

## ANALISIS PERKUATAN RANGKA STRUKTUR BETON BERTULANG MENGUNAKAN DINDING STRUKTUR DENGAN MIDAS FEA NX

Andre Sukanto<sup>1\*</sup>, Daniel Christianto<sup>1</sup>, Sunarjo Leman<sup>1</sup>, dan Edison Leo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
\*[andre.325210070@stu.untar.ac.id](mailto:andre.325210070@stu.untar.ac.id)

Masuk: 10-12-2025, revisi: 19-12-2025, diterima untuk diterbitkan: 05-01-2026

### ABSTRACT

*The addition of reinforced concrete walls is an effective reinforcement solution for reinforced concrete structures. However, openings for architectural and mechanical purposes are unavoidable. This study aims to validate the accuracy of the Finite Element Method (FEM) using MIDAS FEA NX in predicting the structural behavior of walls with openings, as well as analyzing the effect of variations in the ratio of wider openings. Numerical modeling uses material properties and dimensions identical to experimental research on a 1/3 scale. Four models were validated (REF, FRCSS, HRCSS-1, HRCSS-2) with simulation results differing from the laboratory by 0.92%-3.47%. The model uses smeared crack concrete for concrete and von Mises for steel reinforcement. The results show that adding structural wall reinforcement increases the lateral load capacity up to 14 times (from 23.57 kN to 333.12 kN). However, increasing the opening ratio from 0% to 10.3%, 15%, and 20% reduced the structural capacity by 29.29%, 31.14%, and 38.04%, respectively. This study provides guidance on the optimal opening range for practical design in high seismic zones, especially in Indonesia.*

*Keywords: Structural walls; openings; reinforcement; finite element method; MIDAS FEA NX*

### ABSTRAK

Penambahan dinding struktur beton bertulang merupakan solusi perkuatan efektif pada struktur beton bertulang. Namun, keberadaan bukaan untuk keperluan arsitektural dan mekanikal tidak dapat dihindarkan. Penelitian ini bertujuan memvalidasi akurasi Metode Elemen Hingga (FEM) menggunakan MIDAS FEA NX dalam memprediksi perilaku struktural dinding dengan bukaan, serta menganalisis pengaruh variasi rasio bukaan yang lebih luas. Pemodelan numerik menggunakan properti material dan dimensi identik dengan penelitian eksperimental pada skala 1/3. Empat model divalidasi (REF, FRCSS, HRCSS-1, HRCSS-2) dengan perbedaan hasil simulasi terhadap laboratorium berkisar 0,92%-3,47%. Model menggunakan *smeared crack concrete* untuk beton dan von Mises untuk baja tulangan. Hasil menunjukkan penambahan perkuatan dinding struktur meningkatkan kapasitas beban lateral hingga 14 kali lipat (dari 23,57 kN menjadi 333,12 kN). Namun, peningkatan rasio bukaan dari 0% menjadi 10,3%, 15%, dan 20% menurunkan kapasitas struktural masing-masing sebesar 29,29%, 31,14%, dan 38,04%. Penelitian ini memberikan panduan rentang bukaan optimal untuk desain praktis di zona seismik tinggi khususnya di Indonesia.

Kata kunci: Dinding struktur; bukaan; perkuatan; metode elemen hingga; MIDAS FEA NX

## 1. PENDAHULUAN

### Dinding struktur

Dinding struktur atau dinding geser adalah struktur vertikal yang dirancang untuk menahan gaya lateral atau gempa yang bekerja pada bangunan (Hardiyatmo, 2022). Dinding struktur lebih kaku dibandingkan elemen-elemen lain di dalam bangunan, bila terjadi gempa, sebagian besar gaya lateral akan terserap oleh dinding geser (Hardiyatmo, 2022). Pada bangunan bertingkat, saat terjadi gempa, dinding struktur berfungsi sebagai menyerap sebagian besar gaya horizontal yang ditimbulkan gempa, menambahkan kekakuan dan kekuatan struktur dan mengurangi perpindahan atau simpangan struktur dalam arah horizontal (Hardiyatmo, 2022). Dalam penelitian (Harne dan Hande, 2023) melaporkan bahwa kekakuan struktur meningkat secara signifikan dengan kehadiran Dinding struktur. Nilai kekakuan maksimum untuk model tanpa Dinding struktur pada lantai pertama adalah 490.523,5 kN/m, sedangkan model dengan Dinding struktur tanpa bukaan mencapai 2.575,486 kN/m, menunjukkan peningkatan lebih dari lima kali lipat. Namun, ketika bukaan ditambahkan, terjadi penurunan kekakuan berdasarkan penelitian (Saed et al. 2022), bukaan pada dinding struktur mengakibatkan penurunan kapasitas struktural dan integritas dinding secara keseluruhan. Penelitian (Rohman & Sunarjo, 2020) menunjukkan bahwa semakin besar dimensi bukaan pada dinding struktur, semakin besar pula peningkatan periode alami, defleksi lateral, dan simpangan antar lantai struktur. Penelitian

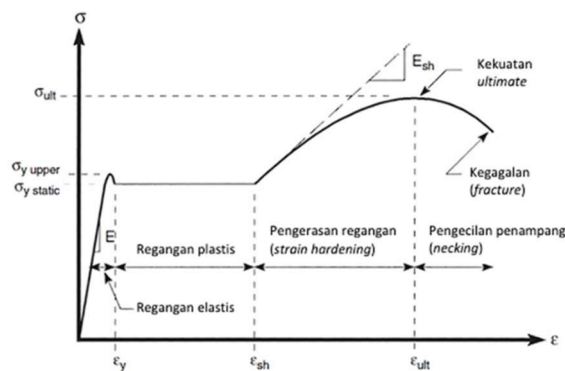
(Abdoos et al., 2024) menunjukkan bahwa dinding struktur beton bertulang dengan bukaan yang diperkuat menggunakan pelat baja mampu meningkatkan perilaku siklik dan kapasitas beban lateral struktur, mengonfirmasi pentingnya metode perkuatan yang tepat pada dinding struktur dengan bukaan.

### Metode elemen hingga

Metode elemen hingga (FEM) adalah suatu teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah fisik yang dapat dijelaskan melalui persamaan diferensial parsial. Yang memodelkan suatu struktur menjadi bagian-bagian kecil (elemen) yang saling terhubung pada titik titik tertentu (node) (Reddy, 2006). Proses diskretisasi ini memungkinkan analisis struktur kompleks dengan membagi domain kontinu menjadi elemen-elemen hingga yang lebih sederhana, di mana setiap elemen dihubungkan melalui node dengan fungsi interpolasi tertentu (Logan, 2017). Metode elemen hingga menyederhanakan masalah fisik menjadi sistem persamaan linear yang dapat diselesaikan menggunakan komputer, memberikan solusi numerik yang mendekati solusi analitik (Zienkiewicz & Taylor, 2005).

### Teori tegangan

Setiap jenis material memiliki nilai tegangan dan regangan yang ditentukan oleh karakteristik serta respons material tersebut terhadap beban (aksi) yang diberikan (Bruneau, Uang, & Sabelli, 2011). Kurva tegangan-regangan pada material dapat menggambarkan berbagai tahap yang terjadi pada material tersebut yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kurva perilaku tegangan-regangan material (Bruneau, Uang, & Sabelli, 2011)

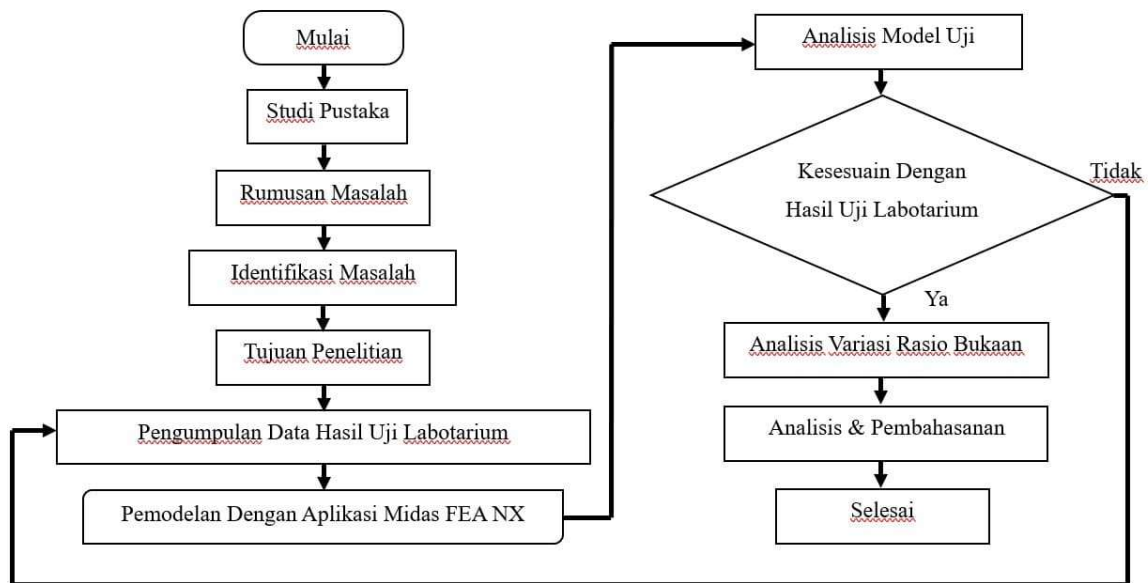
Kurva tegangan-regangan teknik didasarkan pada kondisi penampang awal sebelum dilakukan pembebanan sering digunakan dalam perencanaan teknik (Lesmana, 2020). Tegangan-regangan sejati (*true stress-strain*) lebih tepat digunakan dalam perhitungan yang lebih akurat, seperti pada penggunaan metode elemen hingga. Hal ini karena nilai tegangan-regangan sejati lebih menggambarkan kondisi sebenarnya dari material, terutama dalam analisis dan simulasi struktur yang mencapai kondisi inelastis (plastis) (Dewobroto, 2016).

### Teori keruntuhan

Dalam teori material, suatu material yang terus menerus dibebani dan telah melewati batas kekuatannya akan mengalami keruntuhan. Material duktail akan mengalami keruntuhan saat terjadi keruntuhan plastis pada titik ultimate, sementara material getas akan mengalami keruntuhan pada titik fraktur (Roesler et al., 2007). Terdapat dua jenis keruntuhan yang umum dikenal, yaitu (1) keruntuhan getas (*brittle*) dan (2) keruntuhan leleh (*yielding*). Dalam penerapannya, kedua tipe keruntuhan tersebut menjadi pertimbangan penting dalam proses perancangan struktur. Berdasarkan hasil observasi, material dengan sifat duktail cenderung mengalami keruntuhan leleh, sedangkan material dengan sifat getas cenderung mengalami keruntuhan fraktur (Dowling, 2013).


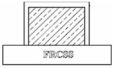
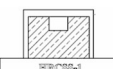
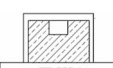
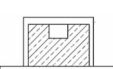
## 2. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini, dimodelkan empat model benda uji berdasarkan uji laboratorium yang dilakukan (Altiok et al., 2025). Data-data yang digunakan sesuai dengan jurnal acuan serta hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan metode elemen hingga menggunakan software MIDAS FEA NX, setelah itu, penelitian dikembangkan dengan variasi rasio bukaan. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Pada penelitian ini rentang rasio bukaan 15-20% dipilih karena merepresentasikan zona kritis antara kebutuhan arsitektural minimum window to wall ratio (Sudarshan & Yaragal, 2020) dan batasan struktural (15-40%), mencerminkan konflik desain pada bangunan di zona seismik tinggi seperti Indonesia.

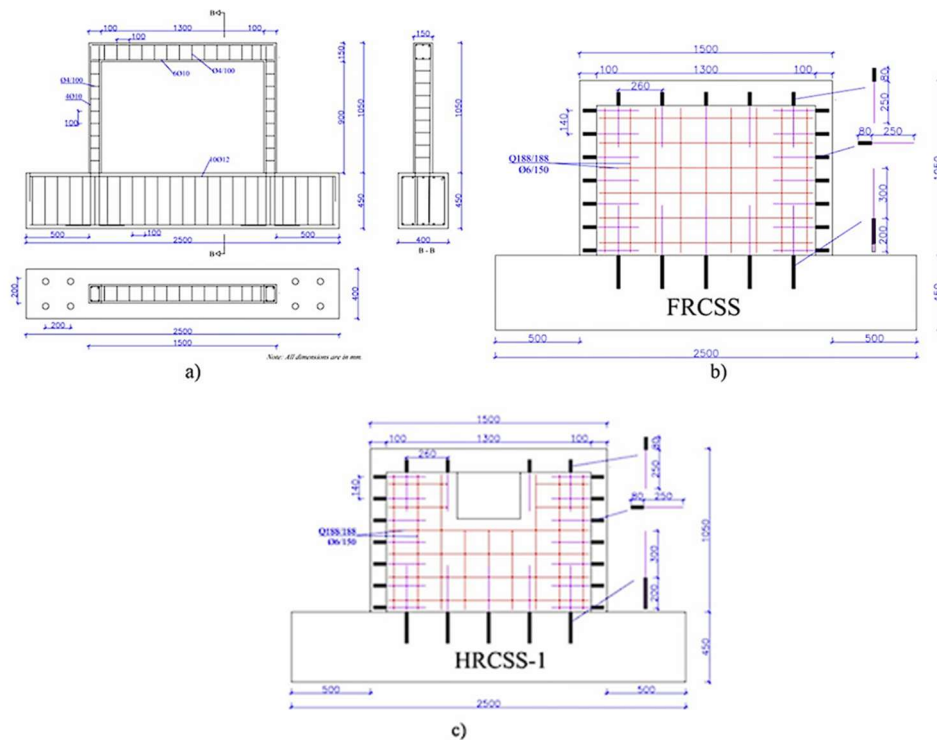


Gambar 2. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Penjelasan model uji (Altiok et al, 2025)

No	Nama	Model	Penjelasan	Rasio Bukaannya (%)
1	REF		Kerangka beton bertulang yang tidak mengalami penguatan	100
2	FRCSS		Kerangka beton bertulang dengan perkuatan dinding struktur tanpa bukaan	0
3	HRCSS-1		Kerangka beton bertulang dengan perkuatan dinding struktur dengan bukaan	10,3
4	AS-1		Model sama dengan HRCSS-1 namun dengan variasi rasio bukaan	15
5	AS-2			20

Dalam penelitian ini terdapat 3 model dari jurnal (Altiok et al, 2025) dan 2 model yang dikembangkan, yang masing masing memiliki karakteristik dalam hal penguatan dinding struktur dan bukaan pada dinding struktur yang dapat dilihat pada tabel 1. Mutu beton yang digunakan untuk kerangka beton bertulang 15,8 MPa sedangkan untuk dinding struktur menggunakan 37,9 Mpa, rangka beton bertulang disambung dengan angkur yang digunakan berdiameter 16 mm, untuk detail benda uji dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Detail benda uji (a) REF (b) FRCSS (c) HRCSS-1 (Altiok et al, 2025)

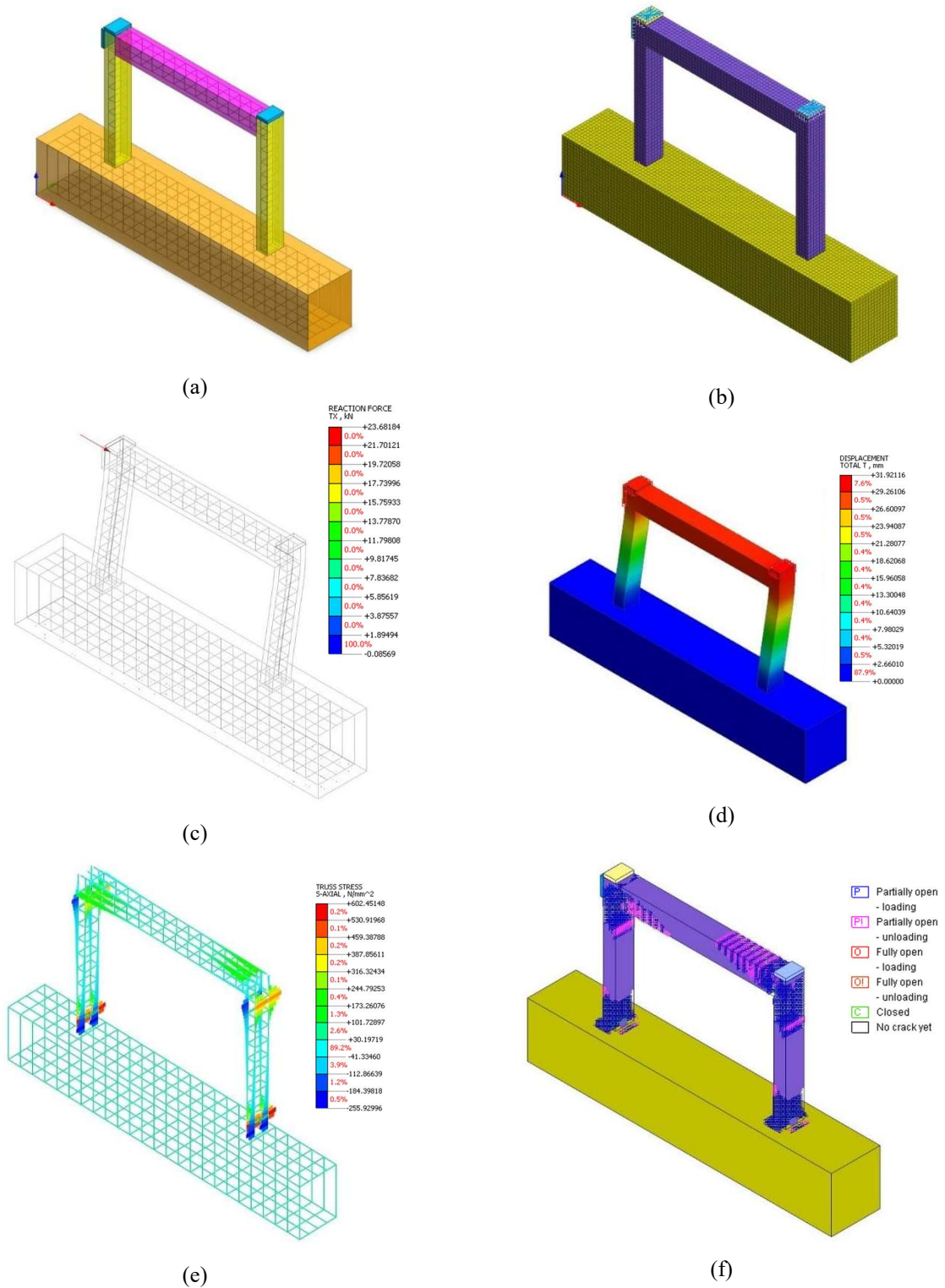
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Geometri balok, kolom, fondasi dan dinding struktur dimodelkan menjadi elemen padat (solid), sedangkan geometri tulangan dan *anchor* dimodelkan sebagai elemen garis (*curve*). Analisis dilakukan dengan model *concrete smeared crack* dengan fungsi tarik menggunakan *Hordijk* dan fungsi tekan menggunakan *Thorenfeldt*. Sementara untuk tulangan menggunakan *stress-strain curve* dimana nilai-nilai tegangan dan regangan pada tulangan akan dimasukkan sesuai dengan jurnal acuan (Altiok et al, 2025). Diskretisasi (*meshing*) pada elemen garis digunakan pilihan *edge* dan elemen ruang digunakan *solid*. Untuk elemen garis (*edge*), metode pembagian menggunakan *auto edge* dengan ukuran (*size*) 25 mm. Untuk elemen solid menggunakan *auto solid* ukuran (*size*) 25 mm dengan *hybrid mesher*. Pembebanan berupa perpindahan (*displacement*) 1 satuan dengan nilai positif pada titik berat balok. Analisis dilakukan secara statik nonlinear yang dilakukan secara iterasi hingga nilai konvergen, batas konvergen ditetapkan sebesar 0,001 untuk kondisi *displacement norm*. Dalam pemodelan numerik menggunakan MIDAS FEA NX, kondisi batas (*boundary condition*) diterapkan untuk merepresentasikan kondisi aktual pengujian laboratorium. Pada fondasi struktur (*base constraint*), seluruh derajat kebebasan translasi dan rotasi dikekang penuh pada ketiga sumbu koordinat, mencerminkan kondisi jepit sempurna yang terikat kuat dengan lantai laboratorium. Pada bagian atas kedua kolom, diterapkan kondisi batas khusus yang mengekang pergerakan translasi arah vertikal (sumbu Y) dan melintang (sumbu Z), namun membebaskan pergerakan lateral (sumbu X), dengan hanya mengizinkan rotasi terhadap sumbu Y.

Gambar 4 hingga 8 menampilkan hasil analisis numerik komprehensif menggunakan MIDAS FEA NX untuk kelima model uji yang mencakup rangka tanpa perkuatan hingga rangka dengan dinding struktur bervariasi bukaan. Setiap visualisasi menyajikan enam aspek penting analisis struktural meliputi geometri model, diskretisasi *mesh*, distribusi reaksi pembebanan, pola deformasi, tegangan tulangan, dan status retak beton. Progresivitas hasil analisis dari model REF hingga AS-2 memperlihatkan pengaruh signifikan keberadaan dinding struktur dan bukaan terhadap perilaku struktural, di mana penambahan dinding struktur meningkatkan kekakuan sistem secara drastis, namun keberadaan bukaan menciptakan konsentrasi tegangan dan pola keretakan di sekitar area bukaan yang mempengaruhi kapasitas struktur secara keseluruhan.

Tabel 2, 3, dan 4 menyajikan validasi kuantitatif yang mengonfirmasi keandalan pemodelan numerik dalam memprediksi perilaku struktural aktual. Perbandingan antara hasil uji laboratorium dengan simulasi MIDAS FEA NX menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi untuk semua model yang divalidasi, membuktikan bahwa parameter material, kondisi batas, dan metode analisis yang digunakan telah merepresentasikan kondisi eksperimental dengan tepat. Konsistensi hasil validasi ini memberikan kepercayaan bahwa model pengembangan dengan variasi rasio

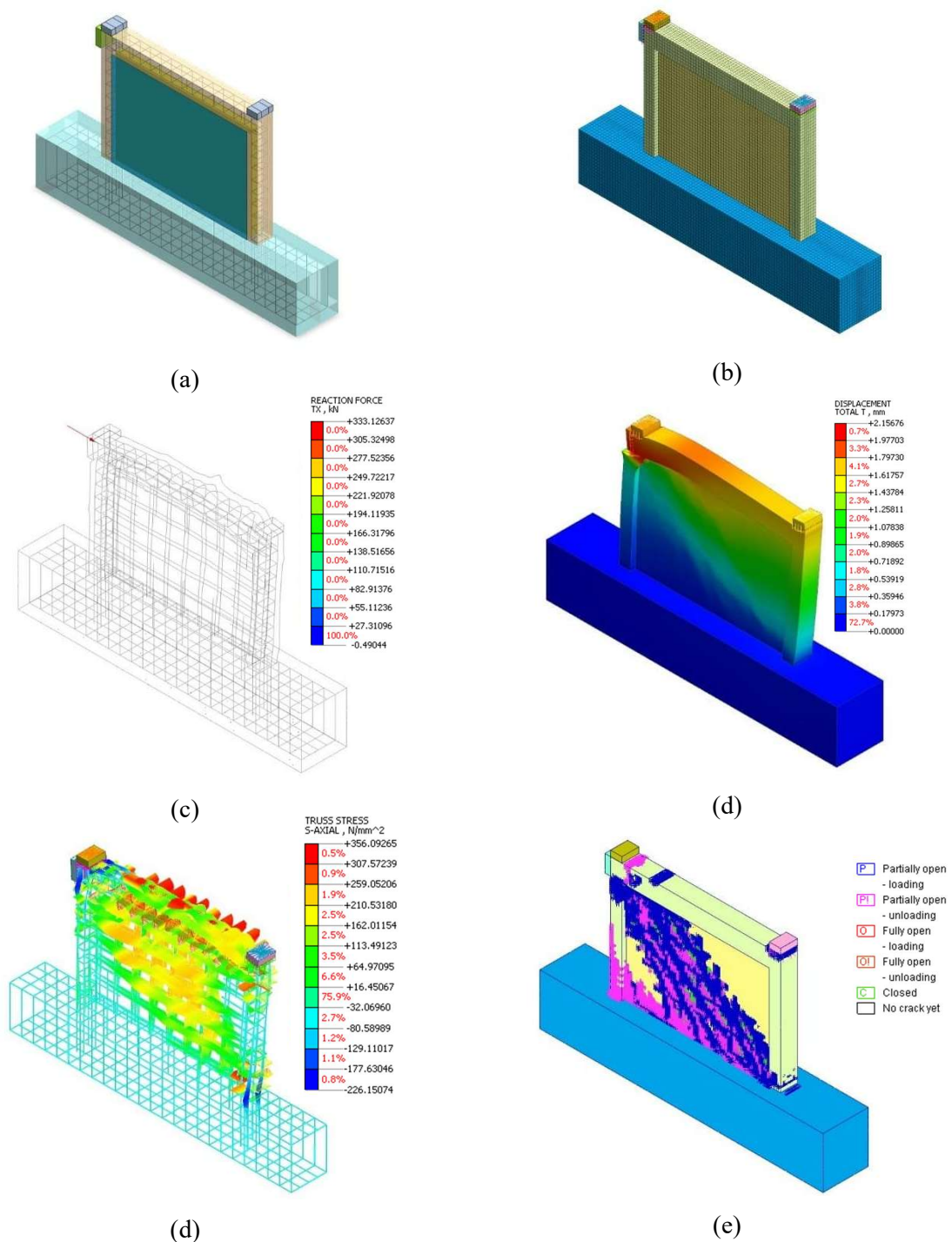
bukaan yang lebih luas dapat diandalkan untuk memprediksi perilaku struktural, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan praktis dalam perencanaan dinding struktur dengan bukaan pada zona seismik tinggi.



Gambar 4. Hasil analisis model uji REF (a) geometri, (b) *meshing* (c) reaksi pembebanan (d) *displacement* (e) tegangan pada tulangan (f) status *crack*

Tabel 2. Presentase perbedaan kapasitas beban lateral maksimum antara hasil uji lab dengan simulasi midas fea nx pada model uji REF

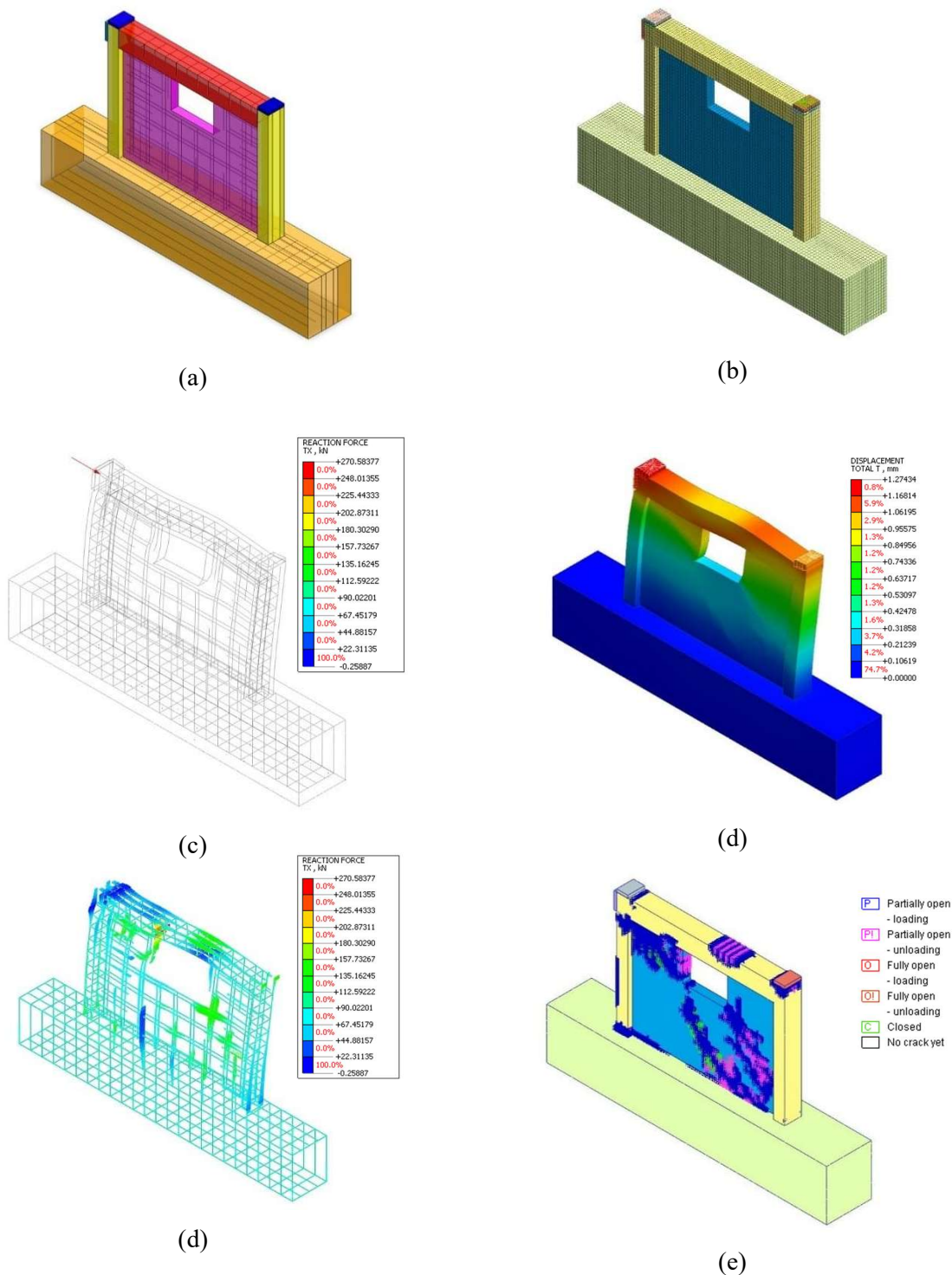
Model Uji	REF (Lab)	REF (MIDAS FEA)	Perbedaan (%)
Kapasitas Beban Lateral (kN)	22,78	23,57	3,47



Gambar 5. Hasil analisis model uji FRCSS (a) geometri, (b) *meshing* (c) reaksi pembebanan (d) *displacement* (e) tegangan pada tulangan (f) status *crack*

Tabel 3. Presentase perbedaan kapasitas beban lateral maksimum antara perbedaan hasil uji lab dengan simulasi midas fea nx pada model uji FRCSS

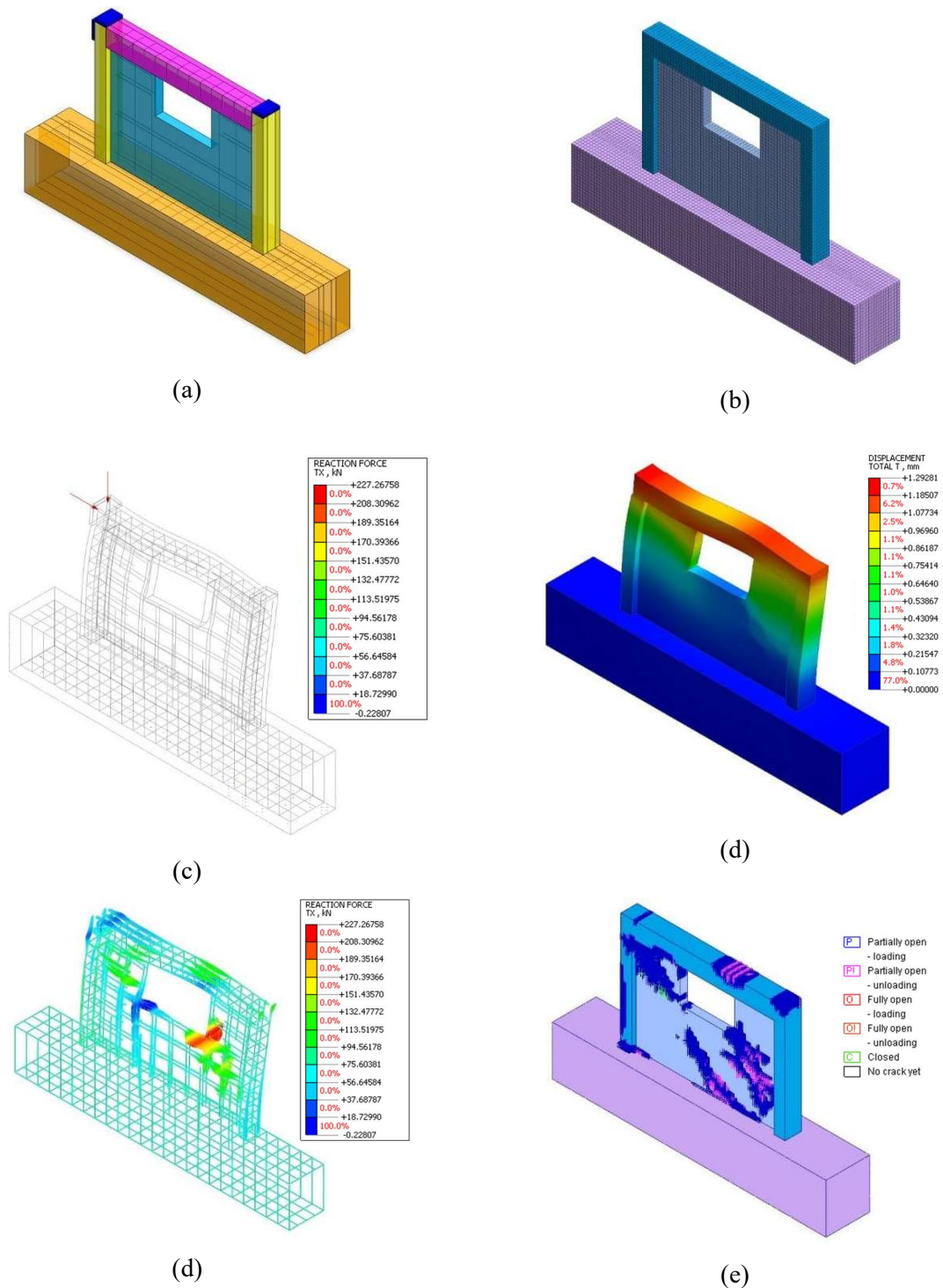
Model Uji	FRCSS (Lab)	FRCSS (MIDAS FEA)	Perbedaan (%)
Kapasitas Beban Lateral (kN)	330,07	333,12	0,92



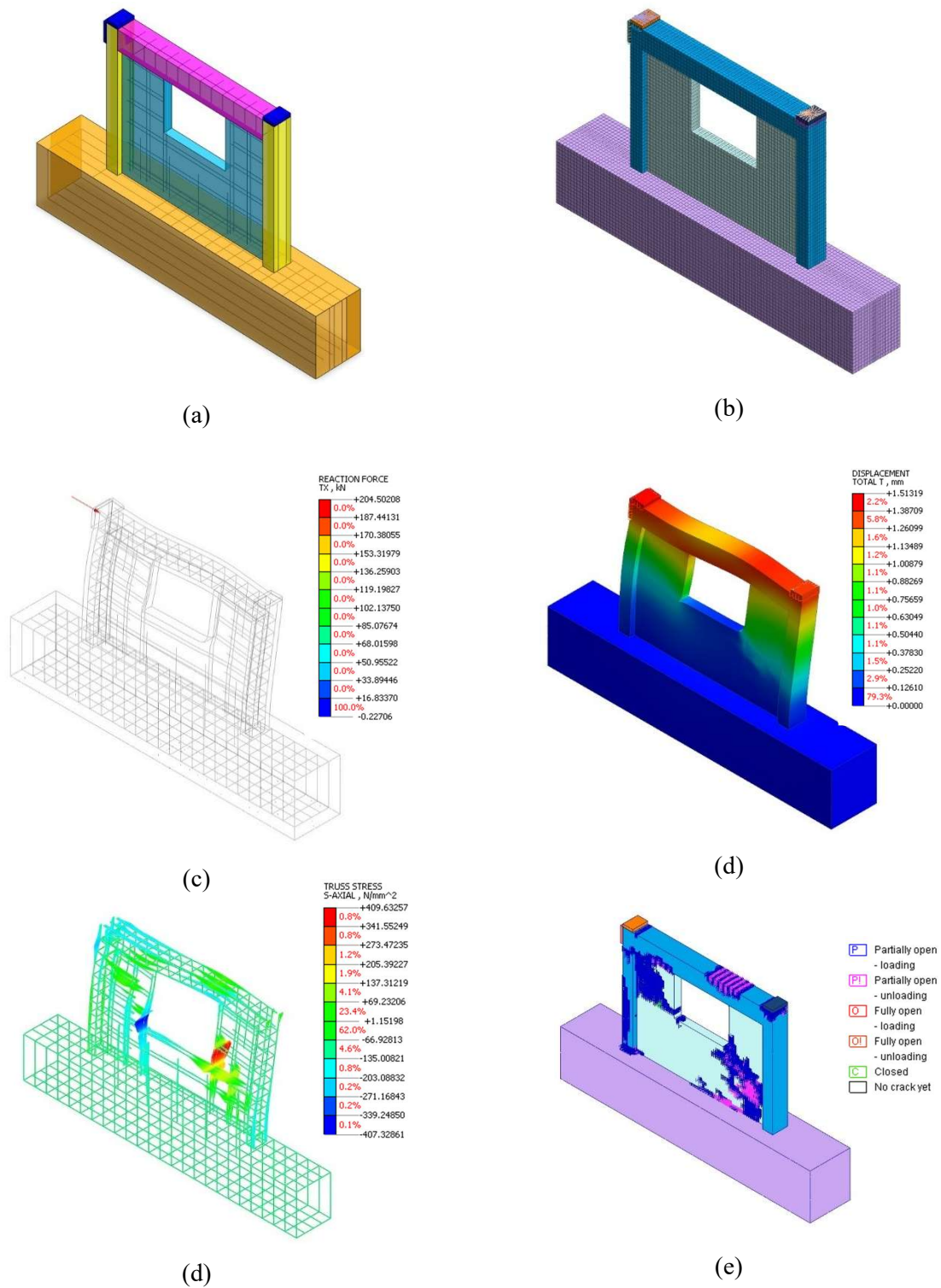
Gambar 6. Hasil analisis model uji HRCSS-1 (a) geometri, (b) *meshing* (c) reaksi pembebanan (d) *displacement* (e) tegangan pada tulangan (e) status *crack*

Tabel 4. Presentase perbedaan kapasitas beban lateral maksimum antara hasil uji lab dengan simulasi midas fea nx pada model uji HRCSS-1

Model Uji	FRCSS (Lab)	FRCSS (MIDAS FEA)	Perbedaan (%)
Kapasitas Beban Lateral (kN)	270,93	257,64	4,9



Gambar 7. Hasil analisis model AS-1 (a) geometri, (b) *meshing* (c) reaksi pembebanan (d) *displacement* (e) tegangan pada tulangan (e) status *crack*



Gambar 8. Hasil analisis model uji AS-2 (a) geometri, (b) *meshing* (c) reaksi pembebanan (d) *displacement* (e) tegangan pada tulangan (e) status *crack*

Penurunan kapasitas dinding struktur akibat variasi rasio bukaan pada model uji untuk lateral dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Presentase penurunan kapasitas beban lateral akibat variasi rasio bukaan

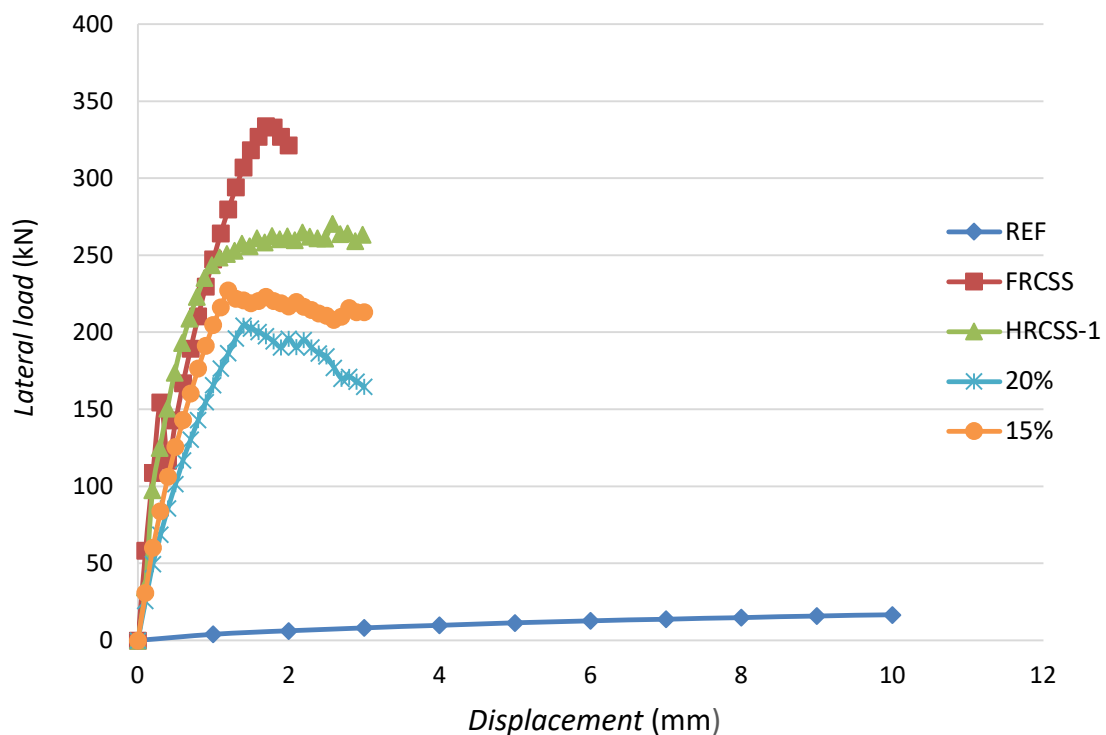
Model Uji	Kapasitas Beban Lateral (kN) hasil MIDAS FEA	Rasio Bukaan (%)	Persen Penurunan (%)	Rasio Bukaan (%)
FRCSS	333,12	0		0
HRCSS-1	257,65	10,3	22,66	10,3
AS-1	227,26	15	31,78	15
AS-2	204,50	20	38,63	20

Hasil pemodelan menggunakan MIDAS FEA NX menunjukkan bahwa penambahan dinding struktur secara signifikan meningkatkan kapasitas beban lateral rangka struktur beton bertulang, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6

Tabel 6. Peningkatan kapasitas rangka struktur dengan perkuatan dinding struktur

Model Uji	Kapasitas Beban Lateral (kN) hasil MIDAS FEA	Nilai Peningkatan (kN)	Peningkatan (%)	Rasio Bukaan (%)
REF	23.57			100
FRCSS	333,12	309,55	1345	0
HRCSS-1	257,65	247,36	991,472	10,3
AS-1	227,26	204,05	864	15
AS-2	204,50	180,93	767	20

Gambar 9 menunjukkan hubungan kapasitas beban lateral terhadap *displacement* untuk kelima model uji. Penambahan dinding struktur meningkatkan kapasitas secara drastis, namun bukaan mengurangi efektivitas perkuatan secara progresif, menunjukkan *trade-off* antara kebutuhan arsitektural dengan performa struktural.



Gambar 9. Grafik kapasitas beban lateral vs *displacement*

#### 4. KESIMPULAN

1. Validasi pemodelan numerik menggunakan MIDAS FEA NX terhadap hasil pengujian eksperimental menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik. Perbedaan hasil antara simulasi dan uji laboratorium berkisar antara 0,92% hingga 4,9% untuk semua model yang divalidasi (REF, FRCSS, HRCSS-1). Tingkat keakuratan ini mengonfirmasi bahwa Metode Elemen Hingga dengan software MIDAS FEA NX dapat diandalkan untuk memprediksi perilaku struktural dinding geser beton bertulang dengan bukaan, sehingga layak digunakan sebagai alternatif analisis sebelum pelaksanaan pengujian fisik.
2. Penambahan kekuatan dinding struktur beton bertulang terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kapasitas beban lateral rangka struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan dinding struktur tanpa bukaan (FRCSS) mampu meningkatkan kapasitas beban lateral hingga 14 kali lipat dibandingkan dengan rangka tanpa kekuatan (REF), yaitu dari 23,57 kN menjadi 333,12 kN. Peningkatan yang signifikan ini mengindikasikan bahwa dinding struktur berperan sangat penting dalam menahan gaya lateral akibat beban gempa pada bangunan bertingkat.
3. Keberadaan bukaan pada dinding struktur berkekuatan memberikan pengaruh negatif terhadap kapasitas beban lateral struktur. Semakin besar rasio bukaan, semakin besar pula penurunan kapasitas yang terjadi. Peningkatan rasio bukaan dari 0% (tanpa bukaan) menjadi 10,3%, 15%, dan 20% mengakibatkan penurunan kapasitas struktural secara berturut-turut sebesar 29,29%, 31,14%, dan 38,04%. Pola penurunan ini menunjukkan hubungan yang hampir proporsional antara rasio bukaan dengan penurunan kapasitas, sehingga perlu menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan dinding struktur dengan bukaan, khususnya pada zona seismik tinggi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdoos, F., Gholhaki, M., & Kheyroddin, A. (2024). Cyclic Behavior of The Reinforced Concrete Shear Walls With Opening Retrofitted With Steel Plate. *Structural Concrete*, 25(5), 3305-3328. <https://doi.org/10.1002/suco.202300285>
- Altiok, T. Y., Cetin, K., & Demir, A. (2025). Effect Of Shear Wall Opening And Reinforcement Around. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 23, 3421-3449. <https://doi.org/10.1007/s10518-025-02180-3>
- Bruneau, M. U. M. (2011). *Ductile Design of Steel Structures*. The McGraw-hill Companies, Inc.
- Daryl, L. R. (2017). *A First Course in the Finite Element Method* (6th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Dewobroto, W. (2016). *Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010 Edisi Kedua*. Tangerang: Lumina Press.
- Dowling, N. E. (2013). *Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue*. England: Pearson Education Limited.
- Hardiyatmo, H. C. (2022). *Rekayasa Gempa untuk Analisis Struktur & Geoteknik*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Harne, V. R., & Hande, R. (2023). Seismic Performance of High Rise Building Having a Shear Wall With Opening. *Smart and Sustainable Technologies for Disaster Resilient Infrastructure*, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1193/1/012017>
- Lesmana, Y. (2020). *Handbook Desain Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2019*. Nas Media Pustaka.
- Reddy, J. N. (2006). *An Introduction to The Finite Element Method*. New York: McGraw-Hil.
- Rohman, F., & Leman, S. (2020). Effects of Opening Dimension in Shear Wall on the Behavior of High-Rise Building Structure Due to Earthquake Load. *Materials Science and Engineering*, 1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012055>
- Saed, A., Najm, H. M., Hassan, A., Qaidi, A., Sabri, M. M., & Mashaan, N. S. (2022). A Comprehensive Study on the Effect of Regular and Staggered Openings on the Seismic Performance of Shear Walls. *Advance Sustainable Materials in Buildings*, 1-21. <https://doi.org/10.3390/buildings12091293>
- Sudarshan, S. M., & Yaragal, S. C. (2020). Window to wall ratio and orientation effects on the Thermal Performance of Building Envelope. 1-21. <https://doi.org/10.3126/joeis.v1i1.36833>
- Zienkiewicz, R. L., & Taylor, Z. J. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Elsevier.

