

ANALISIS KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERATURAN DAN TIDAK BERATURAN MENGGUNAKAN BASE ISOLATOR HIGH DAMPING RUBBER BEARING

Mohammad Rifqi¹, Anthony Costa^{1*}, Rosidawani¹, Dendy Adanta² dan Bimo B Adhitya¹

¹Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: anthonycosta@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Kekurangan lahan di Indonesia telah menyebabkan pembangunan struktur bangunan yang tidak teratur dan rentan terhadap gempa bumi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan kinerja struktur bangunan teratur dan tidak teratur dengan kriteria luas 720 m^2 setinggi 10 lantai terhadap beban gempa. Proses analisis juga dilakukan pada struktur yang dilengkapi dan tidak dilengkapi dengan isolator dasar berupa *High Damping Rubber Bearings* (HDRB). Prosedur analisis dilakukan menggunakan metode Analisis Spektrum Respons (RSA) dengan bantuan perangkat lunak ETABS, sesuai dengan standar SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019, serta spesifikasi isolator dasar *Bridgestone* tahun 2022. Hasil menunjukkan bahwa dengan adanya komponen isolator dasar HDRB, terdapat peningkatan kinerja struktural dari bangunan tanpa isolator dasar menjadi bangunan dengan isolator dasar dalam hal periode struktural sebesar 85,3-94,5%, gaya geser dasar sebesar 31,7-34,4%, dan deviasi antar lantai sebesar 73,93-75,53% pada tipe bangunan reguler. Sementara itu, bangunan tidak teratur mengalami peningkatan kinerja sebesar 78,3-93,5% dalam periode struktural, 24,7-34,6% dalam gaya geser dasar, dan 70,24-73,6% dalam deviasi antar lantai. Selain itu, nilai kinerja bangunan ditunjukkan dengan memenuhi persyaratan batas defleksi untuk elemen struktural baik yang teratur maupun tidak teratur. Berdasarkan hal ini, keberadaan komponen HDRB terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja gempa bangunan baik yang teratur maupun tidak teratur, meskipun efektivitasnya sedikit berkurang pada struktur tidak teratur.

Kata Kunci: Bangunan Tidak Beraturan, Bangunan Beraturan, HDRB, Isolasi Dasar, ETABS.

ABSTRACT: Land scarcity in Indonesia has led to the construction of irregular building structures that are vulnerable to earthquakes. The purpose of this research is to analyze and compare the performance of regular and irregular building structures with the criterion of area 720 m^2 as high as 10 floors against seismic loads. The analysis process is also carried out on structures equipped with and without base isolators in the form of *High Damping Rubber Bearings* (HDRB). The analysis procedure was carried out using the Response Spectrum Analysis (RSA) method with the assistance of ETABS software, following SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, and SNI 2847:2019 standards, as well as the Bridgestone base isolator specifications from 2022. The results showed that in the presence of HDRB base isolator components, there was an increase in structural performance from buildings without base isolators to buildings with base isolators in terms of structural period by 85.3-94.5%, base shear force by 31.7-34.4%, and deviation between floors by 73.93-75.53% in regular building types. Meanwhile, the irregular building experienced an increase in performance of 78.3-93.5% in structural period, 24.7-34.6% in base shear force, and 70.24-73.6% in deviation between floors. In addition, the value of building performance is demonstrated by fulfilling the deflection limit requirements for both regular and irregular structural elements. Based on this, the presence of HDRB components proved to be effective in enhancing the seismic performance of both regular and irregular buildings, although its effectiveness was slightly reduced in irregular structures.

Keywords: Irregular Building, Regular Building, HDRB, Base Isolation, ETABS

1 Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi di Indonesia, pembangunan gedung bertingkat mengalami

peningkatan signifikan, terutama di kota-kota besar. gedung bertingkat umumnya berfungsi sebagai perkantoran, hotel, dan rumah sakit. Awalnya, bangunan-bangunan ini didesain dengan struktur yang beraturan.

Meskipun awalnya didesain dengan struktur beraturan, keterbatasan lahan mendorong pengembangan desain tidak beraturan untuk memaksimalkan penggunaan ruang[1].

Struktur gedung, beraturan maupun tidak beraturan, sangat rentan terhadap gaya gempa yang menyebabkan kerusakan struktural dan non-struktural. Oleh karena itu, perlindungan terhadap pergerakan seismik menjadi krusial. Struktur gedung beraturan cenderung lebih efektif dalam menahan gaya gempa karena beban lateral terdistribusi merata. Sebaliknya, gedung tidak beraturan mengalami dampak yang lebih besar akibat perbedaan pusat massa dan kekakuan yang dapat menyebabkan torsi dan meningkatkan potensi keruntuhan[2].

Untuk mengatasi masalah ini, Budiono & Setiawan mengusulkan penggunaan sistem isolasi dasar (*base isolator*) untuk meningkatkan kinerja struktur terhadap gaya gempa[3]. *Base isolator* memisahkan struktur dari fondasi, memperpanjang periode getar, mereduksi gaya gempa, dan mengurangi simpangan antar lantai. Salah satu jenis *base isolator* yang umum digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) yang bekerja dengan mengurangi kekuatan horizontal akibat beban struktur dan menyerap energi gempa.

Penggunaan HDRB dapat meningkatkan ketahanan struktur, terutama pada struktur tidak beraturan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja struktur gedung beraturan dan tidak beraturan yang menggunakan HDRB terhadap beban gempa. Analisis dilakukan dengan pemodelan menggunakan Response Spectrum Analysis (RSA) pada software ETABS. Penelitian ini akan mengacu pada SNI 1726-2019, SNI 2847-2019, SNI 1727-2020, dan data katalog *Bridgestone* 2022. Ruang lingkup penelitian ini terbatas pada bangunan gedung perkantoran 10 lantai dengan sistem struktur SRPMK dengan pola pembebanan berupa beban mati, hidup, dan gempa di wilayah Padang pada jenis tanah lunak.

Adapun tujuan dan manfaat dilakukan penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja struktur gedung beraturan maupun gedung tidak beraturan yang menggunakan HDRB ketika diberikan beban gempa, kemudian melakukan perbandingan kinerja terhadap penggunaan HDRB pada masing-masing gedung dan menghitung syarat keamanan berdasarkan nilai *story drift*, *deflection* dan gaya geser dasar.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Struktur Gedung Beraturan

Gedung beraturan adalah struktur bangunan dengan distribusi *massa* dan konfigurasi geometri yang sederhana, simetris, dan seragam dalam arah horizontal dan vertikal. Struktur gedung harus memberikan kinerja yang baik bagi penggunanya, sehingga struktur harus didesain sesuai dengan standar yang berlaku. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan agar menghasilkan kinerja gedung yang baik diantaranya konfigurasi gedung yang beraturan, kekuatan lateral yang memadai, dan daktilitas yang baik [4]. Hal ini membuat lebih mudah untuk memprediksi dan menganalisis perilakunya terhadap beban gempa dengan menggunakan teknik analisis yang telah dikembangkan.

2.2 Struktur Gedung Tidak Beraturan

Struktur gedung tidak beraturan memiliki diskontinuitas fisik pada denah dan ketinggian, atau bahkan keduanya. Hal ini memengaruhi kinerja struktur saat menerima beban lateral. Variasi dalam distribusi massa, kekakuan, dan geometri sepanjang ketinggian bangunan dapat menyebabkan ketidakkonsistenan ini. Perubahan-perubahan ini yang terjadi secara bertingkat atau vertikal, yang dapat menyebabkan peningkatan tekanan dan kerusakan pada bagian tertentu struktur disebut ketidakberaturan vertikal. Misalnya, perubahan kekakuan lantai yang tiba-tiba dapat meningkatkan konsentrasi tegangan pada lantai tersebut, meningkatkan risiko kerusakan atau kegagalan struktural selama gempa bumi. Namun, ketidakberaturan horizontal dapat terjadi karena rencana atau denah bangunan tidak selaras. Ini dapat terjadi karena desain yang tidak simetris, ruang terbuka yang besar tanpa penyangga yang memadai, atau elemen struktural yang tidak sesuai [5].

2.3 Base Isolation

Base isolation merupakan metode untuk melindungi bangunan dari gaya gempa dengan cara meredam dampak horizontal yang diterima oleh struktur. Konsep dari *base isolation* adalah memisahkan struktur atas dengan fondasi, hal ini memungkinkan struktur atas bergerak mengikuti pergerakan gempa sementara fondasi tetap stabil. Untuk meningkatkan stabilitas struktur dan melindungi komponen non-struktural dari kerusakan gempa bumi,

ANALISIS KINERJA STRUKTUR

base isolation digunakan saat membangun suatu bangunan [6].

Bangunan terisolasi dasar dapat disimulasikan sebagai sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan mempertimbangkan karakteristik dinamisnya sebagai bangunan satu lantai dengan *isolator linier*.

Base isolator System (BIS) diklasifikasikan berdasarkan material antarmuka yang digunakan dalam mekanisme isolasi. Misalnya, bantalan geser (*sliding*) atau bantalan karet berlaminasi (*laminated rubber bearings*) adalah dua contoh material antarmuka yang digunakan dalam mekanisme isolasi. Bantalan karet berlaminasi terdiri dari berbagai jenis, termasuk bantalan karet alami (*Natural Rubber Bearing / NRB*), bantalan karet timbal (*Lead Rubber Bearing / LRB*), dan bantalan karet dengan redaman tinggi (*High Damping Rubber Bearing / HDRB*). Bantalan karet berlaminasi memiliki fleksibilitas yang luar biasa, sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan yang besar dan periode getaran yang panjang [7].

2.4 High Damping Rubber Bearing

High Damping Rubber Bearing adalah salah satu jenis bantalan karet berlaminasi yang terbuat dari campuran senyawa karet dengan tingkat redaman yang tinggi, meningkatnya eksitasi gempa menyebabkan *deformasi lateral* yang lebih besar dan penurunan modulus geser karet, yang menghasilkan sistem isolasi dasar yang efektif yang memperpanjang periode struktur. Kekakuan horizontal akan meningkat kembali sebagai akibat dari efek hardening pada regangan geser 250 hingga 300% [8]. Teknik isolasi telah dikembangkan untuk memberi struktur fleksibilitas dan redaman yang lebih baik selama serangan seismik. Di antara semua jenis isolator, *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) memiliki nilai kekakuan awal yang tinggi, HDRB biasanya tidak memerlukan tambahan damper terpisah, seperti menambah *damper viscous* ke sistem isolasi, yang membuatnya ideal untuk digunakan di bangunan dengan lahan terbatas [9]. Prinsip kerja berdasarkan prinsip isolasi dasar, bantalan karet lentur memisahkan struktur dari fondasi sehingga getaran gempa bumi tidak langsung ke struktur.

Dalam konteks struktur bangunan, kemampuan HDRB untuk mendisipasi energi sangat penting karena dapat mengurangi respons akselerasi atau deformasi yang berbahaya, meningkatkan keselamatan, dan stabilitas bangunan. HDRB berfungsi meredam gaya lateral di dasar bangunan sehingga bangunan akan menerima sedikit gaya lateral yang terjadi [10].

Pada penelitian Gabriel mengatakan bahwa penggunaan HDRB mampu memberikan performa yang lebih baik dari *Lead Rubber Bearing* (LRB), ditinjau terhadap kinerja struktur dan *displacement* yang terjadi per lantai [11]. Penelitian yang dilakukan Syahnandito mengatakan bahwa penggunaan *High Damping Rubber Bearing* meningkatkan periode struktur sebesar 30,58% dibandingkan dengan *fix based* atau tanpa *base isolator* [12]. Pada penelitian yang dilakukan Fakrunnisa & Hayu mengatakan bahwa jika kedua sistem isolator bearing antara HDRB dan LRB dibandingkan, maka kinerja struktur dengan isolator bearing tipe HDRB akan lebih unggul dibandingkan dengan sistem LRB dilihat dari aspek-aspek yang ditinjau seperti gaya geser dasar, momen, gaya aksial, dan gaya geser struktur [13]. Dengan kombinasi rasio redaman yang ideal dan kemampuan untuk menyerap energi, HDRB adalah solusi yang sangat baik untuk perancangan sistem isolasi dasar, khususnya untuk bangunan yang berada di daerah rawan gempa.

HDRB memiliki jenis dan spesifikasi yang berbeda, sehingga harus didesain sesuai dengan kebutuhan dan kondisi lokasi yang spesifik untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan struktur. Desain yang tepat akan memungkinkan HDRB untuk menyerap energi gempa dengan efektif, mengurangi dampak negatif pada struktur bangunan, dan mempertahankan stabilitasnya.

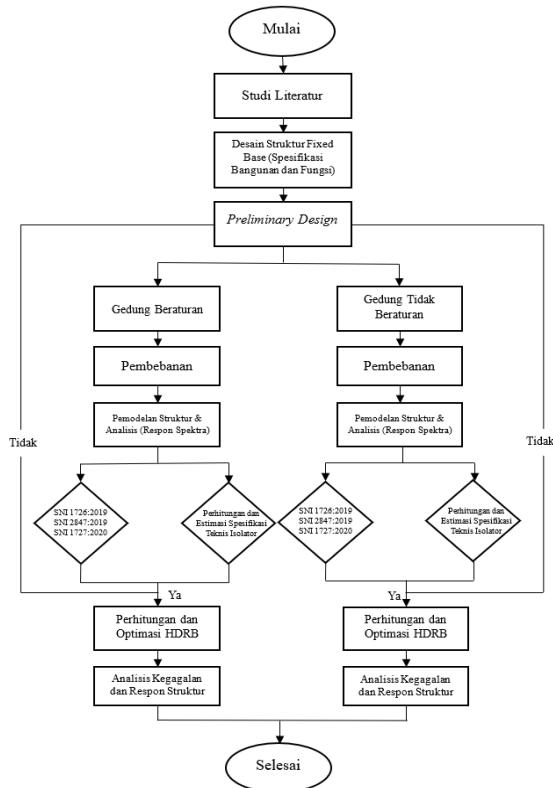
Jenis tanah di bawah bangunan, jenis beban yang diterima, dan tingkat resiko gempa di wilayah tersebut adalah beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan selama proses desain.

3 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan pemodelan pada gedung beraturan dan tidak beraturan yang menggunakan *base isolation* untuk menganalisis kinerja struktur akibat beban gempa menggunakan bantuan *software ETABS*.

Penelitian ini meneliti struktur bangunan beton bertulang 10 lantai (tinggi per lantai 3 m) menggunakan *base isolator* *High Damping Rubber Bearing* dimodelkan dalam dua kondisi sebagai berikut yaitu kondisi pertama struktur gedung beraturan dan kondisi kedua struktur gedung tidak beraturan. Metode analisis menggunakan *respons spectrum analysis*. Peraturan perencanaan mengacu pada SNI 1726 tahun 2019 mengenai tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung, SNI 1727 tahun 2020 mengenai beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, SNI 2847 tahun 2019 mengenai

persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan [14], dan untuk *base isolator* yang digunakan yaitu berdasarkan dari katalog Bridgestone 2022. Perencanaan data struktur dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 3 s.d 5.

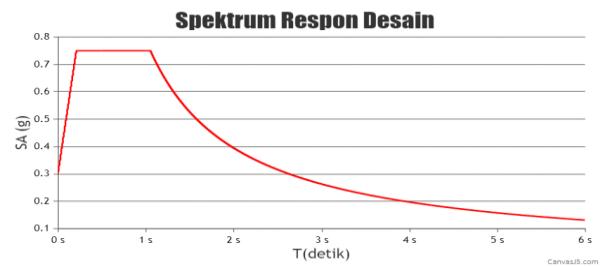


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

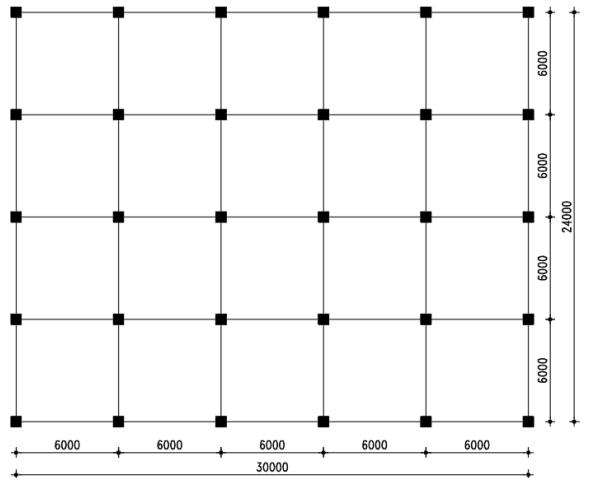
Tabel 1. Data Struktur Gedung.

Data Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

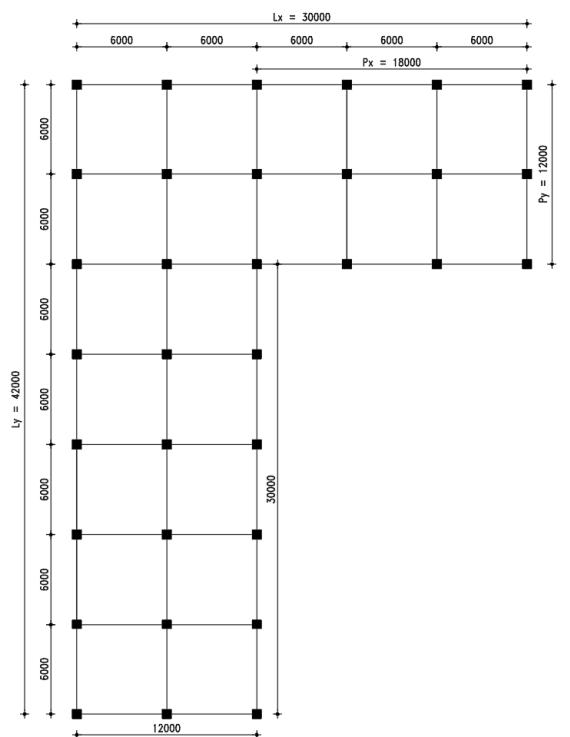
| Jenis Struktur Bangunan | Struktur Beton Bertulang |
|--------------------------|--|
| Fungsi Bangunan | Perkantoran |
| Lokasi Bangunan | Padang (SE) |
| Tinggi Bangunan | 30 m (10 lantai) |
| Sistem Struktur Bangunan | SRPMK |
| Mutu Beton (f_c') | 24,9 Mpa |
| Luas Bangunan | 720 m ² |
| Dimensi Balok | Balok Anak : 300mm x 400 mm; Balok Induk : 450 mm x 650 mm |
| Dimensi Kolom | 600 mm x 600 mm |
| Tebal Pelat | 130 mm |



Gambar 2. Kurva Respon Spektra wilayah Padang (SE)



Gambar 3. Denah Gedung Beraturan



Gambar 4. Denah Gedung Tidak Beraturan

ANALISIS KINERJA STRUKTUR

Penelitian ini menggunakan 2 variasi gedung yang pertama adalah gedung beraturan dan yang kedua adalah gedung tidak beraturan. Pada tipe gedung tidak beraturan terjadi ketidakberaturan horizontal tipe 2, yaitu memiliki lokasi sudut dalam arah $x = 60\%$ dan arah $y = 28,5\%$, berdasarkan SNI 1726:2019 ketidakberaturan sudut dalam yang didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau [15].

3.1 Penentuan Base Isolator

Dalam desain HDRB, penentuan dimensi dan kapasitas isolator sangat dipengaruhi oleh kombinasi beban vertikal yang bekerja pada struktur. Hal ini dikarenakan beban vertikal memengaruhi stabilitas HDRB dan *shear strain* yang terjadi pada karet [16]. Sejalan dengan temuan Syahnandito, desain HDRB menggunakan nilai *joint reaction* terbesar yang diperoleh dari analisis struktur, yang menunjukkan bahwa beban vertikal maksimum menjadi acuan penting dalam menentukan karakteristik HDRB [12]. Lebih lanjut, Murota menyatakan bahwa kombinasi beban, termasuk kombinasi beban vertikal maksimum, digunakan sebagai salah satu kondisi pengujian untuk mengevaluasi stabilitas dan kinerja isolator dalam kondisi beban ekstrem selama pengujian dinamis [17].

Desain bangunan dengan isolasi HDRB melanjutkan desain *fixed base*. Tahapannya meliputi penyesuaian parameter desain isolasi dasar sesuai SNI 1726:2019 pasal 12, lalu mendesain HDRB.

Parameter yang perlu ditentukan dalam proses desain HDRB adalah sebagai berikut:

1. Menentukan *joint reaction*, berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 12.2.7.1 tentang kombinasi beban vertikal unit isolasi antara lain adalah sebagai berikut Beban vertikal rata-rata: beban ini dihitung dengan mempertimbangkan 1,0 beban mati dan 0,5 beban hidup yang bekerja pada struktur. Beban vertikal maksimum [18]: kombinasi beban 6 ($1,2D+E_v+E_h+L$), dengan S_{DS} digantikan dengan S_{MS} . Beban vertikal minimum: kombinasi beban 7 ($0,9D-E_v+E_h$) dengan S_{DS} digantikan dengan S_{MS} . Kemudian setelah dianalisis *joint reaction* yang digunakan untuk penentuan HDRB adalah nilai *joint reaction* terbesar dari ketiga jenis kombinasi beban vertikal diatas.

2. Menentukan kekakuan efektif awal HDRB

3. Menentukan perpindahan maksimum awal HDRB
4. Menghitung tebal karet dan dimensi awal HDRB

Jika hasil desain awal ketebalan karet dan dimensi HDRB tidak sepadan dengan kapasitas unit HDRB dalam menahan beban vertikal maksimum (disebut sebagai nilai *Nominal Long Term Column* yang tercantum dalam brosur HDRB *Bridgestone*), maka dimensi HDRB yang dipilih harus disesuaikan. kapasitas *Nominal Long Term Column* HDRB yang dipilih harus melebihi berat beban yang bekerja pada setiap titik kolom yang akan ditopang oleh unit HDRB. Tahapan penentuan ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Penentuan Base Isolator.

| Kombinasi Jenis Beban | Gedung Beraturan (kN) | Gedung | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| | | Tidak Beraturan (kN) | Gedung (kN) |
| L | 2456,34 | 2 | 2300,26 |
| | 6449,43 | 9 | 6479,17 |
| | 1470,30 | 2 | 1437,64 |
| 0,9D-Ev+Eh | 3 | | |

Untuk perhitungan selanjutnya dipilih *joint reaction* dengan nilai terbesar diantara kedua gedung tersebut. Berdasarkan hasil *joint reaction* diatas, nilai terbesar terjadi pada gedung tidak beraturan dengan kombinasi beban poin b yaitu 6479,179 kN

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Penentuan Dimensi Base Isolator dan Analisis Struktur

Berdasarkan analisa perhitungan dan mengacu kepada katalog *Bridgestone* 2022 didapatkan bahwa dimensi *base isolation* optimum dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 3. Asumsi Tipe HDRB.

| Parameter | Spesifikasi |
|-------------------------------|-----------------------|
| Tipe Bearing | HH085X6R |
| Outer Diameter | 850 mm |
| Shear Modulus | 0,620 MPa |
| Rubber Thickness | 200 mm |
| Effective Plane Area | 0,5671 m ² |
| Nominal Long Term Column Load | 7620 Kn |
| Equivalent Damping Ratio | 0,240 |
| Initial Stiffness | 10400 kN/m |
| Compressive Stiffness | 3970000 kN/m |
| Characteristic Yield Strength | 143 kN |
| Equivalent Shear Stiffness | 1760 kN/m |

4.2 Perbandingan Analisis Struktur Gedung Fixed Base dan Base Isolation

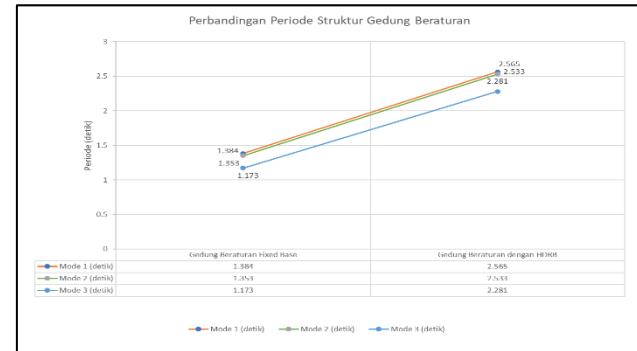
Dalam analisis struktur gedung, penting untuk membandingkan sistem *fixed base* dan *base isolation* guna memahami bagaimana struktur bereaksi terhadap beban seismik. Sistem isolasi dasar, seperti *High Damping Rubber Bearing* (HDRB), dirancang untuk mengurangi dampak gempa dengan memisahkan bangunan dari pergerakan tanah, sehingga mengurangi gaya lateral yang diterima oleh struktur [19].

4.2.1 Periode Struktur

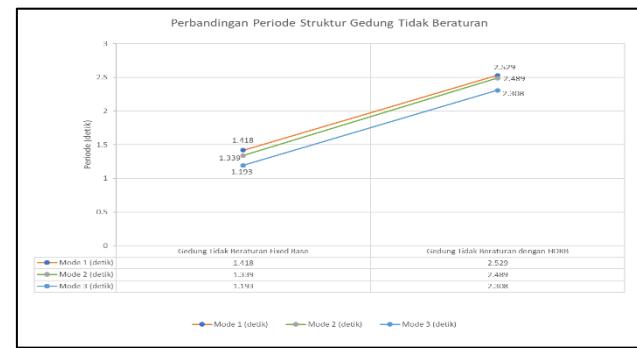
Sistem isolasi dasar juga menghasilkan pemisahan mode getaran struktur secara menyeluruh dan urutan mode getaran yang tepat dengan dua mode pertama sebagai mode translasi dan mode ketiga sebagai mode torsi [20]. Dari hasil yang didapat setelah dianalisis maka didapatkan

perbandingan periode struktur antara gedung *fixed base* dan yang menggunakan *base isolation* pada Tabel 3.

Dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 terjadi peningkatan periode struktur pada gedung yang menggunakan *base isolation*, periode struktur yang menggunakan HDRB pada mode 1, 2, 3 lebih besar daripada gedung *fixed base*. Berdasarkan perbandingan periode struktur pada gedung beraturan menggunakan *fixed base* terhadap periode struktur pada gedung beraturan menggunakan HDRB terjadi peningkatan pada mode 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 85,3%, 87,2%, 94,5%. Sedangkan pada gedung tidak beraturan perbandingan periode struktur pada gedung tidak beraturan menggunakan *fix based* terhadap periode struktur pada gedung tidak beraturan menggunakan HDRB terjadi peningkatan pada mode 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 78,3%, 85,9%, 93,5%. Hal ini selaras dengan yang dikemukakan Anggara dkk., (2024) bahwa periode struktur dengan HDRB memiliki periode yang lebih panjang dibandingkan dengan periode struktur *fixed base* [18].



Gambar 5. Perbandingan Periode Struktur Gedung Beraturan

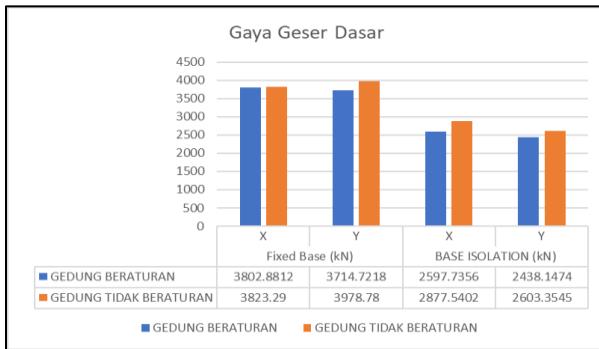


Gambar 6. Perbandingan Periode Struktur Gedung Tidak Beraturan

ANALISIS KINERJA STRUKTUR

4.2.2 Gaya Geser Dasar

HDRB mengurangi gaya geser dasar secara signifikan. Pada gedung beraturan, reduksi (Gambar 7) mencapai 31.7% (arah X) dan 34.4% (arah Y). Pada gedung tidak beraturan, reduksi adalah 24.7% (X) dan 34.6% (Y). Hasil ini konsisten dengan temuan Hnin Hlaing & Saingam yang menyatakan sistem isolasi efektif mengurangi gaya geser dasar [21].

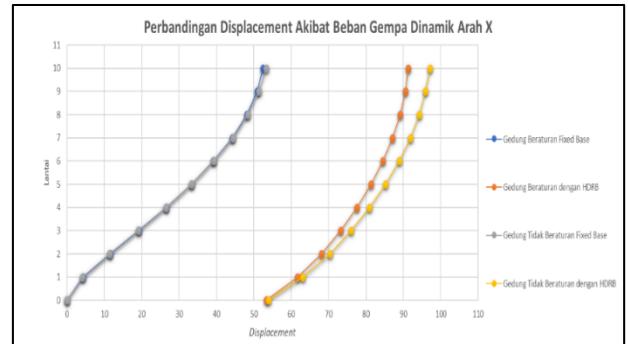


Gambar 7. Perbandingan Gaya Geser Dalam

4.2.3 Displacement dan Simpangan Antar Lantai

Penggunaan *Base Isolator* jika dibandingkan dengan struktur fixed based, lebih efektif mengurangi perpindahan dan meningkatkan respon structural bangunan secara keseluruhan [22]. HDRB memungkinkan gempa bekerja pada isolator terlebih dahulu sebelum diteruskan ke struktur atas. Hal ini dapat dilihat pada gambar 8 s.d gambar 11 dengan rekap reduksi simpangan antar lantai rata-rata pada gedung beraturan (Arah X = 73,93%; Arah Y = 75,53%) dan pada gedung tidak beraturan (Arah X = 70,24%; Arah Y = 73,60%).

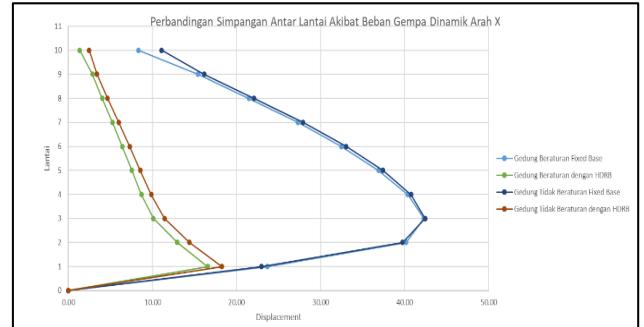
Meskipun *displacement* pada level isolator meningkat akibat deformasi HDRB, simpangan antar lantai (inter-story drift) justru berkurang drastis. HDRB memungkinkan gempa bekerja pada isolator terlebih dahulu sebelum diteruskan ke struktur atas [23].



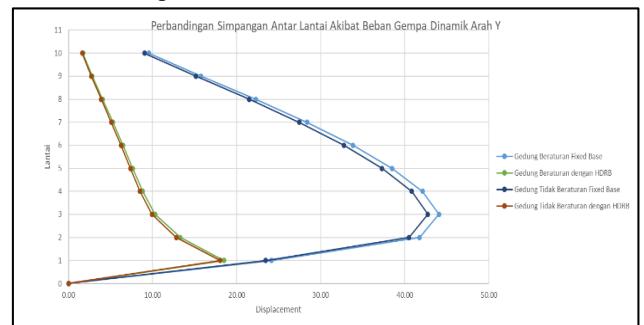
Gambar 8. Perbandingan *Displacement* akibat Beban Gempa Dinamik Arah X



Gambar 9. Perbandingan *Displacement* Akibat Beban Gempa Dinamik Arah Y



Gambar 10. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Akibat Beban Gempa Dinamik Arah X



Gambar 11. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Akibat Beban Gempa Dinamik Arah Y

4.2.4 Lendutan Balok

Lendutan maksimum balok pada semua model struktur (berkisar 12.369 s.d 13.244 mm) masih di bawah batas izin SNI 2847:2019 (25 mm untuk ln/240), memenuhi persyaratan keamanan [14]. Balok yang menghasilkan lendutan maksimum dan melebihi batas izin tidak memenuhi persyaratan keselamatan dan dianggap gagal.

Tabel 4. Nilai Lendutan Maksimum Balok.

| Tipe Gedung | Lokasi Balok | Lendutan (mm) | S yarat (Ln/240) |
|----------------------------|--------------|---------------|------------------|
| Beraturan-Fixed Base | B43 | 12,942 | OK |
| Beraturan-HDRB | B43 | 13,244 | OK |
| Tidak Beraturan-Fixed Base | B81 | 12,369 | OK |
| Tidak Beraturan – HDRB | B81 | 13,135 | OK |

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan High Damping Rubber Bearing (HDRB) sebagai sistem isolasi dasar secara signifikan meningkatkan kinerja seismik pada kedua jenis struktur, baik gedung beraturan maupun tidak beraturan. Peningkatan kinerja ini tercermin dari memanjangnya periode struktur secara drastis hingga 94,5%, yang mengindikasikan struktur menjadi lebih fleksibel dalam merespon gempa. Efek positif lainnya adalah reduksi yang sangat besar pada gaya geser dasar, yang turun hingga 34,6%, serta penurunan simpangan antar lantai yang mencapai 75,53%. Hal ini membuktikan bahwa prinsip isolasi dasar dengan HDRB berhasil bekerja optimal dengan meredam energi gempa di level fondasi sebelum disalurkan ke struktur atas, sehingga memperkecil gaya

inersia dan deformasi yang harus ditahan oleh elemen-elemen struktur gedung.

Meskipun demikian, studi ini juga mengungkap bahwa efektivitas HDRB sedikit lebih tinggi pada struktur beraturan dibandingkan dengan struktur tidak beraturan. Pada struktur tidak beraturan, distribusi massa dan kekakuan yang tidak seragam menyebabkan respons seismik yang lebih kompleks, yang sedikit mengurangi performa HDRB dalam hal peningkatan periode dan reduksi gaya geser dasar. Namun, secara keseluruhan, selisih penurunan kinerja ini tidak terlalu besar, dan HDRB tetap terbukti sangat efektif dalam meningkatkan ketahanan gempa untuk kedua tipe struktur. Selain itu, seluruh model struktur yang dianalisis, baik dengan sistem fixed base maupun base isolation, telah memenuhi syarat batas keamanan untuk lendutan balok, yang mengonfirmasi bahwa integrasi HDRB tidak mengganggu stabilitas vertikal struktur.

Daftar Pustaka

- [1] B. Wiryomartono, *Livability and Sustainability of Urbanism*. 2020. doi: 10.1007/978-981-13-8972-6.
- [2] F. Amanollah, N. Ostrovskaya, and Y. Rutman, “Structural and Parametric Analysis of Lead Rubber Bearings and Effect of Their Characteristics on the Response Spectrum Analysis,” *Archit. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 37–43, 2023, doi: 10.23968/2500-0055-2023-8-1-37-43.
- [3] B. Budiono and E. B. Wicaksono, “Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Berlebihan dan Massa Terhadap Beban Gempa,” *J. Tek. Sipil ITB*, vol. 23, no. 2, pp. 113–126, 2016.
- [4] Nurul Hidayati, Hariyadi, and Mukhta Riqi Sab’it Tibaq, “Analisa ketidakberaturan horizontal dan vertikal pada struktur gedung beton bertulang,” *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 12, no. 2, pp. 235–243, 2023, doi: 10.22225/pd.12.2.7653.235-243.
- [5] S. E. Naveen, N. M. Abraham, and A. S. D. Kumari, “Analysis of irregular structures under earthquake loads,” *Procedia Struct. Integr.*, vol. 14, no. 2018, pp. 806–819, 2019, doi: 10.1016/j.prostr.2019.07.059.
- [6] M. Fakih, J. Hallal, H. Darwiche, and H. Damerji, “Effect of lead-rubber bearing isolators in reducing seismic damage for a high-rise building in comparison with normal shear wall system,” *SDHM Struct. Durab. Heal. Monit.*, vol. 15, no. 3, pp. 247–260, 2021, doi: 10.32604/SDHM.2021.015174.

- [7] A. H. Deringöl and E. M. Güneyisi, "Effect of Using High Damping Rubber Bearings for Seismic Isolation of the Buildings," *Int. J. Steel Struct.*, vol. 21, no. 5, pp. 1698–1722, 2021, doi: 10.1007/s13296-021-00530-w.
- [8] B. Budiono and C. Adelia, "Penggunaan Isolasi Dasar Single Friction Pendulum dan Triple Friction Pendulum pada Bangunan Beton Bertulang," *Agustus*, vol. 22, no. 2, pp. 67–78, 2015.
- [9] A. Tjokrohadi, C. A. C. Dewata, G. J. P. Ghewa, and B. Setiadi, "Analisis Pengaruh Penggunaan High Damping Rubber Bearing (Hdrv) Terhadap Level Kinerja Struktur Dengan Analisis Non-Linear Time History (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung X)," *G-Smart*, vol. 7, no. 2, pp. 81–89, 2024, doi: 10.24167/gsmart.v7i2.10552.
- [10] T. Arifin and E. Desmaliana, "Analisis Pushover terhadap Variasi Penempatan High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada Struktur Gedung Bertingkat," *J. Sustain. Constr.*, vol. 1, no. 1, pp. 11–20, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unpar.ac.id/index.php/josc>
- [11] G. Gabriel, "Perbandingan Pengaruh High Damping Rubber Bearing Dan Lead Rubber Bearing Terhadap Kinerja Struktur," *Prax. J. Sains, Teknol. Masy. dan Jejaring*, vol. 4, no. 2, pp. 158–166, 2022, [Online]. Available: <https://journal.unika.ac.id/index.php/praxis/article/view/4420>
- [12] Syahnandito, R. Suryanita, and Ridwan, "Pengaruh Penggunaan Base Isolation High Damping Rubber Bearing pada Struktur Beton Bertulang," *SIKLUS J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 181–194, 2020.
- [13] I. A. Fakrunnisa and G. A. Hayu, "Analisis kinerja high damping rubber bearing dan lead rubber bearing pada bangunan beton bertulang," *J. Rekayasa Sipil Dan Lingkung.*, vol. 5, no. 1, p. 48, 2022.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, no. 8. 2019.
- [15] SNI 1726:2019, "Sni 1726:2019," *Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung*, no. 8, p. 254, 2019.
- [16] A. Kiral, Z. Tonyali, and S. Elias, "Optimizing Seismic Performance of Base-Isolated Buildings with Mass and Stiffness Variations under near and far fault Ground Motions," *Structures*, vol. 79, no. February, 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.109157.
- [17] N. Murota *et al.*, "Performance of high-damping rubber bearings for seismic isolation of residential buildings in Turkey," *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 143, no. January, p. 106620, 2021, doi: 10.1016/j.soildyn.2021.106620.
- [18] A. Bella, Veron;Rosidawani;Hanafiah, Nurjannah, S.A.; Setiawan, "Seismic Performance Analysis of Building Structures using High Damping Rubber Bearings," *Gema Wiralodra*, vol. 15, no. 1, pp. 380–398, 2024.
- [19] P. Castaldo and M. Ripani, "Optimal Friction Coefficients for Isolated Structures Depending on the Soil Condition," no. June, pp. 15–17, 2017.
- [20] F. De Angelis and D. Cancellara, "Dynamic analysis and vulnerability reduction of asymmetric structures: Fixed base vs base isolated system," *Compos. Struct.*, vol. 219, no. March, pp. 203–220, 2019, doi: 10.1016/j.compstruct.2019.03.059.
- [21] H. Hnin Hlaing and P. Saingam, "Comparative Study on Seismic Resistant Design Using Base Isolation System," *28th Natl. Conv. Civ. Eng.*, vol. 28, pp. STR40-1-STR40-8, 2023, [Online]. Available: <https://conference.thaince.org/index.php/ncce28/article/view/2128>
- [22] J. Li *et al.*, "Effect of base isolation devices and buckling-restrained brace dampers, used individually and in combination, on the seismic performance of conventional reinforced concrete buildings," *Structures*, vol. 81, no. August, p. 110323, 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2025.110323.
- [23] A. A. Maulida, A.S.M;Umniati, B.Sri; Sulton, Mohammad; Maulidani, "Performance Based Design: Performance Analysis on Fixed Base Structure and Structures with High Damping Rubber Bearing," *BENTANG- J. Teor. dan Terap. Bid. Rekayasa Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 11–22, 2025.