

Evaluasi Efektivitas Penggunaan *Base Isolation* dan *Fixed Base* dalam Mereduksi Respon Seismik pada Struktur Gedung di Wilayah Mamuju

Roro Widiyatmi DJ¹, Musdalifah S², Zainal Arifin Halim³

¹Universitas Islam Makassar, ²Universitas Islam Makassar, ³Universitas Islam Makassar

rorowdytm@gmail.com, musdalifah.s.dty@uim-makassar.ac.id, zainalarifinhalim.dty@uim-makassar.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan *base isolation* tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB) dibandingkan dengan struktur tumpuan konvensional *fixed base* dalam mereduksi respons seismik gedung bertingkat di wilayah rawan gempa Mamuju. Simulasi numerik berbasis metode kuantitatif diterapkan menggunakan analisis respons spektrum yang mengacu pada standar regulasi SNI 1726:2019, SNI 1727:2020 dan SNI 2847:2019. Hasil analisis parameter dinamik menunjukkan bahwa penerapan *base isolation* berhasil memperpanjang periode alami fundamental bangunan secara masif, yaitu sebesar 67,98% pada Mode 1 (dari 0,809 detik menjadi 1,359 detik) dan 69,57% pada Mode 2 (dari 0,792 detik menjadi 1,343 detik). Perpanjangan periode getar ini berdampak langsung pada reduksi gaya geser dasar (*base shear*) sebesar 14,79% pada Arah X dan 14,55% pada Arah Y. Selain itu, kinerja peredaman lateral isolator mampu mereduksi simpangan antar lantai (*story drift*) inelastis rata-rata sebesar 66,35% (Arah X) dan 67,49% (Arah Y), dengan tingkat reduksi paling ekstrem mencapai 92,18% di lantai atap. Seluruh parameter simpangan ini telah memenuhi batasan izin kelayakan keselamatan struktural yang disyaratkan. Implikasi dari penelitian ini menegaskan bahwa konfigurasi sistem isolasi dasar yang simetris memberikan kontribusi proteksi penuh bagi *superstructure* agar tetap berada pada zona elastis linear, sehingga efektif meminimalkan risiko kerusakan elemen non-struktural serta mencegah kegagalan struktural fatal akibat efek puntir saat diguncang gempa kuat.

Kata Kunci: *Base Isolation, Fixed Base, Gaya Geser, Lead Rubber Bearing, Respon Seismik, Simpangan Antar Lantai, Waktu Getar Alami*

This study aims to evaluate the effectiveness of using Lead Rubber Bearing (LRB) base isolation compared to conventional fixed-base support structures in reducing the seismic response of multi-story buildings in the earthquake-prone region of Mamuju. Quantitative numerical simulations were conducted using response spectrum analysis in accordance with the regulatory standards SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 2847:2019. The results of the dynamic parameter analysis show that the application of base isolation successfully extended the building's fundamental natural period significantly, by 67.98% in Mode 1 (from 0.809 seconds to 1.359 seconds) and 69.57% in Mode 2 (from 0.792 seconds to 1.343 seconds). This extension of the natural period directly resulted in a reduction in base shear of 14.79% in the X-direction and 14.55% in the Y-direction. Furthermore, the isolators' lateral damping performance reduced the average inelastic story drift by 66.35% (X-direction) and 67.49% (Y-direction), with the most extreme reduction reaching 92.18% on the roof floor. All of these displacement parameters met the required structural safety approval limits. The implications of this study confirm that a symmetrical base isolation system configuration provides full protection for the superstructure, keeping it within the linear elastic zone, thereby effectively minimizing the risk of damage to non-structural elements and preventing catastrophic structural failure due to torsional effects during strong earthquakes.

Keywords: *Base Isolation, Fixed Base, Shear Force, Lead Rubber Bearing, Seismic Response, Inter-Story Displacement, Natural Period.*

I. PENDAHULUAN

Aktivitas seismik global yang tinggi telah menyebabkan kerusakan infrastruktur yang signifikan di berbagai negara yang terletak di jalur pertemuan lempeng tektonik. Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan gempa tertinggi di dunia karena berada di antara tiga lempeng utama yaitu Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik, yang saling berinteraksi aktif. [1] Data menunjukkan bahwa 90% gempa bumi dunia terjadi di zona Cincin Api Pasifik, termasuk wilayah Indonesia, yang mengakibatkan kerusakan

bangunan dan korban jiwa yang besar.[2] Menurut konsep rekayasa gempa, strategi mitigasi utama selama ini adalah perancangan struktur dengan sistem *fixed base* yang mengandalkan kekakuan dan daktilitas bangunan untuk menahan gaya gempa. [3] Berdasarkan isu global tersebut, permasalahan spesifik yang muncul adalah tingginya tingkat kerusakan bangunan di wilayah Mamuju, Sulawesi Barat, pasca gempa bumi berkekuatan Mw 6,2 pada tahun 2021. Gempa utama dan rangkaian gempa susulan menyebabkan kerusakan berat atau keruntuhan pada berbagai fasilitas penting seperti perkantoran, rumah sakit, dan perumahan. [4] Banyak bangunan di Mamuju yang dirancang dengan sistem *fixed base* berdasarkan standar lama SNI 1726-2012 yang belum mampu mengakomodasi peningkatan beban gempa sesuai standar terbaru SNI 1726-2019. Akibatnya, diperlukan suatu teknologi *retrofitting* yang efektif, seperti *base isolation*, yang dapat dievaluasi melalui metode respons spektrum untuk melindungi struktur dan penghuni bangunan dari risiko gempa di masa depan. [5] Penelitian ini akan dilakukan dengan memodelkan sebuah bangunan eksisting tipikal di Mamuju menggunakan perangkat lunak ETABS, kemudian membandingkan kinerja struktur dengan sistem *fixed base* dan sistem *base isolation* tipe LRB. Konsep dari *base isolation* yaitu memisahkan struktur atas dengan struktur bawah yang bekerja dengan menjaga struktur di atasnya sebagai satu kesatuan karena *base isolator* bersifat elastis maka arah getaran gempa yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi *base isolator*, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur. [6]

Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan parameter dinamik (waktu getar alami dan partisipasi massa) antara struktur *base isolation* dan *fixed base*?
2. Seberapa besar tingkat efektivitas *base isolation* dalam mereduksi gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan antar lantai (*story drift*) pada struktur gedung di wilayah Mamuju?

Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui parameter dinamik struktur yang berpengaruh terhadap respon seismik gedung.
2. Untuk mengetahui tingkat efektivitas penggunaan *base isolation* tipe *Lead Rubber Bearing* (LRB) dalam mereduksi respon seismik dibandingkan sistem *fixed base*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Struktur *Fixed Base*

Sistem struktur *fixed base* merupakan metode konstruksi konvensional yang paling umum digunakan dalam dunia teknik sipil, di mana bagian dasar atau kolom bangunan dihubungkan secara kaku langsung ke sistem fondasi tanpa adanya perangkat peredam atau pemisah

ambahan. Dalam konfigurasi ini, seluruh beban lateral yang berasal dari gempa bumi maupun angin akan ditransfer secara langsung melalui elemen struktural dari atas menuju ke dasar bangunan, sehingga struktur atas dan fondasi dianggap bergerak sebagai satu kesatuan yang utuh saat terjadi guncangan. Karena sifat hubungannya yang kaku, sistem ini memiliki periode getar alami yang relatif rendah yang berarti bangunan cenderung lebih kaku dan akan merespons getaran tanah dengan frekuensi yang tinggi, sehingga sering kali menghasilkan gaya geser dasar yang cukup besar.

Sistem Struktur *Base Isolation*

Sistem *Base isolator* atau isolasi dasar merupakan sebuah perancangan struktur tahan gempa yang bekerja dengan cara memisahkan atau memutus transmisi energi getaran tanah ke struktur atas gedung. Berbeda dengan sistem konvensional atau *fixed base* yang mengandalkan kekakuan dan daktilitas elemen struktur untuk menahan beban lateral secara langsung, sistem *Base isolator* justru memperkenalkan lapisan fleksibel di antara fondasi dan kolom bangunan. Pada penelitian ini saya menggunakan jenis *base isolation Lead Rubber Bearing* (LRB) karena beberapa alasan yaitu LRB memiliki karakteristik yang sangat cocok untuk wilayah Mamuju yang memiliki resiko gempa yang tinggi, serta pemodelan LRB sangat mirip dengan pemodelan *base isolation* di ETABS sehingga lebih memudahkan dalam melakukan input data dibandingkan jenis *base isolation* lainnya.

Beban Struktur

Berdasarkan SNI 1727 tahun 2022 tentang pembebanan minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan SNI 1726 tahun 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung, standar acuan pembebanan untuk struktur gedung ini adalah beban mati (DL), beban hidup (LL), dan beban gempa.

- Beban Mati (*Dead Load/LL*), Menurut SNI 1727 tahun 2020 beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi yang digunakan untuk membuat bangunan, seperti dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading, komponen arsitektural lainnya, serta peralatan layanan yang terpasang, seperti sistem pengangkut material dan derek. Perhitungan beban mati terhitung secara otomatis oleh perangkat lunak ETABS.
- Beban Hidup (*Live Load/LL*), Tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti angin, hujan, gempa, banjir, atau beban mati, beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh pengguna dan penghuni gedung yang dapat bergerak, yang dapat mengubah pembebanan lantai atau atap.
- Beban Gempa, adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang meniru gerakan tanah yang disebabkan oleh gempa. Dalam analisis ini, penggunaan beban gempa mengacu pada SNI

Respon Spektrum Gempa

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726 tahun 2019 yang membahas tentang tata cara perencanaan ketahanan

gempa untuk struktur bangunan gedung, gempa rencana didefinisikan sebagai gempa dengan kemungkinannya terlewati sebesar 2% selama umur struktur lima puluh tahun. Dalam perencanaannya struktur bangunan harus memperhatikan letak wilayah gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko tertarget (MCER) parameter-parameter gerak tanah S_s dan S_1 . S_s adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCER yang teredam 5%. S_1 adalah parameter nilai percepatan respons spektral gempa MCER yang teredam 5% pada waktu satu detik.

Dinamika Struktur dan Respon Seismik

Respon seismik didefinisikan sebagai perilaku dinamis atau reaksi suatu sistem mekanis, baik berupa struktur bangunan maupun lapisan tanah, akibat beban getaran yang dihasilkan oleh gelombang seismik. Pemahaman teoritis mengenai respon seismik sangat penting dalam proses perancangan untuk memastikan bahwa deformasi yang terjadi tetap berada dalam batas elastis atau batas daktilitas yang diizinkan, sehingga integritas struktur tetap terjaga saat menghadapi beban gempa. Respons seismik meliputi tiga respon utama yaitu waktu getar alami (*periode*), gaya geser dasar (*base shear*), simpangan antar lantai (*interstory drift*).

- Waktu Getar Alami, adalah durasi yang dibutuhkan oleh suatu struktur untuk menyelesaikan satu siklus getaran lengkap (satu kali bolak-balik) setelah diberikan gangguan awal dan dibiarkan bergetar secara bebas. Berikut tabel koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung.
- Gaya geser dasar, atau yang sering dikenal dengan istilah *base shear*, merupakan total gaya lateral (horizontal) maksimum yang diperkirakan akan terjadi pada dasar suatu struktur bangunan akibat adanya getaran atau guncangan gempa bumi.
- Simpangan Antar Lantai, atau yang secara teknis sering disebut dengan *interstory drift*, adalah perbedaan atau selisih antara perpindahan horizontal (deformasi) dari dua lantai yang berdekatan dalam satu gedung akibat adanya beban lateral, seperti gaya gempa atau beban angin.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ETABS 2022.

Lokasi, Waktu serta Obyek Penelitian

1. Waktu Penelitian
Penelitian ini dilakukan sejak diterbitkannya izin penelitian, selama kurang lebih dua bulan, meliputi pengumpulan dan pengolahan data. Selama periode tersebut, data diperoleh melalui observasi dan kemudian disajikan dalam bentuk hasil uji sesuai dengan tahapan penelitian.
2. Tempat Penelitian

Lokasi penelitian difokuskan pada wilayah Mamuju, Sulawesi Barat. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Mamuju merupakan wilayah dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi dan memiliki karakteristik tanah yang memerlukan pendekatan mitigasi bencana melalui teknologi struktur, sehingga sesuai dengan topik evaluasi efektivitas respon seismik.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi numerik. Peneliti membangun dua model struktur yaitu model dengan sistem *fixed base* dan model dengan sistem *base isolation* (*Lead Rubber Bearing*). Tahapan meliputi pengumpulan data seismik Mamuju, pembangunan model di ETABS, hingga analisis beban lateral menggunakan metode respon spektrum.

Data Penelitian

1. Data Umum Bangunan

a. Nama bangunan	: Gedung kantor sekolah
b. Lokasi	: Kota Mamuju
c. Kondisi tanah	: Tanah sedang (SD)
d. Fungsi	: Perkantoran
e. Luas	: 1394,198 m ²
f. Jumlah lantai	: 4
g. Material	: Beton bertulang
2. *Properties Material*

a. Beton	: f'_c 30 Mpa
b. Baja tulangan	: E_s 200.000 Mpa

Rancangan Penelitian

Struktur bangunan dirancang merupakan bangunan gedung beton bertulang. Pemodelan struktur terdiri dari 2 model yaitu:

1. Struktur 4 lantai menggunakan *fixed base*
2. Struktur 4 lantai menggunakan *base isolation*

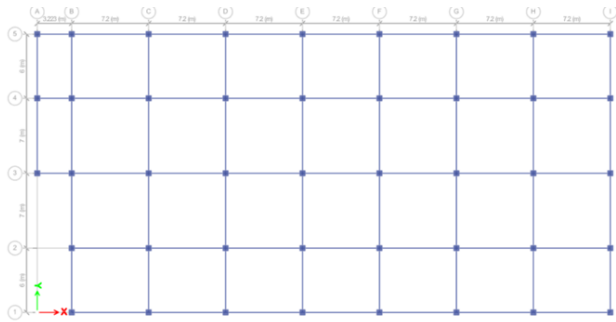
Alur Penelitian

1. Mencari referensi isolator, regulasi SNI 1726:2019, dan penelitian gempa.
2. Pengumpulan data:
 - a. Data primer: Denah gedung
 - b. Koordinator lokasi Mamuju, nilai N-SPT, dan parameter gempa RSA puskim
3. Pemodelan struktur di ETABS:
 - a. Membuat model *fixed base*
 - b. Membuat model *base isolation*
4. Input beban gravitasi dan beban gempa *rspons spektrum*
5. Analisis struktur
6. Cek kontrol syarat SNI apakah *mass source* sudah 100%, partisipasi massa > 90%, dan simpangan aman.
7. Ekstraksi & membandingkan data waktu getar alami, gaya geser, dan simpangan antar lantai.
8. Menghitung persentase reduksi respon.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Penyajian Data

Objek penelitian ini adalah sebuah gedung sekolah berlantai 4 yang memiliki dimensi panjang struktur sebesar 54,323 m dan lebar 26 m.



Gambar 1 Denah struktur yang menggunakan *fixed base* dan *base isolation*

Preliminary Design

Preliminary Design atau yang biasa disebut dengan desain awal dalam proses perancangan suatu bangunan bertujuan untuk menentukan ukuran dan bentuk umum dari struktur yang direncanakan. Struktur yang direncanakan meliputi balok, pelat lantai, dan kolom. Pada tahap ini direncanakan berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 mengenai desain dimensi minimum.

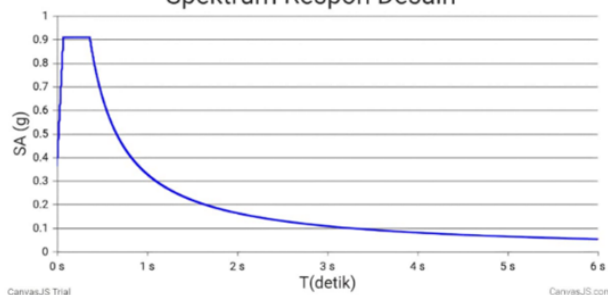
Pembebanan

Dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat, digunakan struktur yang mampu mendukung berat sendiri, beban angin, beban hidup maupun beban khusus yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Beban-beban yang bekerja pada struktur dihitung menurut SNI 1727:2019.

1. Berat sendiri struktur
2. Beban mati tambahan = $1,31 \text{ kN/m}^2$
3. Beban hidup lantai kantor = $2,4 \text{ kN/m}^2$
4. Beban hidup atap = $0,96 \text{ kN/m}^2$

Parameter Analisis Gempa Respon Spektrum

Spektrum Respon Desain



Gambar 2 Kurva Respon Spektrum Wilayah Mamuju

$PG_{Am} = 0,6081$

Spektral Percepatan Periode Pendek (S_s) = $1,5270$

Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1) = $0,6142$

Transisi Periode Panjang (TL) = 8

Koefisien Situs, $F_a = 1,00$

Koefisien Situs, $F_v = 1,70$

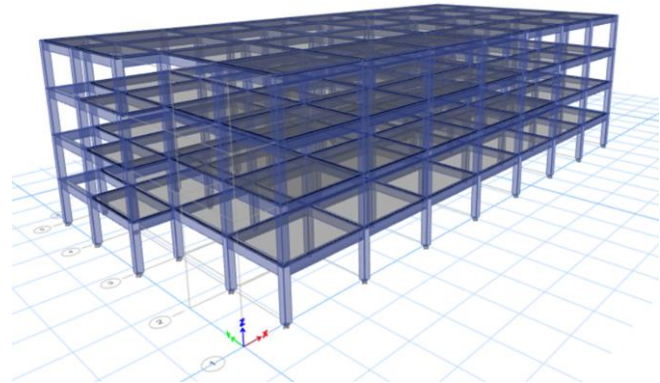
Parameter Periode Pendek (SMS) = $1,52$

Parameter Periode Pendek (SM1) = $1,04$

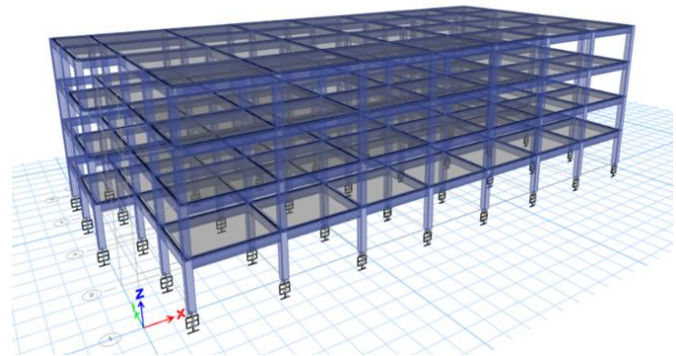
Percepatan Desain Periode Pendek (SDS) = $0,69$

Percepatan Desain Periode 1 Detik (SD_1) = $1,02$

Pemodelan Struktur Menggunakan *Fixed Base* dan *Base Isolation*



Gambar 3 Tampak 3D Gedung *Fixed Base*



Gambar 4 Tampak 3D Gedung *Base Isolation*

Desain *Base Isolation*

Desain bangunan dengan isolasi LRB melanjutkan desain *fixed base*. Tahapannya meliputi penyesuaian parameter desain isolasi dasar sesuai SNI 1726:2019 pasal 12, lalu mendesain LRB. Parameter yang perlu ditentukan dalam proses desain HDRB adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *joint reaction*, berdasarkan SNI 1726:209 pasal 12.2.7.1 tentang kombinasi beban vertikal unit isolasi antara lain adalah sebagai berikut:
 - a. Beban vertikal rata-rata: beban ini dihitung dengan mempertimbangkan 1,0 beban mati dan 0,5 beban hidup yang bekerja pada struktur.
 - b. Beban vertikal maksimum: kombinasi beban 6 ($1,2D+Ev+Eh+L$), dengan SDS digantikan dengan SMS .
 - c. Beban vertikal minimum: kombinasi beban 7 ($0,9D-Ev+Eh$) dengan SDS digantikan dengan SMS .

Kemudian setelah dianalisis *joint reaction* yang digunakan untuk penentuan LRB adalah nilai *joint reaction* terbesar dari ketiga jenis kombinasi beban vertikal diatas.

- Menentukan kekakuan efektif awal LRB (terlampir pada lampiran).
- Menentukan perpindahan maksimum awal LRB (terlampir pada lampiran).
- Menentukan tebal karet berdasarkan katalog *Bridgestone* 2022 dan menentukan asumsi awal dimensi LRB (terlampir pada lampiran).
- Jika hasil desain awal ketebalan karet dan dimensi LRB tidak sepadan dengan kapasitas unit LRB dalam menahan beban vertikal maksimum (disebut sebagai nilai *Nominal Long Term Column* yang tercantum dalam brosur LRB *Bridgestone*), maka dimensi LRB yang dipilih harus disesuaikan. Kapasitas *Nominal Long Term Column* LRB yang dipilih harus melebihi berat beban yang bekerja pada setiap titik kolom yang akan ditopang oleh unit LRB.

Berdasarkan perhitungan dan menyesuaikan dengan katalog dari *Bridgestone* 2022 maka untuk struktur 4 lantai menggunakan *base isolation* menggunakan spesifikasi berikut:

Karakteristik		Satuan	LH080G4
Outer Diameter	D _o	mm	800
Lead Plug Diameter	D _i	mm	190
Total Height	H	mm	4222
Total Weight	W	tonF	1,29
Total weight	W	kN	12,7
Compressive Stiffness	K _{eff}	kN	2960
Nominal Long Term Column Load	P _{long}	kN	5000
Characteristic Strength	Q _d	kN	226
Equivalent Shear Stiffness	K _q	Kn	2,13

Sumber: *Bridgestone*

Parameter Dinamik

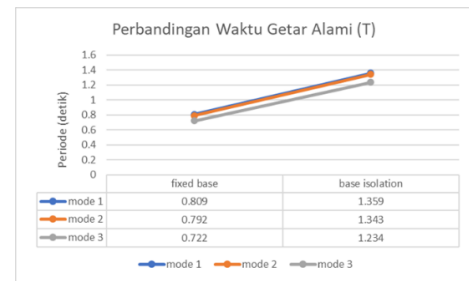
1. Waktu Getar Alami

Hasil pemodelan numerik menggunakan program bantu struktural disajikan pada Tabel 12 dan visualisasi tren kenaikan nilai periode digambarkan melalui Grafik 21 berikut.

Tabel 1 Perbandingan Periode Struktur Gedung Fixed Base dan Base Isolation

Type Gedung	Mode 1 (detik)	Mode 2 (detik)	Mode 3 (detik)
Gedung <i>fixed base</i>	0,809	0,792	0,722
	Translasi Y	Translasi X	Rotasi
Gedung <i>Base Isolation</i>	1,359	1,343	1,234
	Translasi Y	Translasi X	Rotasi

Sumber: Olah Data

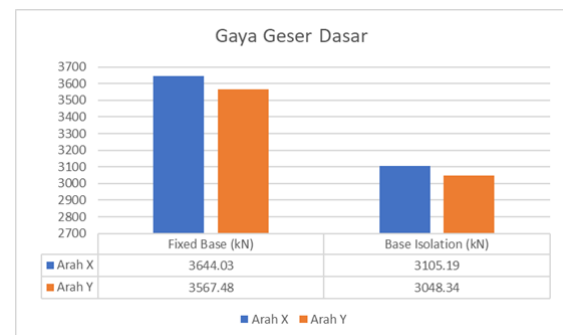


Gambar 5 Perbandingan Periode Struktur Fixed Base dan Base isolation

Pada Mode 1 (Translasi Arah Y), periode struktur meningkat dari 0.809 detik menjadi 1.359 detik (naik sebesar 67.98%). Fenomena serupa terjadi pada Mode 2 (Translasi Arah X) di mana nilai periode bergeser dari 0.792 detik menjadi 1.343 detik (naik sebesar 69.57%). Sedangkan efek puntir atau deformasi torsional baru muncul pada Mode 3 dengan nilai periode sebesar 1.234 detik. Perpanjangan durasi getar ini mengonfirmasi bahwa struktur atas telah menjadi jauh lebih dinamis dan fleksibel secara keseluruhan.

2. Gaya Geser

Dari hasil yang didapat setelah dianalisis maka didapatkan perbandingan gaya geser dasar antar gedung *fixed base* dan *base isolation* adalah sebagai berikut.

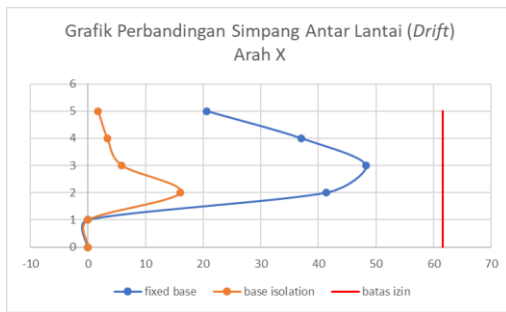


Gambar 6 Perbandingan Periode Struktur *Fixed Base* dan *Base Isolation*

Pemasangan sistem *base isolation* pada bagian dasar gedung terbukti efektif dalam mereduksi besaran total gaya geser dasar (*base shear*) yang masuk ke dalam struktur bangunan. Pada peninjauan beban gempa arah X, terjadi penurunan gaya lateral dari 3644.03 kN menjadi 3105.19 kN, atau setara dengan tingkat reduksi sebesar 14.79%. Untuk gempa arah Y, gaya geser dasar berhasil diturunkan dari 3567.48 kN menjadi 3048.34 kN, yang menunjukkan tingkat reduksi sebesar 14.55%. Penurunan ini secara langsung mengurangi beban lateral total yang harus ditahan oleh seluruh elemen struktural utama.

3. Simpangan Antar Lantai

Hasil respon struktur antara *fixed base* dan *base isolation* dapat dilihat dari simpang antar lantai pada gambar 23 dan 24.



Gambar 7 Perbandingan Simpang Antar Lantai Akibat Beban Gempa Dinamik Arah X



Gambar 8 Perbandingan Simpang Antar Lantai Akibat Beban Gempa Dinamik Arah Y

Tabel 2 Reduksi Simpangan Antar Lantai Pada Gedung *Fixed Base* Dan *Base Isolation* Akibat Beban Gempa Dinamik Arah X

Story	Fixed Base (mm)	Base Isolation (mm)	Reduksi (%)
5	20,581	1,721	91,64%
4	36,693	3,306	90,99%
3	48,285	5,846	87,89%
2	41,360	16,033	61,24%
1	0,000	0,000	0,00%
Rata-rata			66,35%

Sumber: Olah Data

Tabel 3 Reduksi Simpangan Antar Lantai Pada Gedung *Fixed Base* Dan *Base Isolation* Akibat Beban Gempa Dinamik Arah Y

Story	Fixed Base (mm)	Base Isolation (mm)	Reduksi (%)
5	26,098	2,040	92,18%
4	46,717	3,922	91,61%
3	60,814	6,826	88,78%
2	51,728	18,167	64,88%
1	0,000	0,000	0,00%
Rata-rata			67,49%

Sumber: Olah Data

Nilai simpangan inelastis maksimum pada struktur *Fixed Base* tidak melampaui batas izin sebesar 61.538 mm. Begitu pula dengan struktur atas pada sistem *Base Isolation* yang seluruh lantainya berada jauh di bawah ambang batas izin khusus isolator sebesar 60.000 mm. Penggunaan sistem isolasi dasar berupa bantalan karet LRB terbukti sangat efektif dalam mereduksi respons simpangan antar-lantai pada struktur gedung. Tingkat reduksi simpangan terbesar terjadi di lantai atas (*Story* 5) yang mencapai 91.64% pada arah X dan 92.18%

pada arah Y. Bahkan di tingkat bawah (*Story* 2), sistem isolasi tetap mampu memotong simpangan lateral hingga lebih dari 61%.

V. KESIMPULAN

1. Penerapan sistem *base isolation* menggunakan bantalan karet *Lead Rubber Bearing* (LRB) terbukti sangat efektif dalam mengubah parameter dinamik struktur dengan cara memperpanjang waktu getar alami (*periode*, T) fundamental bangunan secara masif pada seluruh ragam getar peninjauan. Pada Mode 1 (Translasi Arah Y), periode alami struktur melonjak sebesar 67,98% (dari 0,809 detik menjadi 1,359 detik), sedangkan pada Mode 2 (Translasi Arah X) terjadi kenaikan sebesar 69,57% (dari 0,792 detik menjadi 1,343 detik). Manfaat utama dari perpanjangan durasi getar alami ini adalah membuat struktur bangunan atas (*superstructure*) menjadi jauh lebih fleksibel, sehingga berhasil menggeser respons dinamik gedung menjauhi wilayah resonansi puncak spektrum respons gempa rencana dan secara drastis menurunkan transmisi respons percepatan gempa yang diterima oleh gedung.
2. Fleksibilitas lateral yang diberikan oleh sistem *base isolation* terbukti andal dalam mereduksi besaran total gaya geser dasar (*base shear*) yang masuk ke dalam sistem pertahanan utama bangunan. Pada peninjauan beban gempa dinamik Arah X, terjadi penurunan gaya lateral sebesar 14,79% (dari 3644,03 kN menjadi 3105,19 kN), sementara pada peninjauan gempa Arah Y gaya geser dasar berhasil dipotong sebesar 14,55% (dari 3567,48 kN menjadi 3048,34 kN). Penurunan gaya lateral total ini memberikan manfaat mekanis yang signifikan karena mengurangi beban inersia gempa yang harus dipikul oleh seluruh elemen struktural utama (balok dan kolom). Dampak turunannya adalah minimalisasi konsentrasi gaya dalam pada kolom-kolom lantai bawah, yang memicu efisiensi dimensi struktural bangunan atas tanpa mengurangi faktor keamanan komparatif gedung.
3. Kinerja sistem *base isolation* dalam mereduksi respons simpangan antar-lantai (*story drift*) inelastis bekerja dengan sangat optimal dan menghasilkan tingkat stabilitas horizontal yang ideal. Penerapan perangkat isolator ini mampu menghasilkan reduksi simpangan rata-rata sebesar 66,35% untuk Arah X dan 67,49% untuk Arah Y, dengan pemotongan simpangan lateral paling ekstrem terjadi pada lantai atap (*Story* 5) yaitu mencapai 91,64% (Arah X) dan 92,18% (Arah Y). Selain itu, sistem isolasi mampu memotong simpangan lateral pada tingkat bawah (*Story* 2) hingga lebih dari 61%. Seluruh nilai simpangan pada model *base isolation* ini berada jauh di bawah ambang batas izin khusus isolator sebesar 60.000 mm dan model *fixed base* tidak melampaui batas izin 61.538 mm. Hasil ini menegaskan bahwa kedua model struktur telah sepenuhnya memenuhi aspek kelayakan keselamatan struktural yang disyaratkan oleh SNI 1726:2019, di mana manfaat fungsional dari pencapaian reduksi simpangan inelastis yang masif ini adalah menjaga komponen non-struktural (seperti dinding dan kaca) tetap utuh serta mencegah

risiko kegagalan struktural fatal akibat efek puntir (torsis) tak terduga saat gedung diguncang gempa kuat.

REFERENSI

- [1] C, M. S., M, K. R., & M, K. M. (2025). *Seismic Analysis of High-Rise Building Using Different Base Isolators*. 03(November), 4114–4123.
- [2] Jasim, F. A., Jasim, N. A., & Al-hussein, A. A. (2024). *Advancing seismic performance : Isolators , TMDs , and multi-level strategies in reinforced concrete buildings*. 1–17.
- [3] Rahman, A., Salena, I. Y., Studi, P., Sipil, T., Umar, U. T., Kleng, G., & Barat, K. A. (2025). *MEULABOH SMART BUILDING MENGGUNAKAN BASE*. 2, 243–257. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v7i2.225>
- [4] Rahman, A., Salena, I. Y., Studi, P., Sipil, T., Umar, U. T., Kleng, G., & Barat, K. A. (2025). *MEULABOH SMART BUILDING*
- [5] Firmansyah, M. F., Habieb, A. B., & Faimun, F. (2025). *A Study on the Effects of Implementing Base Isolation System for Existing RC Buildings on Soft Soil*. 40(1), 12–19. <http://jurnalmedikahutama.com/index.php/JMH/article/view/456>
- [6] Kencanawati, N. N., Aprianingsih, L., Mahmud, F., & Widianty, D. (2023). *Perbandingan Respon Seismik Struktur Gedung Sistem Konvensional Dengan Sistem Isolasi Dasar (Studi Kasus : Gedung Tempat Evakuasi Sementara , Bangsal , Kabupaten Lombok Utara)*. 10(1), 49–60.
- [7] Musdalifah, et al. (2025). *Evaluasi Stabilitas Lereng pada Area Longsor*. 03(2), 187–193.2022;1(1):1–10. doi:10.59638/ashabdimas.v1i1.420
- [8] Nasional, B. S. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*.
- [9] Nyoman, N., Lia, K., Mahmud, F., & Widianty, D. (2023). *Perbandingan Respon Seismik Struktur Gedung Sistem Konvensional Dengan Sistem Isolasi Dasar (Studi Kasus : Gedung Tempat Evakuasi Sementara , Bangsal , Kabupaten Lombok Utara)*. 10(1), 49–60.
- [10] Rifqi, M. (2025). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan Menggunakan Base Isolator High Damping Rubber Bearing*.
- [11] Sandi. (2025). *Analisis Pengaruh Gempa Dengan Menggunakan Base Isolator Tipe Lead Rubber Bearing Terhadap Respon Struktur Reguler Building 5 Lantai Dengan Metode Time History*.
- [12] Saputri, A. (2025). *Analisis Perbandingan Kinerja Campuran Aspal dengan Agregat Kasar Dominan Bulat dan Agregat Kasar Dominan Pecah Menggunakan*. 03(1), 148–157.
- [13] Sugema, M. R., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Jenderal, U., & Yani, A. (2026). *Tinjauan Ulang Beban Angin SNI 1727 : 2020 melalui Analisis Validitas Acuan dan Implikasi Over-Design Berdasarkan Data Meteorologi Lokal ABSTRACT . A Critical Review of SNI 1727 : 2020 Wind Load : An Analysis of Reference Validity and Over-Design Implications from Local Meteorological Data . The Indonesian*. 22(April), 161–173. <https://doi.org/10.28932/jts.v22i1.13272>
- [14] Sugeng p Budio. (2015). *Buku Ajar Dinamika Ir. Sugeng p. Budio 2. mekanisme Universitas Brawijaya*.
- [15] Tio, J. B., Kandou, C., Tenda, J., Studi, P., Bangunan, K., & Sipil, J. T. (2022). *Penerapan Base Isolation System Sebagai Alternatif Sistem Struktur Pada Bangunan RSUD Kota Manado Delapan Tingkat*. 4(1), 18–28.
- [16] Wulandari, A., & Devianty, S. (2024). *Evaluasi Struktur Beton Pada Bangunan Eksisting Dengan Penambahan Sistem Base Isolation Berdasarkan Seismic Fragility*. 9(2), 33–44. <https://doi.org/10.31544/jtera.v9.i1.2024.33-44>
- [17] Fatmawati, S., Mantasa, M., R, S. W., Musdalifah, S., Halim, Z. A., Enrekang, M., Makassar, I., & Enrekang, U. M. (2026). *Studi Perencanaan dan Pengembangan Jaringan Irigasi Tambak Daerah Sajoanging Kabupaten Wajo*. 4(1), 3–9.
- [18] Idrus, I., Martani, A., & Saputri, S. W. (2026). *Sistem Monitoring Deformasi Jembatan Berbasis Integrasi Sensor Mems Tiltmeter Iot Dan UAV Fotogrametri Untuk Structural Health Monitoring Biaya Rendah*. 4(1), 230–242.
- [19] Idrus, I., Umar, B., & Belakang, L. (2024). *Efektivitas Pengembangan Kawasan Permukiman Dengan Program Lorong Wisata*. 2(2), 74–87.
- [20] Musdalifah, et al. (2025). *Evaluasi Stabilitas Lereng pada Area Longsor*. 03(2), 187–193. MENGGUNAKAN BASE. 2, 243–257. <https://doi.org/10.38038/vocatech.v7i2.225>

