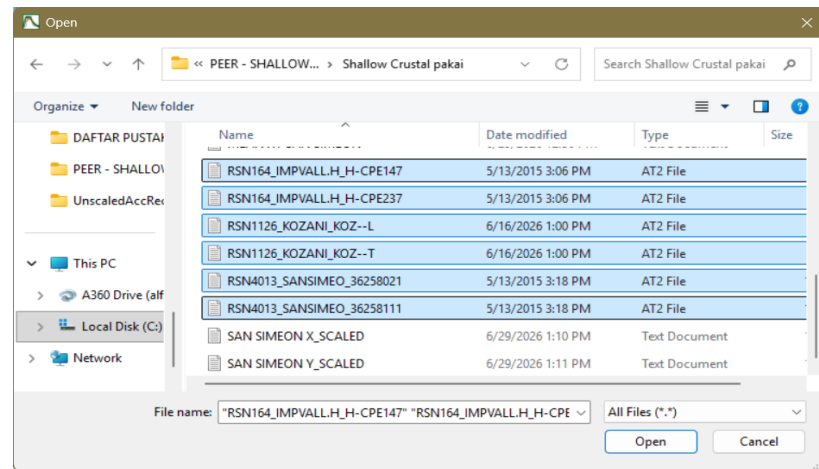
Proses *spectral matching* dilakukan dengan menargetkan data rekaman gempa terhadap spektrum respons MCEr. Ketentuan mengenai batasan rentang periode dan kesesuaian nilai rata-rata spektrum hasil *matching* telah diatur dalam SNI 1726:2019. Rentang periode yang digunakan ditetapkan dengan batas atas (T_{upper}) sebesar $2T_1$, dimana T_1 merupakan periode getar alami mode pertama struktur. Sementara itu, batas bawah (T_{lower}) ditentukan sebagai nilai terkecil antara $0,2T_2$ dan periode saat partisipasi massa kumulatif pertama kali mencapai 90%. Pada penelitian ini didapatkan $T_{upper} = 2,736$ detik dan $T_{lower} = 0,204$ detik.

Selanjutnya, proses *spectral matching* terhadap data rekaman gempa dilakukan menggunakan perangkat lunak *SeismoMatch* dengan memasukkan spektrum target yang telah ditentukan. Proses tersebut dilakukan berdasarkan batasan periode yang mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Berikut merupakan langkah demi langkah dari proses *matching* data rekaman gempa.

- a. Buka aplikasi *SeismoMatch*, kemudian masukan data rekaman gempa percepatan dan waktu dengan format AT2 dengan cara klik *Open Multiple* → Pilih PEER NGA Format → OK. Kemudian pilih file rekaman gempa yang ingin dicocokkan.

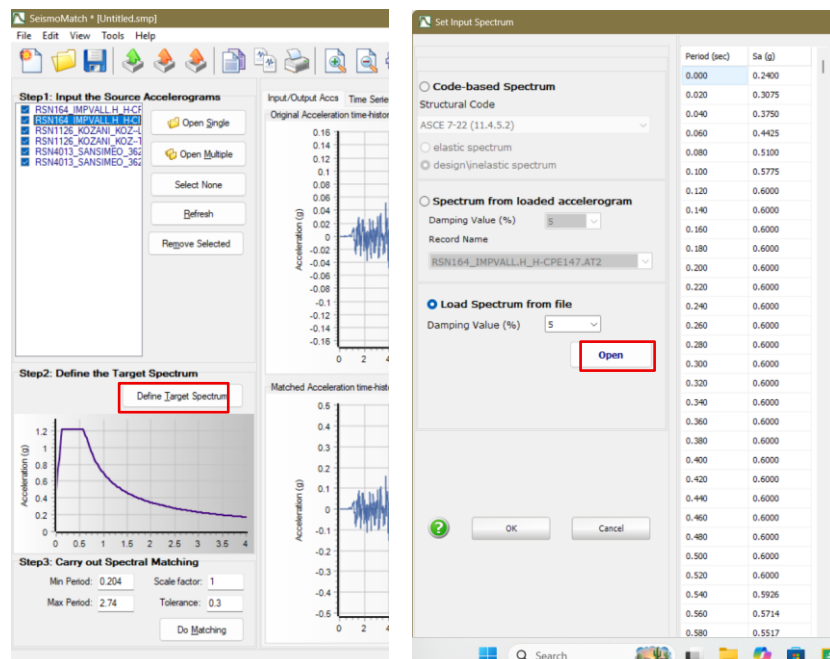


Gambar 5. 15 *Input Data Rekaman Gempa*
Sumber: *SeismoMatch*

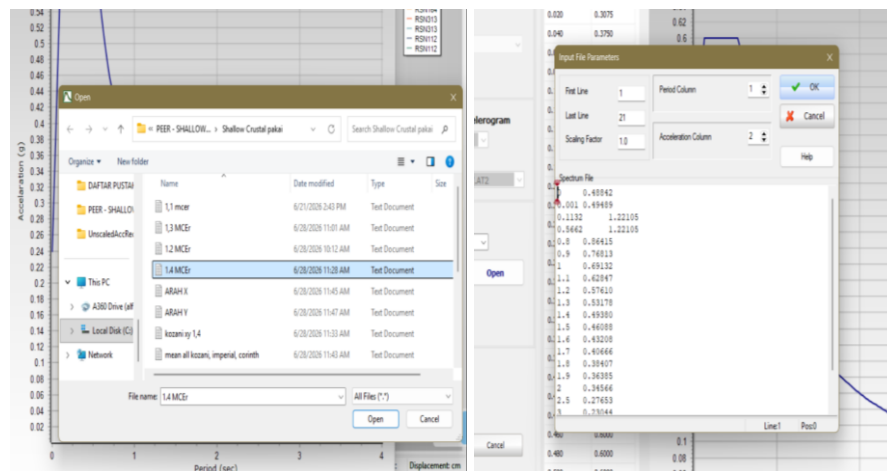


Gambar 5. 16 Select File Data Rekaman Gempa
Sumber: *SeismoMatch*

- b. Selanjutnya, membuat target respons spektrum dengan cara klik *Define Target Spectrum* → *Load Spectrum from File* → *Open*. File target respons spektrum berformat .txt yang telah dibuat sebelumnya dimasukkan ke dalam program *SeismoMatch*. Data yang diinput berupa pasangan nilai periode (T) dan percepatan spektral (S_a) yang akan digunakan sebagai target dalam proses *spectral matching*.

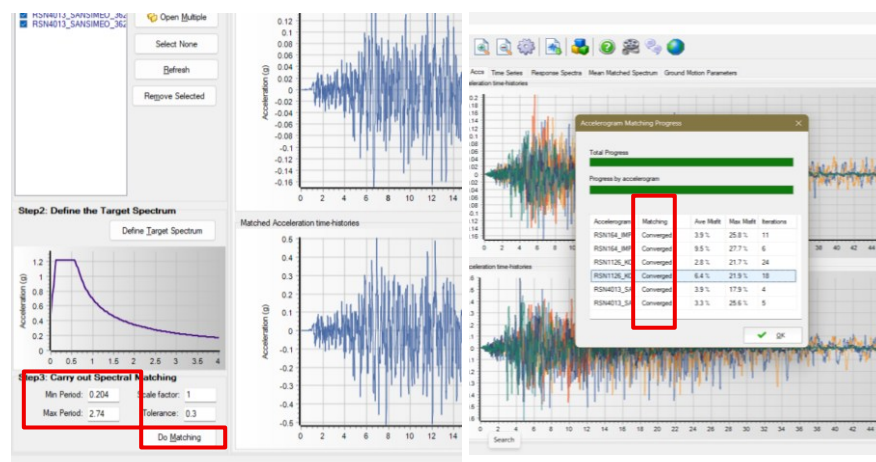


Gambar 5. 17 Pembuatan Target Respons Spektrum
Sumber: *SeismoMatch*



Gambar 5. 18 *Input Data Target Respons Spektrum*
Sumber: *SeismoMatch*

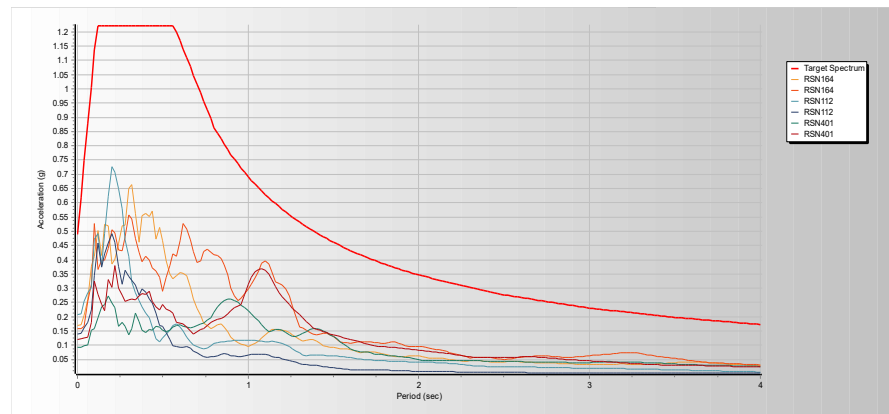
- c. Selanjutnya, masukkan nilai $T_{upper} = 2,736$ detik, dan $T_{lower} = 0,204$ detik. Setelah itu, lakukan proses *spectral matching* dengan mengklik tombol *Do Matching*.



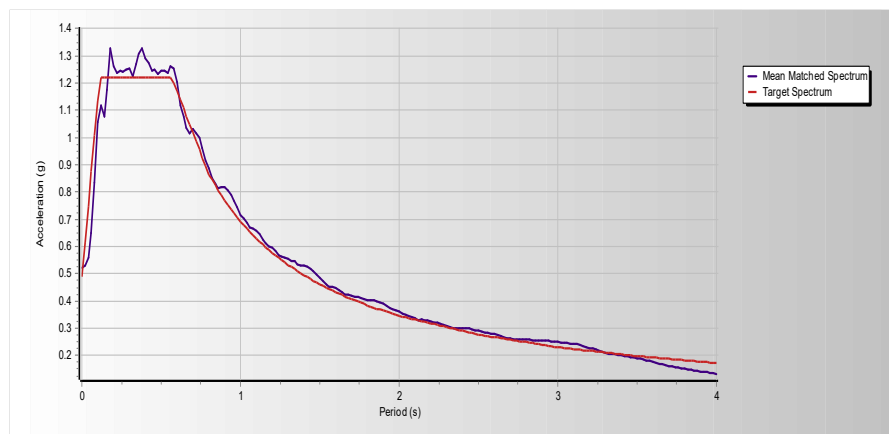
Gambar 5. 19 Proses *Matching*
Sumber: *SeismoMatch*

- d. Setelah proses *spectral matching* selesai, pilih rekaman gempa yang akan digunakan, kemudian klik kanan lalu *copy Selection* untuk menyalin data hasil *matching*. Selanjutnya, data tersebut disalin dan disimpan ke dalam file *Notepad (.txt)* untuk digunakan pada tahap analisis berikutnya.

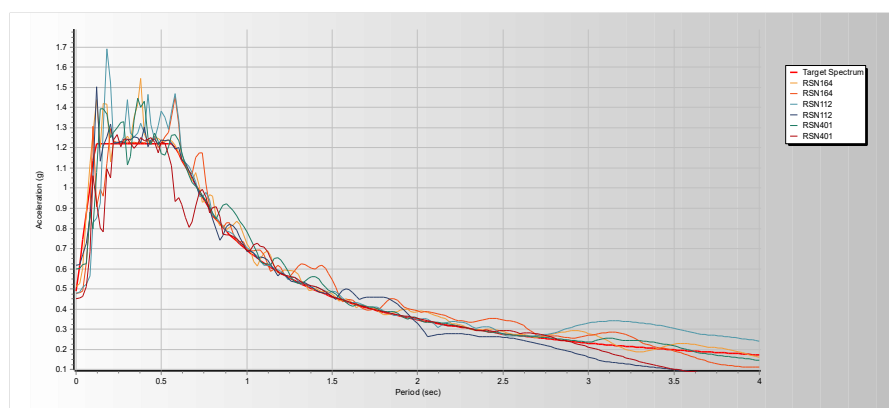
Berikut merupakan data hasil *spectral matching* yang diperoleh menggunakan perangkat lunak *SeismoMatch*.



Gambar 5. 20 Spektrum Respons Rekaman Gempa Asli
Sumber: *SeismoMatch*



Gambar 5. 21 Perbandingan Rata-Rata Spektrum Respons Hasil
Spectral Matching dengan Spektrum Target MCER
Sumber: *SeismoMatch*



Gambar 5. 22 Spektrum Respons Rekaman Gempa Hasil *Spectral Matching* terhadap Spektrum Target MCER
Sumber: *SeismoMatch*

Pengecekan data rekaman gempa dilakukan dengan memastikan bahwa rata-rata spektrum respons dari setiap pasangan komponen gerak tanah hasil modifikasi tidak kurang dari 110% spektrum MCER pada rentang periode yang ditinjau, sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 11.2.3.3. Hasil pengecekan masing-masing pasangan rekaman gempa dapat dilihat pada Lampiran.

Selanjutnya, rekaman gempa diaplikasikan pada model struktur. Dalam penelitian ini digunakan 3 pasang komponen horizontal rekaman gempa arah X dan arah Y, sehingga terdapat 6 komponen akselerogram yang dianalisis. Setiap komponen akselerogram hasil *spectral matching* harus memiliki kesesuaian terhadap spektrum target. Berdasarkan SNI 8899:2020 Pasal 9, rata-rata respons spektrum seluruh gerak tanah pada arah X dan arah Y harus memiliki penyimpangan maksimum sebesar $\pm 10\%$ terhadap rata-rata respons spektrum gabungan seluruh komponen gerak tanah.

Penentuan masing-masing komponen akselerogram pada setiap rekaman gempa bisa dilihat pada Tabel 5.20 berikut ini.

Tabel 5. 20 Penentuan Arah X dan Arah Y Beban Gempa

Nama Event	Arah X	Arah Y
Imperial Valley 06	147	237
Kozani Greece 01	T	L
San Simeon	021	111

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Hasil pengecekan terhadap rekaman gempa yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai penyimpangan maksimum rata-rata respons spektrum arah X terhadap rata-rata seluruh komponen rekaman gempa sebesar 5%, sedangkan pada arah Y juga sebesar 5%. Hasil pengecekan lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran.

4. Input Data *Ground Motion* pada ETABS

Pada tahap ini akan dilakukan proses *input* data *ground motion* pada ETABS. Pada penelitian ini, yang akan digunakan adalah data dari hasil *scaling*. Sehingga data *ground motion* yang digunakan adalah data yang telah diskalakan pada software *SeismoMatch*.

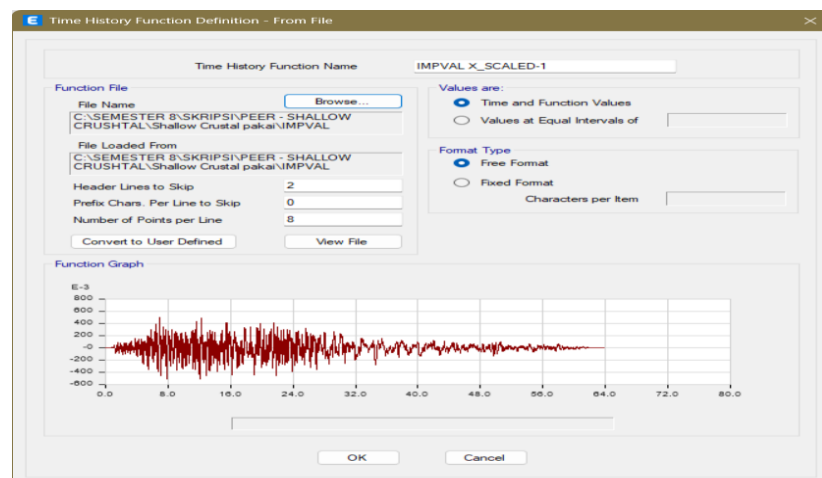
- a. Simpan data *ground motion* yang telah diskalakan dalam bentuk *notepad* yang terdiri dari dua kolom yaitu *time* dan *acceleration*.

Time	Acceleration
0.01	-0.00079
0.02	-0.00069
0.03	-0.00078
0.04	-0.00068
0.05	-0.00077
0.06	-0.00067
0.07	-0.00076
0.08	-0.00065
0.09	-0.00075
0.1	-0.00063
0.11	-0.00061
0.12	-0.00057
0.13	-0.00071
0.14	-0.00057
0.15	-0.00066
0.16	-0.00054
0.17	-0.00063
0.18	-0.0005
0.19	-0.00059
0.2	-0.0005
0.21	-0.00054
0.22	-0.00067
0.23	-0.00037
0.24	-0.00045
0.25	-0.00044

Gambar 5. 23 Data *Time* dan *Acceleration*

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

- b. Kemudian buka ETABS lalu pilih menu *Define* → *Functions* → *Time History*. Kemudian akan muncul toolbox baru, lalu pada bagian *Choose Function Type to Add*, pilih *From File* → *Add new Function*.



Gambar 5. 24 Proses *Input* Data *Ground Motion* pada ETABS

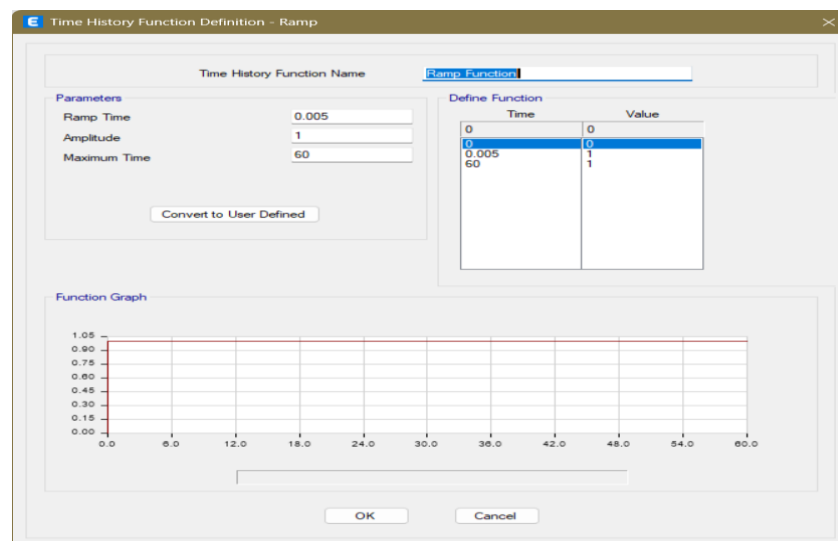
Sumber: ETABS v22

- c. Bila tampilan *function graph* telah sesuai dengan data, maka pilih menu *OK*. Dengan demikian proses *input data ground motion (scaled)* telah selesai.

5.1.5 Pendefinisian Beban *Non Linear (Fast Nonlinear Analysis Method)*

Dalam pengaplikasiannya, pengaturan beban gempa untuk metode *non linear time history* dibagi menjadi dua macam berdasarkan metode analisisnya, yaitu *Fast Nonlinear Analysis (FNA)* dan *Direct Integration Analysis*. Pada penelitian ini digunakan metode *Fast Nonlinear Analysis (FNA)* karena memiliki waktu komputasi yang lebih cepat dibandingkan metode *Direct Integration*, namun tetap mampu memberikan hasil analisis *non linear* yang akurat untuk evaluasi respons dinamis struktur terhadap beban gempa. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

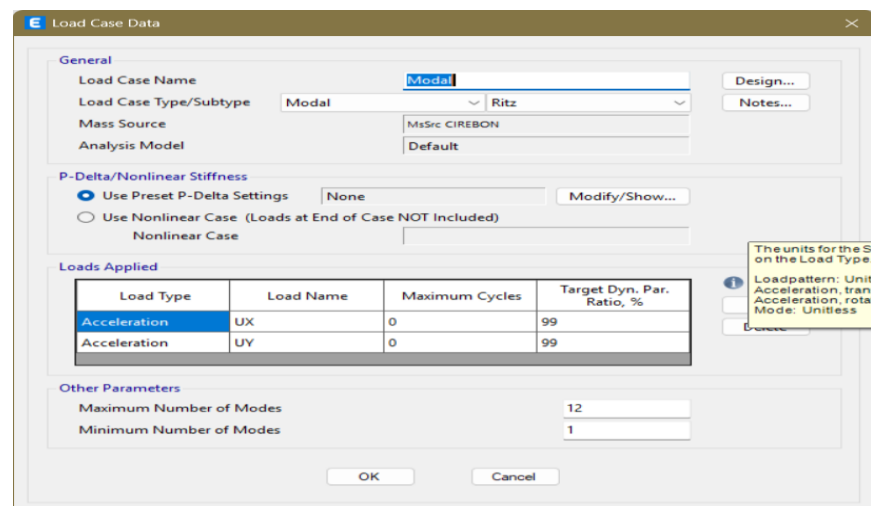
- a. Tentukan *Ramp Function* dengan cara *Define → Functions → Time History*. Kemudian pilih *Ramp → Add new Function*.



Gambar 5. 25 Pengaturan Fungsi *Ramp*
Sumber: ETABS v22

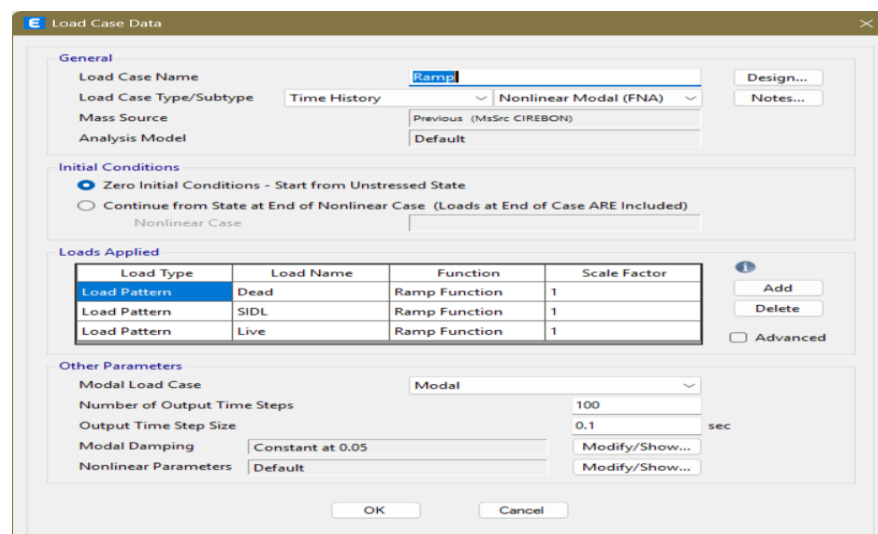
Fungsi ramp adalah merubah fungsi beban gravitasi yang awalnya berupa *static load* menjadi *dynamic load*. Dengan demikian beban gravitasi bisa masuk dalam perhitungan *NLTHA*.

- b. Selanjutnya, pengaturan pada *modal cases*, yaitu dengan cara *Define* → *Load Cases* → *Modal* → *Modify/Show Case*. Lalu pilih *subtype Ritz*. Selanjutnya isi *Loads Applied* dengan parameter *Acceleration (UX)*, dan *Acceleration (UY)*.



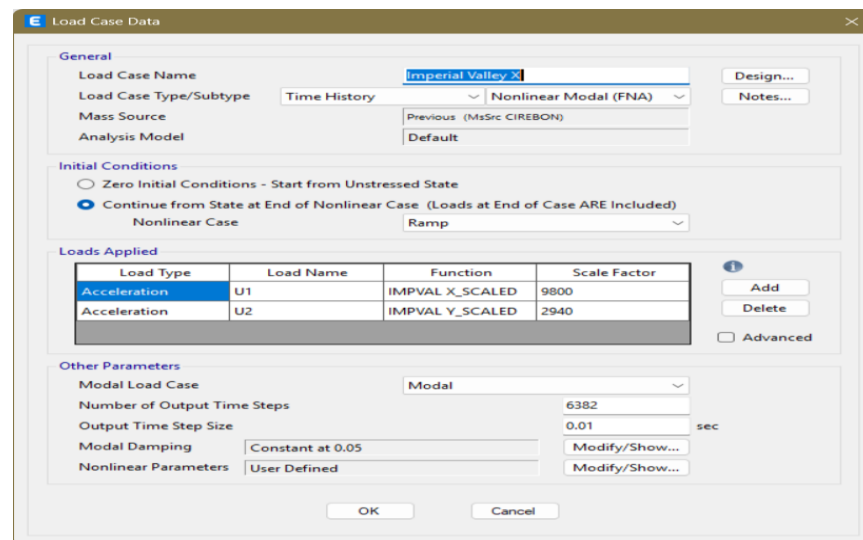
Gambar 5. 26 Pengaturan *Modal Cases* menjadi *Ritz*
Sumber: ETABS v22

- c. Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan beban gravitasi menjadi beban dinamis, yaitu dengan cara *Define* → *Load Cases* → *Add New Case*. Kemudian pilih *Zero Initial Condition* untuk menyatakan kondisi awal, dan isi *Load Applied* dengan beban gravitasi dengan menggunakan *ramp* sebagai *function* nya.



Gambar 5. 27 Pengaturan *Modal Cases* menjadi *Ritz*
Sumber: ETABS v22

- d. Langkah terakhir adalah mendefinisikan beban *ground motion* sebagai beban *NLTHA*. Dengan cara *Define* → *Load Cases* → *Add New Case*. Untuk bagian *Initial Condition*, dipilih *Continue from State...* dengan *non linear case: Ramp* (yang telah didefinisikan sebelumnya). Pada bagian *Loads Applied* diisi dengan dua data *acceleration* arah-X (*U1*) dengan nilai (100%) $g = 9800 \text{ mm/s}^2$ dan *acceleration* arah-Y (*U2*) dengan nilai (30%) $g = 2940 \text{ mm/s}^2$. Dalam hal ini, kaidah 100% dan 30% arah gempa tetap digunakan, yaitu dikarenakan ini beban gempa arah-X maka arah-X 100% dan arah-Y 30% (berlaku sebaliknya).



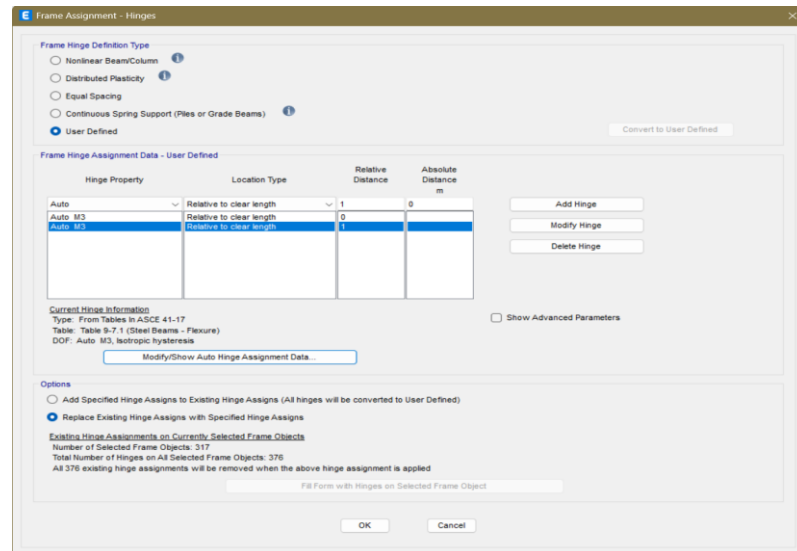
Gambar 5. 28 Proses pengaturan beban gempa untuk metode FNA
Sumber: ETABS v22

5.1.6 Pendefinisian Sendi Plastis (*Plactic Hinge*)

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mendefinisikan sendi plastis adalah *program generated hinge properties*. Metode ini dipilih karena lebih praktis dan mudah untuk diaplikasikan. Selain itu, dikarenakan jenis struktur yang dimodelkan berupa struktur rangka yang terdiri dari balok dan kolom, maka elemen utama yang diperhitungkan hanyalah elemen balok dan kolom.

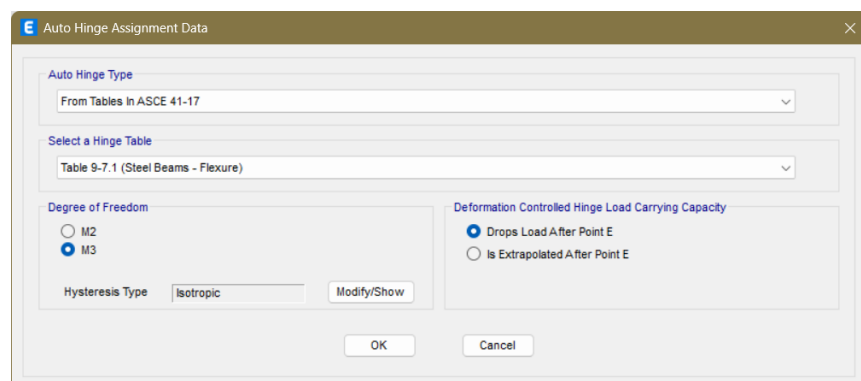
1. Pendefinisian Sendi Plastis pada Balok
 - a. Pilih (*select*) elemen balok yang akan didefinisikan *hinge properties* nya. Kemudian pilih menu *Assign* → *Frame* → *Hinges*.

Pada parameter *Relative Distance* isi dengan 0 dan 1 pada *Frame Hinge Assigmen Data*, yang menunjukkan bahwa sendi plastis pada balok di letakkan pada ujung balok.



Gambar 5. 29 *Frame Assignment- Hinge* pada Balok
Sumber: ETABS v22

- b. Kemudian pada kolom *Auto Hinge Type* pilih *From Table in ASCE 41-17*, pada kolom *Select a Hinge Table* pilih *Table 9-7.1 (Steel Beams – Flexure)*, pada kolom *Degree of Freedom* pilih M3.

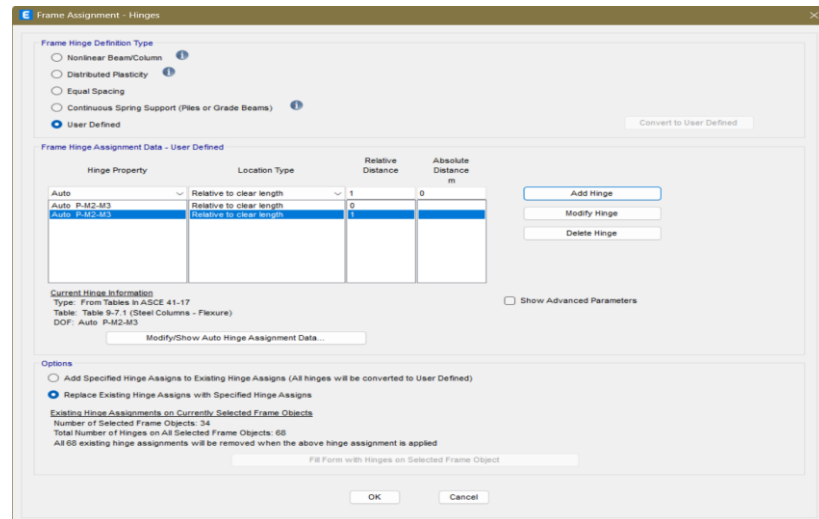


Gambar 5. 30 *Auto Hinge Assignment Data* pada Balok
Sumber: ETABS v22

2. Pendefinisian Sendi Plastis pada Kolom

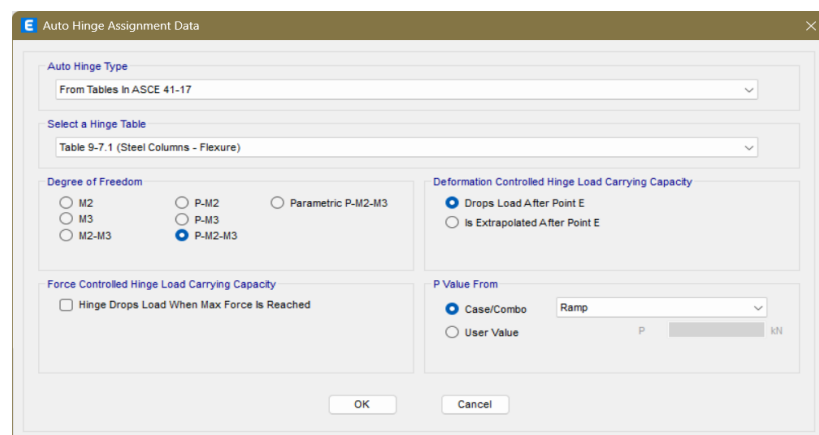
- a. Pilih (*select*) elemen kolom yang akan didefinisikan *hinge properties* nya. Kemudian pilih menu *Assign* → *Frame* → *Hinges*. Pada parameter *Relative Distance* isi dengan 0 dan 1 pada *Frame*

Hinge Assigmen Data, yang menunjukkan bahwa sendi plastis pada kolom di letakkan pada ujung kolom.



Gambar 5. 31 *Frame Assignment- Hinge* pada Kolom
Sumber: ETABS v22

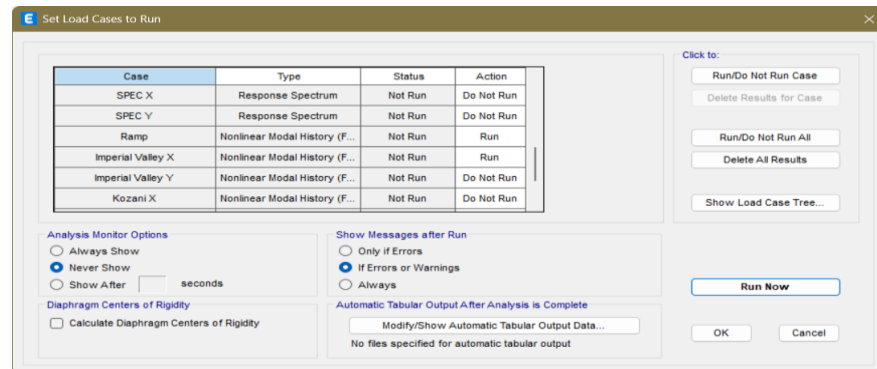
- b. Kemudian pada kolom *Auto Hinge Type* pilih *From Table in ASCE 41-17*, pada kolom *Select a Hinge Table* pilih *Table 9-7.1 (Steel Column – Flexure)*, pada kolom *Degree of Freedom* pilih *P-M2-M3*. Untuk *P Value From* pilih beban gravitasi yang sudah didefinisikan sebelumnya.



Gambar 5. 32 *Auto Hinge Assignment Data* pada Kolom
Sumber: ETABS v22

Setelah seluruh data dan parameter analisis selesai didefinisikan, dilakukan proses *Run Analysis* pada aplikasi ETABS. Untuk meningkatkan efisiensi waktu komputasi, aktifkan hanya kasus beban *non linear* yang akan dianalisis,

kemudian jalankan analisis gempa untuk masing-masing arah pembebanan secara terpisah.



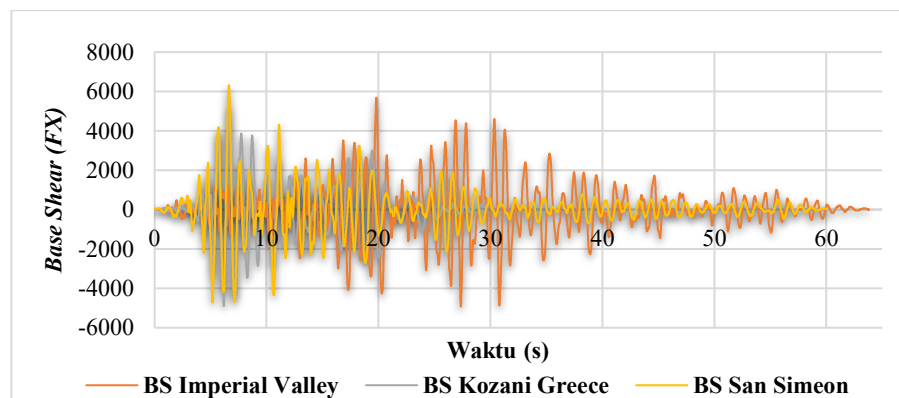
Gambar 5. 33 Set Load Case to Run Analysis
Sumber: ETABS v22

5.2 Pembahasan

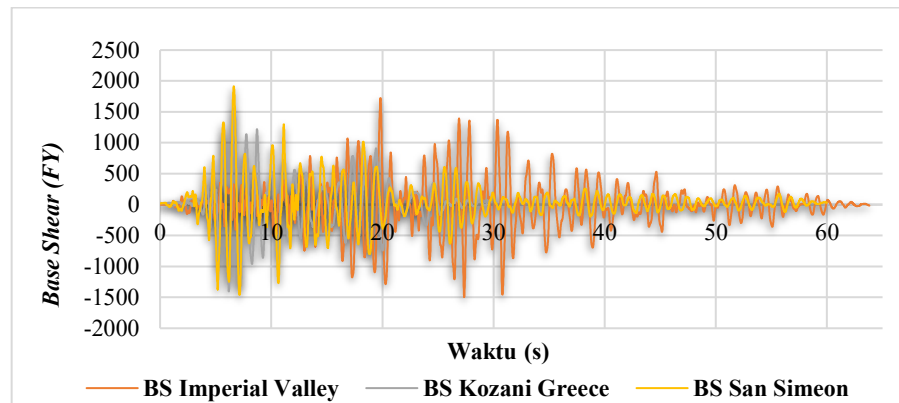
Pada subbab ini akan dibahas hasil analisis *Non Linear Time History Analysis (NLTHA)* menggunakan metode *Fast Nonlinear Analysis (FNA)*. Pembahasan dilakukan berdasarkan respons struktur terhadap variasi rekaman gempa yang meliputi gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar tingkat (*interstory drift*), pengaruh efek *P-Delta*, serta kondisi sendi plastis (*plastic hinge*) sebagai indikator kinerja struktur.

5.2.1 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar (*base shear*) merupakan gaya lateral yang bekerja pada dasar struktur akibat pengaruh gempa. Hasil analisis untuk masing-masing rekaman gempa disajikan pada Tabel 5.21 dan Tabel 5.22.



Gambar 5. 34 Base Shear Akibat Gempa Arah Sumbu X
Sumber: Hasil Penelitian, 2026



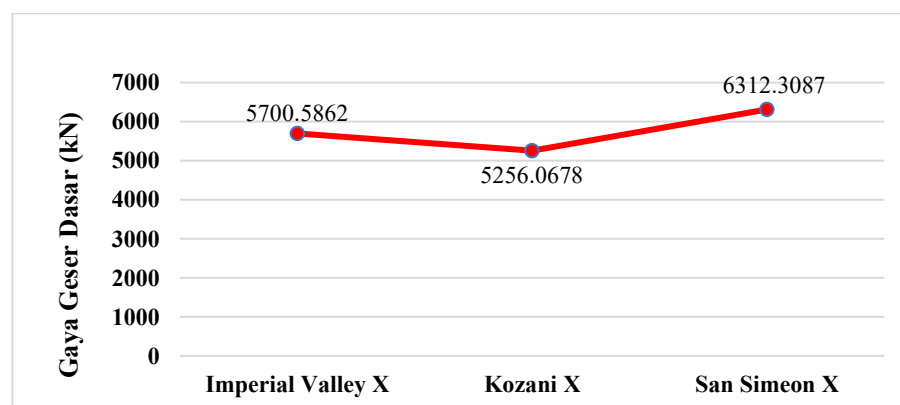
Gambar 5. 35 *Base Shear* Akibat Gempa Arah Sumbu Y
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Grafik menunjukkan bahwa respons *base shear* struktur bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh karakteristik *ground motion* yang digunakan. Meskipun seluruh rekaman gempa telah melalui proses *spectral matching*, masing-masing rekaman tetap menghasilkan pola dan besaran *base shear* yang berbeda karena setiap gempa memiliki karakteristik yang tidak sepenuhnya sama.

Tabel 5. 21 *Base Shear* Arah X

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>Step Type</i>	FX (kN)
Imperial Valley X	NonModHist	Max	5700,586
Kozani X	NonModHist	Max	5256,068
San Simeon X	NonModHist	Max	6312,309

Sumber: ETABS v22

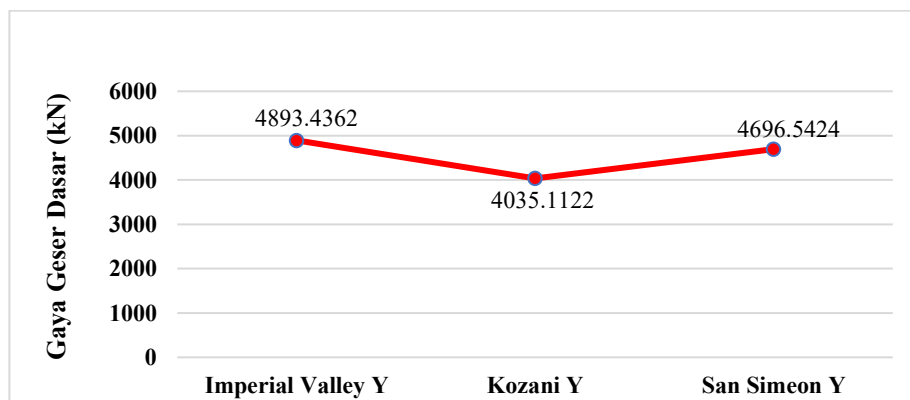


Gambar 5. 36 Grafik Perbandingan *Base Shear* Tiap Beban Gempa Arah X
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Tabel 5. 22 *Base Shear* Arah Y

<i>Output Case</i>	<i>Case Type</i>	<i>Step Type</i>	FY (kN)
Imperial Valley Y	NonModHist	Max	4893,436
Kozani Y	NonModHist	Max	4035,112
San Simeon Y	NonModHist	Max	4696,542

Sumber: ETABS v22

Gambar 5. 37 Grafik Perbandingan *Base Shear* Tiap Beban Gempa Arah Y
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *base shear* dipengaruhi oleh variasi rekaman gempa. Rekaman San Simeon menghasilkan *base shear* terbesar pada arah X sebesar 6312,3087 kN, sedangkan Imperial Valley menghasilkan *base shear* terbesar pada arah Y sebesar 4893,4326 kN. Sementara itu, rekaman Kozani menghasilkan nilai *base shear* terendah pada kedua arah. Secara keseluruhan, nilai *base shear* arah X lebih besar dibandingkan arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa respons struktur terhadap pembebanan gempa pada arah X menghasilkan gaya inersia yang lebih besar dibandingkan arah Y.

5.2.2 Simpangan Antar Lantai (*Interstory Drift*)

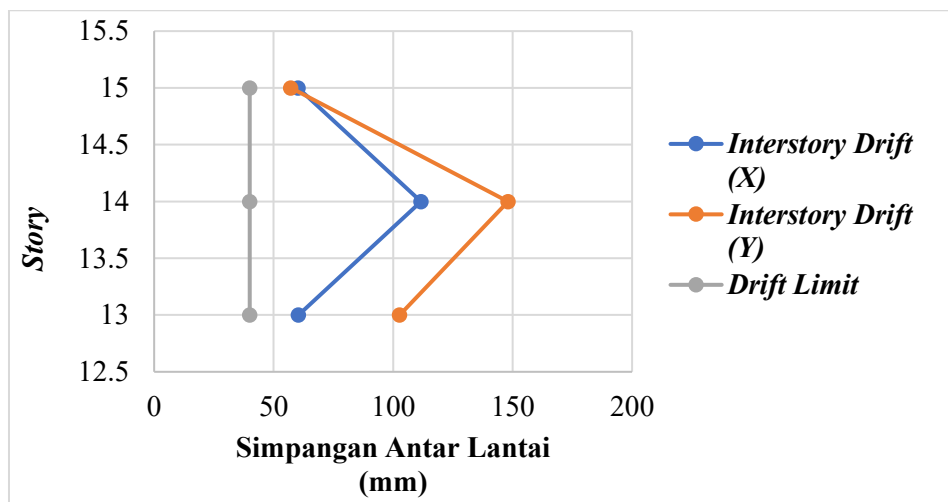
Simpangan antar lantai sudah diatur pada SNI 1726:2019 dengan batasan simpangan antar tingkat pada Tabel 3.12 dimana untuk struktur dengan kategori risiko IV maka nilai batasan simpangannya adalah $0,01h_{sx}/r$. Nilai faktor redudansi (r) yang digunakan adalah 1,0 sesuai SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.1.

1. Gempa Kozani Greece

Tabel 5. 23 Simpangan Antar Lantai Gempa Kozani Greece Arah XY

Story	<i>Displacement</i>		<i>Interstory Drift</i>		<i>h</i>	<i>Drift Limit</i>	<i>Cek</i>
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
3	232,246	307,989	60,221	57,230	4000	40,0	NOT OK
2	172,025	250,759	111,672	148,094	4000	40,0	NOT OK
1	60,353	102,665	60,353	102,665	4000	40,0	NOT OK

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 38 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Kozani Greece Arah XY

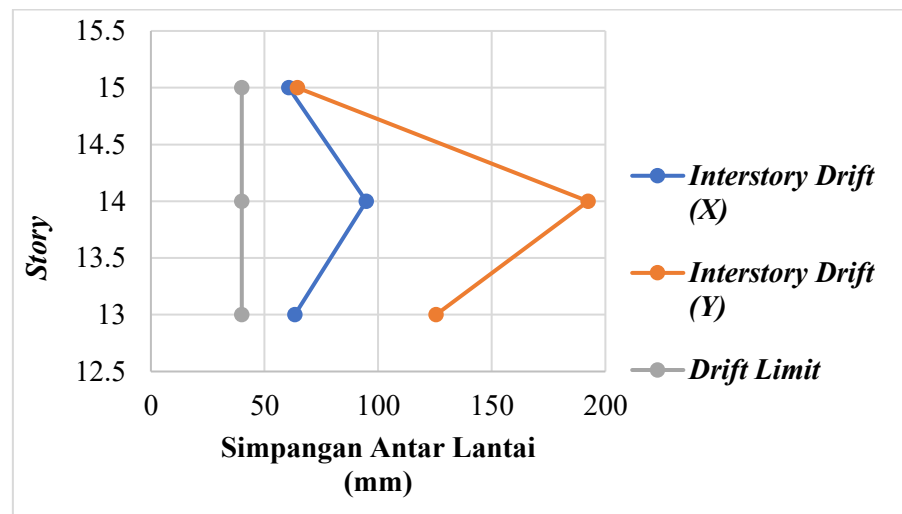
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

2. Gempa Imperial Valley

Tabel 5. 24 Simpangan Antar Lantai Gempa Imperial Valley Arah XY

Story	<i>Displacement</i>		<i>Interstory Drift</i>		<i>h</i>	<i>Drift Limit</i>	<i>Cek</i>
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)			
3	218,799	382,243	60,627	64,463	4000	40,0	NOT OK
2	158,172	317,780	94,787	192,390	4000	40,0	NOT OK
1	63,385	125,390	63,385	125,390	4000	40,0	NOT OK

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 39 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa Imperial Valley Arah XY

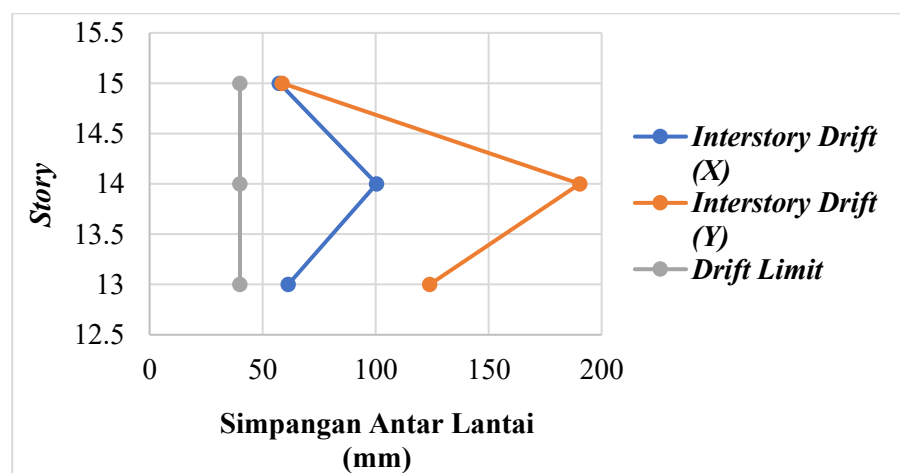
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

3. Gempa San Simeon

Tabel 5. 25 Simpangan Antar Lantai Gempa San Simeon Arah XY

Story	Displacement		Interstory Drift		h	Drift Limit	Cek
	δe_x	δe_y	δe_x	δe_y			
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)	
3	219,330	372,875	57,444	58,645	4000	40,0	NOT OK
2	161,886	314,230	100,480	190,324	4000	40,0	NOT OK
1	61,406	123,906	61,406	123,906	4000	40,0	NOT OK

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 40 Grafik Simpangan Antar Lantai Gempa San Simeon Arah XY

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Drift ratio atau rasio simpangan antar tingkat menurut SNI 1726 didefinisikan sebagai simpangan antar tingkat yang ditinjau dibagi dengan tinggi tingkat yang ditinjau.

Tabel 5. 26 *Drift Ratio* Gempa Kozani Greece Arah XY

Story	<i>Interstory Drift</i>		<i>h</i>	<i>Drift Ratio X</i>	<i>Drift Ratio Y</i>	<i>Max Drift Ratio X</i>	<i>Max Drift Ratio Y</i>
	δe_x	δe_y					
	(mm)	(mm)	(mm)				
3	60,221	57,230	4000	0,0151	0,0143	0,0379	0,0370
2	111,672	148,094	4000	0,0279	0,0370		
1	60,353	102,665	4000	0,0151	0,0257		

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Tabel 5. 27 *Drift Ratio* Gempa Imperial Valley Arah XY

Story	<i>Interstory Drift</i>		<i>h</i>	<i>Drift Ratio X</i>	<i>Drift Ratio Y</i>	<i>Max Drift Ratio X</i>	<i>Max Drift Ratio Y</i>
	δe_x	δe_y					
	(mm)	(mm)	(mm)				
3	60,627	64,463	4000	0,0152	0,0161	0,0237	0,0481
2	94,787	192,390	4000	0,0237	0,0481		
1	63,385	125,390	4000	0,0158	0,0313		

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Tabel 5. 28 *Drift Ratio* Gempa San Simeon Arah XY

Story	<i>Interstory Drift</i>		<i>h</i>	<i>Drift Ratio X</i>	<i>Drift Ratio Y</i>	<i>Max Drift Ratio X</i>	<i>Max Drift Ratio Y</i>
	δe_x	δe_y					
	(mm)	(mm)	(mm)				
3	57,444	58,645	4000	0,0144	0,0147	0,0251	0,0476
2	100,480	190,324	4000	0,0251	0,0476		
1	61,406	123,906	4000	0,0154	0,0310		

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan hasil analisis, seluruh rekaman gempa menghasilkan nilai *interstory drift* yang melebihi batas simpangan izin sebesar 40 mm, sehingga seluruh lantai dinyatakan *NOT OK*. Nilai *interstory drift* maksimum arah X berturut-turut sebesar 111,672 mm (Kozani Greece), 94,787 mm (Imperial Valley), dan 100,480 mm (San Simeon). Sementara itu, arah Y menghasilkan nilai maksimum sebesar 148,094 mm (Kozani Greece), 192,390 mm (Imperial Valley), dan 190,324 mm (San Simeon). Secara umum, *Story 2* merupakan lantai yang mengalami *interstory drift*

terbesar, dan respons struktur pada arah Y lebih kritis dibandingkan arah X.

5.2.3 Pengaruh Efek *P-Delta*

Pengecekan pengaruh efek *P-Delta* dilakukan untuk mengetahui signifikansi pengaruh efek orde kedua terhadap perilaku struktur. Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil analisis *non linear time history* dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Rasio kebutuhan geser (β) diambil sebesar 1,0 sebagai nilai konservatif sesuai ketentuan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.7. Berikut merupakan contoh perhitungan pengecekan pengaruh efek *P-Delta* menggunakan rekaman gempa Kozani Greece 01.

$$P_x = 9237,095 \text{ kN}$$

$$V_x = 5247,5 \text{ kN}$$

$$\Delta = 60,353 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$C_d = 3$$

$$h_{sx} = 4000 \text{ mm}$$

$$\beta = 1,0$$

$$\begin{aligned} \text{Batas koefisien stabilitas } (\theta_{max}) &= \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \\ &= \frac{0,5}{1 \times 3} \leq 0,25 \\ &= 0,1667 \leq 0,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Stabilitas, } \theta &= \frac{P_x \times \Delta \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \\ &= \frac{9237,095 \times 60,353 \times 1,5}{5247,5 \times 4000 \times 3} \\ &= 0,0133 \end{aligned}$$

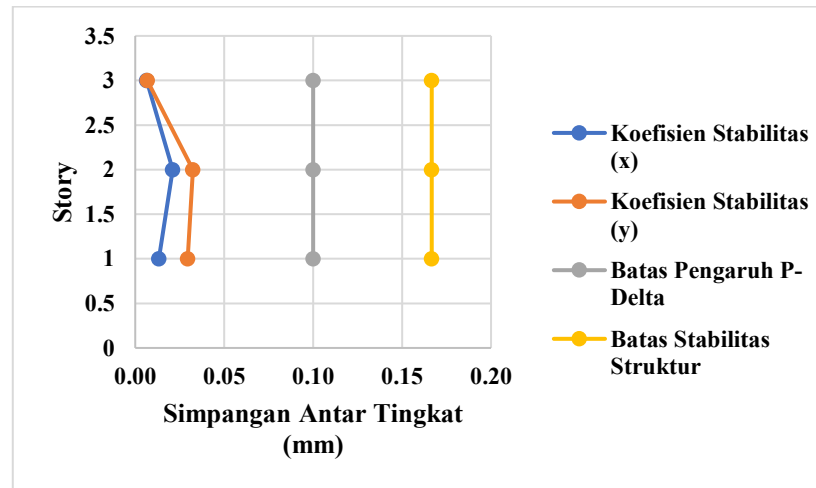
Berikut merupakan rekapitulasi pengecekan pengaruh efek *P-Delta* untuk beban gempa lainnya:

1. Gempa Kozani Greece

Tabel 5. 29 Pengaruh Efek *P-Delta* Gempa Kozani Greece

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_X	Δ_Y	P	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)		(mm)	θ_X			
3	60,221	57,230	645,9672	754,7	683,6675	4000	0,0064	0,0068	0,1	0,1667	OK
2	111,672	148,094	5258,161	3484,2	3002,6116	4000	0,0211	0,0324	0,1	0,1667	OK
1	60,353	102,665	9237,095	5247,5	4028,7059	4000	0,0133	0,0294	0,1	0,1667	OK

Sumber: Hasil Penelitian, 2026



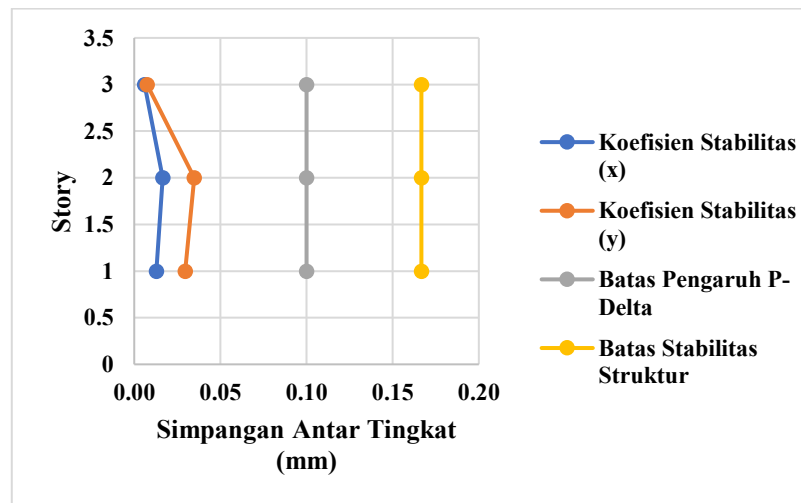
Gambar 5. 41 Grafik Pengaruh Efek *P-Delta* Gempa Kozani Greece
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

2. Gempa Imperial Valley

Tabel 5. 30 Pengaruh Efek *P-Delta* Gempa Imperial Valley

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_X	Δ_Y	P	V_x	V_y						
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)		(mm)	θ_X			
3	60,627	64,463	645,967	813,15	699,759	4000	0,0060	0,0074	0,1	0,1667	OK
2	94,787	192,390	5258,16	3772,4	3630,2832	4000	0,0165	0,0348	0,1	0,1667	OK
1	63,385	125,390	9237,09	5693,0	4883,7279	4000	0,0129	0,0296	0,1	0,1667	OK

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Gambar 5. 42 Grafik Pengaruh Efek *P-Delta* Gempa Imperial Valley

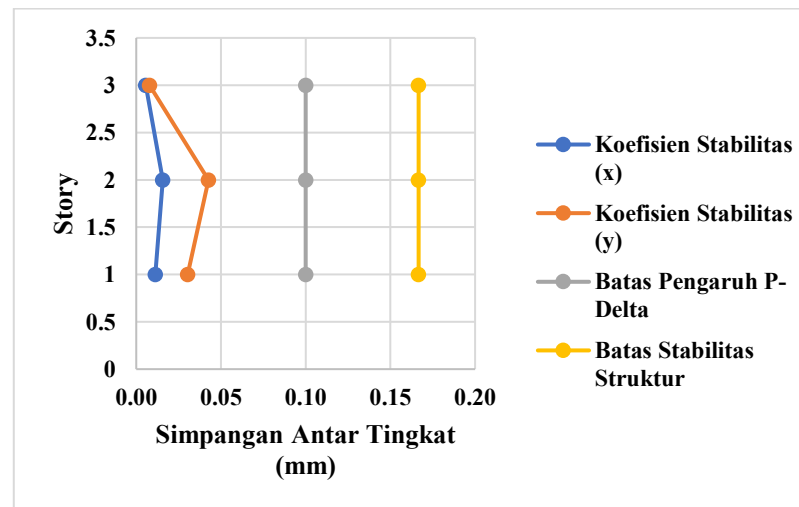
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

3. Gempa San Simeon

Tabel 5. 31 Pengaruh Efek *P-Delta* Gempa San Simeon

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_X	Δ_Y	P	V_x	V_y		θ_X	θ_Y			
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)						
3	57,444	58,645	645,967	822,0	604,7266	4000	0,0056	0,0078	0,1	0,1667	OK
2	100,480	190,324	5258,16	4214,0	2933,0551	4000	0,0157	0,0426	0,1	0,1667	OK
1	61,406	123,906	9237,09	6288,1	4706,8481	4000	0,0113	0,0304	0,1	0,1667	OK

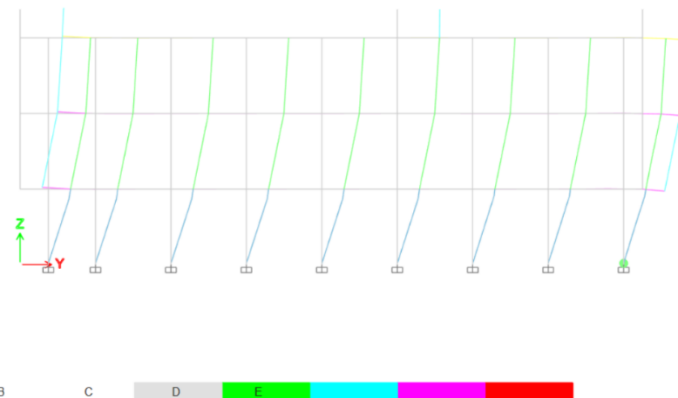
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Gambar 5. 43 Grafik Pengaruh Efek *P-Delta* Gempa San Simeon
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

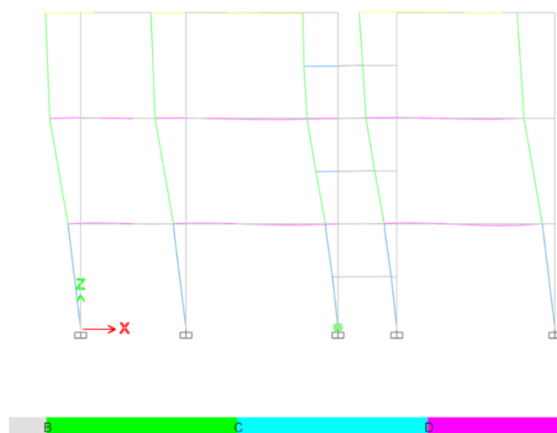
Berdasarkan hasil analisis efek *P-Delta* yang disajikan pada tabel-tabel di atas, tidak terdapat nilai koefisien stabilitas yang melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan ($\theta \leq 0,1$) pada setiap rekaman gempa. Oleh karena itu, struktur yang menjadi objek penelitian ini dinyatakan stabil dan telah memenuhi persyaratan stabilitas berdasarkan SNI 1726:2019.

5.2.4 Sendi Plastis (*Plastic Hinge*)

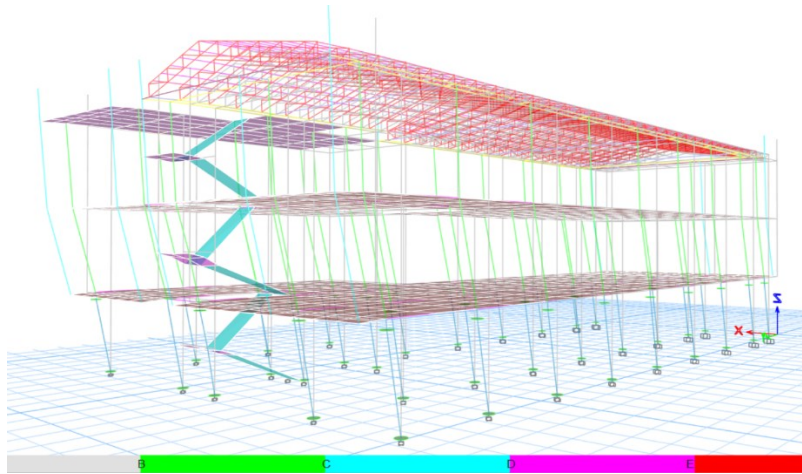
Pemodelan sendi plastis digunakan untuk mengetahui mekanisme keruntuhan struktur gedung akibat gaya gempa. Sendi plastis dimodelkan pada elemen struktur yaitu balok, kolom dan dinding geser. Hasil analisis sendi plastis dilihat sebagai berikut.



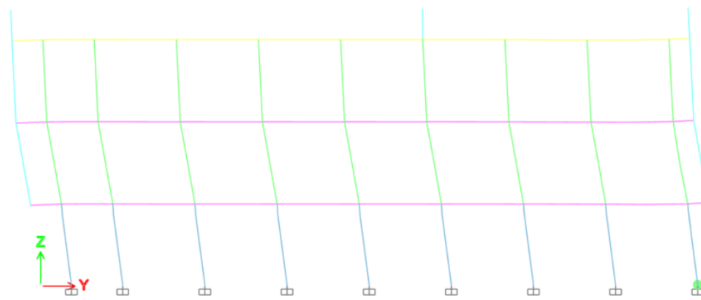
Gambar 5. 44 Sendi Plastis Pertama Akibat Gempa Imperial Valley Arah Y
Sumber: ETABS v22



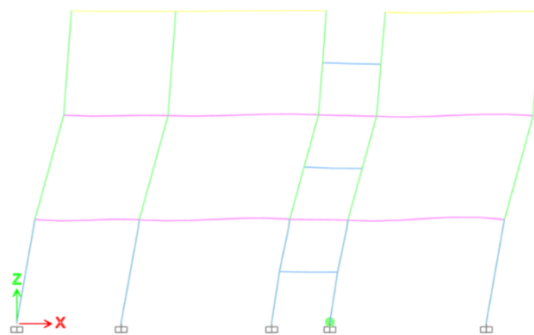
Gambar 5. 45 Sendi Plastis Pertama Akibat Gempa Imperial Valley Arah X
Sumber: ETABS v22



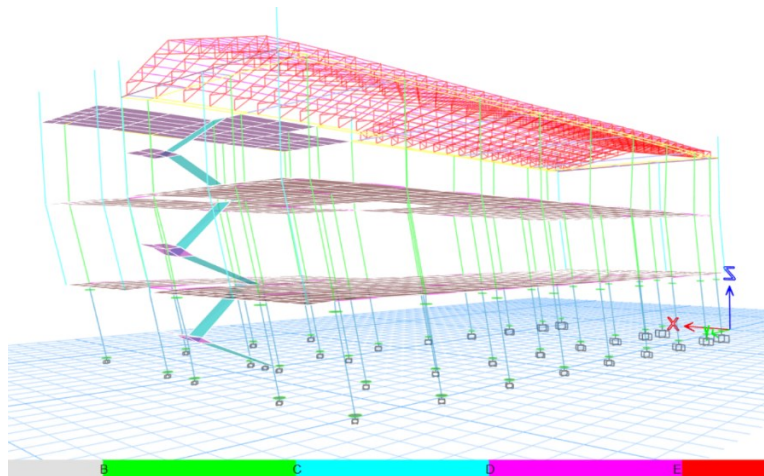
Gambar 5. 46 Sendi Plastis Akibat Gempa Imperial Valley Arah Y
Sumber: ETABS v22



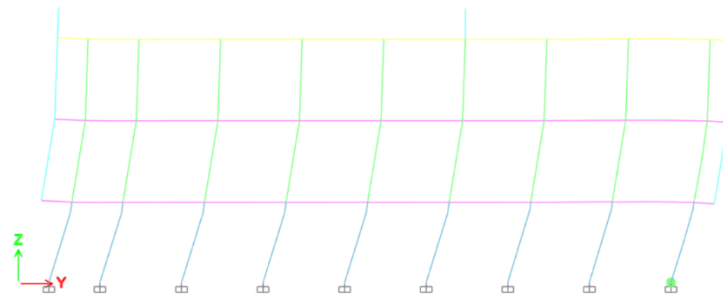
Gambar 5. 47 Sendi Plastis Pertama Akibat Gempa Kozani Greece Arah Y
Sumber: ETABS v22



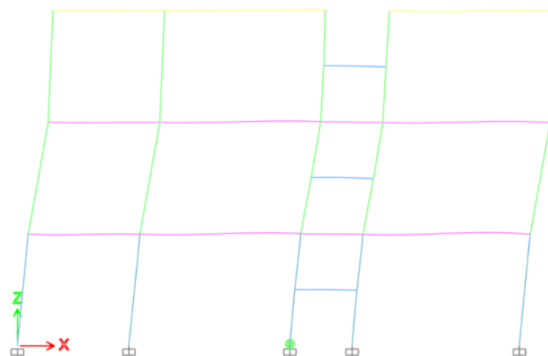
Gambar 5. 48 Sendi Plastis Pertama Akibat Gempa Kozani Greece Arah X
Sumber: ETABS v22



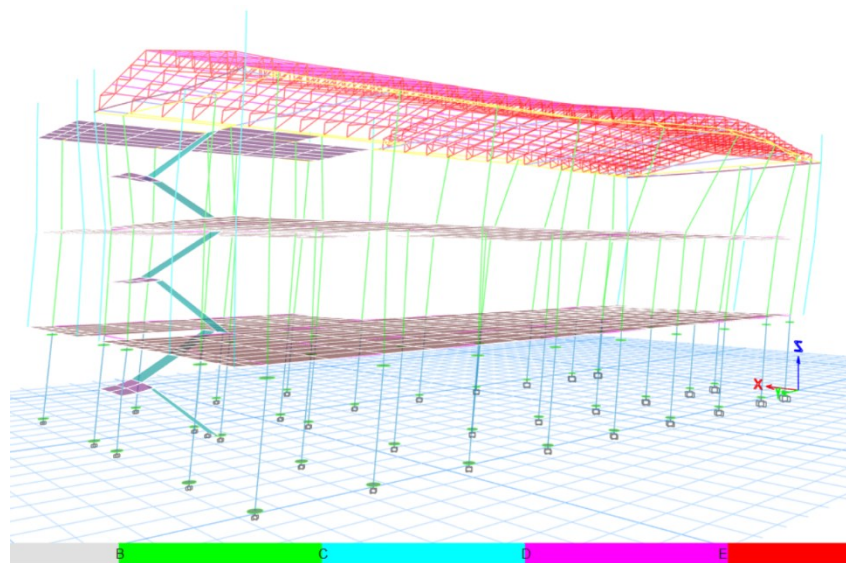
Gambar 5. 49 Sendi Plastis Akibat Gempa Kozani Arah Y
Sumber: ETABS v22



Gambar 5. 50 Sendi Plastis Pertama Akibat Gempa San Simeon Arah Y
Sumber: ETABS v22



Gambar 5. 51 Sendi Plastis Pertama Akibat Gempa San Simeon Arah X
Sumber: ETABS v22



Gambar 5. 52 Sendi Plastis Akibat Gempa San Simeon Arah Y
Sumber: ETABS v22

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Sendi Plastis Pertama yang Terbentuk pada Setiap Rekaman Gempa

Rekaman Gempa	Arah	Elemen	Story	Label Hinge	Waktu Terbentuk (s)	Hinge State	Hinge Status
Imperial Valley	Y	Kolom	Story 1	C448H1	16,49	B to $\leq$ C	A to $\leq$ IO
Kozani Greece	Y	Kolom	Story 1	C448H1	4,62	B to $\leq$ C	A to $\leq$ IO
San Simeon	Y	Kolom	Story 1	C448H1	4.018	B to $\leq$ C	A to $\leq$ IO

Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Tabel 5. 33 Rekapitulasi Total Sendi Plastis yang Terbentuk pada Setiap Rekaman Gempa

Rekaman Gempa	Arah	Balok	Kolom	Total
Imperial Valley	X	6	25	31
Imperial Valley	Y	3	34	37
Kozani Greece	X	7	19	26
Kozani Greece	Y	0	34	34
San Simeon	X	13	31	44
San Simeon	Y	0	34	34

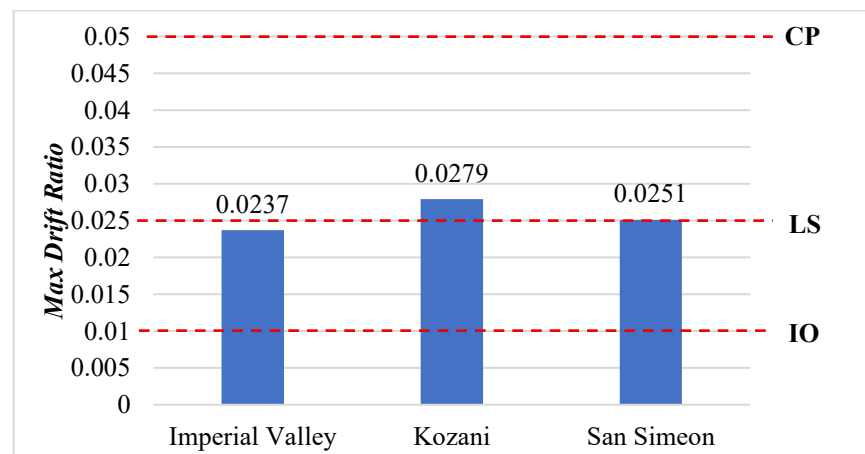
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan hasil analisis *hinge response*, pembentukan sendi plastis pertama pada ketiga rekaman gempa terjadi pada elemen kolom C448H1

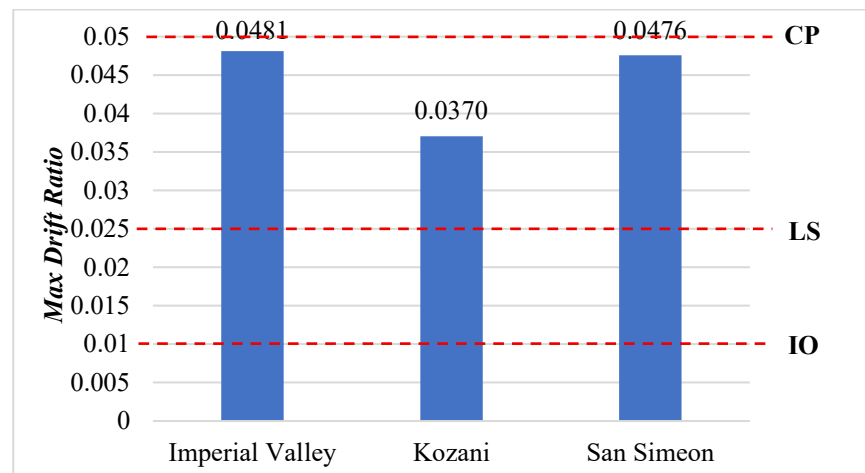
di lantai 1. Rekaman gempa San Simeon menghasilkan pembentukan sendi plastis paling awal, yaitu pada detik ke 4,018, diikuti oleh Kozani pada detik ke 4,62 dan Imperial Valley pada detik ke 16,49. Seluruh sendi plastis awal berada pada Hinge State B to $\leq$ C dengan *Hinge Status* A to $\leq$ IO, yang menunjukkan bahwa elemen masih memenuhi tingkat kinerja *Immediate Occupancy (IO)*.

Rekapitulasi jumlah elemen yang mengalami pembentukan sendi plastis menunjukkan bahwa rekaman gempa San Simeon arah X menghasilkan jumlah elemen terbanyak, yaitu 44 elemen, sedangkan Kozani arah X menghasilkan jumlah paling sedikit, yaitu 26 elemen. Pada seluruh rekaman gempa, jumlah kolom yang mengalami pembentukan sendi plastis lebih banyak dibandingkan balok, sehingga dapat disimpulkan bahwa perilaku inelastis struktur pada model ini lebih dominan terjadi pada elemen kolom.

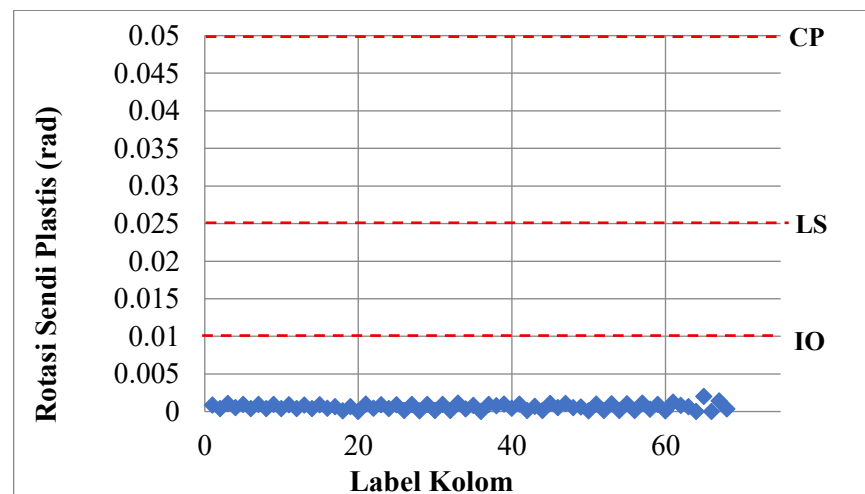
5.2.5 Level Kinerja Struktur



Gambar 5. 53 Level Kinerja Struktur Arah X
Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 54 Level Kinerja Struktur Arah Y
Sumber: Hasil Penelitian, 2026



Gambar 5. 55 Rotasi Sendi Plastis Kolom Akibat Gempa Imperial Valley Arah Y
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Berdasarkan hasil analisis dinamik *non-linear* (NLTHA), terdapat perbedaan indikasi tingkat kinerja antara tinjauan global dan lokal.

1. Tinjauan Global (*Max Drift Ratio*)

Secara global pada arah X, nilai *Max Drift Ratio* untuk gempa Imperial Valley dan San Simeon masih termasuk ke dalam kategori *Life Safety* (LS) sehingga saat gempa terjadi, struktur gedung mengalami kerusakan struktur yang signifikan dan struktur masih memiliki kekakuan yang cukup sehingga terhindar dari keruntuhan. Sedangkan untuk gempa Kozani Greece berada pada fase transisi dari

Life Safety (LS) menuju *Collapse Prevention (CP)* sehingga saat gempa mulai terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang banyak.

Apabila ditinjau dari gempa arah Y, nilai *Max Drift Ratio* dari ketiga jenis gempa berkisar antara 0,0370 hingga 0,0481. Seluruh respons arah Y berada pada fase transisi dari *Life Safety (LS)* menuju *Collapse Prevention (CP)*.

2. Tinjauan Lokal (*Plactic Hinge*)

Hasil analisis menunjukkan bahwa elemen kolom mengalami leleh terlebih dahulu dengan status kinerja *Immediate Occupancy (IO)*. Fenomena ini dinilai wajar dan sesuai dengan filosofi desain Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB/OMF) menurut SNI 1726 dan AISC 341. Pada sistem OMF, pembatasan ketat mengenai prinsip *Strong-Column Weak-Beam (SCWB)* tidak disyaratkan secara regulasi, sehingga leleh awal dikondisikan pada kekuatan nominal penampang komponen dalam menahan kombinasi gaya lateral.