

**PERBANDINGAN RESPON SEISMIK STRUKTUR GEDUNG SISTEM KONVENSIONAL
DENGAN SISTEM ISOLASI DASAR (STUDI KASUS: GEDUNG TEMPAT EVAKUASI
SEMENTARA, BANGSAL, KABUPATEN LOMBOK UTARA)**
*Seismic Structural Responses Comparison of Conventional System and Base Isolation System
Building (Case Study: Temporary Shelter Building in Bangsal, Northern Lombok)*

Ni Nyoman Kencanawati*, Lia Aprianingsih*, Hariyadi*, Ngudiyono*,
Fathmah Mahmud*, Desi Widianty*

*Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram
Email : nkencanawati@unram.ac.id, hariyadi@unram.ac.id, ngudiyono@unram.ac.id,
fathmah_mahmud@unram.ac.id, widiantydesi@unram.ac.id

Manuscript received: 16 Februari 2023

Accepted: 17 Maret 2023

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi gempa tinggi, untuk itu perlu usaha mereduksi dampak yang timbul akibat gempa terutama pada struktur bangunan. Struktur yang dianalisis adalah gedung Tempat Evakuasi Sementara (TES) yang berada di Bangsal, Lombok Utara. Gedung ini terdiri dari 4 lantai dan akan dilakukan analisis tiga dimensi pada struktur fixed base dan struktur yang menggunakan base isolator bertipe lead rubber bearing (LRB), friction pendulum system (FPS) dan high damping rubber bearing (HDRB). Berdasarkan hasil analisis didapatkan diameter isolator tipe LRB dan HDRB sebesar 750 mm, sementara diameter FPS sebesar 1180 mm. Dengan menggunakan base isolator terjadi peningkatan periode struktur untuk tipe LRB, FPS dan HDRB berturut-turut sebesar 1,812 detik; 1,957 detik dan 1,435 detik. Terjadi juga peningkatan pada simpangan dasar arah x dan y pada tipe LRB, HDRB dan FPS, yakni berturut-turut sebesar 96,42%; 96,99%; 94,15% dan 93,84%; 93,16%; 89,97%. Sementara itu, terjadi penurunan pada simpangan antar lantai arah x berturut-turut sebesar 64,2%; 63,73%, 64,7% dan arah y sebesar 60,65%; 62,61%; 56,67%. Base isolator tidak langsung menyentuh pondasi melainkan dihubungkan dengan kolom pedestal yang berdiameter 1500 mm dengan tulangan 54 D25. Sementara itu untuk menghubungkan antara isolator dengan kolom pedestal digunakan base plate dengan tebal 20 mm dan panjang baut angkur sebesar 700 mm. Hasil analisis menunjukkan penggunaan base isolator dapat secara efektif memperbaiki respon struktur terhadap bahaya gempa, pada kasus ini pada gedung berlantai 4.

Kata kunci : Isolasi dasar, Gedung tempat evakuasi sementara, Respon seismic struktur.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara dengan intensitas gempa yang cukup tinggi. Berdasarkan letak geologisnya, Indonesia berada pada jalur Perapian (*Ring of Fire*). Sehingga menyebabkan Indonesia tidak lepas dari ancaman gempa bumi. Gempa besar dengan banyak korban jiwa sering terjadi, salah satunya gempa yang terjadi di pulau Lombok pada tahun 2018, dilaporkan ada 3.699 kejadian gempa yang mana 215 diantaranya terasa, (Kencanawati dkk, 2020). Sementara itu, menurut Badan Penanggulangan Bencana dalam Kencanawati dkk (2022) menyebutkan bahwa rangkaian gempa bumi di Lombok menyebabkan 71962 rumah, 67 fasilitas pendidikan 52 fasilitas kesehatan dan 128 sarana ibadah mengalami kerusakan.

Dalam perkembangannya, telah dirancang konsep bangunan tahan gempa guna mengurangi kemungkinan bangunan runtuh saat gempa terjadi. Salah satunya adalah penggunaan *base isolation system* pada bangunan gedung. *Base isolation system* berkonsep memisahkan antara struktur atas

bangunan dengan struktur bawah bangunan dengan alat mekanis atau isolasi agar getaran tanah akibat gempa tidak tersalurkan ke struktur bangunan tersebut yang menyebabkan gaya gempa menjadi kecil.

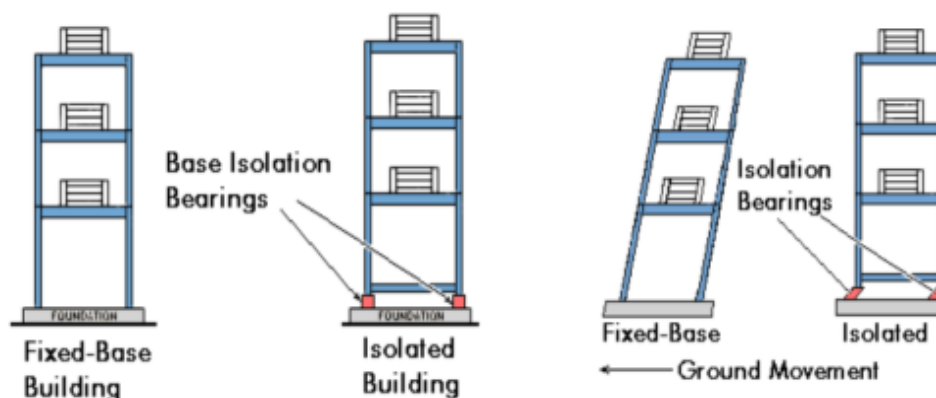
Sehingga struktur tetap aman meskipun gempa terjadi. Studi perbandingan antara struktur konvensional dengan struktur yang memakai *base isolation* pernah dilakukan pada gedung yang berada di daerah Mataram. Berdasarkan studi tersebut, struktur yang memakai *base isolation* mengalami peningkatan nilai periode dan nilai simpangan pada struktur. Selain itu juga mengalami penurunan nilai base shear pada struktur yang menggunakan base isolator. Untuk itu, analisis ini dilakukan guna mengkaji kinerja struktur *fixed base* dengan struktur yang menggunakan *base isolation system* berupa *Friction Pendulum System (FPS)*, *Lead Rubber Bearing (LRB)*, dan *High Damping Rubber Bearing (HDRB)* pada Gedung Tempat Evakuasi Sementara (TES) Bangsal Lombok Utara.

TINJAUAN PUSTAKA

Tipe Base Isolation

Base isolation system atau sistem isolasi dasar atau merupakan desain struktur sederhana untuk mereduksi kemungkinan kerusakan yang terjadi akibat gempa. Isolasi dasar merupakan sebuah pendekatan untuk menahan gempa bumi yang didasarkan pada konsep mereduksi keperluan seismik daripada meningkatkan kapasitas struktur untuk menahan gempa. Bila cara dan teknis pemasangan dilakukan dengan tepat, maka isolasi dasar akan menciptakan kinerja struktur gedung yang lebih baik. (Naeim dan Kelly, 1999).

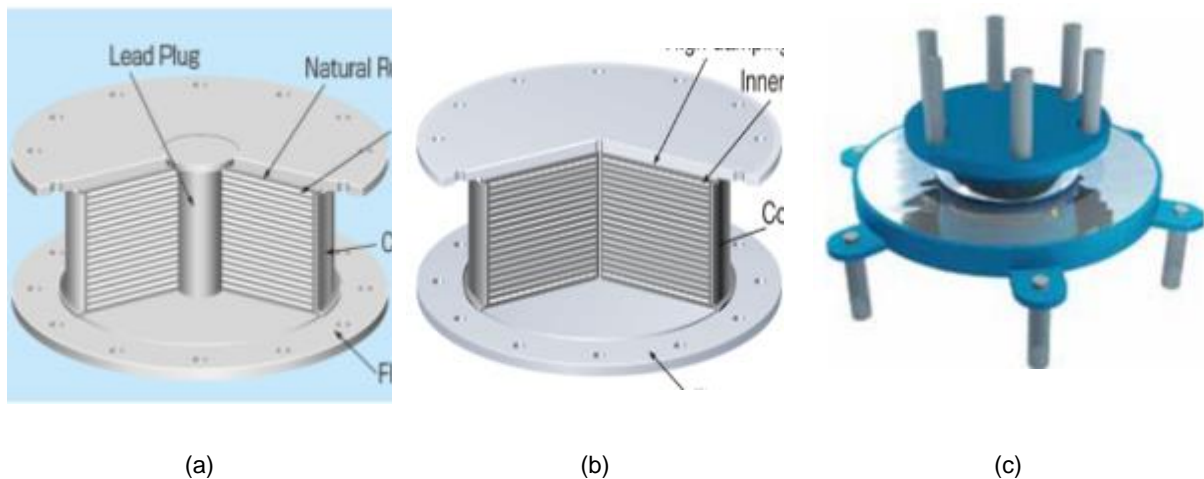
Syahnandito, (2020) dalam Jurnal Teknik Sipil membandingkan hasil analisis kinerja struktur pada gedung *fixed base* dan struktur dengan *base isolator*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa periode struktur meningkat 30,58% bila dengan *base isolation*, hal ini berarti *story drift* dengan struktur *base isolation* lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanpa *base isolation*. Sementara itu, Samsya, (2017) dalam tesisnya menyatakan bahwa dari hasil analisisnya, isolasi dasar dapat mengurangi gempa juga dapat mengurangi nilai *drift* pada setiap lantai struktur. Pada level kinerja struktur *base isolation* ternyata mampu lebih efektif daripada struktur *fix base*. Seperti yang terlihat pada gambar 1, kondisi bangunan yang menggunakan *base isolation* seakan tidak memiliki simpangan antar lantai.



Gambar 1. Kondisi bangunan sebelum dan setelah terjadi gempa (Gupta, 2019).

Adapun jenis *base isolation* ada beberapa macam, seperti *friction pendulum sistem*, *sliding* dan *rubber bearing* atau *elastomeric bearing*. *Rubber bearing* berupa *lead rubber* merupakan isolasi dasar yang berbahan dasar karet dan di tengahnya diisi dengan *lead* (timbal). *Lead* berfungsi menyerap energi sehingga gaya gempa dapat berkurang. Jenis lain dari *rubber bearing* adalah *high damping rubber bearing* yang juga berbahan dasar karet dengan redaman tinggi. Dengan nilai kekakuan awal yang tinggi, HDRB dapat menopang gaya-gaya luar tanpa perubahan bentuk yang signifikan. Sebenarnya HDRB sama dengan LRB hanya saja karet pada HDRB sudah divariasikan agar memiliki kemampuan redaman yang lebih tinggi dan dapat menopang energi gempa bumi (Budiono dan Setiawan, 2014).

Sementara itu, *Friction Pendulum Sistem* (FPS) adalah bantalan yang banyak digunakan berdasarkan prinsip geser untuk memberikan fungsi redaman menggunakan gesekan. FPS memiliki penggeseran artikulasi yang bergerak pada permukaan gesekan bola yang dilapisi dengan bahan komposit pelumas diri. Isolator jenis FPS lebih ekonomis dibandingkan dengan *elastomer bearing*, (Reddy dkk, 2017). Gambar masing-masing jenis *base isolation* dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Tipe *base isolation* (a) *Lead rubber bearing* (b) *High damping rubber bearing* (c) *Friction pendulum sistem* (Sumber: Katalog *Bridgestone* dan TIS)

Desain *Base Isolation*

Dalam mendesain *base isolation*, terlebih dahulu dicari perpindahan maksimum, sebagai kontrol batas simpangan.

$$D_M = \frac{g \times SM_1 \times T_M}{4 \times \pi^2 \times B_M} \dots\dots\dots (1)$$

dengan, SM_1 : parameter percepatan spektral gempa maksimum pada periode 1 detik, T_M : Periode target, B_M : Koefisien redaman.

Spesifikasi masing-masing *base isolation* didapatkan dari katalog, dengan mencari desain properties yang akan dimasukkan dalam analisis ETABS. Desain properties LRB dan HDRB tergantung pada regangan geser yang digunakan. Adapun persamaan desain properties seperti pada persamaan 2-23.

a. *Lead Rubber Bearing* (LRB)

- Kekakuan *lead*/timbal (K_p)

$$K_p = \frac{\alpha_p \times A_p}{H} \dots\dots\dots (2)$$

- Kekakuan *rubber*/karet (K_r)

$$K_r = G \times \frac{A_r}{H} \dots\dots\dots (3)$$

- Kekakuan pasca hasil (K_d)

$$K_2 = K_d = C_{Kd} \times (K_r + K_p) \dots\dots\dots (4)$$

- Kekakuan awal (K_1)

$$K_1 = \beta_1 \times K_2 \dots\dots\dots (5)$$

- Karakteristik kekakuan (Q_d)

$$Q_d = C_{Qd} \times \sigma_{pb} \times A_p \dots\dots\dots (6)$$

- Perpindahan hasil (D_y)

$$D_y = \frac{Q_d}{(K_2 \times 10) - K_2} \dots\dots\dots (7)$$

- Kekuatan hasil (F_y)

$$F_y = Q_d + K_2 \times D_y \dots\dots\dots (8)$$

- Kekakuan efektif (K_{eff})

$$K_{eff} = \frac{Q_d}{\gamma \times H} + K_2 \dots\dots\dots (9)$$

- Redaman efektif (β_{eff})

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \frac{Q_d (\gamma \times H - \frac{Q_d^2}{12 K_d})}{K_{eff} \times (\gamma \times H)^2} \dots\dots\dots (10)$$

dengan, G = Modulus geser karet, α_p = Modulus geser *lead*, σ_{pb} = Tegangan geser *lead*, γ = Regangan geser, C_{Kd} = Faktor koreksi kekakuan pasca-hasil, dan C_{Qd} = Faktor koreksi kakuatan karakteristik, A_r = Luas *rubber*, A_p = Luas *lead*, H = Ketebalan *rubber*, β_1 = Rasio kekakuan awal pasca luluh.

b. *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

- Kekakuan efektif (K_{eff})

$$K_{eff} = \frac{G \times A}{H} \dots\dots\dots (11)$$

- Kekakuan pasca-hasil (K_2)

$$K_2 = K_{eff} (1-u) \dots\dots\dots (12)$$

- Kekakuan awal (K_1)

$$K_1 = 10 \times K_2 \dots\dots\dots (10)$$

- Karakteristik kekakuan (Q_d)

$$Q_d = u \times K_{eff} \times H \dots\dots\dots (14)$$

- Perpindahan hasil (D_y)

$$D_y = \frac{Q_d}{(K_2 \times 10) - K_2} \dots\dots\dots 15)$$

- Kekuatan hasil (F_y)

$$F_y = Q_d + K_2 \times D_y \dots\dots\dots (16)$$

- Redaman efektif (β_{eff})

$$\beta_{eff}(\gamma) = 0,240 \times (0,02902\gamma^3 - 0,1804\gamma^2 + 0,2364\gamma + 0,9150) \dots\dots\dots (17)$$

dengan, G = Modulus geser, A = Luas rubber, H = Ketebalan *rubber*, u = Kekuatan geser maksimum.

c. *Friction Pendulum System* (FPS)

- Karakteristik kekakuan (Q)

$$Q = \mu_e \times P_u \quad \dots\dots\dots (18)$$

- Kekakuan pasca-hasil (K_2)

$$K_2 = \frac{P_u}{R_{ec}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

- Kekakuan awal (K_1)

$$K_1 = 10 \times K_2 \quad \dots\dots\dots (20)$$

- Perpindahan hasil (D_y)

$$D_y = \frac{Q}{(K_2 \times 10) - K_2} \quad \dots\dots\dots (21)$$

- Kekakuan efektif (K_{eff})

$$K_{eff} = \frac{Q}{U_b} + K_2 \quad \dots\dots\dots (22)$$

- Perhitungan redaman efektif (β_{eff})

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\mu_e \times R_{ec}}{u_b + \mu_e R_{ec}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

dengan, P_u = Gaya aksial terbesar, μ_e = Koefisien friksi, dan R_{ec} = Jari-jari kelengkungan dan $U_b = D_M$ = Perpindahan rencana.

METODE PENELITIAN

Analisis ini dilakukan pada gedung Tempat Evakuasi Sementara (TES) Bangsal, Kabupaten Lombok Utara. Dengan bantuan software ETABS V.18 Student Version, dilakukan analisis pada empat pemodelan. Pemodelan yang dimaksud yaitu struktur eksisting (Fixed Base), struktur dengan base isolation tipe LRB, HDRB, dan FPS. Spesifikasi mutu beton yang digunakan adalah 26,4 MPa berdasarkan Spesifikasi Teknik gedung TES. Sementara itu, mutu tulangan yang digunakan yakni f_y 420 Mpa untuk tulangan ulir dan f_y 280 Mpa untuk tulangan polos. Spesifikasi *base isolation* berdasarkan katalog *Bridgestone* untuk LRB dan HDRB, serta katalog TIS untuk FPS.

Dalam analisis menggunakan ETABS Student Version, secara umum terdapat 2 tahapan, yakni proses *input* data terdiri atas beberapa tahapan diantaranya, yaitu pemodelan struktur, Pembuatan *grid line* (geometrik struktur), pendefinisian material struktur, pendimensi elemen struktur, pembebanan struktur, dan analisis struktur. Sementara itu, proses *output* yaitu membuat tabulasi dan hasil analisis struktur yang dilakukan pada struktur bangunan. Data hasil analisis struktur akan digunakan dalam merancang desain struktur dengan sistem *base isolation* yang aman sesuai standar yang ditetapkan, yakni data gaya aksial kolom terbesar.

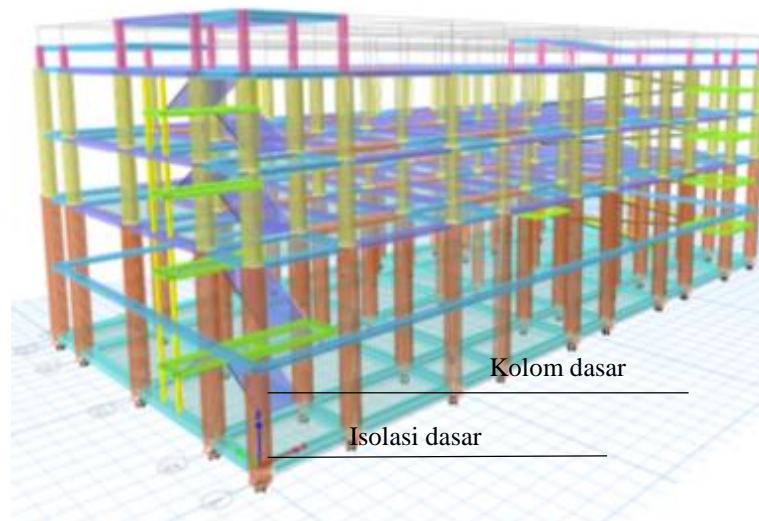
Sementara itu, dalam analisis *base isolation* terlebih dahulu ditetapkan parameter-parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai perpindahan maksimum. Yang mana, nilai perpindahan maksimum ini nantinya sebagai kontrol simpangan pada *base isolation*. Kemudian ditentukan dimensi *base isolation* berdasarkan nilai gaya aksial kolom terbesar, dan diambil yang mendekati dengan kapasitas aksial pada masing-masing katalog. Selanjutnya dihitung desain propertis yang akan dimasukkan ke dalam analisis isolator dengan ETABS. Adapun formula dari desain propertis berdasarkan pada katalog.

Perencanaan isolator pada ETABS Student Version pertama-tama dilakukan pemodelan perletakan isolator dengan cara pilih *Define* → *Section Properties* → *Link/Support Properties*. Kemudian Pada *Defined Link Properties*, pilih *Add New Property*. Pada bagian *General*, isi *Link Property Name* dengan LRB (LH075GA), dan Link Tipe menggunakan *rubber isolator/friction pendulum system*. Lalu bagian *directional properties*, masukkan data desain propertis yang sudah didapatkan. Klik *draw* LRB (LH075GA) sebagai perletakan dengan cara klik joint yang ditargetkan → *Draw* → *Draw Joint Link* → Pilih *Link Properties* LRB, dan terakhir lakukan *Run Analyze*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur *Fixed Base*

Setelah permodelan dan pembebanan struktur pada ETABS Student Version selesai dilakukan, maka selanjutnya perlu dilaksanakan kontrol atau pengecekan terhadap standar dan persyaratan yang berlaku, seperti kontrol base shear, periode, syarat translasi dan simpangan. Gambar pemodelan struktur *fixed base* dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



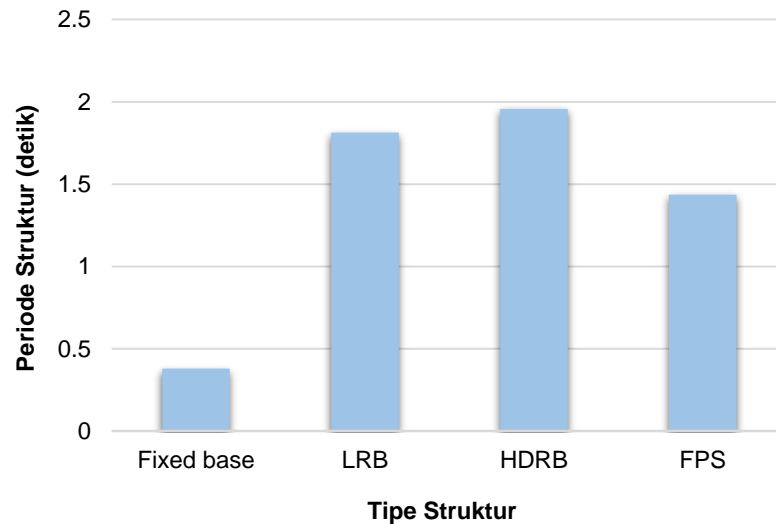
Gambar 4. Pemodelan struktur

Struktur *Base Isolation*

Untuk dimensi *base isolation* diperoleh pada katalog berdasarkan gaya aksial kolom terbesar. Dengan gaya axial, P_u sebesar 3745,588 kN, diperoleh dimensi LRB dan HDRB sebesar 750 mm, sementara FPS sebesar 1180 mm. Perencanaan desain propertis isolator didasarkan pada persamaan yang tertera di katalog, seperti kekakuan horizontal, karakteristik kakuatan, kekakuan efektif dan redaman efektif. Nilai desain propertis dimasukkan kedalam software ETABS Student Version, dengan U1 adalah arah vertikal dan U2 adalah arah horizontal.

Perbandingan Nilai Periode

Dari hasil analisis didapatkan bahwa struktur yang menggunakan *base isolation* dapat meningkatkan periode struktur bila dibandingkan dengan struktur eksisting (*fixed base*). Periode getar pada *base isolation* sangat dipengaruhi oleh kekakuan efektif isolator. Seperti yang terlihat pada gambar 5, bahwa isolator yang memiliki kekakuan efektif yang lebih kecil akan memiliki periode getar struktur yang lebih besar dan sebaliknya sehingga terdapat hubungan antara kekakuan efektif isolator dengan periode getar struktur. Peningkatan periode ini juga didapatkan oleh (Kencanawati, 2020) dalam jurnal Spektrum Sipil, yang memperoleh hasil analisis dengan peningkatan periode sebesar 6,7%.

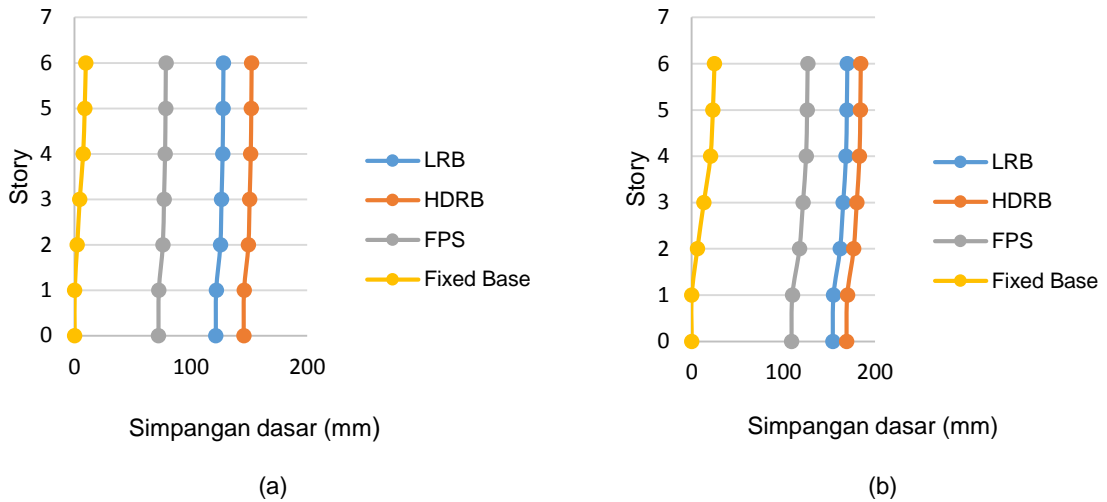


Gambar 5. Grafik perbandingan periode getar struktur

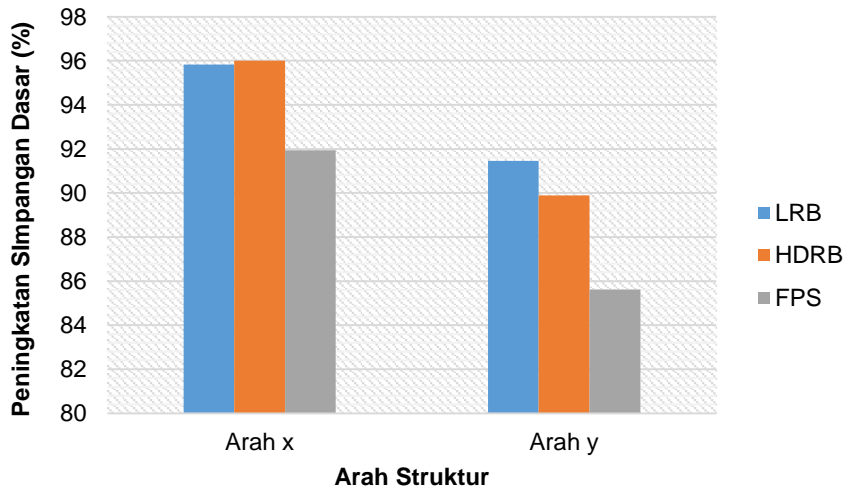
Perbandingan Nilai Simpangan Dasar

Dari hasil analisis didapatkan bahwa struktur dengan base isolator mempunyai simpangan yang lebih besar pada dasar struktur dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Hal ini terjadi karena *base isolation* elastis pada arah horizontal sehingga memiliki perpindahan yang lebih besar. Simpangan pada *base isolation* harus dicek dan harus di bawah nilai perpindahan maksimum (DM) yang telah dihitung yaitu sebesar 0,456 m. Adapun nilai simpangan ketiga tipe *base isolation* pada setiap tumpuan hasil analisis ETABS kurang dari simpangan maksimum, sehingga dapat dikatakan bahwa *base isolation* tipe FPS LRB dan HDRB mampu memikul terjadinya simpangan aktual. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 6 dan 7, simpangan dasar arah x meningkat sebesar 96,42% pada LRB, 96,99% pada HDRB dan 94,15% pada FPS. Sementara itu simpangan dasar arah y, meningkat sebesar 93,84% pada LRB, 93,16% pada HDRB, dan 89,97% pada FPS.

Sementara itu Fakrunnisa, 2021 dalam jurnal rekayasa sipil, menyatakan bahwa simpangan dasar arah x dengan tipe LRB akan meningkat sebanyak 44.09%, tipe HDRB meningkat sebanyak 41.56%. Namun pada arah Y, LRB meningkat 43,97% sedangkan HDRB meningkat 55,47%. Perbedaan persentase peningkatan ini disebabkan oleh perbedaan dimensi *base isolation* yang digunakan.



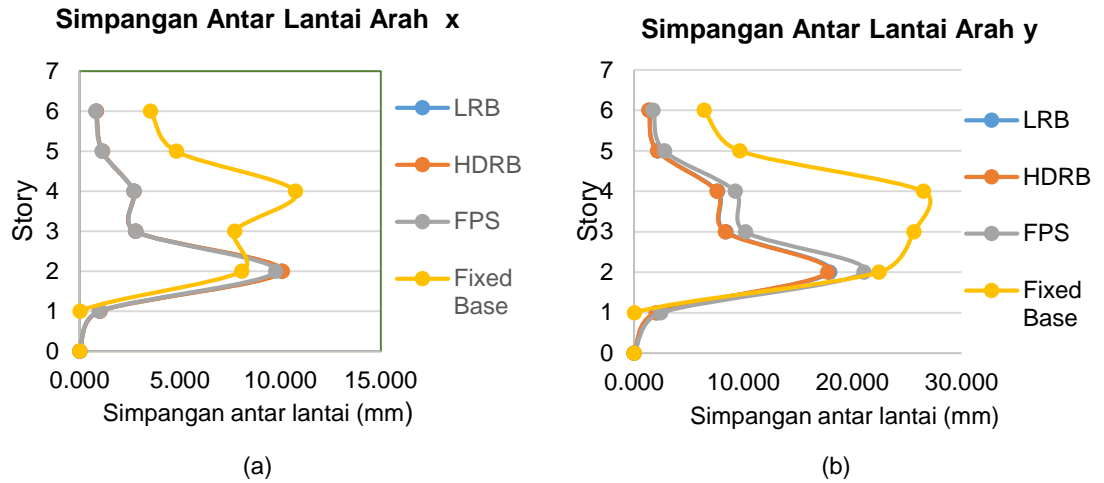
Gambar 6. Grafik simpangan dasar (a) arah x (b) arah y



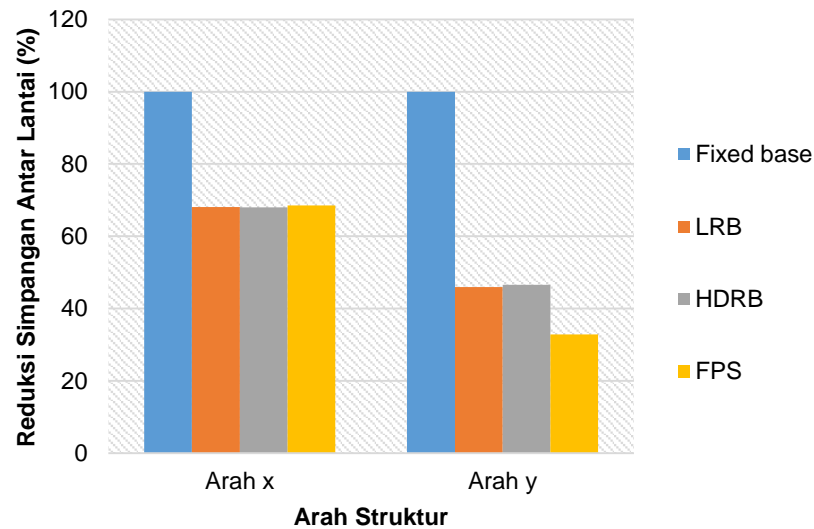
Gambar 7. Peningkatan simpangan dasar

Perbandingan Nilai Simpangan Antar Lantai

Dari hasil analisis dengan ETABS Student Version diperoleh bahwa struktur yang menggunakan base isolator memiliki nilai simpangan antar lantai atau story drift yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur eksisting atau *fixed base*. Seperti yang terlihat pada gambar 8 dan 9, yang mana nilai simpangan antar lantai dapat tereduksi. Jika ditinjau dari simpangan antar lantai maksimum yang terjadi pada struktur fixed base, struktur dengan *base isolation* tipe LRB, HDRB dan FPS dapat mereduksi berturut-turut sebesar 64,20%; 63,73% dan 64,7% pada arah x. Sementara pada arah y, struktur dengan base isolation tipe LRB, HDRB dan FPS dapat mereduksi berturut-turut sebesar 60,65%, 62,62% dan 55,67%.



Gambar 8. Grafik simpangan antar lantai (a) arah x (b) arah y



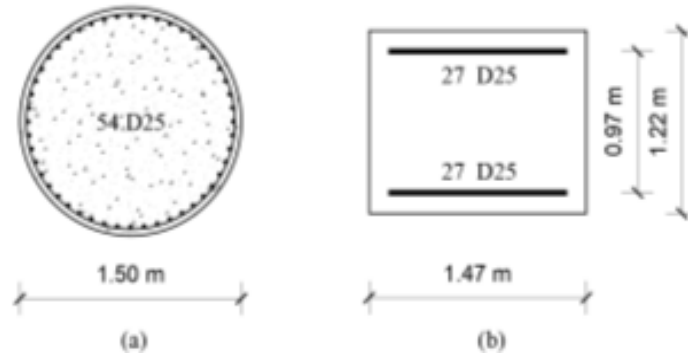
Gambar 9. Diagram perbandingan reduksi simpangan antar lantai

Perbedaan nilai simpangan antar lantai ini mirip dengan hasil analisis Nugroho, 2019 dalam tugas akhirnya menyatakan bahwa struktur dengan *base isolation* tipe LRB dan HDRB pada portal memanjang dapat mereduksi gaya horizontal hingga berturut-turut sebesar 70,23% dan 69,03% untuk kedua tingkat bahaya gempa. Pada portal melintang, struktur dengan *base isolation* tipe LRB dan tipe HDRB dapat mereduksi gaya horizontal hingga berturut-turut sebesar 75,37% dan 74,37%. Sementara itu, untuk tipe FPS menurut Akbari, 2021 dalam jurnal Teknik ITS, menyatakan bahwa nilai reduksi simpangan antar lantai rata-rata adalah 68,2% arah x dan 47,35% arah y. Perbedaan persentase peningkatan ini disebabkan oleh perbedaan dimensi *base isolation* yang digunakan.

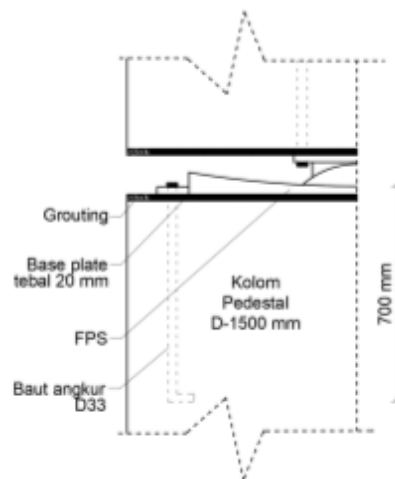
Sambungan *Base Isolation*

Pada perencanaan ini, kolom pedestal dianggap sebagai kolom pendek dengan beban aksial. Sementara untuk menghubungkan isolator dengan kolom pedestal diperlukan *base plate*. Dimensi yang digunakan yakni berdasarkan dimensi base isolator tipe FPS, karena memiliki diameter yang paling besar. Oleh karena kolom yang direncanakan merupakan kolom bulat, maka untuk menyederhanakan

perhitungan terlebih dahulu perlu di transformasikan menjadi kolom segiempat. Adapun dimensi kolom bulat aktual sebesar 1500 mm dengan tulangan 54 D25. Seperti yang terlihat pada gambar 11. Untuk kapasitas momen sebesar 3745,588 kNm sudah aman karena melebihi momen ultimate. Mengenai jumlah dan diameter angkur yang digunakan sudah tertera pada katalog. Untuk itu yang diperhitungkan dalam analisis ini adalah panjang angkur. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan panjang angkur baut yang aman adalah sebesar 700 mm, gambar dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 11. Transformasi kolom (a) Penampang kolom bundar aktual; (b) Penampang kolom segiempat ekuivalen



Gambar 12. Sambungan *base isolation*

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dengan ETABS, diperoleh perbandingan struktur *fixed base* dengan struktur yang menggunakan *base isolation* tipe LRB, HDRB dan FPS pada gedung TES Bangsal maka bisa disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan gaya aksial kolom terbesar, didapatkan diameter *base isolation* tipe LRB dan HDRB sebesar 750 mm dengan spesifikasi LH075GA dan HH075X6R pada katalog Bridgestone. Sementara itu, diameter *base isolation* tipe FPS sebesar 1180 mm dengan spesifikasi TSP 4000/400/7 pada katalog TIS.

2. Untuk perbandingan kinerja antara struktur *fixed base* (eksisting) dengan struktur yang menggunakan base isolator adalah sebagai berikut:
 - Penggunaan base isolator pada struktur bisa meningkatkan periode getar struktur dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Pada struktur *fixed base*, periode getar alami struktur sebesar 0,379 detik. Sedangkan pada struktur base isolator tipe LRB, HDRB dan FPS memiliki periode getar berturut-turut sebesar 1,918 detik; 1,955 detik; 1,400 detik.
 - Pada struktur yang menggunakan base isolator, terjadi simpangan pada dasar struktur. Untuk arah x, simpangan yang terjadi untuk tipe LRB, HDRB dan FPS berturut-turut sebesar 10,44 cm; 10,91 cm; dan 5,194 cm. untuk arah y sebesar 11,11 cm; 11,38 cm; dan 7,52 cm. simpangan pada dasar struktur base isolator lebih kecil dibandingkan simpangan maksimum. Hal ini berarti simpangan struktur base isolator masih tergolong aman.
 - Penggunaan *base isolation* dapat menurunkan nilai simpangan antar lantai dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Jika ditinjau dari simpangan antar lantai maksimum, struktur dengan base isolation tipe LRB dan HDRB dapat menurunkan simpangan antar lantai berturut-turut sebesar 72,933%; 72,880% dan 73,253% pada arah x. Sementara pada arah y, struktur dengan *base isolation* tipe LRB, HDRB dan FPS dapat mereduksi berturut-turut sebesar 73,717%; 74,004% dan 67,429%.
3. Berdasarkan perhitungan kolom pedestal, didapatkan diameter kolom pedestal sebesar 1400 mm dengan jumlah tulangan 48D25. Ketebalan *base plate* sebesar 20 mm dan panjang angkur baut sepanjang 700 mm.

Saran

Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa kinerja struktur dengan base isolator tipe LRB, HDRB dan FPS lebih baik dibandingkan dengan struktur *fixed base*, maka penulis sangat menyarankan kepada institusi pemerintahan maupun swasta untuk menerapkan penggunaan base isolator pada struktur yang ada di Indonesia, khususnya pada gedung-gedung vital seperti gedung Tempat Evakuasi Sementara (TES) Tsunami. Hal ini untuk mengantisipasi dan mengurangi kerusakan yang terjadi akibat gempa, terlebih lagi Indonesia merupakan negara yang tidak lepas dari ancaman gempa bumi. Sehingga gedung-gedung vital dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, M.F., Sugihardjo, H, dan Habieb, A.B. (2021). *Modifikasi Perencanaan Rumah Susun Pasar Rebo dengan Base Isolation Tipe Friction Pendulum System pada Daerah Rawan Gempa*. Jurnal ITS, 10(2).
- Badan Standarnisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI 1726:2019. Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Badan Standarnisasi Nasional. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Untuk Bangunan*. SNI 1727:2020. Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Bridgestone. (2017). *Seismic Isolation Product Line-Up*. Bridgestone Corporation, Jepang.
- 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), 179-195.
- Fakrunnisa, I.A., dan Hayu, A.G. (2021). *Analisis Kinerja High Damping Rubber Bearing dan Lead Rubber Bearing pada Bangunan Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan. 5(1), 48-57.

Gupta, K.H. (2019). *Seismic Base Isolation or Earthquake Resistant Structure*. International Journal of Engineering Development and Research. 7(3), 36-46

Kencanawati, N.N, D.S. Agustawijaya, dan R. M. Taruna. (2020). *An Investigation of Building Seismic Design Parameters in Mataram City Using Lombok Earthquake 2018 Ground Motion*. Journal Engineering and Technological Science. 52(5), 651-664.

Kencanawati, N. N., Hariyadi, H., & Wathoni, S. (2020). *Kajian Parameter Desain Seismik Pada Gedung dengan Isolasi Dasar (Base Isolation) Tipe Lead Rubber Bearing: Study on Seismic Design Parameters of Lead Rubber Bearing Type Base Isolation Structure*. Spektrum Sipil, 7(1), 51–60. <https://doi.org/10.29303/spektrum.v6i2.142>

Kencanawati, N. N, H.Hariyadi, N. Hidayati, dan I.M. Sukerta. (2022). *A new approach to structural seismic responses in Mataram City: Based on the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) results obtained after Lombok earthquakes 2018*. Scientica Iranica A. 29(3), 1142-1153.

Naeim, F., & Kelly, M. J. (1999). *Design of Seismic Isolated Structure: From Theory to Practice*. John Wiley & Son, America.

Nawy, Dr. E. G. (2010). *Beton Bertulang–Suatu Pendekatan Dasar*. PT. Refika Aditama, Bandung.

Nugroho, R. (2019). *Analisis Kinerja Fixed Base dengan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) dan Tipe Lead Rubber bearing (LRB) (Studi Kasus pada Hotel Sutan Raja Mataram)*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Reddy, M. R., Srujana, N., & Lingeshwaran, N. (2017). *Effect of Base Isolation in Multistoried Reinforced Concrete Building*. International Journal of Civil Engineering and Technology. 8(3), 878-887.

Syamsya, I. (2017). *Evaluasi Aplikasi Penggunaan Base Isolation pada Gedung Grand Keisha Menggunakan Analisa Pushover*. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November.

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.

Technology Isolator System. (2020). *The First and Only Seismic Isolator made in Turkey*. Turki.