

**TIME HISTORY ANALYSIS PADA STRUKTUR BANGUNAN  
YANG MENGGUNAKAN BASE ISOLATOR**

Misdi<sup>1</sup>, Amir Hamzah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,*

*Universitas Alwashliyah Medan Jalan S.M. Raja KM 5,5 No.10 Medan*

<sup>2</sup>*Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Asahan*

*Jl. Jend. A. Yani, Kisaran Naga, Kisaran, Sumatera Utara 21216*

\*Email: [misdijunaidi@gmail.com](mailto:misdijunaidi@gmail.com)

**ABSTRAK**

Base isolator adalah teknologi yang dirancang untuk melindungi struktur dari dampak gempa dengan cara memisahkan pergerakan horizontal tanah dari bangunan. Teknologi ini telah banyak digunakan pada jembatan, gedung, dan fasilitas penting karena efisiensinya dalam mengurangi risiko kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas base isolator dalam mereduksi respons dinamis struktur akibat gempa dengan analisis riwayat waktu. Analisis riwayat waktu dilakukan untuk membandingkan kinerja struktur dengan dan tanpa base isolator, meliputi analisis percepatan, kecepatan, dan perpindahan maksimum. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan base isolator mampu menurunkan percepatan maksimum hingga 75,1%, kecepatan hingga 74,83%, dan perpindahan hingga 34,79%. Dengan demikian, base isolator terbukti dapat meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa secara signifikan. Temuan ini memberikan manfaat nyata dalam merancang bangunan yang lebih aman dan tahan terhadap gempa.

Kata Kunci : *Base isolator*, frekuensi, percepatan, kecepatan, perpindahan.

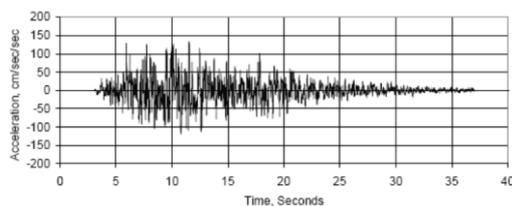
**ABSTRACT**

*Base isolators are designed to protect structures from earthquake impacts by decoupling horizontal ground motion from the building. This technology is widely applied to bridges, buildings, and critical facilities due to its efficiency in reducing damage risks. This study aims to evaluate the effectiveness of base isolators in minimizing dynamic structural responses to earthquakes. Numerical simulations were conducted to compare the performance of structures with and without base isolators, focusing on maximum acceleration, velocity, and displacement. The results indicate that base isolators reduce maximum acceleration by 75.1%, velocity by 74.83%, and displacement by 34.79%. Therefore, base isolators have proven to significantly enhance structural resilience against earthquakes. These findings provide practical insights for designing safer and more earthquake-resistant buildings.*

*Keywords: Base isolator, frequency, acceleration, velocity, displacement*

## PENDAHULUAN

Gempa bumi terjadi karena adanya kerusakan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba yang umumnya diikuti dengan terjadinya patahan/sesar (fault). Struktur batuan/tanah akan patah/rusak secara tiba-tiba manakala batuan tersebut sudah tidak dapat menahan akumulasi energi/tegangan yang terjadi. Segera setelah patahan/kerusakan batuan pada peristiwa gempa bumi, maka energi yang selama ini terakumulasi kemudian dipancarkan ke segala arah. Energi mekanik akibat batuan yang patah/pecah kemudian diubah menjadi energi gelombang yang menyebar ke segala arah dan melewati massa batuan/tanah yang mempunyai kondisi geologi yang berbeda-beda antara tempat yang satu dengan tempat yang lain. Karakter utama getaran akibat gempa bumi dapat dilihat pada rekaman percepatan tanah akibat gempa. Contoh bentuk percepatan tanah (strong motion record) adalah seperti disajikan pada Gambar 1. Tampak pada gambar tersebut bahwa percepatan tanah akibat gempa bersifat random/non periodik non harmonik dan cenderung bersifat fluktuatif.



Gambar 1. Bentuk Percepatan Tanah

Sesuatu hal yang menjadi pembahasan hangat sampai saat ini adalah gempa seperti apa yang mempunyai potensi merusakkan struktur bangunan. Potensi gempa yang mengakibatkan kerusakan itu kemudian ditentukan oleh parameter-parameter tertentu. Parameter-parameter itu mulai dari percepatan tanah maksimum, bermacam-macam nilai spektrum respons, durasi gempa, dan kandungan frekuensi gempa maka menentukan model analisis untuk memperhitungkan pengaruh gempa bumi terhadap keamanan dan kenyamanan struktur bangunan penting untuk dilakukan.

Berbagai cara telah dilakukan oleh para ahli, bukan hanya menyelamatkan fisik bangunan yang mungkin telah dibangun dengan

investasi yang besar tetapi yang paling utama adalah menghindari korban manusia. Salah satu sistem konstruksi yang diyakini mampu melindungi bangunan dari kerusakan yang fatal adalah dengan menggunakan base isolator.

Bangunan bertingkat akan memiliki pola goyangan sebanyak jumlah tingkatannya yang menyebabkan terjadinya deformasi pada lantai bangunan yang cukup besar (Yusmar *et al*, 2022)

Kerusakan bangunan akibat gempa secara konvensional dapat dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Namun, hasil ini sering tidak memuaskan karena kerusakan elemen baik struktural maupun non struktural umumnya disebabkan adanya interstory drift (perbedaan simpangan antar tingkat). Untuk memperkecil interstory drift dapat dilakukan dengan memperkaku bangunan dalam arah lateral. Tetapi hal ini akan memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Metode yang lebih baik adalah dengan meredam energi gempa sampai pada tingkat yang tidak membahayakan bangunan.

Menurut Paulay (1988), tingkat layanan dari struktur akibat gaya gempa terdiri dari tiga hal, yaitu:

### 1. Tingkat Layanan (*Serviceability*)

Jika gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai suatu struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal di dalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun elemen non-struktur yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan kontrol dan batas simpangan (*drift*) yang dapat terjadi semasa gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis.

### 2. Kontrol Kerusakan (*Damage Control*)

Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur (masa) rencana bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat menahan gempa ringan (kecil) tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur ataupun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur dalam batas elastis.

3. Survival

Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur (masa) bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

Sejalan dengan perkembangan teknologi bahan/sistem untuk anti gempa, telah ditemukan bahan anti seismik yang disebut juga dengan base isolator.

Konsep dasar cara kerja base isolator ini adalah dengan memisahkan bangunan/struktur dari komponen horizontal pergerakan tanah dengan menyisipkan bahan isolator dengan kekakuan horizontal yang kecil antara bangunan atas dengan pondasinya. Bangunan dengan sistem ini mempunyai frekuensi yang jauh lebih kecil dari bangunan biasa, akibatnya percepatan gempa yang bekerja pada bangunan lebih kecil. Ragam getar pertama bangunan hanya menimbulkan deformasi lateral pada sistem isolator, sedangkan bangunan atas akan berperilaku sebagai benda tegar. Ragam – ragam getar yang lebih tinggi menimbulkan deformasi pada struktur adalah orthogonal terhadap ragam pertama sehingga energi gempa tidak disalurkan kepada bangunan.

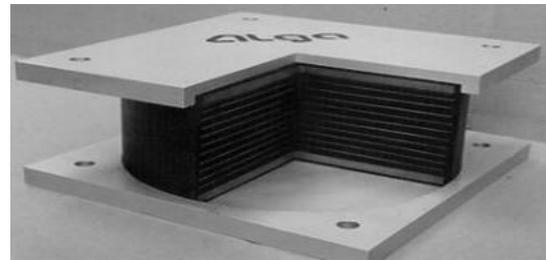
Base isolator atau disebut juga sistem anti seismik, merupakan suatu sistem yang efektif untuk perencanaan bangunan tahan gempa karena dapat memperbaiki kinerja struktur bangunan. Sebaiknya bangunan yang mempunyai kapasitas tahanan terbatas terhadap gempa bumi dan bangunan yang mempunyai periode getar tidak melebihi 1,5 detik, merupakan bangunan yang semestinya menggunakan base isolator.

Base Isolator adalah merupakan suatu alat yang menggabungkan 4 (empat) fungsi utama (yakni menahan beban gravitasi, menyediakan fleksibilitas lateral, menyediakan gaya pemulihan, dan menyediakan energi disipasi) menjadi 1 (satu) unit sistem isolasi seismik. Sistem isolasi akan memisahkan bangunan atau struktur dari pergerakan komponen horisontal tanah dengan cara menyisipkan suatu elemen yang mempunyai kekakuan horisontal yang kecil antara pondasi dengan struktur atas. Bangunan isolasi akan memiliki frekuensi

natural yang lebih kecil bila dibandingkan dengan bangunan yang terjepit pada dasarnya dan frekuensi dominan dari pergerakan tanah.

Ada dua sistem Base Isolator yang umum digunakan, yaitu sistem isolasi dengan bantalan dan friction pendulum system (Burham, *et al*, 2023)

Sistem kerja base isolator yang dipasang pada pondasi agar struktur atas tidak terikat dengan pondasi, agar ketika terjadi gaya gempa base isolator akan mengikuti arah gerakan sehingga akan meredam getaran gempa. Dengan demikian struktur bangunan akan lebih fleksibel dalam arah horizontal akibat gerakan tanah dan meredam atau mereduksi energi gempa. Base isolator ini mampu mereduksi gaya gempa secara signifikan.

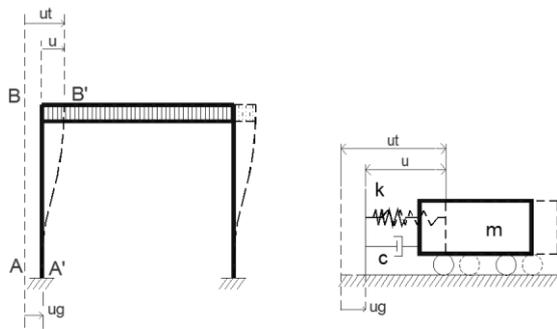


Gambar 2. Base Isolator

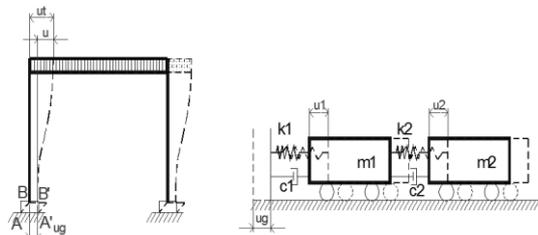
Analisa yang dipakai dalam menganalisis struktur bangunan tersebut adalah dengan Analisa Riwayat Waktu (Time History Analysis). Analisis riwayat waktu adalah analisa tahap demi tahap dari respons dinamik dari struktur untuk pembebanan yang ditetapkan yang memungkinkan berubah-ubah sesuai dengan waktu.

Analisis riwayat waktu umumnya memakai rekaman gempa tertentu, maka penyelesaian/hitungan tidak hanya dilakukan sekali tetapi ratusan bahkan sampai ribuan kali (Gabriella *et al*, 2023).

Model struktur bangunan yang akan dianalisa tampak seperti Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Konstruksi Tanpa Base Isolator.



Gambar 4. Konstruksi Dengan Base Isolator.

Dimana :

ut : getaran absolut titik B

ug : getaran pondasi

u : getaran relatif titik B

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana kenyamanan struktur bangunan yang menggunakan Base Isolator, yaitu dengan membandingkan displacement struktur bangunan yang menggunakan Base Isolator dengan struktur bangunan yang tidak menggunakan Base Isolator akibat beban gempa.

Untuk mengetahui sejauh mana keamanan struktur bangunan yang menggunakan Base Isolator, yaitu dengan membandingkan percepatan struktur bangunan yang menggunakan Base Isolator dengan struktur bangunan yang tidak menggunakan Base Isolator akibat beban gempa.

Mengingat luasnya permasalahan tentang Dinamika struktur dan metode penyelesaiannya maka untuk mencapai tujuan dari penelitian ini perlu adanya pembatasan masalah yang akan diuraikan. Penelitian ini dibatasi pada masalah berikut:

1. Analisa yang dilakukan adalah analisa linear.
2. Metode analisa yang digunakan adalah metode Analisa Riwayat Waktu (Time History Analysis) secara numerik.
3. Material Struktur bangunan yang ditinjau masih dalam batas Elastik.

4. Karena keterbatasan waktu dan referensi, penelitian ini tidak meninjau umur rencana, biaya, karakteristik bahan, dan perawatan base isolator.

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur yaitu dengan mengumpulkan data-data dan keterangan dari buku atau referensi yang berhubungan dengan pokok pembahasan pada artikel ilmiah ini.. Kemudian membuat suatu model struktur yang menggunakan base isolator dan menganalisa respons struktur akibat beban gempa. Perhitungan dan analisis dilakukan dengan pendekatan numerik dengan menggunakan aplikasi matlab.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perencanaan struktur bangunan yang mempunyai ketahanan terhadap gempa dengan tingkat keamanan yang memadai, struktur harus dirancang dapat memikul gaya horinsontal atau gaya gempa. Yang harus diperhatikan adalah bahwa struktur harus dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan.

Penyelesaian persamaan yang ada pada SDOF dan MDOF pada penelitian ini akan diselesaikan dengan metode riwayat waktu. Analisis Riwayat Waktu digunakan untuk menentukan respons dinamik dari struktur untuk pembebanan yang berubah-ubah seiring waktu. Persamaan keseimbangan dinamik diberikan oleh :

$$K u(t) + C \dot{u}(t) + M \ddot{u}(t) = r(t)$$

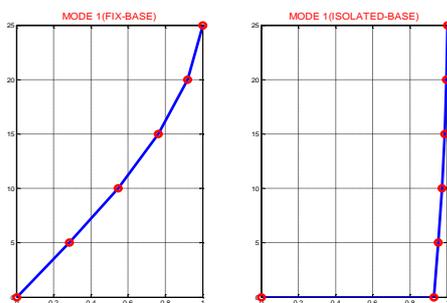
Dimana K adalah matriks kekakuan; C adalah matriks redaman; M adalah matriks diagonal massa;  $u, \dot{u}, \ddot{u}$ , masing-masing adalah perpindahan, kecepatan, dan percepatan dari struktur, dan r adalah beban yang dikenakan. Jika beban termasuk percepatan tanah, maka perpindahan, kecepatan, dan percepatan adalah relatif terhadap gerakan tanah.

Pada beban dinamik yang sudah sangat random sebagaimana beban gempa, maka apabila digunakan cara analitik penyelesaian persoalan dinamik menjadi sangat kompleks, ekspresi matematikanya menjadi panjang dan cenderung kurang praktis. Untuk mengatasi

problem seperti itu, maka alternatif lain perlu dikembangkan yaitu dengan mentransfer beban yang sifatnya kontinu menjadi beban diskrit yang dapat dinyatakan dalam ekspresi numerik. Respons struktur tidak lagi dinyatakan dalam rumus umum/general sebagaimana cara analitik, tetapi dihitung secara numerik pada setiap step/langkah pembebanan sambung menyambung sehingga sampai akhir pembebanan. Sesuai dengan sifat penyelesaian problem dinamik yang berulang-ulang, maka sangat diperlukan sekali suatu alat atau mesin penghitung misalnya kalkulator khusus ataupun komputer.

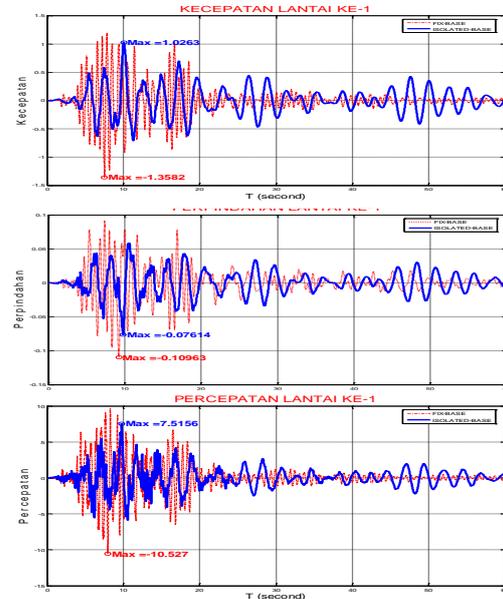
Untuk dapat menyelesaikan problem dinamik secara numerik maka perlu diketahui terlebih dahulu beberapa metode yang dapat digunakan. Terdapat banyak metode numerik yang dapat dipakai untuk keperluan ini mulai dari yang sederhana sampai yang cukup kompleks. Verifikasi metode numerik biasanya ditunjukkan oleh tingkat kestabilan (computational stability) hasil hitungan dan tingkat ketelitian. Clough dan Penzien (1993) mengatakan bahwa terdapat beberapa hal yang perlu diketahui pada proses integrasi numerik. Prinsip utama yang perlu diketahui adalah bahwa penyelesaian secara numerik adalah penyelesaian yang bersifat pendekatan (approximate). Hal itu berarti bahwa hasil proses numerik tidaklah eksak tetapi dapat dekat dan bahkan dekat sekali dengan hasil eksak.

Perbandingan mode shape pertama pada struktur tanpa Base Isolator dan struktur dengan Base Isolator dapat dilihat pada Gambar 5.

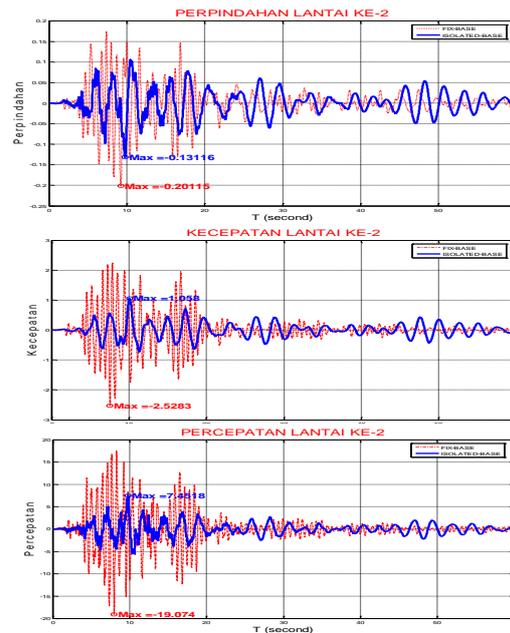


Gambar 5. Mode Shape Pertama Struktur Tanpa Base Isolator dan Struktur Dengan Base Isolator.

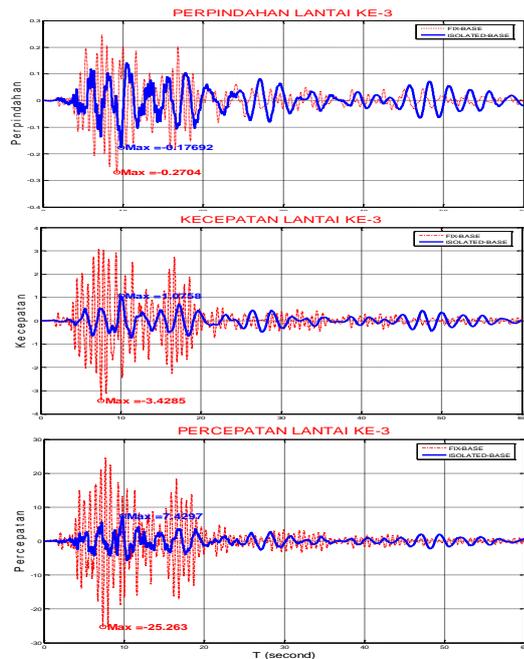
Pada struktur dengan Base Isolator, struktur akan berperilaku seperti benda tegar seperti yang ditunjukkan oleh mode shape pertama.



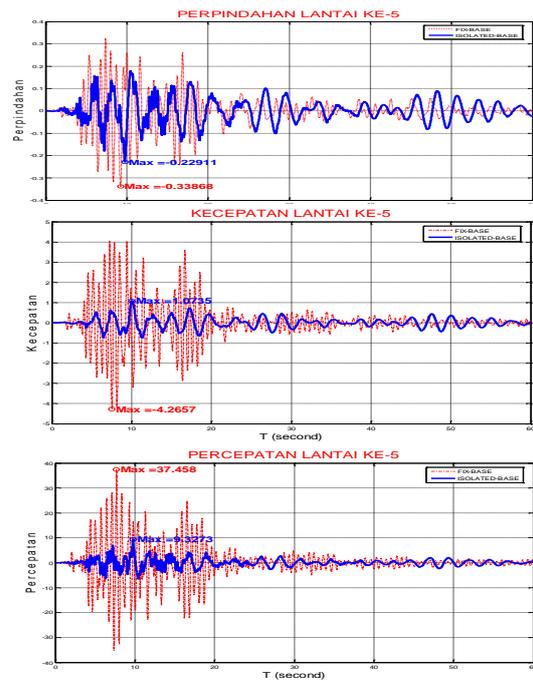
Gambar 6. Grafik Hasil Analisis Lantai 1 Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolator (El Centro)



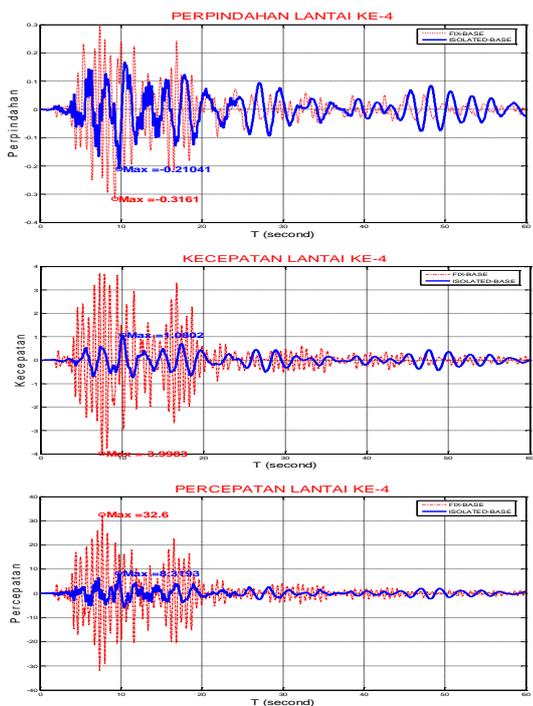
Gambar 7. Grafik Hasil Analisis Lantai 2 Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolator (El Centro)



Gambar 8. Grafik Hasil Analisis Lantai 3 Struktur Dengan Dan Tanpa Base Isolator (El Centro)



Gambar 10. Grafik Hasil Analisis Lantai 5 Struktur Dengan Dan Tanpa Base Isolator (El Centro)



Gambar 9. Grafik Hasil Analisis Lantai 4 Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolator (El Centro)

### KESIMPULAN

Dari mode shape pertama pada struktur yang menggunakan Base Isolator menunjukkan bahwa deformasi struktur akibat gaya gempa berperilaku seperti benda tegar. Percepatan maximum massa pada struktur yang menggunakan base isolator tereduksi sebesar 75.1 %. Kecepatan maximum massa pada struktur yang menggunakan base isolator tereduksi sebesar 74.83 %. Perpindahan maximum massa pada struktur yang menggunakan base isolator tereduksi sebesar 34.79 %. Aplikasi dengan Grafik User Interface dapat dijadikan aplikasi untuk simulasi Time History Analysis.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Ananda, A. (2020). TA: Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Baja Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu - Itenas Repository. *Itenas.ac.id*.
- Badan Standardisasi Nasional, 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung. SNI 1726:2019, (8), 254.
- Burhan, L. I., Kencanawati, K., & Anshari, B. (2023). Analisis Penggunaan Base Isolation System Tipe Lrb Pada Bangunan Gedung Rsud Kabupaten Lombok Barat (Analysis Of Lrb Type Base Isolation Systems In Building Rsud Kabupaten Lombok Barat). *Journal Ilmiah Rinjani*, 11(2).
- Chopra, A. (Second Edition) Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall International, Inc.
- Fajri Yusmar, Rezki, D., & Eka Juliafad. (2022). Parameter Dinamik Struktur Base Isolation Dan Fixed Base Pada Gedung Bertingkat Sedang Di Kota Padang. *Cived*, 9(2).
- Gabriella, J., Wijaya, H., & Yuwono, A. (2023). Efek Time History Bangunan Gedung Terhadap Fondasi Tiang Pada Tanah Lunak Yang Berlokasi Di Tangerang. *Jmts Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(1).
- Gede, I., I Wayan Giatmajaya, Agus, P., & Ni Made Trangipani. (2021). Analisis Riwayat Waktu Perilaku Struktur Gedung SMA Negeri 9 Denpasar. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2).
- Isneini, M. I. (2023). Studi Perbandingan Analisis Linier Riwayat Waktu Akibat Pengaruh Gempa Rencana dan Aktual. *Inovasi Pembangunan : Jurnal Kelitbang*, 11(01), 15.
- Ni Nyoman Kencanawati, Aprianingsih, L., Hariyadi Hariyadi, Ngudiyono Ngudiyono, Mahmud, F., & Desi Widianty. (2023). Perbandingan Respon Seismik Struktur Gedung Sistem Konvensional Dengan Sistem Isolasi Dasar (Studi Kasus: Gedung Tempat Evakuasi Sementara, Bangsal, Kabupaten Lombok Utara). *Spektrum Sipil*, 10(1).
- Paulay, T. (1988). Seismic design in reinforced concrete. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 21(3), 208–232. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.21.3.208-232>
- Pawirodikromo, W.(Edisi Kedua), Analisis Dinamika Struktur, Pustaka Pelajar Bps, Jakarta.
- Paz, M. *Dinamika Struktur : Teori dan Perhitungan* (Edisi Kedua).
- Prakoso, B. (2021). Analisis Kinerja Struktur Gedung Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember Menggunakan Metode Respon Riwayat Waktu [Skripsi, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember]. In *Unej.ac.id*. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/104000>
- Putra, M.P., Isneini, M., And Noorhidana, Vera A., 2021. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Metode Analisis Time History ( Studi Kasus : Apartemen Kingland Avenue Serpong ). *Jrsdd*, 9 (1), 167–176.
- Rifai, M., Alami, F., Isneini, Mohd., & Helmi, M. (2022). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Time History (Studi Kasus : Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro). *Journal Rekayasa Sipil Dan Desain (Jrsdd)*, 10(1).
- SNI 1727:2020, 2020. Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain 1727:2020. Badan Standardisasi Nasional 1727:2020, (8), 1–336.