



# Studi Perbandingan Perilaku Struktur *Shear Wall* dan *Base Isolation Type Lead Rubber Bearing* pada Rumah Sakit di Surabaya

**Dimas Permana<sup>1✉</sup>, Bantot Sutriono<sup>1</sup>, Nurul Rochmah<sup>1</sup>**

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

DOI: 10.31004/jutin.v8i3.46008

✉ Corresponding author:  
[permanad246@gmail.com]

## Article Info

## Abstrak

### Kata kunci:

*Lead Rubber Bearing;  
Perilaku Struktur;  
Isolasi Dasar;  
Bangunan Tahan gempa;  
Rumah Sakit*

Surabaya merupakan wilayah rawan gempa karena berada di zona sesar aktif yaitu zona sesar kendeng. Rumah sakit sendiri memiliki peran penting ketika sebuah bencana terjadi, Sehingga diperlukan struktur yang kuat agar mampu menahan beban-beban, salah satunya beban akibat gempa. Penelitian ini bertujuan membandingkan perilaku struktur rumah sakit menggunakan dinding geser (*shear wall*) dan sistem isolasi dasar tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB). Perbandingan dilakukan melalui pemodelan struktur eksisting dan struktur hasil modifikasi menggunakan software ETABS v.22. Hasil menunjukkan bahwa struktur dengan isolasi dasar memiliki simpangan antar lantai dan efek P-Delta yang lebih kecil, terutama pada lantai atas. Sistem base isolation juga lebih efektif dalam meredam gaya gempa, menjaga stabilitas struktur, dan meningkatkan keamanan bangunan. Berdasarkan analisis tersebut, sistem isolasi dasar LRB terbukti memberikan kinerja struktural yang lebih baik dibandingkan sistem dinding geser dalam menghadapi beban gempa.

## Abstract

### Keywords:

*Lead Rubber Bearing;  
Structural Behavior;  
Base Isolation;  
Earthquake-Resistant  
Building;  
Hospital*

Surabaya is an earthquake-prone area due to its location on an active fault zone, namely the Kendeng Fault Zone. Hospitals play a crucial role during disasters; therefore, a strong structure is required to withstand various loads, including seismic loads. This study aims to compare the structural behavior of a hospital building using shear walls and a base isolation system with Lead Rubber Bearings (LRB). The comparison was carried out through modeling of both the existing structure and the modified structure using ETABS v.22 software. The results show that the structure with base isolation has smaller inter-story drifts and P-Delta effects, especially on the upper floors. The base isolation system is also more effective in damping seismic forces, maintaining structural stability, and enhancing building safety. Based on the analysis, the LRB base isolation system proves to deliver better structural performance compared to the shear wall system in resisting earthquake loads.

## 1. PENDAHULUAN

Surabaya merupakan ibu kota dari provinsi Jawa Timur, sehingga Surabaya menjadi pusat pemerintahan dan pusat ekonomi di daerah tersebut. Surabaya juga merupakan daerah dengan penduduk yang padat. Menurut BPS kota Surabaya, jumlah penduduk kota Surabaya pada tahun 2024 mencapai 3,02 juta jiwa dari berbagai kelompok umur. Dibalik hal tersebut Surabaya juga merupakan daerah yang rawan akan gempa bumi, hal ini dikarenakan Surabaya merupakan daerah yang masuk dalam ring of fire dan juga dilewati oleh zona sesar aktif yang bernama sesar kendeng (Sadly, 2018). Intensitas gempa dimungkinkan mencapai 6,5 magnitudo (BNBP, 2017) dalam (Farisi, 2020). Pergeseran lempeng menghasilkan gelombang yang merambat hingga ke permukaan tanah, menyebabkan getaran. Ketika terdapat bangunan di atas tanah yang bergetar, bangunan tersebut juga akan mengalami getaran. Karena setiap benda memiliki sifat untuk mempertahankan massanya, getaran tersebut akan berubah menjadi beban lateral pada bangunan (Rochmah, 2020). Potensi korban jiwa dari gempa ini harus waspada karena Surabaya merupakan daerah industri dan daerah padat penduduk, Selain kerugian dari sisi korban jiwa, tentunya infrastruktur dan bangunan gedung juga bisa menjadi dampak kerugian jika gempa bumi terjadi.

Oleh karena itu, bangunan tahan gempa diperlukan agar dapat meminimalisir korban dan kerugian material. Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu bertahan dan tidak runtuh jika terjadi gempa. Bangunan tahan gempa bukan berarti tidak boleh mengalami kerusakan sama sekali namun bangunan tahan gempa boleh mengalami kerusakan asalkan masih memenuhi persyaratan yang berlaku. (Erlangga & Jamal, 2018)

Penggunaan *base isolation* atau sistem isolasi dasar merupakan salah satu perkembangan dalam bidang rekayasa gempa sebagai upaya proteksi struktur gedung terhadap gempa. Konsep penggunaan sistem isolasi dasar pada dasarnya untuk meningkatkan periode alami struktur dan memberikan tambahan redaman dengan cara memisahkan struktur atas dari pondasinya menggunakan elemen fleksibel. Dengan begitu, Kerusakan pada struktur dapat diminimalkan atau bahkan dicegah karena energi gempa yang besar akan diserap dan diredam oleh sistem isolasi ini (Budiono & Setiawan, 2014). Sistem Base Isolation ini dinilai lebih unggul untuk meminimalisir dampak gempa apabila dibandingkan dengan perkuatan struktur seperti penambahan bracing (pengaku) ataupun Shear wall (dinding geser). Tujuannya untuk memperbesar waktu getar alami struktur yang lebih panjang gaya gempa pada struktur akan tereduksi (Sofyan, 2018) dalam (Syahnandito dkk., 2020). Base Isolation sendiri memiliki beberapa tipe seperti High Dumping Rubber Bearing, Friction Pendulum system, dan Lead Rubber Bearing.

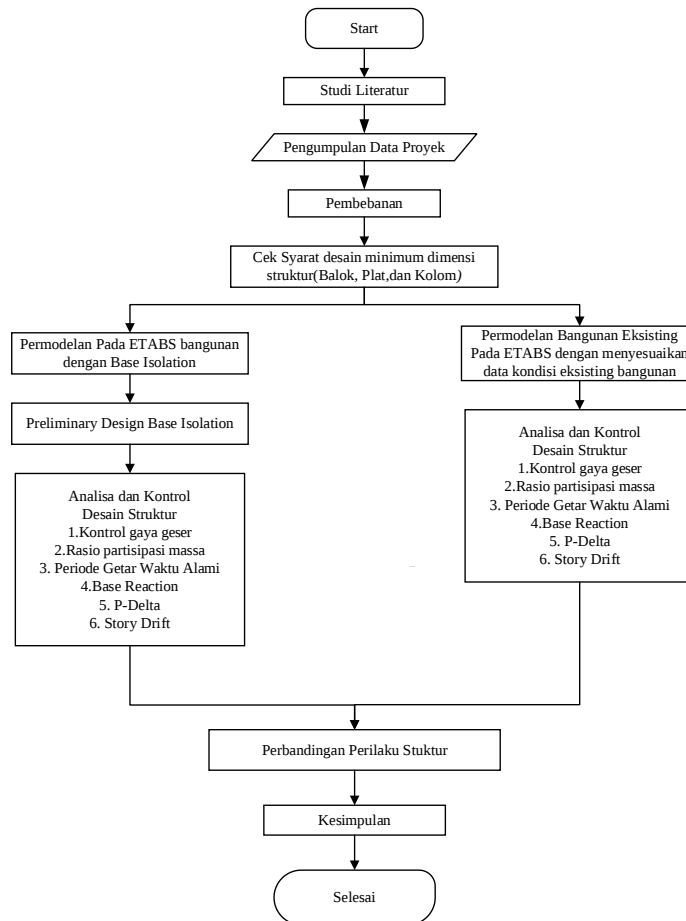
Base isolator tipe Lead Rubber Bearing (LRB) merupakan sistem isolasi seismik yang terdiri dari karet yang dilapisi dengan pelat baja di bagian atas dan bawah, serta terdapat lapisan perunggu (*lead*) di bagian tengahnya. Keunggulan dari Lead Rubber Bearing (LRB) adalah memiliki kemampuan redaman yang tinggi (*high damping capacity*) dan dapat mengembalikan keadaan struktur ke keadaan semula setelah gempa selesai (Palupi dkk., 2023).

Rumah sakit sendiri memainkan peran penting selama bencana, seperti menyediakan jasa layanan kesehatan untuk mengurangi mortalitas dan mobilitas yang terkait dengan korban bencana. Dengan demikian dapat meminimalisir korban bencana terhadap masyarakat (Zhong dkk, 2016) dalam (Delima & Putra, 2021).

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan diatas, Pada penelitian ini penulis akan melakukan desain ulang Rumah Sakit di Surabaya dengan menggunakan Base Isolation dengan tipe Lead Rubber Bearing kemudian akan dilakukan analisis perbandingan perilaku struktur untuk bangunan yang telah dimodifikasi dengan struktur eksisting yang menggunakan dual system (dinding geser).

## 2. METODE

Padap penelitian perbandingan perilaku struktur kali ini dilakukan dengan cara membandingkan struktur shear wall dan struktur base isolation dengan menggunakan studi kasus rumah sakit di Surabaya. Dibawah ini merupakan Flowchart atau diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan kali ini.



Gambar 1. Flow chart

### Data Penelitian

Data penelitian merupakan informasi dasar yang dibutuhkan dalam proses modifikasi bangunan dan perbandingan bangunan. Data ini menjadi landasan utama dalam melakukan analisis dan perencanaan teknis agar perubahan yang dilakukan tetap memenuhi aspek kekuatan, keamanan, dan kenyamanan struktur. Data-data proyek yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini diantaranya adalah seperti data umum proyek, data tanah, dan data struktur bangunan eksisting.

### Data Umum

Jenis Bangunan : Rumah Sakit  
 Tipe Struktur : Beton Bertulang dengan Shear Wall  
 Jumlah Lantai : 11 Lantai, 1 atap dan 1 Basement

### Data Bangunan

1) Tinggi Per Lantai : - Lantai 1 - 2 = 6000 mm  
                               - Lantai 2 - 3 = 4000 mm  
                               - Lantai 3 - 5 = 5000 mm  
                               - Lantai 5 - 13 = 4000 mm  
 2) Mutu Beton ( $f'_c$ ) : - 30, 35, 40 MPa untuk elemen kolom  
                               - 40 MPa untuk elemen shearwall.  
                               - 30 MPa untuk elemen lainnya.  
 3) Mutu Baja ( $f_y$ ) : - Baja Ulir (BJTS) = 420 Mpa  
                               - Baja Polos (BJTP) = 280 Mpa

**Tabel 1. Dimensi Balok Pada Struktur Eksisting (Jenis B)**

| Nama | Ukuran Balok | Nama | Ukuran Balok | Nama   | Ukuran Balok |
|------|--------------|------|--------------|--------|--------------|
| B23  | 200 x 300    | B59  | 500 x 900    | B455-2 | 400 x 550    |
| B24  | 200 x 400    | B152 | 150 x 200    | B457   | 450 x 700    |
| B25  | 200 x 500    | B225 | 200 x 250    | B547   | 540 x 700    |
| B34  | 300 x 400    | B245 | 200 x 450    | B2025  | 200 x 250    |
| B35  | 300 x 500    | B254 | 250 x 400    | B2545  | 250 x 450    |
| B36  | 300 x 600    | B255 | 200 x 550    | B3555  | 350 x 550    |
| B37  | 300 x 700    | B255 | 250 x 500    |        |              |
| B47  | 400 x 700    | B355 | 300 x 550    |        |              |
| B55  | 500 x 500    | B445 | 400 x 450    |        |              |
| B56  | 500 x 600    | B455 | 400 x 550    |        |              |

**Tabel 2. Dimensi Balok Pada Struktur Eksisting (Jenis CL)**

| Nama  | Ukuran Balok | Nama          | Ukuran Balok |
|-------|--------------|---------------|--------------|
| CL24  | 200 x 400    | CL355         | 300 x 550    |
| CL36  | 300 x 600    | CL375         | 300 x 750    |
| CL37  | 300 x 700    | CL457         | 450 x 700    |
| CL245 | 200 x 450    | CL2545        | 250 x 450    |
| CL255 | 250 x 500    | TAP.CL<br>355 | 350 X 500    |
| CL345 | 300 x 450    |               |              |

**Tabel 3. Dimensi Balok Pada Struktur Eksisting (Jenis G)**

| Nama | Ukuran Balok | Nama   | Ukuran Balok | Nama  | Ukuran Balok |
|------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|
| G33  | 300 x 300    | G253   | 250 x 300    | G3535 | 350 x 350    |
| G35  | 300 x 500    | G335   | 300 x 350    | G4575 | 450 x 750    |
| G37  | 300 x 700    | G457   | 450 x 700    | G5575 | 550 x 750    |
| G46  | 400 x 600    | G475   | 400 x 750    |       |              |
| G47  | 400 x 700    | G575   | 500 x 750    |       |              |
| G55  | 500 x 500    | G585   | 500 x 850    |       |              |
| G56  | 500 x 600    | G675   | 600 x 750    |       |              |
| G57  | 500 x 700    | G685   | 600 x 850    |       |              |
| G58  | 500 x 800    | G759   | 750 x 900    |       |              |
| G59  | 500 x 900    | G759-2 | 750 x 900    |       |              |

**Tabel 4. Dimensi Kolom dan Plat Pada Struktur Eksisting**

| Kolom |     |     | Plat |            |
|-------|-----|-----|------|------------|
| Nama  | B   | H   | Nama | Tebal Plat |
| K34   | 300 | 400 | S1   | 125        |
| K44   | 600 | 400 | S2   | 125        |
| K66   | 600 | 600 | S3   | 135        |
| K67   | 600 | 700 | S4   | 150        |
| K68   | 600 | 800 | S5   | 150        |
| K69   | 600 | 900 | S6   | 150        |
| K35   | 300 | 500 | S7   | 170        |
|       |     |     | S8   | 200        |
|       |     |     | S9   | 200        |

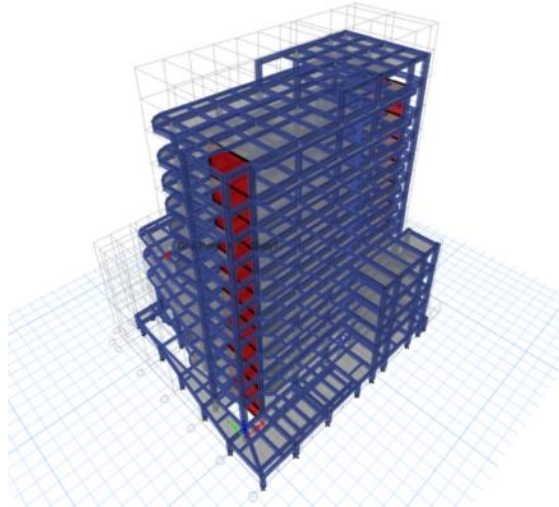
### Data Tanah

Data tanah didapatkan dari hasil pengujian sondir, borlog, triaxial, dan direct shear yang dilakukan oleh TESTANA ENGINEERING. Data ini digunakan untuk menentukan jenis tanah yang ada dibawah bangunan yang dimana akan digunakan pada perhitungan beban gemapo nantinya,

## Permodelan

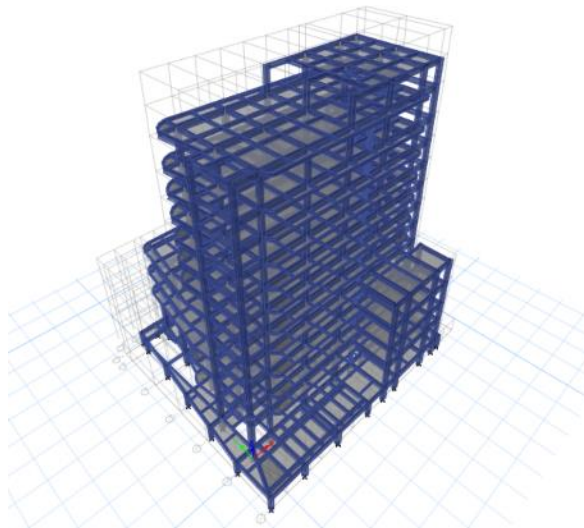
Permodelan sendiri dilakukan pada bangunan eksisting (*Shear Wall*) dan bangunan modifikasi (*Base Isolation* tanpa *Shear Wall*) dengan menggunakan *software* ETABS V.22.

### Bangunan Eksisting (*Shear Wall*)



Gambar 2. Bangunan Eksisting

### Bangunan Modifikasi (*Base Isolation* Tanpa *Shear Wall*)



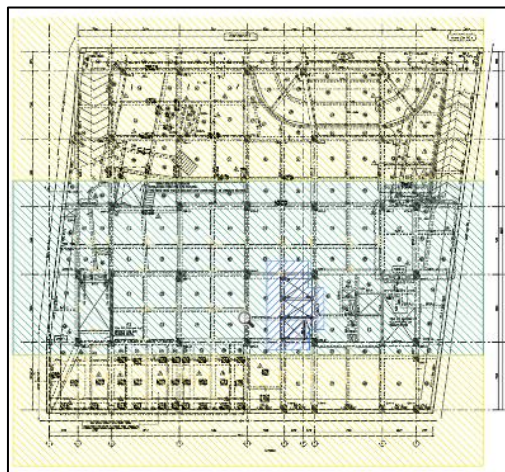
Gambar 3. Bangunan Modifikasi

## 2. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Preliminary Design Base Isolation

#### 1. Letak Base Isolation

Rencana base isoaltiion pada penelitian kali ini dibagi menjadi 3 jenis, untuk pembagian nya bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. Pembagian Daerah Base Isolation**

Berikut adalah hasil rekapitulasi beban aksial yang perlu ditahan oleh masing-masing base isolation dengan tipe *Lead Rubber Bearing*:

Kolom Type A = 9572,868 kN

Kolom Type B = 4117,6183 kN

Kolom Type C = 1938,655 kN

#### 2. Tipe Lead Rubber Bearing

Base isolation perlu dihitung kemampuan propertinya, ini diperlukan agar desain dari Base Isolation, memiliki ketahanan terhadap momen momen yang berlaku

**Tabel 5. Properti Base Isolatio Type Lead Rubber Bearing**

| ParaMeter                 | LRB (A)          | LRB (B)          | LRB (C)                  | Keterangan                                  |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------------|---------------------------------------------|
| Tipe Isolator             | <b>LH110G4-D</b> | <b>LHG070- J</b> | <b>LHG070- J</b>         | Brosur Bridgestone                          |
| Pu, max (kN)              | 9.572,76         | 4.118,36         | 1.869,79                 | P Aksial ETABS                              |
| P(Kn)                     | 13.900           | 6.400            | 3.040                    | Beban Kolom Nominal Jangka Panjang (Brosur) |
| $\sigma_{cr}$ (MPa)       | 33               | 33               | 33                       | Tegangan tekan kritis saat $\gamma = 100\%$ |
| K1 (kN/m)                 | 29200,00         | 17200,00         | 11700,00                 | Kekakuan Awal (Brosur)                      |
| K2 = Kd (kN/m)            | 2240,00          | 1320,00          | 901,00                   | Kekakuan post yield (Brosur)                |
| KMI                       | 2240,45          | 1320,32          | 901,15                   | Kekakuan Efektif Isolator                   |
| $\epsilon_{eq}$ (%)       | 23%              | 25%              | 21%                      | Redaman Ekvivalen (Brosur)                  |
| BM                        | 1,56             | 1,60             | 1,52                     | Tabel 36, SNI 1726                          |
| $\alpha$                  | 1,75             | 1,75             | 1,75                     | faktor pengali untuk periode target         |
| Tf (detik)                | 0,85             | 0,85             | 0,85                     | Periode Struktur Jepit                      |
| TMi = $\alpha$ Tf (detik) | 3,96             | Periode Target   | TM = $\alpha$ Tf (detik) | Periode Target                              |
| DM (mm)                   | 536,17           | 522,10           | 549,58                   | Percepatan Desain Periode Pendek            |

### Contoh Perhitungan

- **Kekakuan efektif isolator (KMi)**

Dari parameter yang didapatkan sebelumnya, kekakuan isolator dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} KM &= \frac{Qd}{Ym \times tr} + K2 \\ &= \frac{226}{2,5 \times 0,19} + 2240 \\ &= 2240,45 \text{ KN/m} \end{aligned}$$

- **Periode Struktur Pada Saat Perpindahan maksimum (Tm)**

Perhitungan periode struktur *base Isolation* merujuk persamaan dari SNI 1726:2019 seperti ditunjukkan pada persamaan 3-21. Berikut perhitungan periode struktur isolated base

$$\begin{aligned} TM &= 2\pi \sqrt{\frac{w \text{ TOTAL}}{Kmin \times g}} \\ TM &= 2\pi \sqrt{\frac{9.572,76}{2240,45 \times 9,81}} \\ &= 4,14 \text{ detik} \end{aligned}$$

- **Perpindahan Maksimum (DM)**

Dalam menentukan sebuah perpindahan maksimum *base isolation*, rumus dari perhitungan tersebut terdapat pada SNI 1729:2019 pasal 12.5.3.1 persamaan 129. Berikut perhitungan perpindahan maksimum:

$$\begin{aligned} Dm &= \frac{g \times sm1 \times Tm}{4 \times \pi^2 \times bm} \\ Dm &= \frac{9,8 \times 0,63 \times 3,96}{4 \times \pi^2 \times 1,56} \\ Dm &= 506,17 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Pembebanan Gempa

Bangunan rumah sakit sendiri berlokasi di Surabaya dengan keadaan tanah lunak, sehingga data yang didapatkan dari website tersebut adalah sebagai berikut :

PGA : 0,3146 g  
Sds : 0,6764 g  
Sd1 : 0,3035 g  
TL : 20 detik  
T0 : 0,18 detik  
Ts : 0,89 detik

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan bahwa Kategori Desain Seismik (KDS) D, sehingga bangunan harus menggunakan desain yang dapat menahan gaya gempa. Maka, nilai faktor dapat dilihat sebagai berikut:

- Dinding Geser Beton Bertulang Khusus

$$\begin{aligned} R &= 7 \\ \Omega_0^b &= 2,5 \\ C_d &= 5,5 \end{aligned}$$

- Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus

$$\begin{aligned} R &= 8 \\ \Omega_0^b &= 3 \\ C_d &= 5,5 \end{aligned}$$

### Kontrol Desain

#### 1. Simpangan Antar Lantai

Kontrol batas simpangan antar lantai dapat dihitung berdasarkan SNI 1726 : 2019, pasal 7.8.6, dimana agar bangunan dapat memenuhi persyaratan perlu digunakan rumus :  $\Delta i \leq \Delta a$ . Untuk menentukan batas simpangan bangunan didasarkan pada tabel 2.18 atau tabel 20 pada SNI 1726 : 2019, maka untuk struktur dinding geser dengan kategori risiko 4, didapatkan rumus  $0,01 \times h_{sx}$ . Sedangkan untuk sistem isolasi, peraturan terkait batas simpangan antar tingkat ada pada SNI 1726 : 2019 pasal 12.5.6 dengan rumus  $0,015 \times h_{sx}$ .

### Bangunan Eksisting

$$\Delta a = 0,010 \times 4000 \text{ mm} \\ = 40 \text{ mm}$$

Berdasarkan batas simpangan izin dari SNI 1726 : 2019. Pasal 7.12.1.1, yang dimana untuk kategori desain seismik D sampai F, maka simpangan tidak boleh melebihi  $\Delta a/\rho$ , yang dimana nilai  $\rho$  adalah 1,3 (berdasarkan pasal 7.3.4.2 SNI 1726 : 2019 tentang faktor redundansi). Maka nilai batas simpangan yang digunakan adalah :

$$\Delta a/\rho = 40 \text{ mm} / 1,3 = 30,77 \text{ mm}$$

**Tabel 6. Simpangan Arah X dan Arah Y Bangunan Eksisting**

| Lantai | Hsx  | $\Delta i(x)$ | $\Delta i(y)$ | $\Delta a$ | Hasil |
|--------|------|---------------|---------------|------------|-------|
| 1      | 3200 | 6,277         | 3,337         | 24,61538   | Aman  |
| 2      | 6000 | 44,12         | 17,061        | 46,15385   | Aman  |
| 3      | 4000 | 27,944        | 16,501        | 30,76923   | Aman  |
| 4      | 5000 | 36,815        | 25,167        | 38,46154   | Aman  |
| 5      | 5000 | 34,085        | 28,77         | 38,46154   | Aman  |
| 6      | 4000 | 27,897        | 24,738        | 30,76923   | Aman  |
| 7      | 4000 | 26,889        | 25,858        | 30,76923   | Aman  |
| 8      | 4000 | 25,139        | 27,272        | 30,76923   | Aman  |
| 9      | 4000 | 22,041        | 25,83         | 30,76923   | Aman  |
| 10     | 4000 | 18,704        | 26,13         | 30,76923   | Aman  |
| 11     | 4000 | 15,269        | 25,765        | 30,76923   | Aman  |
| 12     | 5000 | 16,007        | 31,444        | 38,46154   | Aman  |
| 13     | 4000 | 9,529         | 6,132         | 30,76923   | Aman  |

Contoh Perhitungan Simpangan Arah X

$$\Delta 1 = \frac{Cd \times \delta 1e}{Ie} = \frac{5,5 \times 1,345}{1,5} = 6,28 \text{ mm}$$

$$\Delta 2 = \frac{Cd \times (\delta 1e - \delta 2e)}{Ie} = \frac{5,5 \times (10,799 - 1,345)}{1,5} = 44,12 \text{ mm}$$

### Bangunan Modifikasi

$$\Delta a = 0,015 \times 4000 \text{ mm} \\ = 48 \text{ mm}$$

Berdasarkan batas simpangan izin dari SNI 1726 : 2019. Pasal 7.12.1.1, yang dimana untuk kategori desain seismik D sampai F, maka simpangan tidak boleh melebihi  $\Delta a/\rho$ , yang dimana nilai  $\rho$  adalah 1,3 (berdasarkan pasal 7.3.4.2 SNI 1726 : 2019 tentang faktor redundansi). Maka nilai batas simpangan yang digunakan adalah :

$$\Delta a/\rho = 40 \text{ mm} / 1,3 = 36,92 \text{ mm}$$

**Tabel 7. Simpangan Arah X dan Arah Y Bangunan Modifikasi**

| Lantai | Hsx  | $\Delta i(x)$ | $\Delta i(y)$ | $\Delta a$ | Hasil |
|--------|------|---------------|---------------|------------|-------|
| 1      | 3200 | 5,6815        | 3,314667      | 36,92308   | Aman  |
| 2      | 6000 | 30,602        | 20,614        | 69,23077   | Aman  |
| 3      | 4000 | 15,6035       | 11,319        | 46,15385   | Aman  |
| 4      | 5000 | 19,7065       | 13,75         | 57,69231   | Aman  |
| 5      | 5000 | 17,7485       | 12,0725       | 57,69231   | Aman  |
| 6      | 4000 | 14,586        | 8,8825        | 46,15385   | Aman  |
| 7      | 4000 | 14,7125       | 8,7175        | 46,15385   | Aman  |
| 8      | 4000 | 13,288        | 7,7           | 46,15385   | Aman  |
| 9      | 4000 | 11,3355       | 6,5615        | 46,15385   | Aman  |
| 10     | 4000 | 9,0145        | 5,291         | 46,15385   | Aman  |
| 11     | 4000 | 6,9905        | 4,158         | 46,15385   | Aman  |
| 12     | 5000 | 6,831         | 4,2405        | 57,69231   | Aman  |

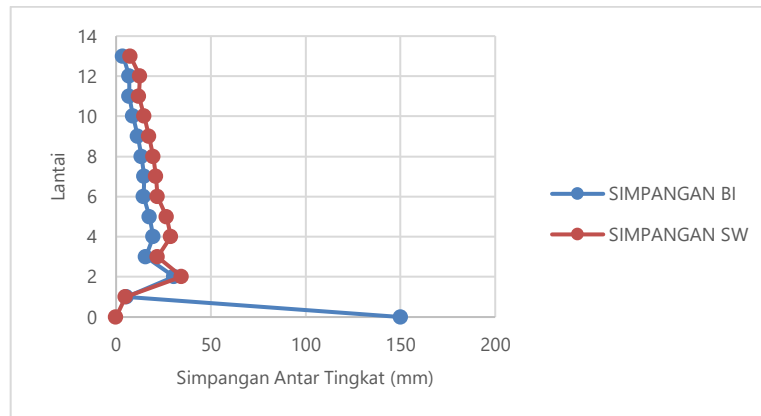
| Lantai | Hsx  | $\Delta i(x)$ | $\Delta i(y)$ | $\Delta a$ | Hasil |
|--------|------|---------------|---------------|------------|-------|
| 13     | 4000 | 3,707         | 2,365         | 46,15385   | Aman  |

Contoh Perhitungan Simpangan Arah X

$$\Delta 2 = \frac{Cd \times (\delta 1e - \delta 2e)}{Ie} = \frac{5,5 \times (156,81 - 151,246)}{1,5} = 30,602 \text{ mm}$$

### Grafik Perbandingan

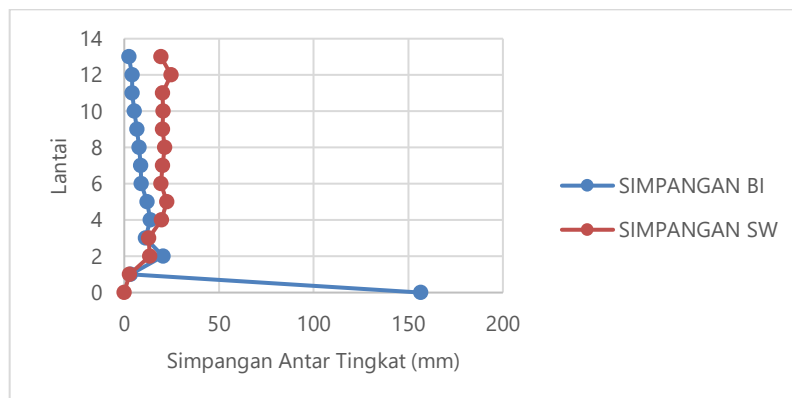
- Simpangan Arah X



**Gambar 5. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah X**

Grafik diatas adalah grafik perbedaan simpangan antar lantai untuk arah X. Berdasarkan terlihat bahwa simpangan antar tingkat arah X untuk sistem *base isolation* lebih kecil dibanding dengan sistem *shear wall*. sistem *base isolation* secara signifikan mengurangi simpangan antar tingkat di bagian atas struktur. Meskipun terjadi simpangan besar di lantai dasar, hal ini sesuai dengan prinsip kerja isolasi dasar yang dirancang untuk menyerap deformasi. Sebaliknya, sistem *shear wall* menghasilkan deformasi yang lebih merata namun tetap lebih besar pada tingkat atas, ini berarti beban lateral atau beban gempa disalurkan ke seluruh struktur.

- Simpangan Arah Y



**Gambar 6. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Arah Y**

Grafik diatas adalah grafik perbedaan simpangan antar lantai untuk arah Y. Berdasarkan terlihat bahwa simpangan antar tingkat arah y untuk sistem *base isolation* lebih kecil dibanding dengan sistem *shear wall*. Meskipun pada lantai 2 untuk sistem *base isolation* mengalami simpangan antar tingkat yang lebih besar dibanding *Shear Wall*, namun hal tersebut tidak terlalu pada tingkat atas selanjutnya. sistem *base isolation* secara signifikan mengurangi simpangan antar tingkat di bagian atas struktur. Meskipun terjadi simpangan besar di lantai dasar, hal ini sesuai dengan prinsip kerja isolasi dasar yang dirancang untuk menyerap deformasi. Sebaliknya, sistem *shear wall* menghasilkan deformasi yang lebih merata namun tetap lebih besar pada tingkat atas, ini berarti beban lateral atau beban gempa disalurkan ke seluruh struktur.

## 2. Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.7, Pengaruh P-delta Pengaruh P delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{Px \Delta Ie}{Vx Hsx Cd}$$

Jika nilai  $\theta$  kurang dari nilai  $\theta_{max}$  maka nilai pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Dimana nilai  $\theta_{max}$  dihitung dengan rumus :

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{Cd \times \beta} < 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{5,5 \times 1} = 0,091 < 0,25 \text{ (OK)}$$

### Bangunan Eksisting

Koefisien Stabilitas ( $\theta$ ) Lantai 1 arah X untuk bangunan eksisting

$$\theta = \frac{Px \Delta Ie}{Vx Hsx Cd} = \frac{129524,1 \times 6,276667 \times 1,5}{4825,889 \times 3200 \times 5,5} = 0,014358$$

**Tabel 8. Kontrol P-Delta Bangunan Eksisting**

| Lantai | Hsx  | Px       | Vx       | Vy       | Simpangan X | Simpangan Y | $\theta_x$ | $\theta_y$ | $\theta_{max}$ | Hasil |
|--------|------|----------|----------|----------|-------------|-------------|------------|------------|----------------|-------|
| 1      | 3200 | 129524,1 | 4598,524 | 4825,899 | 3,337       | 6,276667    | 0,011      | 0,008      | 0,091          | Aman  |
| 2      | 6000 | 114806,8 | 4514,162 | 4780,007 | 17,061      | 44,11867    | 0,038      | 0,020      | 0,091          | Aman  |
| 3      | 4000 | 101426,7 | 4212,429 | 4544,078 | 16,501      | 27,944      | 0,033      | 0,027      | 0,091          | Aman  |
| 4      | 5000 | 86400,41 | 3824,893 | 4224,852 | 25,167      | 36,81533    | 0,032      | 0,031      | 0,091          | Aman  |
| 5      | 5000 | 71643,49 | 3411,859 | 3828,802 | 28,770      | 34,08533    | 0,027      | 0,033      | 0,091          | Aman  |
| 6      | 4000 | 58500,68 | 3070,893 | 3414,473 | 24,738      | 27,89733    | 0,026      | 0,032      | 0,091          | Aman  |
| 7      | 4000 | 50762,7  | 2889,67  | 3138,534 | 25,858      | 26,88933    | 0,023      | 0,031      | 0,091          | Aman  |
| 8      | 4000 | 42748,97 | 2678,959 | 2819,451 | 27,272      | 25,13933    | 0,020      | 0,030      | 0,091          | Aman  |
| 9      | 4000 | 35304,02 | 2419,955 | 2469,834 | 25,830      | 22,04067    | 0,017      | 0,026      | 0,091          | Aman  |
| 10     | 4000 | 27474,45 | 2069,388 | 2045,692 | 26,133      | 18,704      | 0,013      | 0,024      | 0,091          | Aman  |
| 11     | 4000 | 19710,22 | 1622,159 | 1560,135 | 25,765      | 15,26933    | 0,010      | 0,021      | 0,091          | Aman  |
| 12     | 5000 | 11338,56 | 1046,564 | 992,5339 | 31,444      | 16,00667    | 0,008      | 0,019      | 0,091          | Aman  |
| 13     | 4000 | 2779,201 | 293,0996 | 301,5286 | 6,132       | 9,529333    | 0,005      | 0,004      | 0,091          | Aman  |

### Bangunan Modifikasi

Koefisien Stabilitas ( $\theta$ ) Lantai 1 arah X untuk bangunan Modifikasi

$$\theta = \frac{Px \Delta Ie}{Vx Hsx Cd} = \frac{129524,1 \times 5,6815 \times 1,5}{4153,86 \times 3200 \times 5,5} = 0,010$$

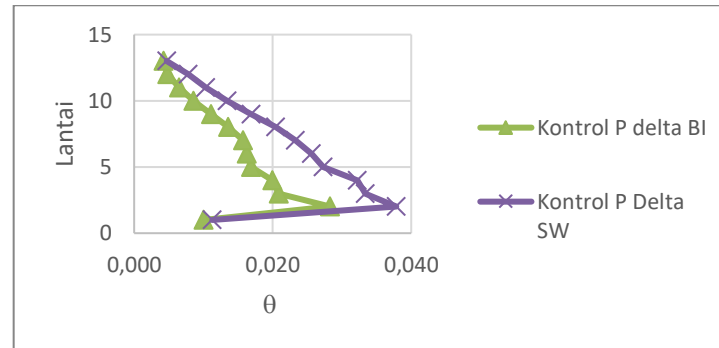
**Tabel 9. Kontrol P-Delta Bangunan Modifikasi**

| Lantai | Hsx  | Px       | Vx      | Vy      | Simpangan X | Simpangan Y | $\theta_x$ | $\theta_y$ | $\theta_{max}$ | Hasil |
|--------|------|----------|---------|---------|-------------|-------------|------------|------------|----------------|-------|
| 1      | 3200 | 129524,1 | 4153,86 | 4166,96 | 5,6815      | 3,31        | 0,010      | 0,009      | 0,091          | Aman  |
| 2      | 6000 | 114806,8 | 3766,66 | 3811,27 | 30,602      | 20,61       | 0,028      | 0,028      | 0,091          | Aman  |
| 3      | 4000 | 101426,7 | 3446,73 | 3507,96 | 15,6035     | 11,32       | 0,021      | 0,022      | 0,091          | Aman  |
| 4      | 5000 | 86400,41 | 3101,55 | 3186,34 | 19,7065     | 13,75       | 0,020      | 0,020      | 0,091          | Aman  |
| 5      | 5000 | 71643,49 | 2739,78 | 2851,91 | 17,7485     | 12,07       | 0,017      | 0,017      | 0,091          | Aman  |
| 6      | 4000 | 58500,68 | 2385,93 | 2529,00 | 14,586      | 8,88        | 0,016      | 0,014      | 0,091          | Aman  |
| 7      | 4000 | 50762,7  | 2156,80 | 2317,91 | 14,7125     | 8,72        | 0,016      | 0,013      | 0,091          | Aman  |
| 8      | 4000 | 42748,97 | 1899,96 | 2072,66 | 13,288      | 7,70        | 0,014      | 0,011      | 0,091          | Aman  |
| 9      | 4000 | 35304,02 | 1629,12 | 1803,75 | 11,3355     | 6,56        | 0,011      | 0,009      | 0,091          | Aman  |
| 10     | 4000 | 27474,45 | 1313,57 | 1478,29 | 9,0145      | 5,29        | 0,009      | 0,007      | 0,091          | Aman  |
| 11     | 4000 | 19710,22 | 966,73  | 1107,69 | 6,9905      | 4,16        | 0,006      | 0,005      | 0,091          | Aman  |

| Lantai | Hsx  | Px       | Vx     | Vy     | Simpangan X | Simpangan Y | $\theta_x$ | $\theta_y$ | $\theta_{max}$ | Hasil |
|--------|------|----------|--------|--------|-------------|-------------|------------|------------|----------------|-------|
| 12     | 5000 | 11338,56 | 581,71 | 681,32 | 6,831       | 4,24        | 0,005      | 0,004      | 0,091          | Aman  |
| 13     | 4000 | 2779,201 | 165,34 | 197,55 | 3,707       | 2,37        | 0,004      | 0,002      | 0,091          | Aman  |

### Grafik Perbandingan

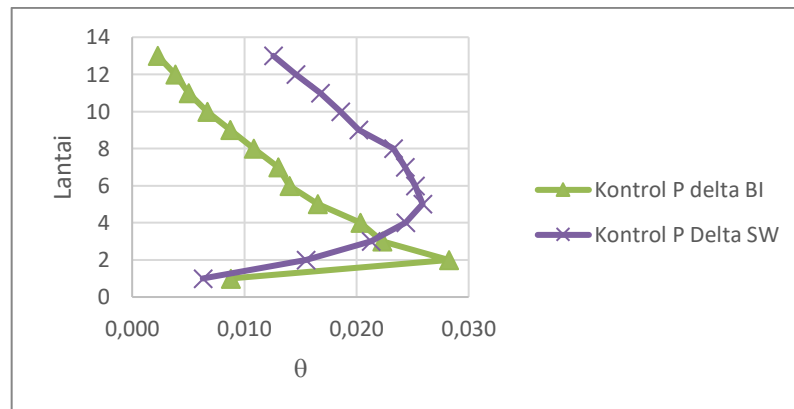
- P-Delta Arah X



**Gambar 7. Perbandingan Efek P-Delta Arah X**

Grafik diatas adalah grafik perbandingan antara efek P-Delta arah X untuk stuktur *shear wall* dan *base isolation*. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa kontrol P-Delta pada struktur base isolation jauh lebih baik dibandingkan shear wall. Ini terlihat dari nilai  $\theta$  yang lebih kecil, artinya base isolation dapat mengurangi potensi ketidakstabilan struktur akibat efek gempa.

- P-Delta Arah Y



**Gambar 8. Perbandingan Efek P-Delta Arah Y**

Grafik diatas adalah grafik perbandingan antara efek P-Delta arah Y untuk stuktur *shear wall* dan *base isolation*. Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa kontrol P-Delta pada struktur base isolation jauh lebih baik dibandingkan shear wall. Ini terlihat dari nilai  $\theta$  yang lebih kecil, artinya base isolation dapat mengurangi potensi ketidakstabilan struktur akibat efek gempa. Meskipun pada lantai dasar nilai  $\theta$  pada struktur base isolation sedikit lebih besar, namun efek tersebut tidak berlanjut ke lantai atas. Ini menunjukkan bahwa base isolation efektif dalam meredam efek gempa di bagian bawah, sehingga struktur atas tetap stabil.

### 3. Hasil

Berdasarkan analisa diatas didapatkan bahwa :

- Base isolation memiliki simpangan antar lantai yang lebih kecil pada lantai atas jika dibandingkan dengan struktur Shear Wall, baik itu untuk gempa arah X dan Arah Y. Hasil ini dapat dilihat dari Grafik perbandingan simpangan antar tingkat pada arah X dan Y.
- Base isoaltion memiliki kontrol P-Delta yang lebih baik dibanding struktur dengan shear wal. Hal ini dapat dilihat pada grafik perbandingan Efek P-Delta arah X dan Y, pada grafik tersebut memiliki nilai P-Delta

yang lebih kecil pada tingkat atas, hal ini menunjukkan bahwa base isolation efektif dalam meredam efek gempa di bagian bawah, sehingga struktur atas tetap stabil.

### 3. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan diatas, didapatkan bahwa simpangan antar lantai, struktur dengan *base isolation* memiliki simpangan lebih kecil pada lantai atas dibandingkan struktur eksisting, hal ini dapat dilihat pada grafik simpangan dan untuk kontrol P-Delta struktur dengan *base isolation* memiliki nilai  $\theta$  lebih kecil pada lantai atas dibandingkan struktur eksisting, hal ini dapat dilihat pada grafik kontrol P-Delta. Berdasarkan hal-hal yang sudah disebutkan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa struktur dengan *base isolation* memiliki perilaku struktur yang lebih baik dibandingkan struktur dengan menggunakan *shear wall*.

### 4. REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 2847:2013 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 1727:2013 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Budiono, B., & Setiawan, A. (2014). Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar High-Damping Rubber Bearing dan Friction Pendulum System pada Bangunan Beton Bertulang. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(3), 179. <https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.3.1>
- Delima, M., & Putra, A. Y. M. (2021). Hospital Disaster Plan Dalam Perencanaan Kesiapsiagaan Bencana. *JURNAL KESEHATAN PERINTIS (Perintis's Health Journal)*, 8(1), 54–66. <https://doi.org/10.33653/jkp.v8i1.600>
- Erlangga, M. A., & Jamal, A. U. (2018). Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil (KPSTS) FTSP UII 2018, November 2018, ISSN 9-772477-5B3159. *Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil (KPSTS) FTSP UII 2018*, 1(1), 1–8.
- Farisi, S. (2020). Analisa Tingkat Kerentanan Fisik dan Sosial Bencana Gempa Bumi di Sebagian Surabaya Barat. *Swara Bhumi*, 1(1), 66–73.
- Palupi, A. R., Zain, A. M., & Setiawan, B. (2023). Desain Base Isolator Type Lead Rubber Bearing (LRB) Pada Gedung Anutapura Medical Center (AMC) Rumah Sakit Anutapura Palu. *Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 106–110.
- Rochmah, N. (2020). Perbandingan Simpangan Gedung Lantai Rendah Dengan Menggunakan 2 Tipe Bresing. *Extrapolasi*, 17(2), 35–44. <https://doi.org/10.30996/exp.v17i2.4431>
- Sadly, M. (2018). *Penjelasan BMKG Mengenai Ramalan Gempa Surabaya – Madura*. BMKG[1] D. I. M. S. M.Eng., "Penjelasan BMKG Mengenai Ramalan Gempa Surabaya – Madura," BMKG. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bmkg.go.id/siaran-pers/penjelasan-bmkg-mengenai-ramalan-gempa-surabaya-madura>. <https://www.bmkg.go.id/siaran-pers/penjelasan-bmkg-mengenai-ramalan-gempa-surabaya-madura>
- Syahnandito, Suryanita, R., & Ridwan. (2020). Pengaruh Penggunaan Base Isolation High Damping Rubber Bearing Pada Struktur Beton Bertulang. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 181–194. <https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4906>