

ANALISIS EKSPERIMENTAL DAMPAK PEMASANGAN BRACING PADA STRUKTUR SDOF DAN MDOF TERHADAP BEBAN GETAR HORIZONTAL

MUHAMMAD WAFIQ TAULADAN¹, INTAN MONICA MG¹, RENI SURYANITA^{1*}

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau

*Corresponding Author : ✉ reni.suryanita@eng.unri.ac.id

Naskah diterima : 12 Agustus 2025. Disetujui: 8 September 2025. Diterbitkan : 9 September 2025

ABSTRAK

Bangunan yang mengalami pembebanan getar horizontal dapat menyebabkan adanya deformasi perpindahan hingga keruntuhan. Pengujian skala laboratorium untuk mensimulasikan getaran akibat pembebanan horizontal ini dapat dilakukan menggunakan pemodelan struktur menggunakan meja getar (*shaking table*) sebagai media sumber getaran. Hal ini dapat dilakukan karena pengujian skala besar sangat sulit dilakukan dengan keterbatasan biaya dan waktu. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dampak penggunaan bresing pada respon struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) dan *Multi Degree of Freedom* (MDOF) akibat beban getar horizontal. Model bangunan yang diuji merupakan model satu hingga tiga lantai dengan bresing dan tanpa penggunaan bresing. Pengujian dilakukan menggunakan meja getar horizontal satu arah dengan frekuensi yang bervariasi 15 Hz, 20 Hz dan 25 Hz untuk melihat perbedaan dari masing-masing respon struktur. Parameter yang diamati pada studi ini adalah perpindahan dan percepatan model. Hasil studi menunjukkan bahwa model tanpa bresing mengalami percepatan maksimum pada masing-masing frekuensi meja getar sebesar 490 cm/s² dengan frekuensi meja getar 15 Hz, 649 cm/s² dengan frekuensi meja getar 20 Hz, dan 774 cm/s² dengan frekuensi meja getar 25 Hz. Sementara itu model yang menggunakan bresing, mengalami penurunan percepatan terbesar hingga 35% untuk frekuensi meja getar 25 Hz. Bresing meningkatkan kekakuan lateral struktur sehingga mengurangi deformasi menjadi lebih kecil dibandingkan struktur tanpa bresing. Nilai perpindahan maksimum model tanpa bresing pada masing-masing frekuensi sebesar 1.08 cm pada frekuensi meja getar 15 Hz, 1.54 cm pada frekuensi meja getar 20 Hz, dan 2.84 cm pada frekuensi meja getar 25 Hz. Dari studi yang dilakukan dapat disimpulkan penggunaan bresing pada struktur SDOF dan MDOF memiliki penurunan respon struktur hingga 35%.

Kata kunci : Bresing, Frekuensi, *Degree of Freedom*, Percepatan, Perpindahan

1. PENDAHULUAN

Beban getar horizontal, seperti yang ditimbulkan oleh gempa bumi, sering kali menyebabkan deformasi signifikan hingga keruntuhan pada struktur bangunan. Di wilayah

seismik seperti Indonesia, yang terletak pada pertemuan jalur gempa Sirkum Pasifik dan Alpide Trans-Asiatik, risiko kerusakan akibat gaya lateral menjadi tantangan utama dalam perancangan struktur (Suryanita et al., 2018). Oleh karena itu, pengembangan solusi teknis untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap beban dinamis menjadi sangat penting dalam meminimalkan kerusakan dan menjamin keselamatan (Gajbhiye, 2021).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk meningkatkan ketahanan lateral adalah pemasangan bracing. Bracing (dalam bahasa Indonesia disebut bresing) adalah elemen pengaku lateral yang dirancang untuk memperkuat rangka struktur terhadap gaya horizontal, seperti yang terjadi akibat gempa bumi (Nazila & Kamaludin, 2019). Studi numerik sebelumnya menunjukkan bahwa konfigurasi bracing dapat secara signifikan memengaruhi respons dinamis struktur (Asgarian & Shokrgozar, 2009; Ubaid & Khan, 2023). Namun, data eksperimental yang menguji efektivitas bracing pada struktur single-degree-of-freedom (SDOF) dan multi-degree-of-freedom (MDOF) masih terbatas, terutama dalam pengujian skala laboratorium (Tremblay & Poncet, 2005).

Pengujian struktur skala penuh, meskipun ideal, sering kali tidak praktis karena keterbatasan biaya, waktu, dan fasilitas. Sebagai alternatif, pengujian skala laboratorium menggunakan model struktur yang diperkecil menjadi solusi yang efisien untuk mensimulasikan respons struktur terhadap beban getar horizontal. Alat shaking table memungkinkan simulasi getaran dengan frekuensi terkontrol, memberikan data yang representatif untuk menganalisis perilaku struktur (Chopra, 2007). Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan shaking table untuk mengevaluasi pengaruh bracing pada respons struktur SDOF dan MDOF, dengan mengamati parameter perpindahan dan percepatan pada model bangunan satu hingga tiga lantai, baik dengan maupun tanpa bracing.

Berdasarkan hasil studi pendahuluan, penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa penggunaan bracing dapat mengurangi respons dinamis struktur, dengan efek yang lebih signifikan pada sistem MDOF dibandingkan SDOF, terutama dalam mengurangi percepatan dan perpindahan maksimum. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan bresing pada respon struktur SDOF dan MDOF akibat beban getar horizontal. Beban getar didapatkan dengan melakukan pengujian eksperimental dengan frekuensi yang bervariasi. Hasil dari penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam mengetahui pengaruh penggunaan bresing pada suatu bangunan terhadap beban getar berdasarkan hasil pengujian eksperimental.

1.1. Bresing

Bracing (dalam bahasa Indonesia disebut bresing) adalah elemen pengaku lateral yang digunakan dalam sistem struktur tahan gempa untuk meningkatkan kekakuan bangunan terhadap gaya horizontal, seperti yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Elemen ini umumnya dipasang secara diagonal pada rangka struktur dengan berbagai konfigurasi, seperti bentuk Z, X, V, atau inverted V. Pemasangan diagonal memungkinkan bracing menahan gaya aksial secara efisien saat melawan gaya geser horizontal, sehingga meningkatkan stabilitas portal struktur (Rochmah et al., 2021).

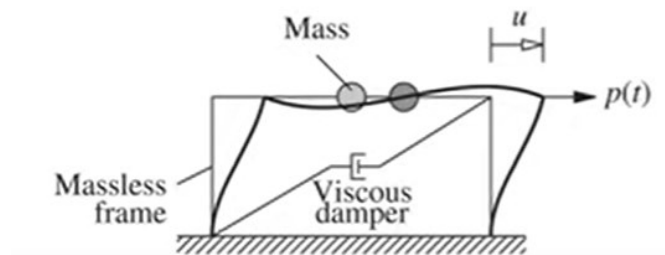
Konfigurasi bracing tidak hanya meningkatkan kekakuan lateral, tetapi juga dapat mengurangi perpindahan maksimum struktur akibat beban dinamis. Studi menunjukkan bahwa pemilihan jenis dan penempatan bracing memengaruhi distribusi gaya dalam

struktur, yang pada akhirnya berdampak pada performa seismik bangunan (Bruneau et al., 1998).

1.2. Sistem Derajat Kebebasan Tunggal (Single Degree of Freedom)

Sistem derajat kebebasan tunggal (Single Degree of Freedom, SDOF) adalah model struktur yang hanya memerlukan satu koordinat untuk menggambarkan posisi massa pada waktu tertentu. Contoh nyata dari sistem SDOF adalah bangunan satu lantai, di mana massa terkonsentrasi pada tingkat atap dan didukung oleh rangka dengan kekakuan dan redaman tertentu (Hejazi & Chun, 2020). Dalam analisis dinamik, sistem SDOF dimodelkan dengan mempertimbangkan massa (m), kekakuan (k), dan redaman (c), yang secara kolektif menentukan respons struktur terhadap beban getar.

Model SDOF seperti yang terdapat pada Gambar 1 biasanya digunakan untuk menyederhanakan analisis respons struktur terhadap gaya dinamis, seperti gempa bumi, karena memungkinkan perhitungan yang lebih sederhana dibandingkan sistem yang lebih kompleks.



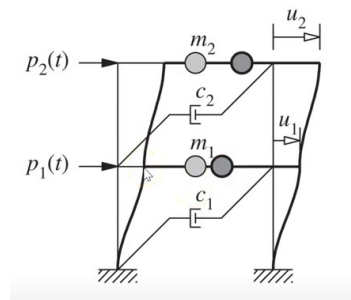
Gambar 1. Modelisasi SDOF

1.3. Sistem Derajat Kebebasan Banyak (Multi Degree of Freedom)

Sistem derajat kebebasan banyak (Multi Degree of Freedom, MDOF) digunakan untuk memodelkan struktur yang memiliki lebih dari satu koordinat gerak, seperti bangunan bertingkat. Persamaan gerak pada sistem MDOF diturunkan dengan prinsip keseimbangan dinamik, dengan mempertimbangkan interaksi antara kekakuan, redaman, dan simpangan dari setiap massa pada tingkat lantai yang berbeda (Xu & Mita, 2021).

Respons dinamik sistem MDOF seperti yang terlihat pada Gambar 2 dipengaruhi oleh interaksi antar-massa, di mana kekakuan dan redaman pada setiap tingkat memengaruhi simpangan massa di atas dan di bawahnya. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih realistis untuk bangunan bertingkat di bawah beban getar.

Analisis MDOF sering kali melibatkan metode numerik, seperti analisis modal, untuk menentukan frekuensi alami dan mode getar struktur. Hal ini penting untuk memahami perilaku struktur di bawah beban gempa dengan frekuensi yang bervariasi (Wang et al., 2022).



Gambar 2. Modelisasi MDOF

1.4. Beban Getar

Beban getar adalah gaya lateral yang bekerja pada struktur akibat getaran, seperti yang ditimbulkan oleh gempa bumi, angin kencang, atau aktivitas mekanis. Gempa bumi, sebagai sumber utama beban getar, menyebabkan pergerakan horizontal pada tanah dan struktur, menghasilkan gaya geser yang signifikan (Chopra, 2007). Selain itu, angin kencang juga dapat menghasilkan beban dinamis, terutama pada bangunan tinggi di wilayah terbuka.

Dalam pengujian laboratorium, beban getar disimulasikan menggunakan alat shaking table, yang menghasilkan guncangan horizontal dengan frekuensi dan amplitudo terkontrol. Parameter pengujian, seperti konfigurasi penggetar dan karakteristik struktur uji, memengaruhi intensitas beban getar yang dihasilkan. Pengujian ini memungkinkan pengukuran respons struktur, seperti perpindahan dan percepatan, secara akurat dalam skala laboratorium (Cheng et al., 2021; Han & Zhao, 2021; Liu et al., 2020)

Penggunaan shaking table dalam pengujian struktur memungkinkan simulasi kondisi seismik dengan variasi frekuensi, seperti 15 Hz, 20 Hz, dan 25 Hz, untuk mengevaluasi performa struktur di bawah beban dinamis. Studi terbaru menunjukkan bahwa pengujian semacam ini efektif untuk membandingkan respons struktur dengan dan tanpa elemen pengaku, seperti bracing (Shin et al., 2024).

2. METODA PENELITIAN

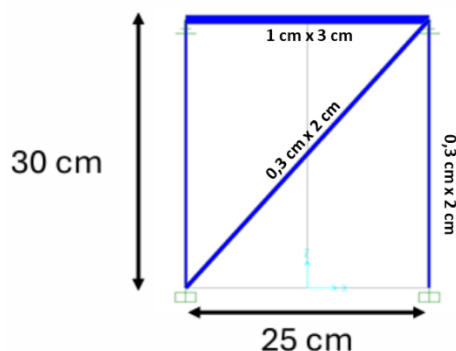
2.1. Data Komponen Struktur

Uji eksperimental model struktur SDOF dan MDOF dengan bresing dan tanpa bresing dilakukan dengan bantuan alat *shaking table*. Adapun respon yang ditinjau yaitu percepatan. Perpindahan. Tabel 1 menyajikan data komponen struktur yang digunakan dalam model pengujian laboratorium, khususnya untuk simulasi respons struktur terhadap beban getar horizontal seperti gempa bumi. Tabel ini mendetailkan dimensi-dimensi utama dari elemen struktural pada model skala kecil, yang dirancang untuk merepresentasikan bangunan sederhana (seperti frame SDOF atau MDOF). Detail penggunaan dimensi struktur terdapat pada Gambar 3.

Tabel 1. Data Komponen Struktur

Struktur	Ukuran
Lebar Kolom	0,3 cm
Tinggi Kolom	2,0 cm
Tinggi Balok	3,0 cm

Struktur	Ukuran
Lebar Balok	1,0 cm
Lebar Bresing	0,3 cm
Tinggi Bresing	2,0 cm
Tinggi Antar Lantai	30,0 cm
Jarak Antar Kolom	25,0 cm



Gambar 3. Dimensi Struktur

2.2. Pemodelan Struktur

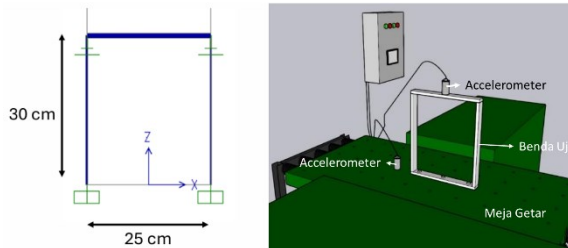
Penelitian ini mengadopsi kayu meranti sebagai material utama dalam pembuatan model struktur, dengan pertimbangan bahwa kayu ini memiliki kekuatan mekanis yang memadai serta ketersediaan yang relatif mudah diakses untuk keperluan eksperimen skala kecil. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan alat shaking table untuk mensimulasikan beban getar horizontal, dengan dua variasi utama model struktur: model 3 lantai tanpa bresing dan model 3 lantai dengan bresing. Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan respons dinamis struktur Single Degree of Freedom (SDOF) dan Multi Degree of Freedom (MDOF) terhadap beban getar dengan frekuensi yang bervariasi, yakni 15 Hz, 20 Hz, dan 25 Hz. Parameter yang diukur meliputi perpindahan dan percepatan, yang menjadi indikator utama ketahanan struktur terhadap gaya lateral.

Dimensi model struktur dirancang berdasarkan referensi dari penelitian Irawan (2022), yang sebelumnya telah menguji respons struktur SDOF dan MDOF pada model bangunan skala kecil dengan karakteristik serupa. Dimensi tersebut, sebagaimana dirinci dalam Tabel 1, meliputi lebar dan tinggi kolom serta balok, jarak antar lantai, dan jarak antar kolom, yang dipilih untuk memastikan konsistensi dengan studi sebelumnya sehingga memungkinkan perbandingan hasil yang lebih akurat. Berbeda dari penelitian Irawan (2022) yang fokus pada variasi pembebanan per lantai, penelitian ini menitikberatkan pada analisis pengaruh bresing terhadap respons struktur dengan variasi frekuensi getaran, memberikan kontribusi tambahan dalam memahami kekakuan lateral dan pengurangan deformasi.

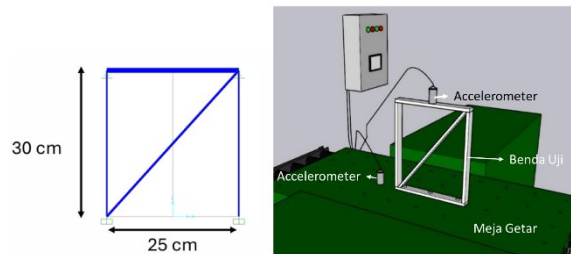
Variasi model struktur diilustrasikan pada Gambar 4 hingga Gambar 9. Gambar 4 menampilkan konfigurasi model SDOF tanpa bresing, sedangkan Gambar 5 menggambarkan model SDOF dengan bresing.

Untuk struktur MDOF, Gambar 6 memperlihatkan model 2 lantai tanpa bresing, dan Gambar 7 menunjukkan model 2 lantai dengan bresing. Selanjutnya, Gambar 8 mengilustrasikan model 3 lantai tanpa bresing, serta Gambar 9 menampilkan model 3 lantai dengan bresing. Gambar-gambar ini mencerminkan perbedaan konfigurasi bresing dan jumlah lantai

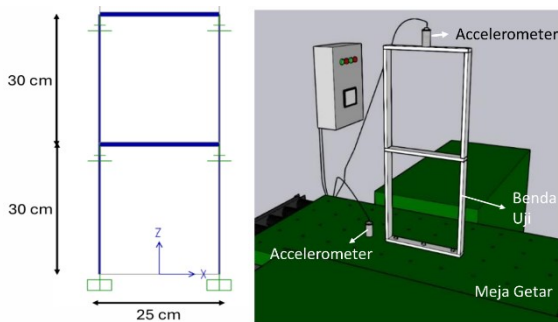
sebagai variabel utama dalam pengujian, yang memungkinkan analisis komprehensif terhadap perilaku struktur di bawah beban dinamis.



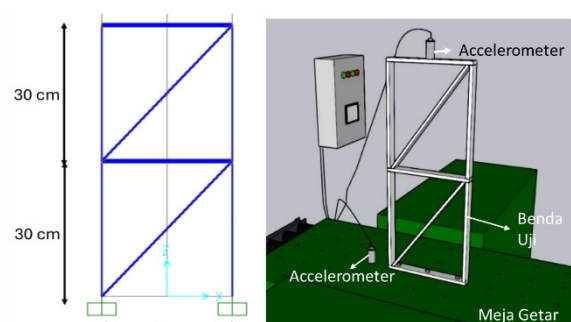
Gambar 4. Setting Alat Model SDOF



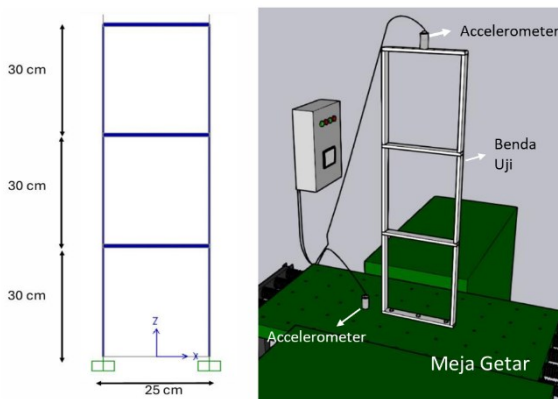
Gambar 5. Setting Alat Model SDOF Bresing



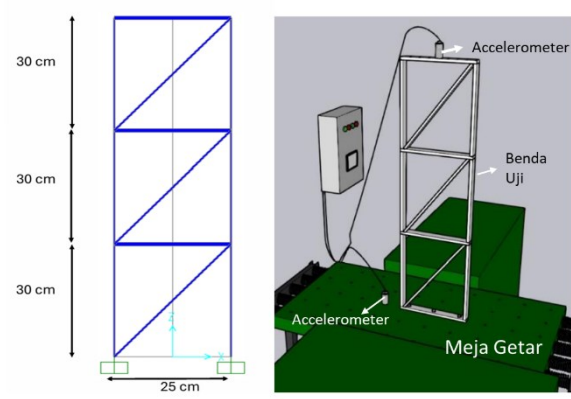
Gambar 6. Setting Alat Model MDOF 2



Gambar 7. Setting Alat Model MDOF 2 Bresing



Gambar 8. Setting Alat Model MDOF 3



Gambar 9. Setting Alat Model MDOF 3 Bresing

2.3. Analisis Eksperimental Shaking Table

Proses pengujian melibatkan penggunaan *shaking table* untuk menghasilkan getaran dengan parameter frekuensi (Hz) dan durasi tertentu (detik), yang menjadi dasar pengukuran respons struktur. Sensor akselerometer diposisikan pada lantai dasar shaking table serta puncak model untuk merekam data percepatan. Saat getaran diterapkan, perangkat secara otomatis menghasilkan kurva respons yang sesuai dengan pola getaran

yang diinput. Data yang dihasilkan disimpan dalam format digital melalui flashdisk dan diorganisasi dalam file Excel untuk keperluan analisis mendalam.

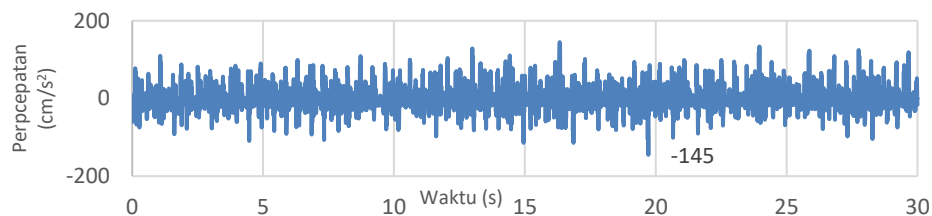
Evaluasi nilai perpindahan dilakukan dengan memanfaatkan data percepatan awal yang diperoleh dari shaking table, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak SAP2000 guna menghitung deformasi struktur. Penelitian ini mengimplementasikan tiga tingkat frekuensi getaran, yakni 15 Hz, 20 Hz, dan 25 Hz, yang dipilih untuk menguji variasi respons dinamis struktur secara menyeluruh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

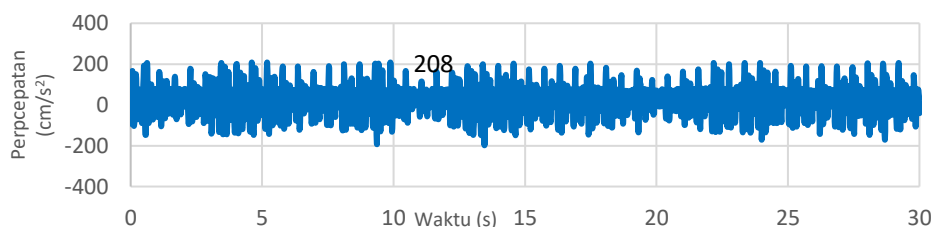
3.1. Uji Eksperimental Respon Lantai Dasar

Pengukuran respons lantai dasar dilakukan dengan memanfaatkan sensor akselerometer yang terpasang pada shaking table. Pengujian dijalankan dengan memberikan getaran selama 30 detik pada tiga variasi frekuensi, yaitu 15 Hz, 20 Hz, dan 25 Hz, yang diterapkan secara seragam selama pengujian model struktur. Data percepatan dikumpulkan untuk mengevaluasi perilaku lantai dasar terhadap perubahan frekuensi.

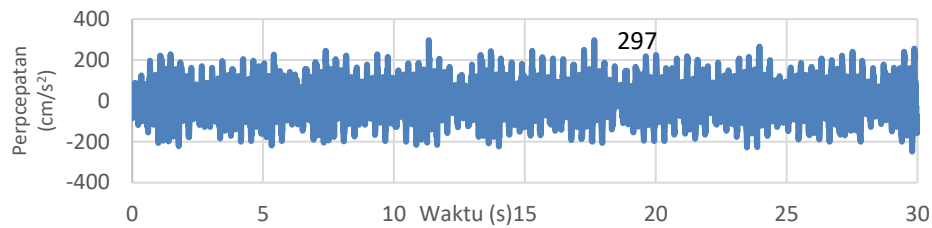
Hasil pengukuran pada frekuensi 15 Hz ditampilkan pada Gambar 10, dengan sumbu x mencerminkan waktu dan sumbu y menunjukkan percepatan dalam cm/s^2 . Puncak percepatan tercatat pada detik ke 16,347 dengan nilai maksimum 145 cm/s^2 . Pada frekuensi 20 Hz, Gambar 11 menggambarkan percepatan tertinggi pada detik ke 9,883 dengan nilai 208 cm/s^2 . Untuk frekuensi 25 Hz, Gambar 12 menunjukkan puncak percepatan pada detik ke 17,65 dengan nilai 297 cm/s^2 .



Gambar 10. Grafik Percepatan Lantai Dasar Shaking Table 15 Hz



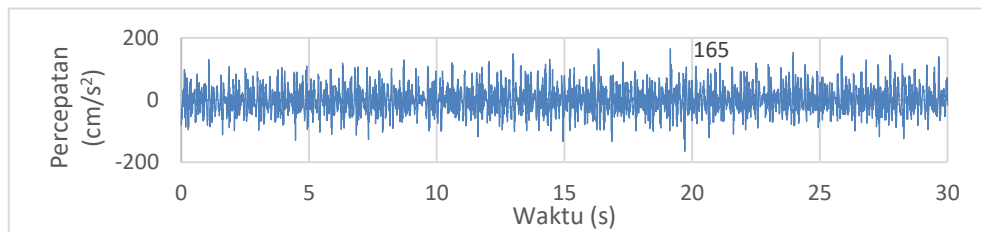
Gambar 11. Grafik Percepatan Lantai Dasar Shaking Table 20 Hz



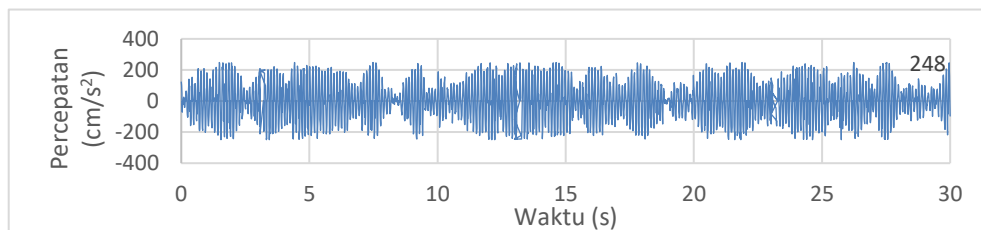
Gambar 12. Grafik Percepatan Lantai Dasar Shaking Table 25 Hz

3.2. Uji Eksperimental Nilai Percepatan

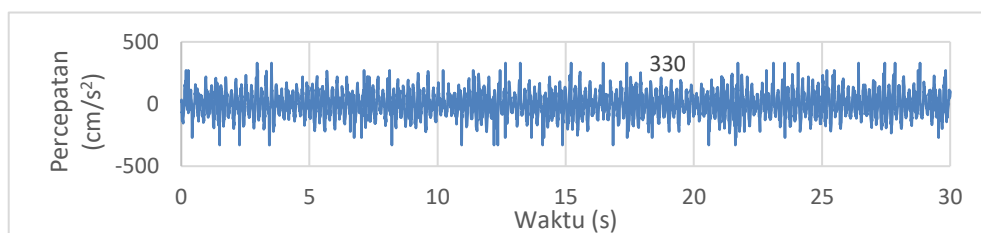
Pengujian percepatan pada model SDOF dilakukan dengan variasi frekuensi yang sama. Pada frekuensi 15 Hz, Gambar 13 menyoroti percepatan maksimum pada detik ke 16,327 dengan nilai 165 cm/s^2 . Untuk frekuensi 20 Hz, Gambar 14 mencatat puncak percepatan pada detik ke 26,239 dengan nilai 248 cm/s^2 , sedangkan pada frekuensi 25 Hz, Gambar 15 menunjukkan percepatan tertinggi pada detik ke 12,651 dengan nilai 330 cm/s^2 . Pengujian lanjutan pada model SDOF dengan bresing menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pada frekuensi 15 Hz, Gambar 16 mengindikasikan percepatan maksimum pada detik ke 12,987 dengan nilai 109 cm/s^2 . Pada frekuensi 20 Hz, Gambar 17 menampilkan puncak pada detik ke 13,461 dengan nilai 208 cm/s^2 , dan pada frekuensi 25 Hz, Gambar 18 mencatat nilai tertinggi pada detik ke 11,335 dengan 297 cm/s^2 .



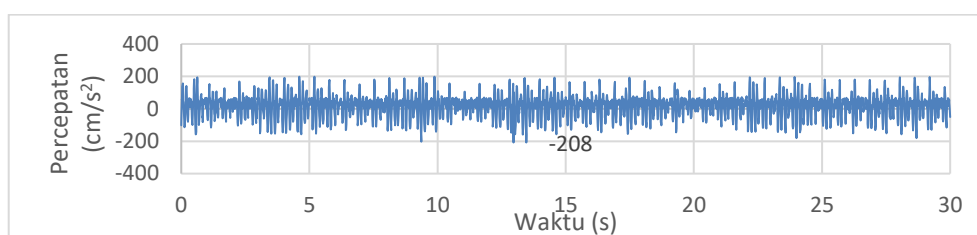
Gambar 13. Grafik Percepatan Terhadap Waktu Model SDOF 15 Hz



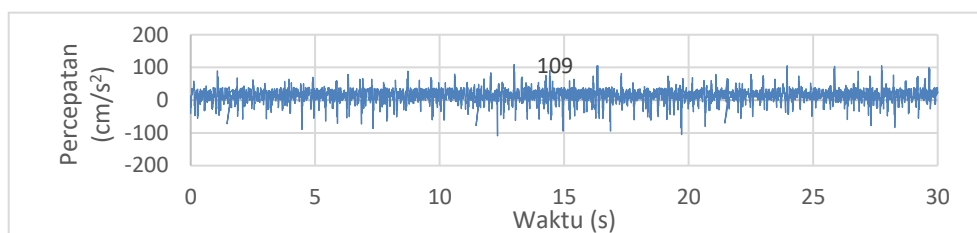
Gambar 14. Grafik Percepatan Terhadap Waktu Model SDOF 20 Hz



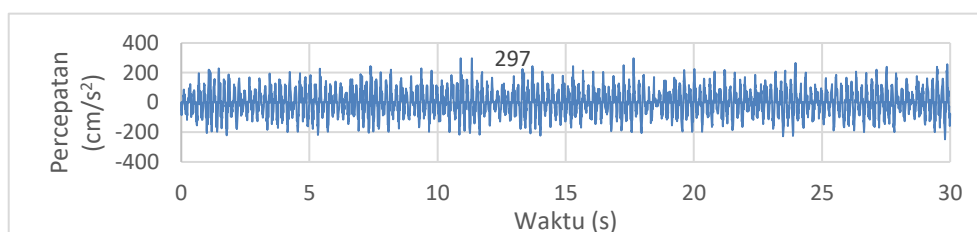
Gambar 15. Grafik Percepatan Terhadap Waktu Model SDOF 25 Hz



Gambar 16. Percepatan Terhadap Waktu Model SDOF Dengan Bresing 15 Hz



Gambar 17. Grafik Percepatan Terhadap Waktu Model SDOF Dengan Bresing 20 Hz



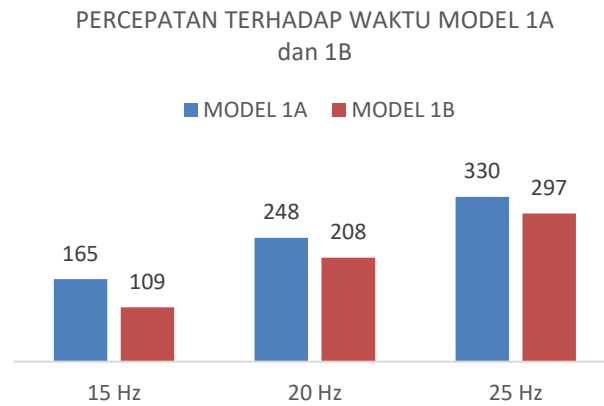
Gambar 18. Grafik Percepatan Terhadap Waktu Model SDOF Dengan Bresing 25 Hz

Perbandingan rinci nilai percepatan maksimum antara model tanpa bresing (Model 1A) dan dengan bresing (Model 1B) disajikan dalam Tabel 2. Data menunjukkan bahwa pada frekuensi 15 Hz, Model 1A mencapai 165 cm/s^2 , sedangkan Model 1B hanya 109 cm/s^2 , menandakan penurunan sebesar 56 cm/s^2 . Pada frekuensi 20 Hz, nilai masing-masing 248 cm/s^2 dan 208 cm/s^2 , dengan reduksi 40 cm/s^2 , dan pada frekuensi 25 Hz, terdapat anomali di mana Model 1A hanya 33 cm/s^2 sementara Model 1B mencapai 297 cm/s^2 , yang mungkin memerlukan verifikasi lebih lanjut. Visualisasi perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 19, yang menggarisbawahi efek bresing dalam mengurangi percepatan, kecuali pada frekuensi 25 Hz yang menunjukkan pola berbeda.

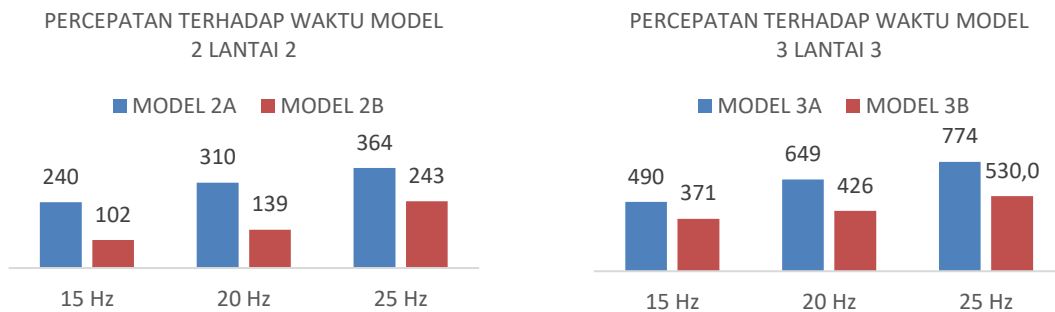
Pengujian serupa diterapkan pada model 2 lantai dan 3 lantai, dengan hasil percepatan terhadap waktu dirangkum pada Gambar 20. Temuan ini menunjukkan bahwa bresing secara konsisten menurunkan percepatan maksimum, yang mencerminkan peningkatan kekakuan lateral struktur.

Tabel 2. Nilai Percepatan Maksimum Model 1A dan 1B (cm)

Frekuensi	Model 1A	Model 1B
15 Hz	165	109
20 Hz	248	208
25 Hz	33	297



Gambar 19. Percepatan Terhadap Waktu Model 1A dan 1B



Gambar 20. Grafik Batang Percepatan Terhadap Waktu Model 2 Lantai dan 3 Lantai

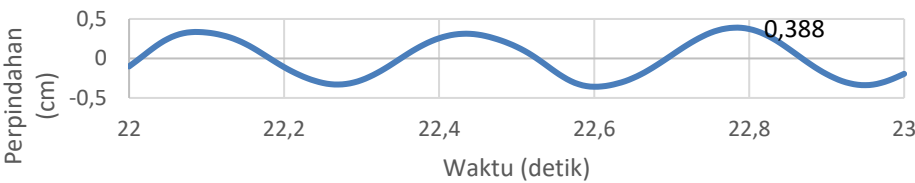
3.3. Uji Numerik Nilai Perpindahan

Penilaian nilai perpindahan dilakukan dengan mengolah data percepatan yang diperoleh dari sensor akselerometer menggunakan perangkat lunak SAP2000. Data tersebut dikonversi menjadi beban dinamis untuk memodelkan respons struktur, menghasilkan nilai perpindahan pada setiap lantai sepanjang durasi pengujian. Pendekatan ini mengintegrasikan input eksperimental dari shaking table untuk menghasilkan simulasi deformasi yang akurat.

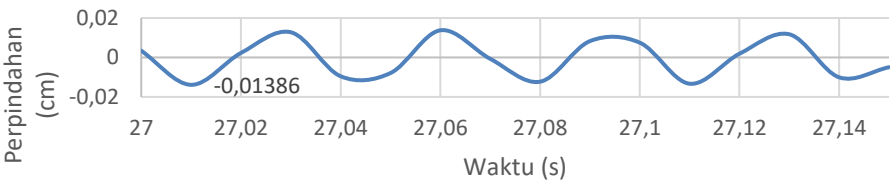
Hasil analisis perpindahan untuk model SDOF (Model 1A tanpa bresing dan Model 1B dengan bresing) disajikan dalam Tabel 3. Pada frekuensi 15 Hz, perpindahan maksimum Model 1A tercatat 0,388 cm, sedangkan Model 1B hanya 0,013 cm. Pada frekuensi 20 Hz, nilai masing-masing 0,746 cm dan 0,024 cm, serta pada frekuensi 25 Hz, 1,021 cm untuk Model 1A dan 0,033 cm untuk Model 1B. Grafik perpindahan terhadap waktu untuk frekuensi 15 Hz ditampilkan pada Gambar 21 (Model 1A) dan Gambar 22 (Model 1B), yang menggarisbawahi penurunan deformasi akibat bresing.

Tabel 3. Nilai Percepatan Maksimum Model 1A dan 1B (cm)

Frekuensi	Model 1A	Model 1B
15 Hz	0,388	0,013
20 Hz	0,746	0,024
25 Hz	1,021	0,033



Gambar 21. Grafik Perpindahan Terhadap Waktu Model 1A 15 Hz



Gambar 22. Grafik Perpindahan Terhadap Waktu Model 1B 15 Hz

Untuk model 2 lantai (Model 2A dan 2B), Tabel 4 menunjukkan perpindahan maksimum Model 2A sebesar 0,305 cm (15 Hz), 0,934 cm (20 Hz), dan 2,302 cm (25 Hz), sedangkan Model 2B masing-masing 0,040 cm, 0,101 cm, dan 0,194 cm. Pada model 3 lantai (Model 3A dan 3B), Tabel 5 mencatat perpindahan maksimum Model 3A sebesar 1,08 cm (15 Hz), 1,54 cm (20 Hz), dan 2,84 cm (25 Hz), serta Model 3B sebesar 0,047 cm, 0,179 cm, dan 0,3 cm. Penurunan nilai perpindahan pada model dengan bresing menegaskan kontribusi elemen ini dalam memperkuat stabilitas struktur.

Tabel 4. Nilai Perpindahan Maksimum Model 2A dan 2B (cm)

Frekuensi	Model 2A	Model 2B
15 Hz	0,305	0,040
20 Hz	0,934	0,101
25 Hz	2,302	0,194

Tabel 5. Nilai Perpindahan Maksimum Model 3A dan 3B (cm)

Frekuensi	Model 3A	Model 3B
15 Hz	1,08	0,047
20 Hz	1,54	0,179
25 Hz	2,84	0,3

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons dinamik struktur model SDOF dan MDOF terhadap variasi frekuensi getaran menggunakan shaking table, dengan fokus pada pengaruh elemen bresing terhadap percepatan dan perpindahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada Model 1A, percepatan maksimum tercatat sebesar 165 cm/s² pada 15 Hz, 248 cm/s² pada 20 Hz, dan 330 cm/s² pada 25 Hz. Dengan penambahan bresing pada Model 1B, nilai tersebut menurun menjadi 109 cm/s², 208 cm/s², dan 297 cm/s² masing-masing, dengan penurunan paling signifikan sebesar 33,9% pada frekuensi 15 Hz. Untuk Model 2A, percepatan maksimum pada lantai kedua mencapai 240 cm/s² (15 Hz), 310 cm/s² (20 Hz), dan 364 cm/s² (25 Hz), yang berkurang menjadi 102 cm/s², 139 cm/s², dan 243 cm/s² pada Model 2B, dengan reduksi terbesar 55% pada 20 Hz. Pada

Model 3A, percepatan maksimum pada lantai ketiga tercatat 490 cm/s^2 (15 Hz), 649 cm/s^2 (20 Hz), dan 774 cm/s^2 (25 Hz), sedangkan pada Model 3B dengan bresing turun menjadi 371 cm/s^2 , 426 cm/s^2 , dan 530 cm/s^2 , dengan penurunan maksimum 34,3% pada 25 Hz. Temuan ini konsisten menunjukkan bahwa bresing meningkatkan kekakuan lateral, sehingga mengurangi percepatan dan perpindahan dibandingkan struktur tanpa bresing.

Implikasi penelitian ini menegaskan pentingnya elemen bresing dalam desain struktur tahan gempa, terutama pada bangunan bertingkat rendah hingga menengah. Penurunan percepatan dan perpindahan yang signifikan menunjukkan potensi bresing untuk meminimalkan kerusakan akibat getaran horizontal, yang dapat diterapkan dalam standar konstruksi di daerah rawan gempa. Namun, anomali pada beberapa data, seperti peningkatan percepatan pada frekuensi tertentu, menyarankan perlunya studi lebih lanjut untuk memahami batasan dan optimasi desain bresing dalam kondisi dinamis yang kompleks. Hasil ini juga dapat menjadi dasar pengembangan metode analisis numerik yang lebih akurat untuk memprediksi perilaku struktur di bawah beban seismik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT. Harista Karsa Mandiri yang memberi fasilitas untuk menggunakan alat shaking table pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asgarian, B., & Shokrgozar, H. (2009). BRBF response modification factor. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 290–298. <https://doi.org/10.1016/J.JCSR.2008.08.002>
- Bruneau, M., Uang, C.-M., & Whittaker, A. S. (1998). *Ductile design of steel structures* (Vol. 389). McGraw-Hill New York.
- Cheng, S., Zhu, Y.-X., Sun, K., & Zhang, W.-P. (2021). Shake-table testing of a 1:5 reduced-scale five-story masonry-infilled reinforced concrete frame structure. *Structural Engineering and Mechanics*, 79, 373. <https://doi.org/10.12989/SEM.2021.79.3.373>
- Chopra, A. K. (2007). *Dynamics of structures*. Pearson Education India.
- Gajbhiye, S. (2021). Seismic Effects on Different Structural Members. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2021.36589>
- Han, R., & Zhao, X. (2021). Shaking Table Tests and Validation of Multi-Modal Sensing and Damage Detection Using Smartphones. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings11100477>
- Hejazi, F., & Chun, T. (2020). Free Vibration of Single Degree of Freedom System. *Conceptual Theories in Structural Dynamics*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5440-7_3
- Liu, S., Lu, Z., Li, P., Ding, S., & Wan, F. (2020). Shaking table test and numerical simulation of eddy-current tuned mass damper for structural seismic control considering soil-structure interaction. *Engineering Structures*. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110531>
- Nazila, K. S., & Kamaludin, K. (2019). Pembesaran Gaya Dalam dan Rasio Kekuatan Elemen Struktur Baja untuk berbagai Zona Gempa di Indonesia. (Hal. 74-84). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*. <https://doi.org/10.26760/REKARACANA.V5I1.74>
- Rochmah, N., Beatrix, M., & Sutriyono, B. (2021). Studi Perencanaan Gedung Tingkat Tinggi Dan Gedung Tingkat Rendah Dengan Menggunakan Bresing Konsentrik. *Extrapolasi*. <https://doi.org/10.30996/extrapolasi.v18i2.6019>
- Shin, H.-M., Haroon, M., Shin, K.-J., & Lee, H.-D. (2024). Dynamic response of RC frames retrofitted with friction-damped brace system through shaking table tests. *Case Studies in Construction Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02725>
- Suryanita, R., Maizir, H., Yuniorto, E., & Jingga, H. (2018). Intelligent seismic risk mitigation system on structure building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 106. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012003>

- Tremblay, R., & Poncet, L. (2005). Seismic performance of concentrically braced steel frames in multistory buildings with mass irregularity. *Journal of Structural Engineering*, 131(9), 1363–1375.
- Ubaid, M., & Khan, R. (2023). Effect of bracing configuration on the seismic response of buildings with re-entrant corners. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01029-x>
- Wang, X., Ren, W., Liu, B., & Hu, D. (2022). Structural Dynamics and Vibration Analysis of the MDOF Systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 2381. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2381/1/012004>
- Xu, K., & Mita, A. (2021). Estimation of Maximum Drift of MDOF Shear Structures Using Only One Accelerometer. 18, 113–120. <https://doi.org/10.21741/9781644901311-14>