

## Analisis Performa Dinamik Struktur Portal Rangka Baja Terhadap Gempa Menggunakan Metode *Response Spectrum* Dan *Time History*

*Dynamic Performance Analysis of Steel Frame Portal Structures Under Earthquake Loads Using the Response Spectrum and Time History Methods*

Nur Hadi Laisi Pasau<sup>1</sup>, Herlina Arifin<sup>2</sup>, Wilis Sutiono<sup>3</sup>, Didik Setyo P<sup>4</sup>, Asriadi<sup>5</sup>

(1,2,3,4,5) Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong

### Abstrak

Kota Sorong memiliki risiko gempa tinggi karena berada di jalur tektonik aktif, namun penerapan struktur rangka baja masih rendah. Mengingat kekuatan dan fleksibilitasnya, struktur baja berpotensi menjadi solusi bangunan tahan gempa, khususnya untuk fasilitas vital seperti rumah sakit. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja struktur portal rangka baja lima lantai terhadap beban gempa menggunakan tiga skenario analisis: (1) gabungan *Response Spectrum* dan *Time History* dengan *spectrum matching*, (2) *Response Spectrum*, dan (3) *Time History*. Pemodelan dilakukan di *Software ETABS* dengan beban gempa dari data lokal dan gempa Chi-Chi Taiwan yang telah disesuaikan. Hasil menunjukkan metode gabungan menghasilkan *base shear* lebih rendah dibandingkan metode terpisah, semua metode memenuhi partisipasi massa  $\geq 90\%$ , dan *story drift* terbesar terjadi pada *Time History* arah X (264,82 mm), melebihi batas izin 40 mm. *Bracing* menjadi elemen paling kritis dengan *stress ratio*  $>6$  (*Response Spectrum*) dan  $>11$  (*Time History*), sedangkan kolom dan balok umumnya aman. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan metode analisis gempa yang tepat untuk efisiensi dan keamanan bangunan vital di wilayah rawan gempa.

**Kata Kunci:** Portal Rangka Baja, *Spectrum Matching*, *Response Spectrum*, *Time History*, *Base Shear*, *Dsplacement*, *Story Drift*, Partisipasi Massa, *Stress Ratio*

### Abstract

Kota Sorong faces high seismic risk due to its location on an active tectonic zone, yet the application of steel frame structures remains limited. Given their strength and flexibility, steel frames are a potential solution for earthquake-resistant buildings, especially for critical facilities like hospitals. This study aims to compare the performance of a five-story steel moment frame building under seismic loads using three analysis scenarios: (1) combined *Response Spectrum* and *Time History* with *spectrum matching*, (2) *Response Spectrum*, and (3) *Time History*. Modeling was conducted in *ETABS* using seismic loads from local hazard data and the Chi-Chi Taiwan earthquake record, adjusted via *spectrum matching*. Results show the combined method produced lower *base shear* than separate methods, all methods achieved  $\geq 90\%$  mass participation, and the highest *story drift* occurred in *Time History* along the X-axis (264.82 mm), exceeding the 40 mm limit. *Bracing* was the most critical element with *stress ratios*  $>6$  (*Response Spectrum*) and  $>11$  (*Time History*), while columns and beams were generally safe. These findings highlight the importance of selecting the right seismic analysis method for both safety and efficiency in earthquake-prone regions.

**Keywords:** Steel Frame Portal, *Spectrum Matching*, *Response Spectrum*, *Time History*, *Base Shear*, *Dsplacement*, *Story Drift*, Modal Participating Mass Ratios, *Stress Ratio*

## PENDAHULUAN

Kota Sorong, sebagai salah satu wilayah strategis di Papua Barat Daya, memiliki tingkat risiko gempa yang tinggi karena berada di dekat jalur tektonik aktif. Saat ini, pengembangan konstruksi di Kota Sorong menunjukkan peningkatan, namun penggunaan struktur rangka baja baru mencapai sekitar 10% dari total bangunan yang ada. Angka ini mencerminkan bahwa konstruksi gedung rangka baja masih berada pada tahap awal perkembangan. Padahal, menurut Safiq, dkk (2024) struktur rangka baja memiliki keunggulan dalam hal kekuatan dan fleksibilitas, yang penting untuk menahan beban dinamis akibat gempa, sehingga cocok diterapkan di wilayah rawan gempa seperti Sorong. Menurut A. Didik Setyo Purwantoro, dkk (2023) struktur harus dirancang agar mampu menahan gaya gempa atau gaya horizontal, yang besarnya bervariasi dari satu wilayah ke wilayah lain tergantung pada kondisi geografis setempat.

Untuk memastikan keamanan struktur bangunan, analisis gempa menjadi langkah penting dalam proses perencanaan. Penelitian oleh Silaban, dkk (2023) menegaskan pentingnya pemilihan metode analisis gempa yang tepat, karena setiap metode memiliki karakteristik yang memengaruhi hasil evaluasi kinerja struktur. Selanjutnya, Gali Pribadi dan Faizal Addin Achmad (2023) menunjukkan bahwa karakteristik tanah yang berbeda dapat menyebabkan perbedaan signifikan terhadap simpangan antar tingkat dan distribusi tegangan

(\*)Corresponding author

Telp :

E-mail :

<http://doi.org/xxx>

Received xx Bulan Tahun; Accepted xx Bulan Tahun; Available online xx Bulan Tahun

E-ISSN:

pada elemen struktur, sehingga pendekatan perencanaan harus bersifat lokasi spesifik. Bahkan dalam studi oleh Gegiranang, dkk (2023), penggunaan sistem Bracing seperti bresing X dan canggah wang terbukti meningkatkan kekakuan lateral secara signifikan dalam struktur tinggi terhadap beban gempa, yang menekankan bahwa elemen tambahan juga perlu dianalisis secara mendalam dalam sistem rangka baja.

Namun, penelitian tentang perbandingan metode *Response Spectrum* dan *Time History* pada struktur gedung rangka baja di Kota Sorong masih sangat terbatas, padahal karakteristik gempa di wilayah ini, seperti spektrum respons tanah dan pola gempa lokal yang khas, sangat memengaruhi hasil analisis. Penelitian serupa telah dilakukan oleh Tua Novensius Silaban, dkk. (2023) pada gedung bertingkat tinggi di Pulau Jawa yang memiliki karakteristik seismik berbeda dengan Kota Sorong, dengan hasil menunjukkan bahwa displacement dapat melampaui batas yang diizinkan, sehingga diperlukan perkuatan struktur berupa peningkatan kekakuan kolom atau penambahan elemen dinding geser.

## TINJAUAN PUSTAKA

### **Response Spectrum Gempa Rencana**

Dalam analisis beban gempa dinamik, *Response Spectrum* disusun berdasarkan respons terhadap percepatan tanah (*ground acceleration*) hasil rekaman gempa. Desain spektrum merupakan representasi gerakan tanah (*ground motion*) akibat getaran gempa yang pernah terjadi pada suatu lokasi. Analisis beban gempa dinamik *Response Spectrum* ditentukan oleh percepatan gempa rencana dan massa total struktur. Dalam analisis ini, data gempa untuk metode *Response Spectrum* diperoleh menggunakan perangkat lunak RSA (*Response Spectrum Analysis*) yang mengacu pada parameter gempa dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2021.

### **Analisis Dinamik Riwayat Waktu (Time History Analysis)**

Analisis dinamik riwayat waktu (*Time History Analysis*) merupakan metode analisis gempa yang sangat komprehensif karena menghitung respons struktur sebagai fungsi waktu akibat pembebanan gempa. Dalam metode ini, percepatan tanah dimasukkan secara langsung dalam bentuk data rekaman gempa (*acceleration time series*), sehingga memungkinkan analisis struktur terhadap setiap perubahan percepatan dalam selang waktu tertentu. *Time history* menggunakan data rekaman gempa aktual dari *database* seperti *PEER Ground Motion Database*.

### **Matching Time History dan Response Spectrum**

Agar hasil dari analisis *Time History* dapat dibandingkan langsung dengan *Response Spectrum*, maka dilakukan proses yang disebut *matching* atau spektrum *matching*.

### **Periode Fundamental**

Periode fundamental struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan sifat struktur dan karakteristik deformasi elemen pemikul dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan  $T_a$ . Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$h_n$  = adalah tinggi total bangunan (m), diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$ .

### **Penskalaan Gaya**

Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari  $C_u T_a$  pada suatu arah tertentu, maka periode struktur  $T$  harus diambil sebesar  $C_u T_a$ . Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100 % dari gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ , dimana  $V$  adalah gaya geser dasar statik ekuivalen, dan  $V_t$  adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

### Gaya Geser Dasar Nominal, V (Base Shear)

Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 100% nilai respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal V, maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan menurut persamaan berikut:

$$V_t = 100\% V_1 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

V<sub>1</sub> = Gaya geser dasar nominal respons ragam pertama

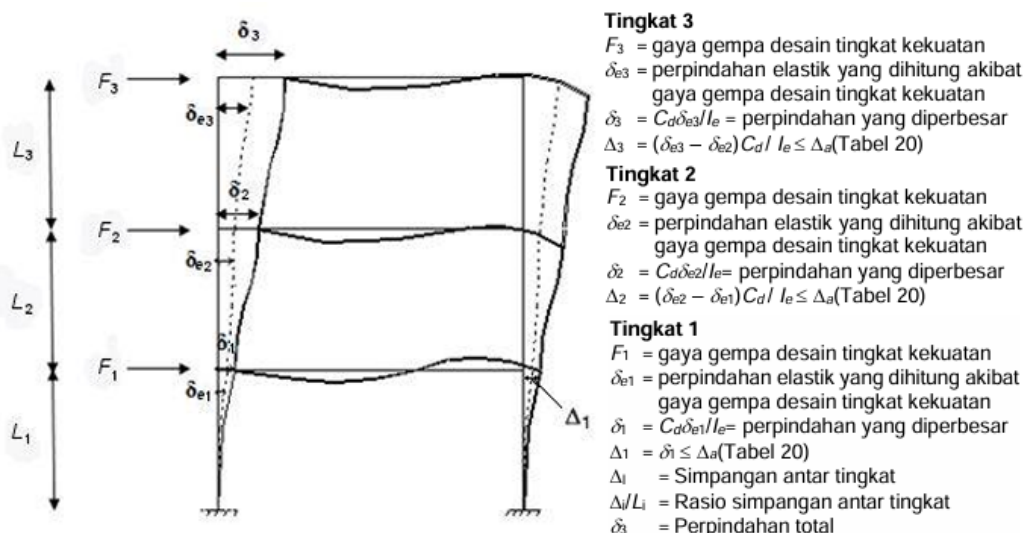
V<sub>t</sub> = Gaya geser dasar nominal yang di dapat dari hasil analisis Ragam Response Spectrum yang telah di lakukan.

### Partisipasi Massa / Modal Participating Mass Ratio (MPMR)

Berdasarkan SNI 1726-2019, jumlah pola getar pada struktur yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam harus mencakup partisipasi massa paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal orthogonal.

### Penentuan Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya jika desain tegangan izin digunakan.



**Gambar 1** Simpangan Antar Tingkat

Sumber: SNI 1726:2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung".

Menurut SNI 1726: 2019, penentuan simpangan antar lantai ( $\Delta$ ), dihitung sebagai selisih dan perbedaan simpangan terbesar pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau, dari defleksi titik-titik diatas dan dibawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur. Simpangan pusat massa di tingkat yang ditinjau harus dihitung sebagai selisih terbesar dari simpangan titik titik yang segaris secara vertikal di sepanjang salah satu bagian tepi struktur dan harus ditentukan sesuai dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\delta_x \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

C<sub>d</sub> = Faktor pembesaran simpangan lateral

$\delta_{Ie}$  = Simpangan di tingkat yang ditinjau

I<sub>e</sub> = Faktor keutamaan gempa

**Tabel 1** Simpangan Antar Tingkat Ijin

| Struktur                                                                                                                                                                                                                    | Kategori risiko |               |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|---------------|
|                                                                                                                                                                                                                             | I atau II       | III           | IV            |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. | $0,025h_{sx}^c$ | $0,02h_{sx}$  | $0,015h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>                                                                                                                                                                    | $0,010h_{sx}$   | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya                                                                                                                                                                                    | $0,007h_{sx}$   | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ |
| Semua struktur lainnya                                                                                                                                                                                                      | $0,020h_{sx}$   | $0,015h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |

Sumber: SNI 1726:2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung".

### Stress Ratio

*Stress ratio* atau rasio tegangan merupakan perbandingan antara tegangan aktual yang terjadi pada elemen struktur akibat beban kerja terhadap kapasitas atau kekuatan nominal maksimum dari elemen tersebut. Nilai *stress ratio* digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana suatu elemen struktur menahan beban yang bekerja padanya. Jika nilai *stress ratio* lebih kecil dari 1, maka elemen dianggap aman karena tegangan aktual belum melampaui kapasitas yang diizinkan. Sebaliknya, jika nilainya melebihi 1, maka elemen tersebut mengalami beban yang melampaui kapasitasnya dan dikategorikan tidak aman.

## METODE

### Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja dinamik struktur portal rangka baja lima lantai di Kota Sorong, Papua Barat Daya, yang berada di wilayah rawan gempa. Model struktur dirancang menggunakan sistem *bracing* sebagian dan mengacu pada SNI 1726:2019 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa), SNI 1729:2020 (Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural), dan SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural). Analisis dilakukan dengan tiga skenario, yaitu metode *Matching Response Spectrum* dan *Time History*, metode *Response Spectrum*, serta metode *Time History*, untuk membandingkan respons struktur yang dihasilkan masing-masing pendekatan.

### Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen

Pendekatan analisis menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak ETABS v20. Untuk metode *Response Spectrum*, parameter gempa diambil dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2021, kemudian disesuaikan dengan kondisi tanah situs D menggunakan faktor  $F_a$  dan  $F_v$  sesuai SNI. Metode *Time History* menggunakan data rekaman gempa aktual yang dimodifikasi melalui proses *spectrum matching* agar kurva spektrum responsnya sesuai dengan spektrum desain SNI 1726:2019.

### Teknik Analisis Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengekstrak hasil analisis dari ETABS untuk setiap skenario. Parameter yang dikumpulkan meliputi *base shear*, *modal participating mass ratio*, *displacement*, *story drift*, dan *stress ratio* pada elemen balok, kolom, serta *bracing*. Data hasil analisis direkap dan diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk memudahkan penghitungan, visualisasi, serta perbandingan antar metode.

### Teknik Analisis Data

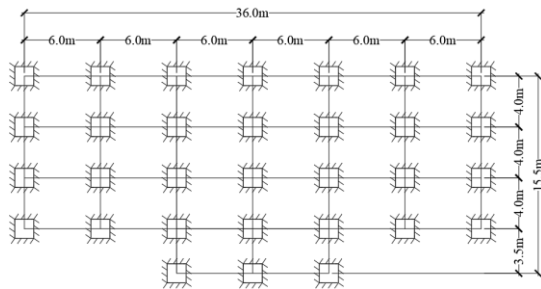
Analisis data dilakukan secara komparatif dengan membandingkan hasil ketiga skenario terhadap batasan yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019, seperti batas maksimum simpangan antar tingkat dan persyaratan partisipasi massa minimal 90%. Hasil perbandingan digunakan untuk mengidentifikasi elemen struktur yang kritis, mengevaluasi efektivitas *bracing* dalam mengurangi deformasi, serta memberikan rekomendasi desain yang aman dan efisien untuk bangunan baja di wilayah rawan gempa.

### Data dan Model Struktur

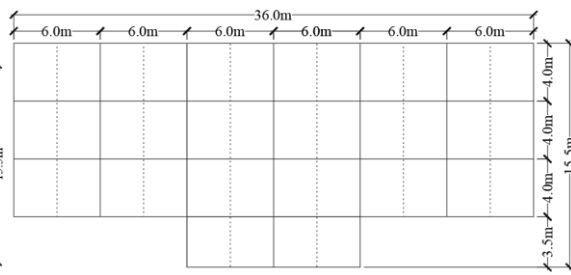
- Informasi Umum Data Permodelan
  - Tipe Bangunan = Rumah Sakit
  - Letak Bangunan = Sorong
  - Tinggi Bangunan = 20 m
  - Tinggi Per Lantai = 4 m

Lebar Bangunan = 15,5 m  
 Panjang Bangunan = 36 m

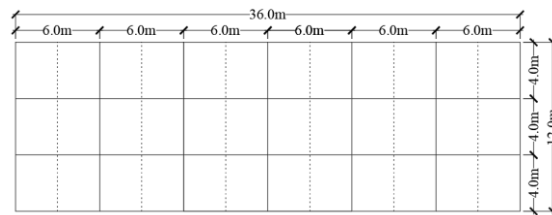
## 2. Model Struktur



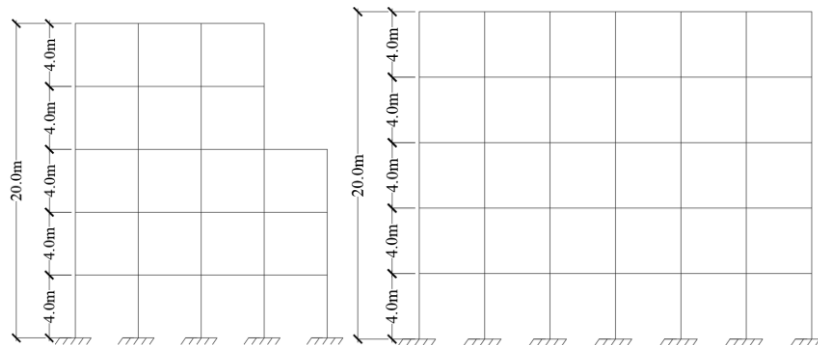
**Gambar 2 Denah Lantai 1**



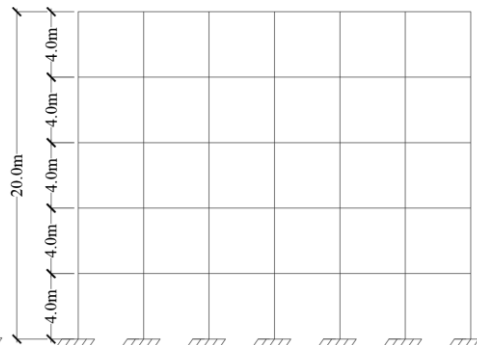
**Gambar 3 Denah Lantai 2- 4**



**Gambar 4 Denah Lantai 5-Atap**



**Gambar 5 Denah Potongan Y**



**Gambar 6 Denah Potongan X**

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Perencanaan Struktur

**Tabel 2 Data Struktur Gedung Portal Rangka Baja**

|                                                   |                                  |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Balok Induk</b>                                | = WF.350.175.7.11                |
| <b>Balok Anak</b>                                 | = WF.300.150.11                  |
| <b>Kolom</b>                                      | = WF.700.300.13.24               |
| <b>Bracing</b>                                    | = WF.250.125.6.9                 |
| <b>Tebal Pelat (Slab) Lantai 2-5</b>              | = 12 cm                          |
| <b>Tebal Pelat Atap</b>                           | = 10 cm                          |
| <b>Mutu Beton (<math>f_c'</math>)</b>             | = 30 Mpa                         |
| <b>Modulus Elastisitas Beton (<math>E</math>)</b> | = 4.700 Mpa                      |
|                                                   | = $4.700\sqrt{30}=25742.960$ MPa |
| <b>Mutu Baja</b>                                  | = BJ-41                          |
| <b><math>F_y</math></b>                           | = 250 Mpa                        |
| <b><math>F_u</math></b>                           | = 410 MPa                        |
| <b>Modulus Elastisitas Baja (<math>E</math>)</b>  | = 200.000 Mpa                    |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

## Klasifikasi Penampang

Tabel 3 Hasil Klasifikasi Penampang

| Penampang   | Ukuran             | Badan    | Sayap  |
|-------------|--------------------|----------|--------|
| Balok Induk | = WF.350.175.7.11  | Kompak   | Kompak |
| Balok Anak  | = WF.300.150.11    | Kompak   | Kompak |
| Kolom       | = WF.700.300.13.24 | Langsing | Kompak |
| Bracing     | = WF.250.125.6.9   | Kompak   | Kompak |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

## Kontrol Periode Fundamental Pendekatan

Untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) masuk dalam kategori pertama yaitu rangka baja pemikul momen dengan  $C_t = 0,0724$  dan  $x = 0,8$ .

1. Mencari  $T_{a \text{ Minimum}}$

$$T_{a \text{ Minimum}} = C_t \cdot h_n^x$$

$$T_{a \text{ Minimum}_y(U-S)} = 0.0724 \times (20)^{0.8} = 0.795$$

$$T_{a \text{ Minimum}_x(B-T)} = 0.0724 \times (20)^{0.8} = 0.795$$

2. Mencari  $T_{a \text{ Maksimum}}$

$$T_{a \text{ Maksimum}} = C_u \cdot T_{a \text{ Minimum}}$$

$$T_{a \text{ Maksimum}_y(U-S)} = 1.4 \times 0.795 = 1.114$$

$$T_{a \text{ Maksimum}_x(B-T)} = 1.4 \times 0.795 = 1.114$$

Nilai  $T$  hasil analisis harus berada dalam rentang tersebut agar struktur dianggap memiliki kekakuan dan deformasi yang wajar terhadap beban gempa.

1.  $T_{a(B-T)} =$

$$T_{a \text{ Minimum}_x(B-T)} = 0.795$$

$$T_{a \text{ Maksimum}_x(B-T)} = 1.114$$

$$T_{a \text{ ETABS}_x(B-T)} = 1.968$$

$$T_{a(B-T)} = \text{masih jauh melebihi nilai batas maksimum sehingga perlu diperkaku.}$$

2.  $T_{a(U-S)} =$

$$T_{a \text{ Minimum}_y(U-S)} = 0.795$$

$$T_{a \text{ Maksimum}_y(U-S)} = 1.114$$

$$T_{a \text{ ETABS}_y(U-S)} = 0.611$$

Sehingga  $T_{a(U-S)}$  yang digunakan adalah  $= 0.795$

Nilai Periode fundamental pendekatan yang dihasilkan *Output ETABS* melebihi nilai fundamental pendekatan maksimum yang sesuai perhitungan manual menurut SNI 1726-2016 maka perlu diperkaku dengan menambahkan *Bracing* pada sumbu X. Dalam hal ini, sistem struktur yang digunakan adalah rangka baja dengan *Bracing* terkekang terhadap tekuk, yang termasuk dalam kategori sistem struktur yang lebih kaku dibandingkan rangka tanpa *Bracing*. Untuk jenis struktur ini digunakan konstanta  $C_t = 0,0731$  dan  $x = 0,75$ .

1. Mencari  $T_{a \text{ Minimum}}$

$$T_{a \text{ Minimum}} = C_t \cdot h_n^x$$

$$T_{a \text{ Minimum}_x(B-T)} = 0.0731 \times (20)^{0.75} = 0.5 = 0.691$$

2. Mencari  $T_{a \text{ Maksimum}}$

$$T_{a \text{ Maksimum}} = C_u \cdot T_{a \text{ Minimum}}$$

$$T_{a \text{ Maksimum}_x(B-T)} = 1.4 \times 0.691 = 0.968$$

Sehingga

1.  $T_{aX(B-T)} =$

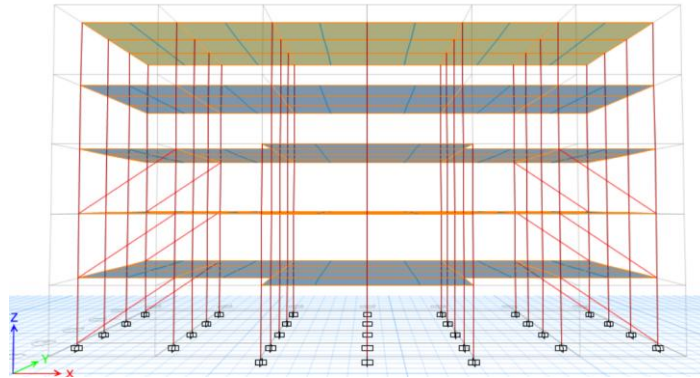
$$T_{a \text{ Minimum}_x(B-T)} = 0.691$$

$$T_{a \text{ Maksimum}_x(B-T)} = 0.968$$

$$T_{a \text{ ETABS}_x(B-T)} = 0.936$$



Sehingga  $T_{a(B-T)}$  yang digunakan adalah=0.936



**Gambar 7** Penggunaan *Diagonal Bracing* pada Struktur  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Setelah dilakukan penambahan sistem *Bracing* pada struktur, dalam konfigurasi *Diagonal Bracing*, terjadi perubahan signifikan terhadap perilaku dinamik struktur. Penambahan *Bracing* terbukti meningkatkan kekakuan lateral dan menurunkan nilai perioda fundamental struktur hingga berada dalam batas aman sesuai parameter desain gempa.

**Tabel 4** Data Arah X Dan Y yang Akan Digunakan

| $B-T \text{ Dir} = x$ | $T_x (B-T)$ | 0.936              | $U-S \text{ Dir} = y$ | $T_y (U-S)$ | 0.611              |
|-----------------------|-------------|--------------------|-----------------------|-------------|--------------------|
|                       | $R$         | 6                  |                       | $R$         | 8                  |
|                       | $\Omega$    | 2                  |                       | $\Omega$    | 3                  |
|                       | $C_D$       | 5                  |                       | $C_D$       | 5.5                |
|                       | Kategori    | IV                 |                       | Kategori    | IV                 |
|                       | Resiko      |                    |                       | Resiko      |                    |
|                       | $I_e$       | 1.5                |                       | $I_e$       | 1.5                |
|                       | Lokasi      | KM 10, KOTA SORONG |                       | Lokasi      | KM 10, KOTA SORONG |
|                       | $S_1$       | 0.524              |                       | $S_1$       | 0.524              |
|                       | $S_s$       | 1.295              |                       | $S_s$       | 1.295              |
|                       | $S_{ds}$    | 0.849              |                       | $S_{ds}$    | 0.849              |
|                       | $S_{d1}$    | 0.610              |                       | $S_{d1}$    | 0.610              |
|                       | $TL$        | 11 S               |                       | $TL$        | 11 S               |
|                       | $KDS$       | D                  |                       | $KDS$       | D                  |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Partisipasi Massa / Modal Participating Mass Ratios

**Tabel 5** Partisipasi Massa/ Modal Participating Mass Ratios Matching Time History dan Response Spectrum

| Modal Participating Mass Ratios Matching Time History dan Response Spectrum |      |        |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|--------|-------|-------|
| Case                                                                        | Mode | Period | SumUX | SumUY |
| sec                                                                         |      |        |       |       |
| Modal                                                                       | 1    | 0,992  | 0,495 | 0,000 |
| Modal                                                                       | 2    | 0,670  | 0,495 | 0,760 |
| Modal                                                                       | 3    | 0,595  | 0,495 | 0,760 |
| Modal                                                                       | 4    | 0,388  | 0,886 | 0,760 |
| Modal                                                                       | 5    | 0,221  | 0,936 | 0,760 |
| Modal                                                                       | 6    | 0,195  | 0,936 | 0,899 |
| Modal                                                                       | 7    | 0,180  | 0,936 | 0,899 |
| Modal                                                                       | 8    | 0,128  | 0,989 | 0,899 |
| Modal                                                                       | 9    | 0,091  | 0,989 | 0,962 |
| Modal                                                                       | 10   | 0,086  | 1,000 | 0,962 |
| Modal                                                                       | 11   | 0,084  | 1,000 | 0,962 |
| Modal                                                                       | 12   | 0,055  | 1,000 | 0,989 |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Ketiga metode menunjukkan hasil identik pada partisipasi massa, yaitu memenuhi syarat minimum 90% sesuai ketentuan analisis dinamik. Nilai pada arah X mencapai 1,000, sedangkan pada arah Y sebesar 0,989, yang berarti hampir seluruh massa struktur telah terwakili hingga mode ke-12.

### Base Shear dari Hasil Analisa Response Spectrum

**Tabel 6** Base Shear Response Spectrum

| Base Shear Response Spectrum |            |            |
|------------------------------|------------|------------|
| Output Case                  | $F_x$ (kN) | $F_y$ (kN) |
| EQx                          | 1339       | -          |
| EQy                          | -          | 1182       |
| RSx                          | 939        | -          |
| RSy                          | -          | 1013       |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Keterangan :  
 EQx : Gempa Statik Arah x  
 EQy : Gempa Statik Arah y  
 RSx THx : Gempa Dinamik Arah x  
 RSy Thy : Gempa Dinamik Arah y

Hasil diatas menunjukkan bahwa gaya geser dari metode *Response Spectrum* lebih kecil dari 100% gaya statik. Oleh karena itu, dilakukan penskalaan gaya dengan cara mengalikan hasil gaya dari analisis *Response Spectrum* dengan rasio  $V/V_t$ , yaitu perbandingan antara gaya statik ekuivalen dan gaya dinamik hasil analisis ragam.

**Tabel 7** Base Shear Response Spectrum Setelah Penskalaan

| Base Shear Response Spectrum |            |            |
|------------------------------|------------|------------|
| Output Case                  | $F_x$ (kN) | $F_y$ (kN) |
| EQx                          | 1339       | -          |
| EQy                          | -          | 1182       |
| RSx                          | 1353       | -          |
| RSy                          | -          | 1195       |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Keterangan :  
 EQx : Gempa Statik Arah x  
 EQy : Gempa Statik Arah y  
 RSx THx : Gempa Dinamik Arah x  
 RSy Thy : Gempa Dinamik Arah y

### Simpangan Antar Lantai (Story Drift) dari Hasil Analisa Response Spectrum

**Tabel 1** Story Drift Response Spectrum Arah Y

| Response Spectrum |                             |                                      |                        |                                               |                          |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Story             | Displacement ( $\delta_y$ ) | Perpindahan Elastik ( $\delta e_y$ ) | Story Drift $\Delta y$ | Story Drift Izin $\Delta a$ (0,010 $h_{sx}$ ) | Story Drift < $\Delta a$ |
|                   | mm                          | mm                                   | mm                     | mm                                            |                          |
| Lantai Atap       | 29,40                       | 5,07                                 | 18,58                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 5          | 24,33                       | 6,52                                 | 23,92                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 4          | 17,81                       | 7,39                                 | 27,10                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 3          | 10,42                       | 6,90                                 | 25,28                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 2          | 3,52                        | 3,52                                 | 12,91                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |

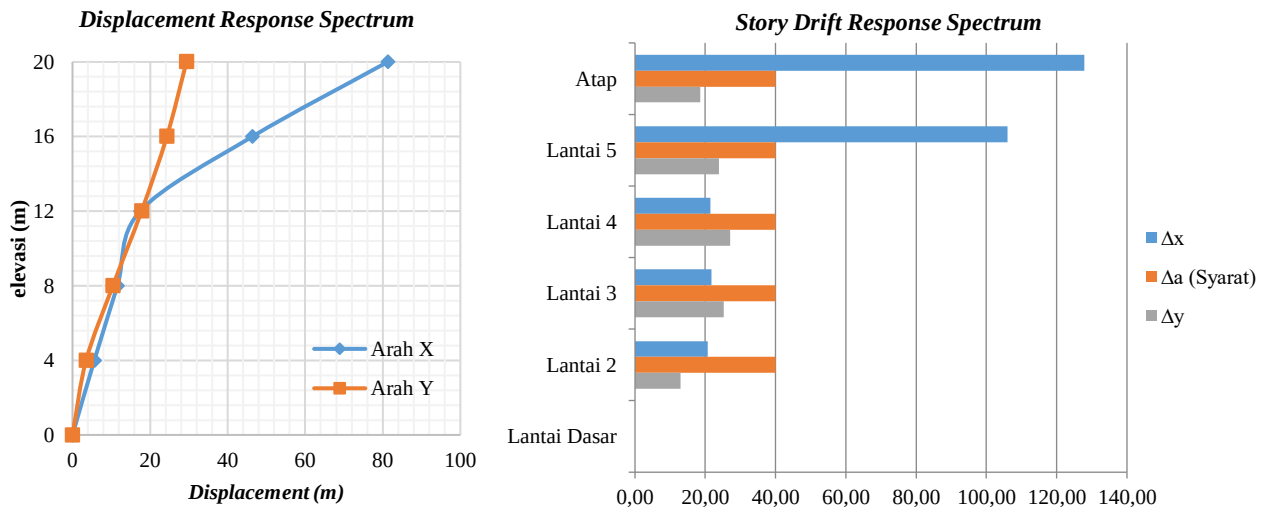
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

**Tabel 2** Story Drift Response Spectrum Arah X

| Response Spectrum |                             |                                      |                        |                                               |                          |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Story             | Displacement ( $\delta_x$ ) | Perpindahan Elastik ( $\delta e_x$ ) | Story Drift $\Delta x$ | Story Drift Izin $\Delta a$ (0,010 $h_{sx}$ ) | Story Drift < $\Delta a$ |
|                   | mm                          | mm                                   | mm                     | mm                                            |                          |
| Lantai Atap       | 81,24                       | 34,86                                | 127,82                 | 40                                            | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 5          | 46,38                       | 28,93                                | 106,07                 | 40                                            | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 4          | 17,45                       | 5,87                                 | 21,53                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 3          | 11,58                       | 5,95                                 | 21,82                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 2          | 5,63                        | 5,63                                 | 20,64                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025





**Gambar 8** Grafik Displacement dan Story Drift Response Spectrum  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Base Shear dari Hasil Analisa Time History

**Tabel 3** Base Shear Time History

| Base Shear Time History |         |         |
|-------------------------|---------|---------|
| Output Case             | Fx (kN) | Fy (kN) |
| EQx                     | 1339    | -       |
| EQy                     | -       | 1182    |
| THx                     | 2198    | 0       |
| THy                     | 0       | 1832    |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Keterangan :  
 EQx : Gempa Statik Arah x  
 EQy : Gempa Statik Arah y  
 THx : Gempa Dinamik Arah x  
 THy : Gempa Dinamik Arah y

Terlihat bahwa nilai *base shear* hasil *Time History* lebih besar dari nilai hasil metode statik ekuivalen di kedua arah. Dengan kondisi tersebut, maka tidak diperlukan proses penskalaan gaya (*scaling*) terhadap hasil *time history analysis*.

### Simpangan Antar Lantai (Story Drift) dari Hasil Analisa Time History

**Tabel 11** Story Drift Time History Arah Y

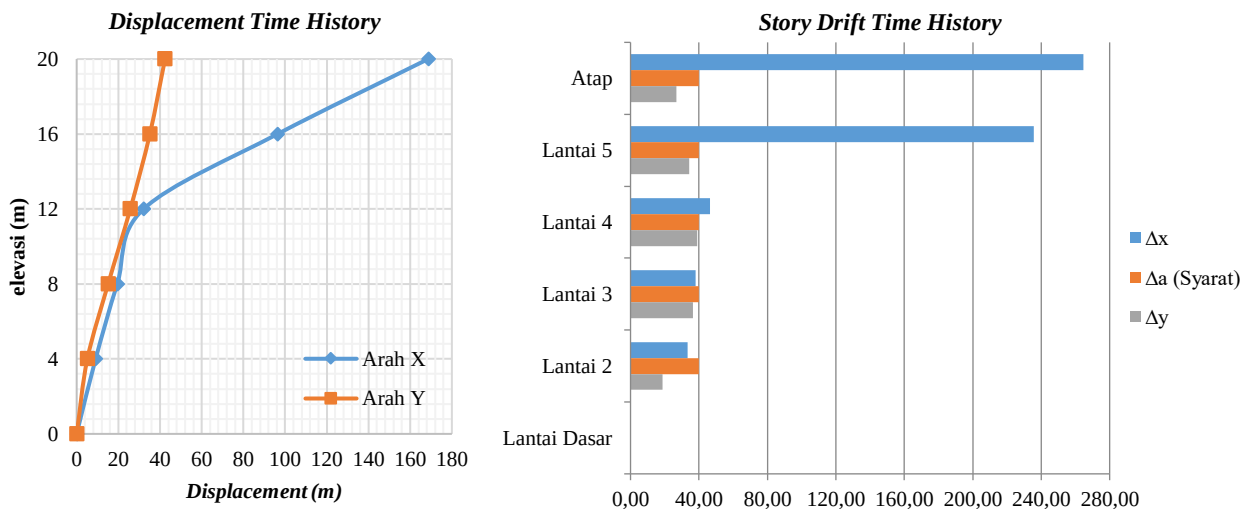
| Time History |                                      |                                                |                                 |                                                         |                          |
|--------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Story        | Displacement<br>( $\delta_y$ )<br>mm | Perpindahan Elastik<br>( $\delta_{ey}$ )<br>mm | Story Drift<br>$\Delta y$<br>mm | Story Drift Izin $\Delta a$<br>( $0,010 h_{sx}$ )<br>mm | Story Drift < $\Delta a$ |
| Lantai Atap  | 42,39                                | 7,27                                           | 26,66                           | 40                                                      | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 5     | 35,12                                | 9,38                                           | 34,40                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 4     | 25,73                                | 10,64                                          | 39,00                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 3     | 15,10                                | 9,97                                           | 36,54                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 2     | 5,13                                 | 5,13                                           | 18,81                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

**Tabel 12** Story Drift Time History Arah X

| Time History |                                      |                                                |                                 |                                                         |                          |
|--------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|
| Story        | Displacement<br>( $\delta_x$ )<br>mm | Perpindahan Elastik<br>( $\delta_{ex}$ )<br>mm | Story Drift<br>$\Delta x$<br>mm | Story Drift Izin $\Delta a$<br>( $0,010 h_{sx}$ )<br>mm | Story Drift < $\Delta a$ |
| Lantai Atap  | 168,60                               | 72,22                                          | 264,82                          | 40                                                      | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 5     | 96,37                                | 64,27                                          | 235,66                          | 40                                                      | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 4     | 32,10                                | 12,64                                          | 46,33                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 3     | 19,47                                | 10,38                                          | 38,05                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 2     | 9,09                                 | 9,09                                           | 33,33                           | 40                                                      | Memenuhi Syarat          |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025



**Gambar 1** Grafik *Displacement* dan *Story Drift Time History*  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Base Shear dari Hasil Analisa Matching Time History dan Response Spectrum

**Tabel 13** Base Shear Matching Response Spectrum dan Time History

| Base Shear Matching Response Spectrum dan Time History |            |            |
|--------------------------------------------------------|------------|------------|
| Output Case                                            | $F_x$ (kN) | $F_y$ (kN) |
| EQx                                                    | 1339       | -          |
| EQy                                                    | -          | 1182       |
| RSx THx                                                | 769        | -          |
| RSy Thy                                                | -          | 762        |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Keterangan :  
 EQx : Gempa Statik Arah x  
 EQy : Gempa Statik Arah y  
 RSx THx : Gempa Dinamik Arah x  
 RSy Thy : Gempa Dinamik Arah y

Kondisi sebelumnya tidak memenuhi SNI 1726:2019, yang mewajibkan bahwa gaya geser dasar dari analisis dinamik ( $V_t$ ) tidak boleh kurang dari 100% gaya geser dasar statik ( $V$ ). Oleh karena itu, untuk menjamin kesesuaian terhadap standar, dilakukan perhitungan faktor skala (*scaling factor*) dengan menggunakan rumus  $V/V_t$ .

**Tabel 14** Base Shear Matching Response Spectrum dan Time History Setelah Penskalaan

| Base Shear Matching Response Spectrum dan Time History |            |            |
|--------------------------------------------------------|------------|------------|
| Output Case                                            | $F_x$ (kN) | $F_y$ (kN) |
| EQx                                                    | 1339       | -          |
| EQy                                                    | -          | 1182       |
| RSx THx                                                | 1347       | -          |
| RSy Thy                                                | -          | 1188       |

Keterangan :  
 EQx : Gempa Statik Arah x  
 EQy : Gempa Statik Arah y  
 RSx THx : Gempa Dinamik Arah x  
 RSy Thy : Gempa Dinamik Arah y

### Simpangan Antar Lantai (Story Drift) dari Hasil Analisa Matching Time History dan Response Spectrum

**Tabel 16** Story Drift Matching Response Spectrum dan Time History Arah Y

| Matching Response Spectrum dan Time History |                             |                                       |                        |                                               |                          |
|---------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| Story                                       | Displacement ( $\delta_y$ ) | Perpindahan Elastik ( $\delta_{ey}$ ) | Story Drift $\Delta y$ | Story Drift Izin $\Delta a$ (0,010 $h_{sx}$ ) | Story Drift < $\Delta a$ |
|                                             | mm                          | mm                                    | mm                     | mm                                            |                          |
| Lantai Atap                                 | 24,13                       | 4,11                                  | 15,06                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 5                                    | 20,03                       | 5,34                                  | 19,58                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 4                                    | 14,69                       | 6,09                                  | 22,33                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 3                                    | 8,60                        | 5,69                                  | 20,86                  | 40                                            | Memenuhi Syarat          |

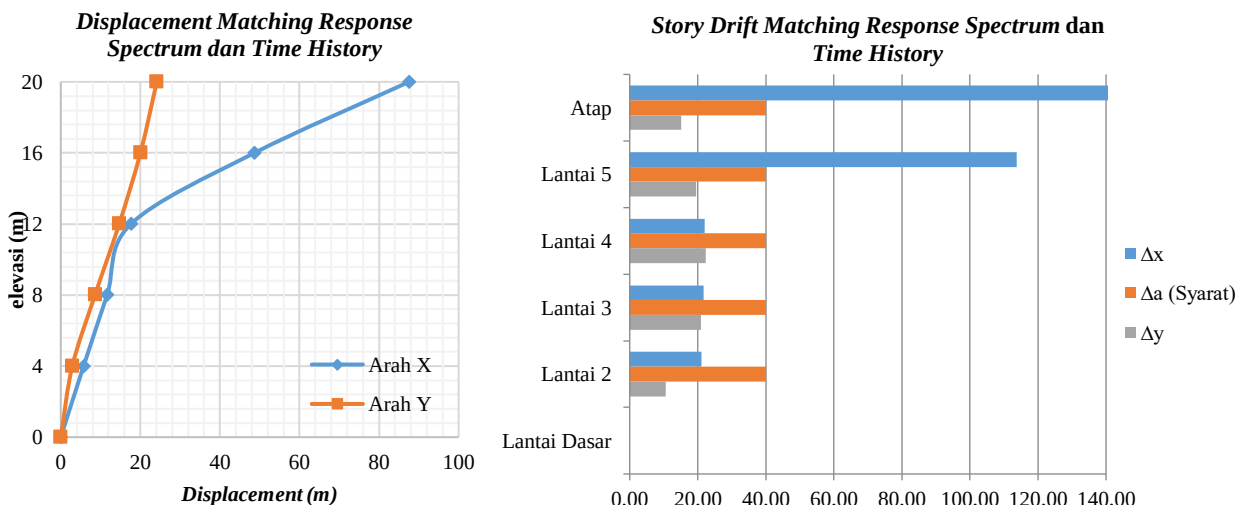
| Matching Response Spectrum dan Time History |                             |                                      |                        |                                                |                          |
|---------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| Story                                       | Displacement ( $\delta_y$ ) | Perpindahan Elastik ( $\delta e_y$ ) | Story Drift $\Delta y$ | Story Drift Izin $\Delta a$ ( $0,010 h_{sx}$ ) | Story Drift $< \Delta a$ |
|                                             | mm                          | mm                                   | mm                     | mm                                             |                          |
| Lantai 2                                    | 2,91                        | 2,91                                 | 10,66                  | 40                                             | Memenuhi Syarat          |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Tabel 17 Story Drift Matching Response Spectrum dan Time History Arah X

| Matching Response Spectrum dan Time History |                             |                                      |                        |                                                |                          |
|---------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| Story                                       | Displacement ( $\delta_x$ ) | Perpindahan Elastik ( $\delta e_x$ ) | Story Drift $\Delta x$ | Story Drift Izin $\Delta a$ ( $0,010 h_{sx}$ ) | Story Drift $< \Delta a$ |
|                                             | mm                          | mm                                   | mm                     | mm                                             |                          |
| Lantai Atap                                 | 87,51                       | 38,86                                | 142,50                 | 40                                             | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 5                                    | 48,65                       | 31,01                                | 113,71                 | 40                                             | Tidak Memenuhi Syarat    |
| Lantai 4                                    | 17,64                       | 6,00                                 | 21,98                  | 40                                             | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 3                                    | 11,64                       | 5,91                                 | 21,67                  | 40                                             | Memenuhi Syarat          |
| Lantai 2                                    | 5,73                        | 5,73                                 | 21,02                  | 40                                             | Memenuhi Syarat          |

Sumber: Hasil Penelitian, 2025



Gambar 10 Grafik Displacement dan Story Drift Matching Response Spectrum dan Time History

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

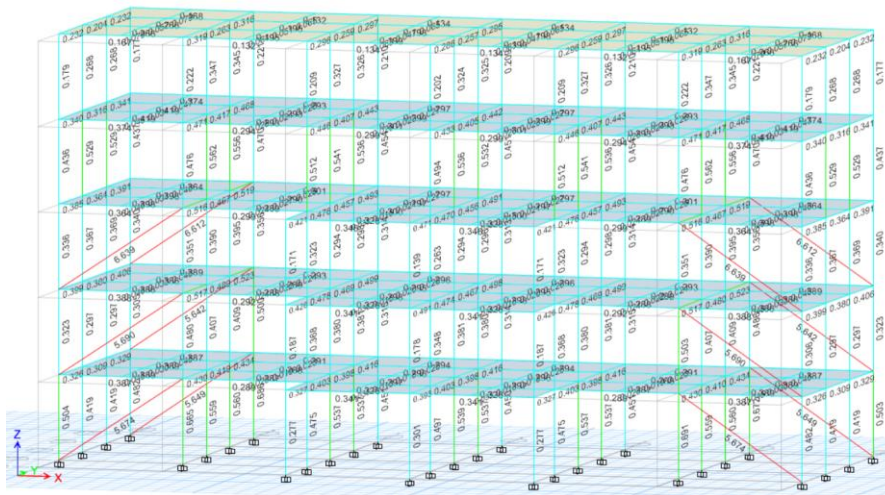
### Perbandingan Hasil Base Shear

Metode *Matching Response Spectrum* dan *Time History* menghasilkan *base shear* lebih rendah dibanding metode *Time History* murni, namun nilainya sebanding dengan metode *Response Spectrum* setelah penskalaan sesuai SNI 1726:2019. Nilai akhir *Matching* adalah 1347 kN (X) dan 1188 kN (Y), sedangkan *Response Spectrum* setelah penskalaan mencapai 1353 kN (X) dan 1195 kN (Y). *Time History* mencatat nilai tertinggi, yaitu 2198 kN (X) dan 1832 kN (Y), karena mempertimbangkan respons dinamis penuh dari data gempa aktual tanpa proses penskalaan.

### Perbandingan Hasil Simpangan Antar Tingkat

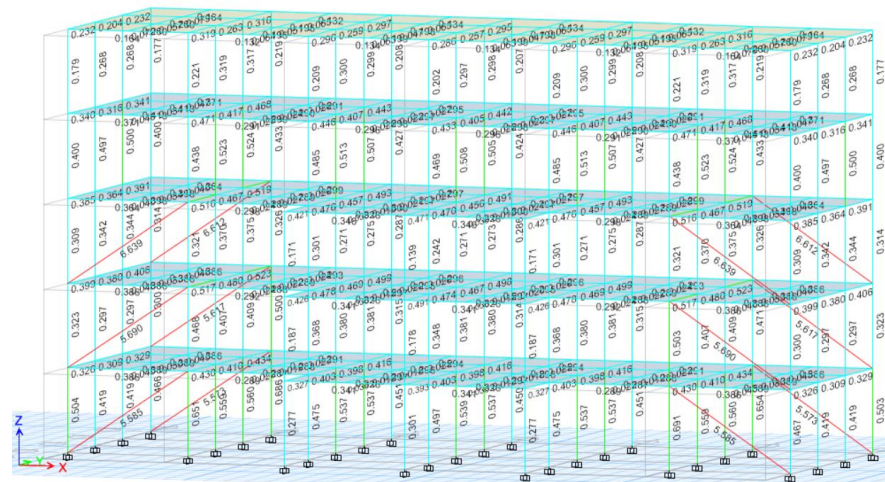
Pada arah Y, seluruh metode menghasilkan story drift di bawah batas izin 40 mm, dengan nilai maksimum berturut-turut untuk *Matching*, *Response Spectrum*, dan *Time History* sebesar 22,33 mm, 27,10 mm, dan 39,00 mm. Sebaliknya pada arah X, hanya lantai 4 ke bawah yang memenuhi batas izin. Lantai 5 dan atap melampaui batas pada seluruh metode, dengan nilai tertinggi pada *Time History* (264,82 mm di atap dan 235,66 mm di lantai 5), diikuti *Matching* (142,50 mm dan 113,71 mm) serta *Response Spectrum* (127,82 mm dan 106,07 mm).

### Stress Ratio dari Hasil Analisa *Matching Time History* dan *Response Spectrum*



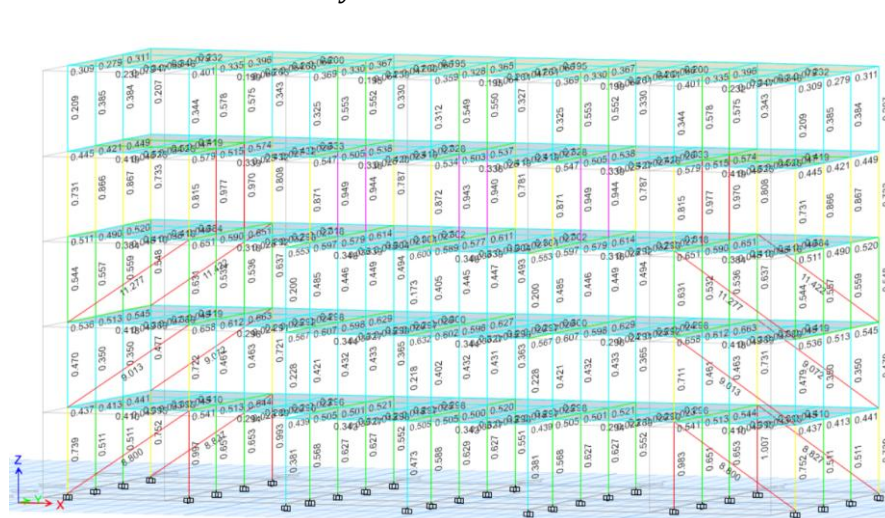
Gambar 11 Stress Ratio dari Hasil Analisa *Matching Time History* dan *Response Spectrum*  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Stress Ratio dari Hasil Analisa *Response Spectrum*



Gambar 12 Stress Ratio dari Hasil Analisa *Response Spectrum*  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Stress Ratio dari Hasil Analisa *Time History*



Gambar 13 Stress Ratio dari Hasil Analisa *Time History*  
Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Perbandingan Hasil Stress Ratio

Berdasarkan hasil analisis stress ratio dari ketiga skenario yaitu *Matching Response Spectrum* dan *Time History*, *Response Spectrum*, serta *Time History* diperoleh bahwa elemen struktur yang paling kritis terdapat pada elemen *bracing*. Pada skenario gabungan (*matching*), nilai *stress ratio* maksimum tercatat sebesar 6,639 yang menunjukkan *bracing* menerima beban gempa terbesar, sementara kolom dan balok tetap dalam batas aman (nilai  $< 1$ ). Hasil serupa terlihat pada metode *Response Spectrum*, di mana *stress ratio* pada *bracing* berkisar antara 5,585 hingga 6,639, sedangkan penampang lainnya aman. Namun pada metode *Time History*, nilai *stress ratio* meningkat signifikan, yaitu antara 8,827 hingga 11,422 pada *bracing*, dan bahkan beberapa kolom mendekati batas maksimum dengan nilai antara 0,970 hingga 0,997, meskipun balok masih aman.

### KESIMPULAN

Hasil *Matching Response Spectrum* dan *Time History* menunjukkan base shear yang lebih rendah dibandingkan metode terpisah, karena hasil proses matching diatas berfungsi menyesuaikan spektrum respons desain terhadap spektrum gempa aktual, dan tidak memaksimalkan gaya terhadap struktur. Selain itu, untuk partisipasi massa, menunjukkan seluruh modal telah memenuhi syarat 90%, yang menunjukkan bahwa hasil analisis dinamik layak dijadikan dasar evaluasi struktur. Pada Simpangan antar tingkat (story drift) tertinggi terjadi pada metode *Time History* di arah X, yaitu mencapai 264,82 mm, melebihi batas izin sebesar 40 mm. Namun, pada arah Y, seluruh metode menunjukkan nilai simpangan antar tingkat yang masih dalam batas aman. Penambahan diagonal bracing sampai lantai 4 terbukti mampu mengurangi simpangan secara signifikan di lantai bawah, namun lantai atas yang tidak di bracing tetap mengalami perpindahan yang cukup besar. Analisis stress ratio menunjukkan bahwa komponen struktur yang paling kritis adalah penampang diagonal bracing, terutama pada metode *Time History* dengan nilai tertinggi 11,422, dan pada metode *Response Spectrum* dengan nilai 6,639. Sementara itu, kolom dan balok pada umumnya masih dalam batas aman dengan nilai stress ratio di bawah 1, meskipun pada metode *Time History* beberapa kolom menunjukkan nilai mendekati 1 salah satunya dengan nilai tertinggi yaitu 0,997. Ini menandakan bahwa elemen-elemen struktur utama telah bekerja mendekati kapasitas maksimumnya, dan perlu perhatian khusus pada desain bracing sebagai komponen penahan beban lateral.

### REFERENSI

- A. Didik Setyo Purwanto, Siti Juliaeka, Muhammad Nur Fajar, Herlina Arifin, & Alfina Maysyurah. (2023). Comparative Analysis of Set-Back Field Jumps in Multi Storey Building Structures Due To Earthquake Load. *Journal of Advanced Civil and Environmental Engineering*, 6(2), 98–106.
- Gegiranang Wiryadi, I. G., Agus Putra Wirawan, I. P., Diartama Kubon Tubuh, I. K., & Edi Adnyana, I. N. (2023). Perilaku Struktur Gedung Dengan Perkuatan Bresing X Dan Canggah Wang Dalam Menahan Beban Gempa. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 12(2), 174–183.
- Pribadi, G., & Addin Achmad, F. (2023). Perbandingan Model Kinerja Struktur Tahan Gempa Dengan Wilayah Berbeda Menggunakan Metode Respon Spektrum. *Jurnal Sipilkrisna*, 9(2), 73–78.
- Safiq Kurnia Jati, Wisnu Aji Santo Purnomo, Antonius, " Redesign Struktur Gedung Hotel 6 Lantai Menggunakan Portal Baja " *Jurnal Ilmiah Sultan Agung*, 249-263, 2024.
- Tua Novensius Silaban, G., Tampubolon, S. P., & Sri Mulyani, A. (2023). *Performance Evaluation Of High-Rise Buildings With Respons Spectrum Analysis And Time History Analysis*. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 9(1), 84–95. <https://doi.org/10.30738/St>.
- SNI 1726:2019 "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung".
- SNI 1729:2020 "Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural".