

ANALISIS NUMERIK PERILAKU DINDING PANEL BETON RINGAN DENGAN VARIASI DIMENSI AKIBAT BEBAN SIKLIK

Ferdinand Jaya Putra¹, Hanafiah², dan Siti Aisyah Nurjannah²

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Palembang
ferdinandjayaputra@gmail.com

²Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Lama, Palembang

Masuk: 14-04-2022, revisi: 20-05-22, diterima untuk diterbitkan: 01-06-22

ABSTRACT

Earthquakes often cause damage to non-structural works, such as interior or exterior walls. Therefore, in this study, we will analyze the behavior of the wall panel with the help of finite element software, namely ANSYS. The method used in ANSYS will be verified by comparing the results of the research of Yu, et al., 2019 and the analysis of ANSYS, with a percentage difference of $\leq 10\%$. The panel wall in this study had 4 models with variations in width dimensions made of lightweight concrete and reinforcement to increase strength. Testing the behavior of the panel walls was carried out by testing static lateral and cyclic loads based on the recommended loading from Yu, et al., 2019. The performance assessment of the panel wall model is carried out by using the panel wall behavior criteria according to the ACI 374.1-05, stress contour, and displacement contour. The results of the testing of the 4 models meet the standard criteria of ACI 374.01-5. The largest stress and displacement contour values are model D of 32.03 MPa and 75,52 mm.

Keywords: panel wall; cyclic; story drift; finite element; lightweight concrete

ABSTRAK

Gempa kerap menimbulkan kerusakan pada pekerjaan non-struktur, seperti dinding bagian dalam atau luar. Maka dari itu pada penelitian ini akan menganalisis perilaku dinding panel dengan bantuan *software finite element* yaitu ANSYS. Metode yang digunakan pada ANSYS akan diverifikasi dengan cara membandingkan hasil penelitian Yu, et al., 2019 dan analisis ANYS, dengan selisih persentase $\leq 10\%$. Dinding panel dalam penelitian ini memiliki 4 model variasi dimensi lebar yang terbuat dari beton ringan dan tulangan untuk menambah kekuatan. Pengujian perilaku dinding panel dilakukan dengan beban lateral dan siklik statik berdasarkan pembebanan yang direkomendasikan dari Yu, et al., 2019. Penilaian kinerja model dinding panel dilakukan berdasarkan pada kriteria perilaku dinding panel menurut ACI 374.1-05, kontur tegangan, dan kontur perpindahan. Hasil dari pengujian dari ke empat model memenuhi standar kriteria ACI 374.1-05. Nilai kontur tegangan dan perpindahan terbesar adalah model D sebesar 32,03 MPa dan 75,52 mm.

Kata kunci: dinding panel; siklik; story drift; finite element; lightweight concrete

1. PENDAHULUAN

Maraknya pembangunan rumah, kantor, infrastruktur dan lainnya membuat ketersediaan lahan menjadi berkurang. Kota Jakarta adalah contoh dari beberapa kota besar lainnya yang ketersediaan lahan semakin berkurang. Sedangkan kebutuhan masyarakat akan tempat tinggal dan kantor semakin meningkat. Maka kegiatan pembangunan yang biasanya melebar ke arah horizontal, dialihkan menjadi pembangunan ke arah vertical.

Indonesia berada di antara 3 lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng-lempeng tektonik tersebut bergerak dengan perpindahan 2-18 cm per tahun. Akibat dari pergerakan lempeng-lempeng tersebut dapat terjadinya subduksi (subduction) dan perpisah (spreading). Tabrakan yang terjadi menimbulkan akumulasi energi potensial yang berubah menjadi energi kinetik, pelepasan energi yang terjadi tiba-tiba disebut dengan gempa bumi.

Kerusakan yang sering terjadi pada bangunan tinggi akibat gempa bumi adalah dinding retak bahkan cenderung roboh. Dinding pada bangunan tinggi umumnya masih menggunakan batu bata merah dan bata ringan. Bata merah memiliki

berat jenis yang lebih tinggi di dibandingkan bata ringan. Kesamaan pada bata merah dan bata ringan adalah sulit dalam pengangkutan dan perlu waktu dalam pemasangan.

Salah satu jenis dinding yang baik digunakan dalam dunia konstruksi adalah dinding panel yang terbuat dari beton ringan. Sehingga beban yang diberikan kepada struktur saat terjadi gempa lebih ringan. Penggunaan dinding panel sangat efisien bagi pelaksanaanya karena pembuatan dinding panel menggunakan teknologi pra-cetak, proses transportasi lebih mudah, pemasangan lebih praktis, dan mutu pengerjaan lebih terjaga.

Sehingga penelitian ini akan menganalisis numerik pada model dinding panel dengan skala penuh, dengan material beton ringan sebagai bahan pembuatan dinding panel tersebut. Simulasi numerik dan pengetesan menggunakan bantuan software elemen hingga yaitu ANSYS. Diharapkan penelitian ini dapat berkontribusi untuk penelitian teoritis dan aplikasi teknis.

2. METODE PENELITIAN

Dinding panel adalah suatu dinding yang bersifat *non-struktural*, tetapi dinding panel dirancang mampu menahan gaya geser dan beban aksial akibat gempa agar tidak mudah *crack*. Pada percobaan ini menggunakan *software* ANSYS untuk mempermudah dalam perhitungan/analisis tanpa melakukan eksperimen di laboratorium. Metode elemen hingga memerlukan data material beton dan tulangan yang akan digunakan pada model, serta data pembebanan yang bekerja pada model tersebut.

Untuk memverifikasi metode yang digunakan pada penelitian menggunakan *software* ANSYS. Maka perlu dibandingkan hasil penelitian antara eksperimen dan analisis menggunakan ANSYS, dengan syarat material dan beban yang digunakan sama. Perbandingan hasil tersebut dapat dilihat pada kurva histeretik dengan nilai beban maksimum yang diperoleh. Menurut Badshah, et al., (2019), Selisih persentase $\leq 10\%$ termasuk dalam kategori baik.

Bila metode yang digunakan telah diverifikasi, maka pada penelitian ini akan membahas dinding panel dengan material beton ringan dengan variasi dimensi. Hasil kurva histeretik yang diperoleh akan dianalisis lebih lanjut menggunakan standar *American Concrete Institute* (ACI) 374.1-05. Kriteria penerimaan kestabilan dinding panel beton pracetak adalah sebagai berikut:

1. Beban lateral pada akhir pengujian harus tidak kurang dari 0,75 kali beban maksimum.
2. Perbandingan disipasi energi relatif tidak boleh kurang dari 1/8
3. Kekakuan sekan antara *drift ratio* -0,0035 sampai dengan +0,0035 *drift* maksimum tidak boleh kurang dari 0,05 kali kekakuan pada *drift ratio* awal.

Sifat material

Data material yang diperlukan dalam permodelan ANSYS yaitu jenis beton dan tulangan baja. Material beton yang digunakan terdapat dua jenis yaitu *nomal concrete* dan *lightweight concrete*. Kuat tekan *normal concrete* atau beton normal adalah 30,7 MPa berdasarkan penelitian (Yu, et al., 2019) dan kuat tekan *lightweight concrete* atau beton ringan sebesar 27,9 MPa dan modulus elastisitas 15.955 MPa, berdasarkan penelitian (Ramadhanty, 2019).

Material kedua dalam penelitian ini adalah baja tulangan dengan mutu BjTS (baja tulangan sirip). Baja tulangan yang digunakan sebagai menjadi baja tulangan berdasarkan penelitian (Yu, et al., 2019) dan baja tulangan yang diperoleh berdasarkan data primer. Data propertis baja tulangan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

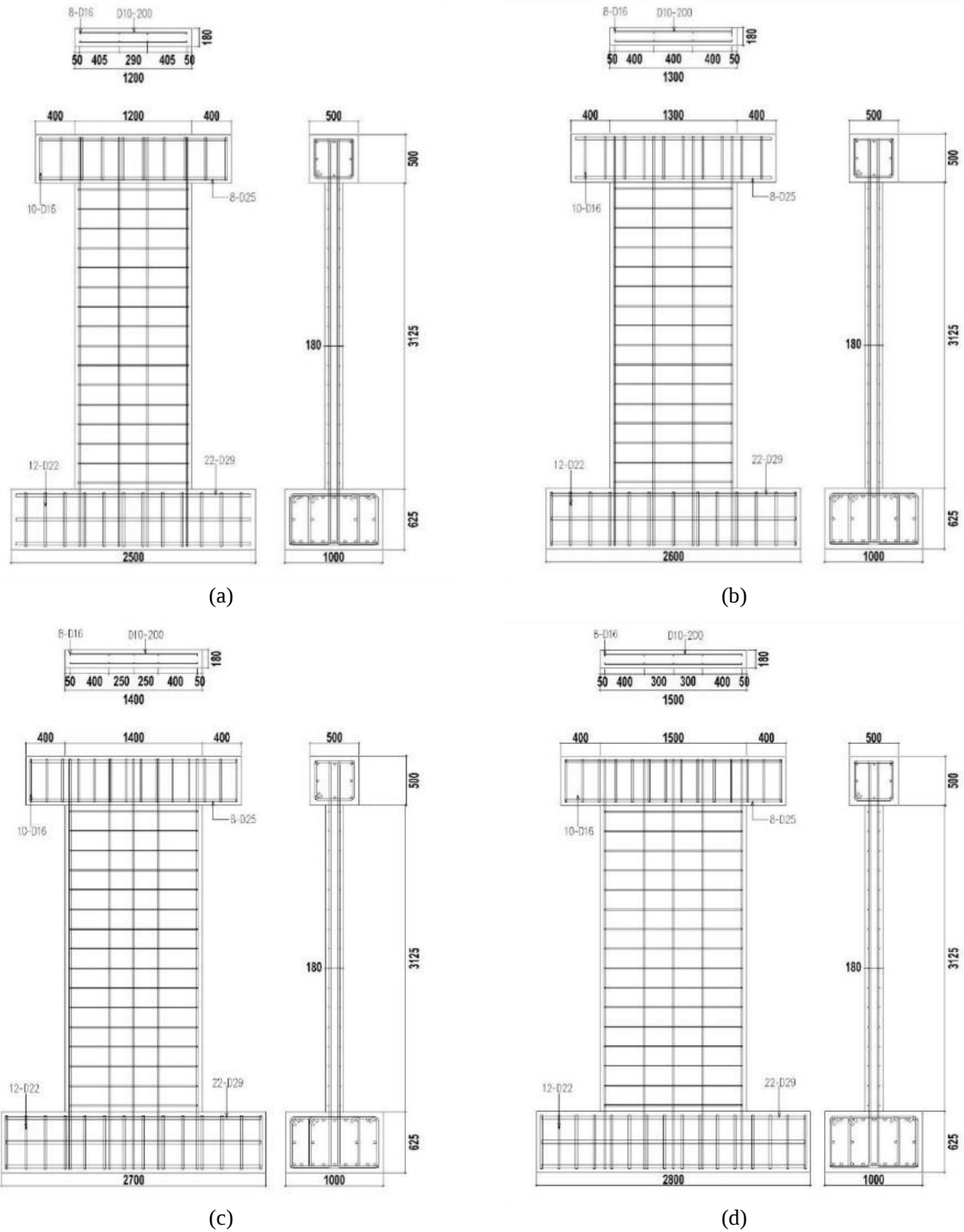
Tabel 1. *Properties material* baja tulangan

No.	Diameter tulangan	Yield strength (fy)	Model Uji
1	10 mm	512 MPa	NA
2	16 mm	666 MPa	
3	10 mm	463,46 MPa	LA, LB, LC, dan LD
4	16 mm	501,84 MPa	

Keterangan: Model uji N menggunakan *normal concrete* dan L menggunakan *light concrete*

Variasi dimensi dinding panel

Pada penelitian ini menggunakan permodelan dinding panel yang dikembangkan dari penelitian (Yu, et al., 2019). Pengembangan variasi tersebut meliputi dimensi dinding dan jarak tulangan dinding panel, sehingga didapatkan variasi dinding panel yang disajikan pada Tabel 2. Gambar 1 merupakan model struktur dinding panel beton bertulang seluruh model.



Gambar 1. Dimensi dan detail tulangan dari model dinding panel (a) model NA dan LA, (b) model LB, (c) model LC, dan (d) model LD

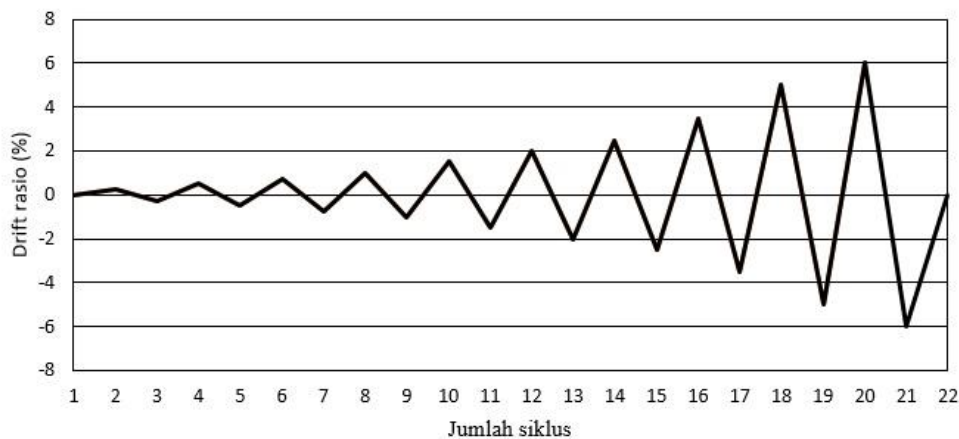
Tabel 2. Dimensi dinding panel

No.	Nama Model	Jenis Beton	Tulangan		Dimensi		
			Vertikal	Horizontal	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)
1	NA	NC	D16	D10	3125	1200	180
2	LA	LC	D16	D10	3125	1200	180
3	LB	LC	D16	D10	3125	1300	180
4	LC	LC	D16	D10	3125	1400	180
5	LD	LC	D16	D10	3125	1500	180

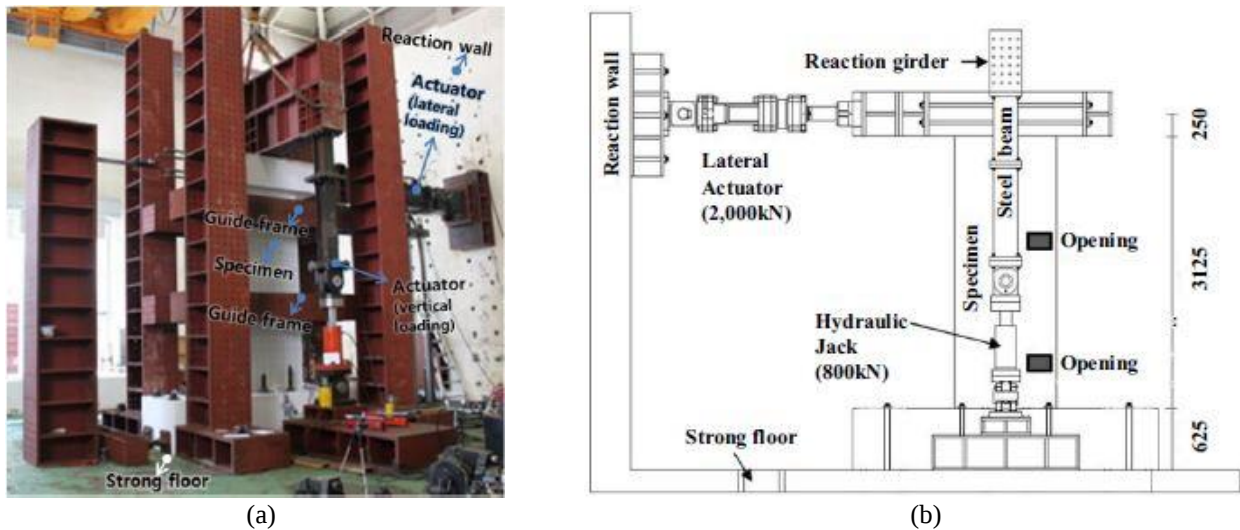
Rencana Pembebanan

Pada semua model memiliki balok pembebanan atas (balok atas) dan balok bawah yang mengapit dinding. Dimensi pada balok tidak mempunyai aturan yang pasti, tetapi harus memenuhi kriteria yang memenuhi. Balok atas berguna untuk menerima beban aksial dan beban siklik lateral. Sehingga model dinding tidak langsung menerima beban tersebut karena beresiko terjadi kerusakan sebelum menerima beban lateral yang bekerja pada dinding. Serta fungsi balok atas dan balok bawah memastikan model dinding terjepit secara sempurna, sehingga tidak akan terjadi puntir (torsion) pada model dinding. Kedua balok juga didesain memiliki kekuatan tarik dan tekan yang sangat tinggi. Bertujuan agar balok tersebut tidak rusak terlebih dahulu ketika menerima beban yang bekerja.

Penelitian dilakukan menggunakan beban aksial konstan yang diterapkan pada model ($P = 0,15 A_g f'_c$) sampai akhir pengujian. Beban aksial diletakkan di posisi tengah bagian atas balok pembebanan atas, dengan beban terpusat. Pembebanan siklik lateral didasarkan pada kontrol perpindahan dengan memenuhi rasio (Δ/H) sesuai standar ACI 374.1-05 (2019, reapproved). Sehingga beban siklik lateral dimulai dari 0,25%, 0,50%, 0,75% dan seterusnya dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk mencegah deformasi mendadak pada model, maka beban lateral diterapkan pada interval terkecil dan secara bertahap ke interval yang besar sampai model tidak mampu lagi menahan beban lateral tersebut. Beban lateral diletakkan di samping kiri balok pembebanan untuk semua model (Yu, et al., 2019). Setiap *drift ratio* diterapkan hanya 1 siklus, karena *output* dari kurva histeretik gaya-defleksi lateral pada siklus 2 dan 3 hampir sama dan berimpit dengan *output* siklus 1 (Budiono, et al., 2019). Gambar 3. Memperlihatkan pengujian experimental dinding panel oleh Yu, et al., (2019)



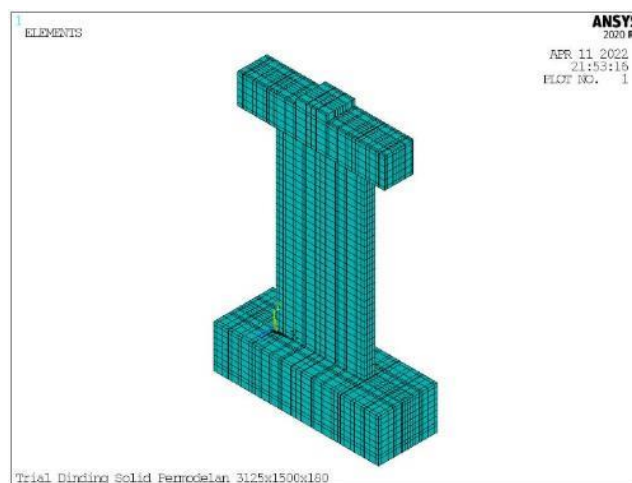
Gambar 2. Riwayat pembebanan lateral



Gambar 3. Pengujian experimental dinding panel (Yu, et al., 2019)

Meshing

Ukuran *mesh* yang digunakan dalam analisis elemen hingga dengan program ANSYS dapat mempengaruhi tingkat ketelitian hasil analisis. Ukuran *mesh* yang kecil dapat menimbulkan kegagalan saat diproses dan waktu proses yang semakin panjang. Proses pembuatan dan pembagian *meshing* menggunakan bantuan program SketchUp dan Microsoft Excel, kemudian disusun pada program Notepad. Selanjutnya file teks tersebut di *copy* dan di-*input* pada program ANSYS. Proses *meshing* pada penelitian ini dalam program ANSYS dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Meshing model LD

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

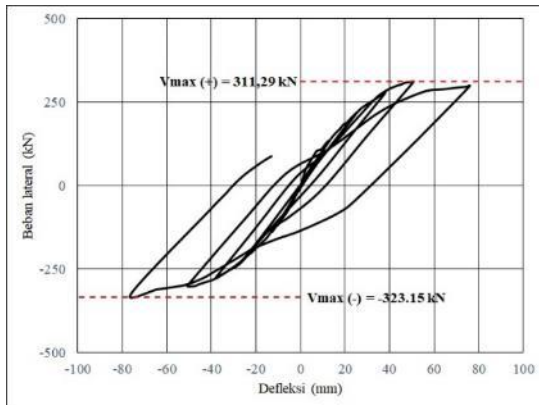
Analisis *output* beton normal

Output analisis dinding panel beton bertulang dengan model NA dengan material *normal concrete* dengan program ANSYS akan dibandingkan dengan *output* pengujian eksperimental oleh (Yu, et al., 2019). Perbandingan tersebut dilakukan dengan cara mengambil data nilai beban lateral maksimum. Perbandingan hasil kurva histeretik kedua metode pengujian terlihat pada Gambar 5.

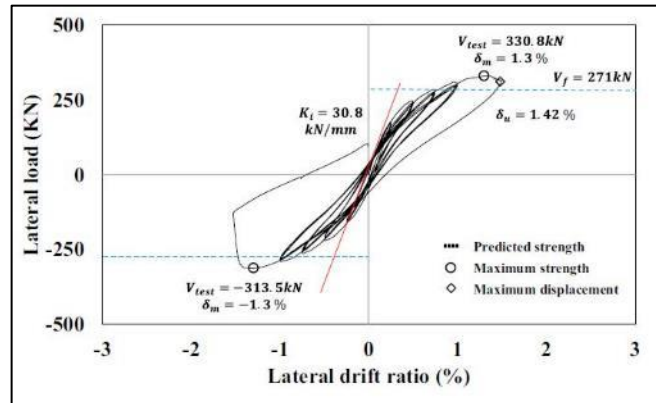
Berdasarkan *output* kurva histeretik terdapat selisih nilai beban lateral maksimum antara hasil pengujian eksperimental dan analisis ANSYS. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Selisih nilai beban lateral maksimum antara pengujian eksperimental dan analisis ANSYS pada arah pembebanan *push* sebesar 5,90% dan *pull* sebesar 3,08%. Selisih nilai beban lateral maksimum $\leq 10\%$ termasuk dalam kategori baik (Badshah, et al., 2019).

Tabel 3. Persentase selisih nilai beban lateral maksimum pada eksperimental dan analisis ANSYS

Arah Pembebanan	Eksperimental		ANSYS		Selisih
	Beban Lateral Maksimum (kN)	Perpindahan (mm)	Beban Lateral Maksimum (kN)	Perpindahan (mm)	
<i>Push</i>	330,80	43,875	311,29	33,750	5,90
<i>Pull</i>	-313,50	-43,875	-323,15	-50,625	3,08



(a)



(b)

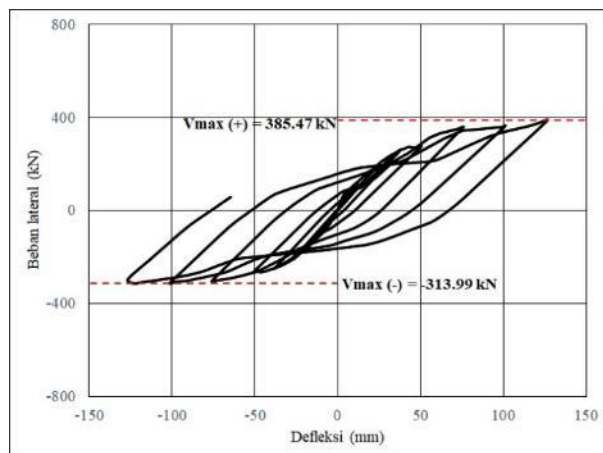
Gambar 5. Perbandingan kurva histeretik (a) model NA ANSYS dan (b) eskperimental (Yu, et al., 2019)

Analisis *output* beton ringan

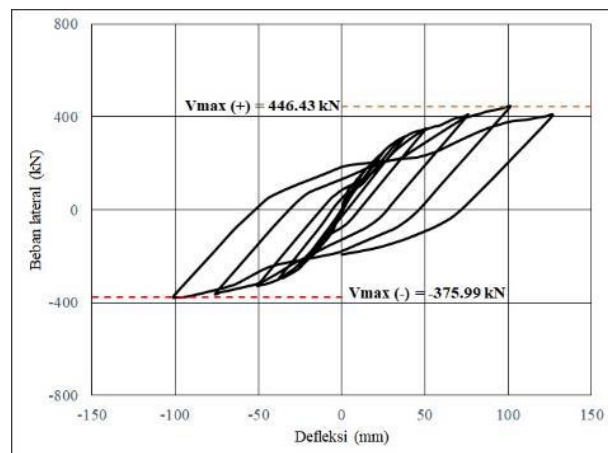
Pada pengujian beton ringan menggunakan metode yang sama dengan metode pada beton normal. Karena metode yang digunakan pada beton normal telah diverifikasi dan termasuk kategori baik. Sehingga hasil *output* beton ringan dapat dianalisis dengan beberapa parameter yaitu, kurva histeretik, kriteria kestabilan struktur, kontur tegangan dan kontur perpindahan.

Kurva histeretik

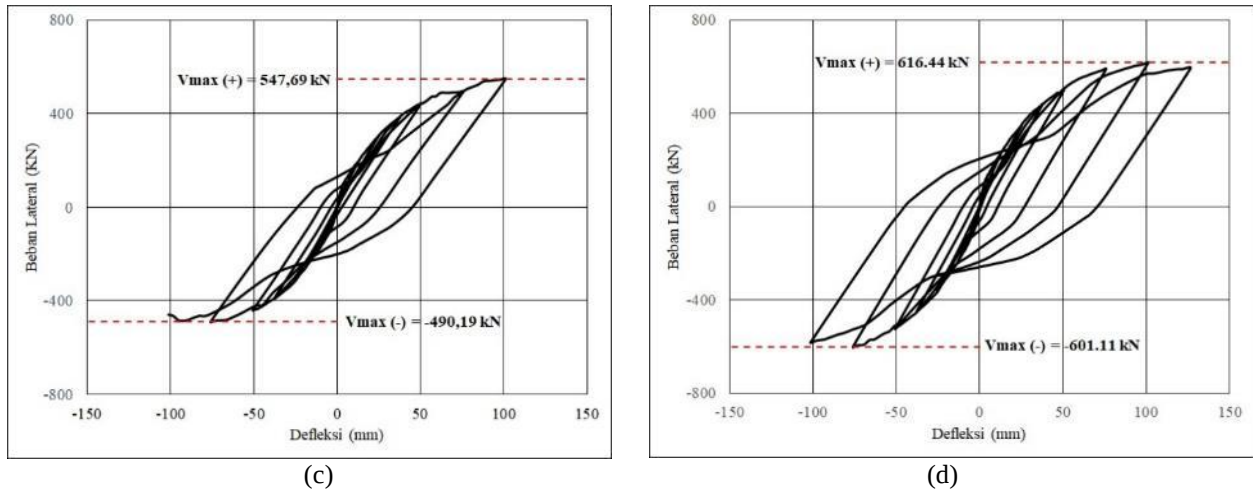
Pengujian dengan beban lateral siklik dilakukan hingga model tidak mampu lagi untuk menerima beban. Dengan indikasi pada *software finite element* tersebut tidak dapat lagi berproses. Gambar 6 menunjukkan hasil kurva histeretik dari model, beberapa *drift ratio* yang tinggi mengalami penurunan kekuatan dan kekakuan. Hal ini disebabkan oleh retak dan hancurnya elemen beton pada model. Pada kondisi ini, kontribusi elemen beton dan elemen pembesian dalam model terhadap kekuatan dan kekakuan menurun secara signifikan.



(a)



(b)



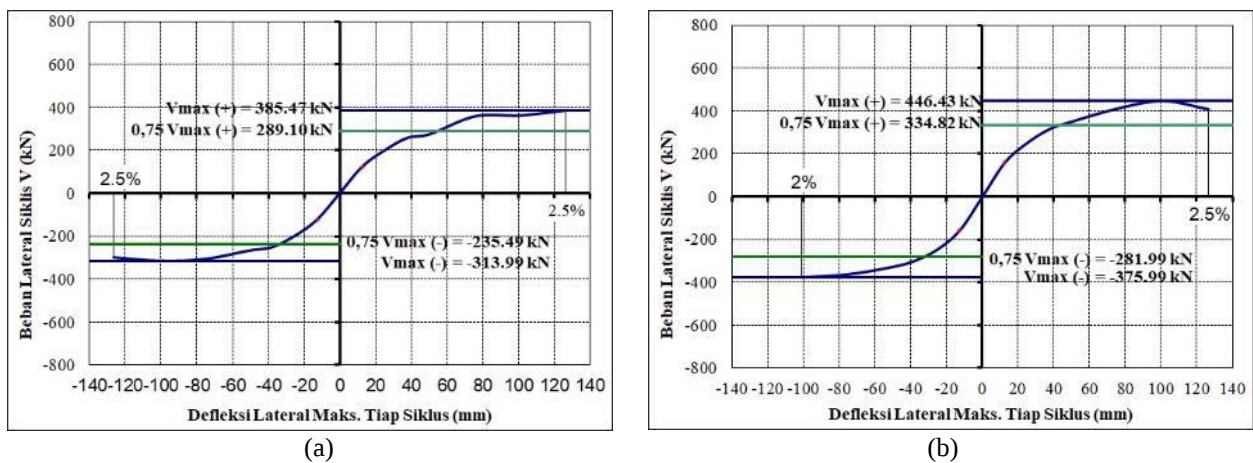
Gambar 6. Kurva yang menghubungkan beban lateral-defleksi (a) model LA, (b) model LB, (c) model LC dan (d) model LD

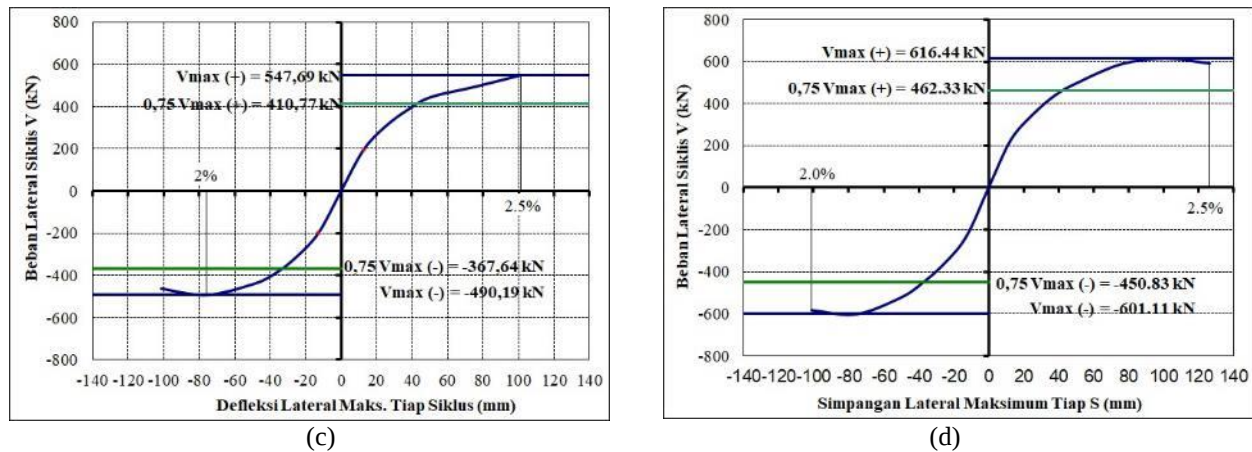
Kriteria kestabilan struktur ke-1

Kriteria kestabilan struktur ke-1 adalah nilai beban lateral pada akhir pengujian minimal sebesar 75% dari beban lateral puncak. Gambar 7 merupakan hasil analisis kestabilan struktur ke-1 pada seluruh model. Dari Tabel 4, dapat dilihat bahwa seluruh model memenuhi kriteria kestabilan struktur ke-1. Seluruh model memenuhi kriteria kestabilan struktur karena model uji memiliki material dan dimensi yang baik. Sehingga dapat dilihat nilai beban akhir pada model uji terus meningkat.

Tabel 4. Analisis kriteria kestabilan struktur ke-1

Model	Drift Ratio (%)	Push		Drift Ratio (%)	Pull		Ket.
		Beban Akhir (kN)	75% Beban Maks. (kN)		Beban Akhir (kN)	75% Beban Maks. (kN)	
LA	2,5	385,47	289,10	2,5	-297,91	-235,49	Memenuhi
LB	2,5	407,27	334,82	2,0	-375,99	-281,99	Memenuhi
LC	2,0	547,69	410,77	2,0	-459,90	-367,64	Memenuhi
LD	2,5	592,58	462,33	2,0	581,46	-450,83	Memenuhi





Gambar 7. Kurva *envelope* hubungan beban dan simpangan (a) model LA, (b) model LB,
(c) model LC, (d) model LD

Kriteria kestabilan struktur ke-2

Syarat kriteria kestabilan struktur ke-2 adalah nilai rasio luas area yang dibentuk dari perpotongan garis sejajar yang dibentuk dari kekakuan model saat *story drift* pertama dengan *story drift* terakhir. Luas area tersebut dibandingkan dan ditinjau harus lebih besar atau sama dengan 0,125. Dalam analisis kriteria kestabilan struktur ke-2 ini menggunakan program bantu yaitu AutoCad. Program tersebut bertujuan untuk mendapatkan luas area yang akan dianalisis seperti Gambar 8. Perbandingan luas area dapat dilihat pada Tabel 5 dan hasilnya memenuhi untuk semua model uji. Terlihat pada luas area *story drift* terakhir model uji memiliki kekakuan yang baik sehingga nilai perbandingan luas area masih memenuhi.

Tabel 5. Analisis kriteria kestabilan struktur ke-2

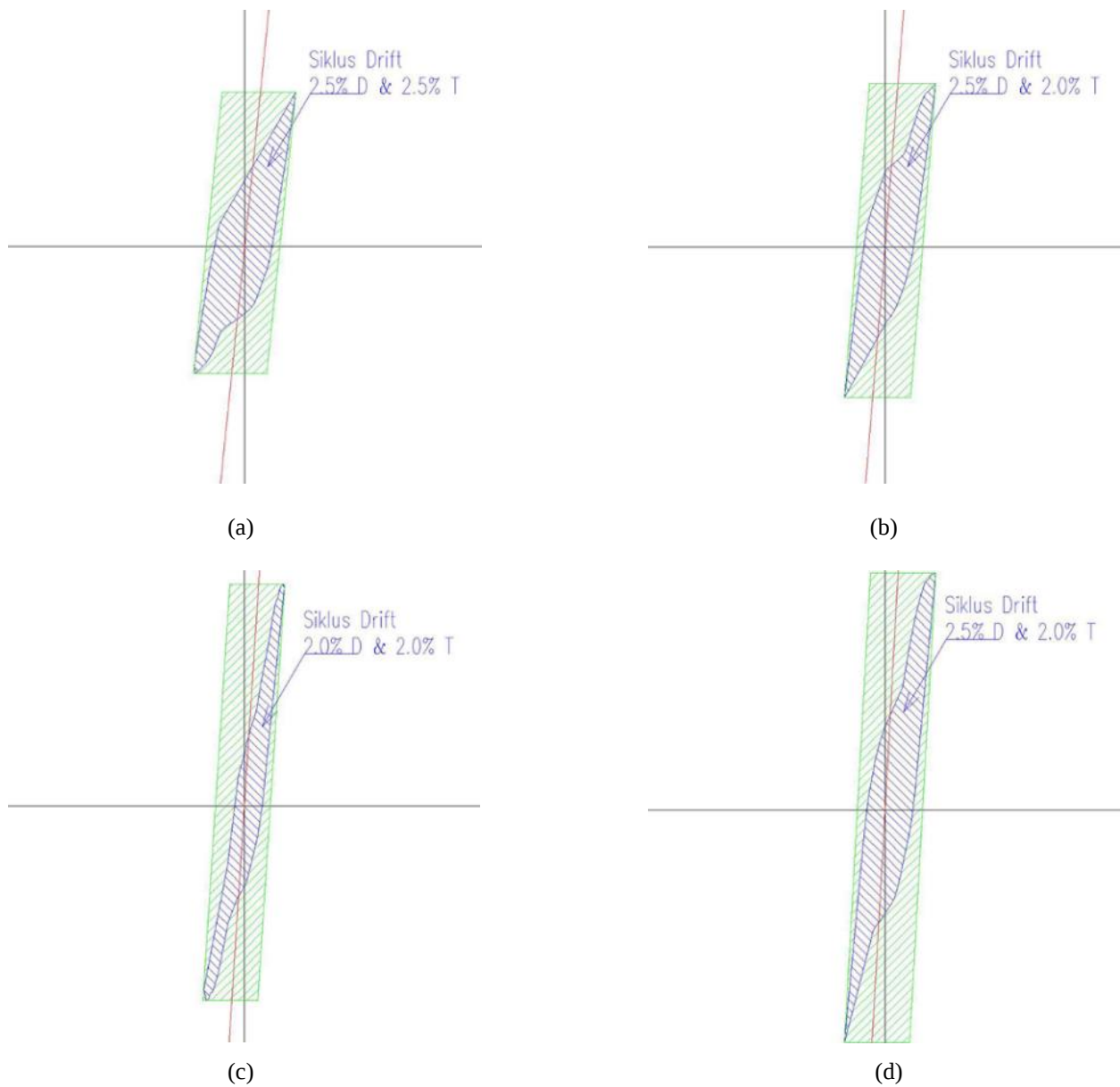
Model	Luas Area <i>Story Drift</i> ke-1	Luas Area <i>Story Drift</i> Terakhir	Perbandingan	Ket.
LA	64873,09	60919,00	0,939	Memenuhi
LB	69852,57	59558,88	0,853	Memenuhi
LC	99493,84	43531,51	0,438	Memenuhi
LD	114467,45	76641,69	0,670	Memenuhi

Kriteria kestabilan struktur ke-3

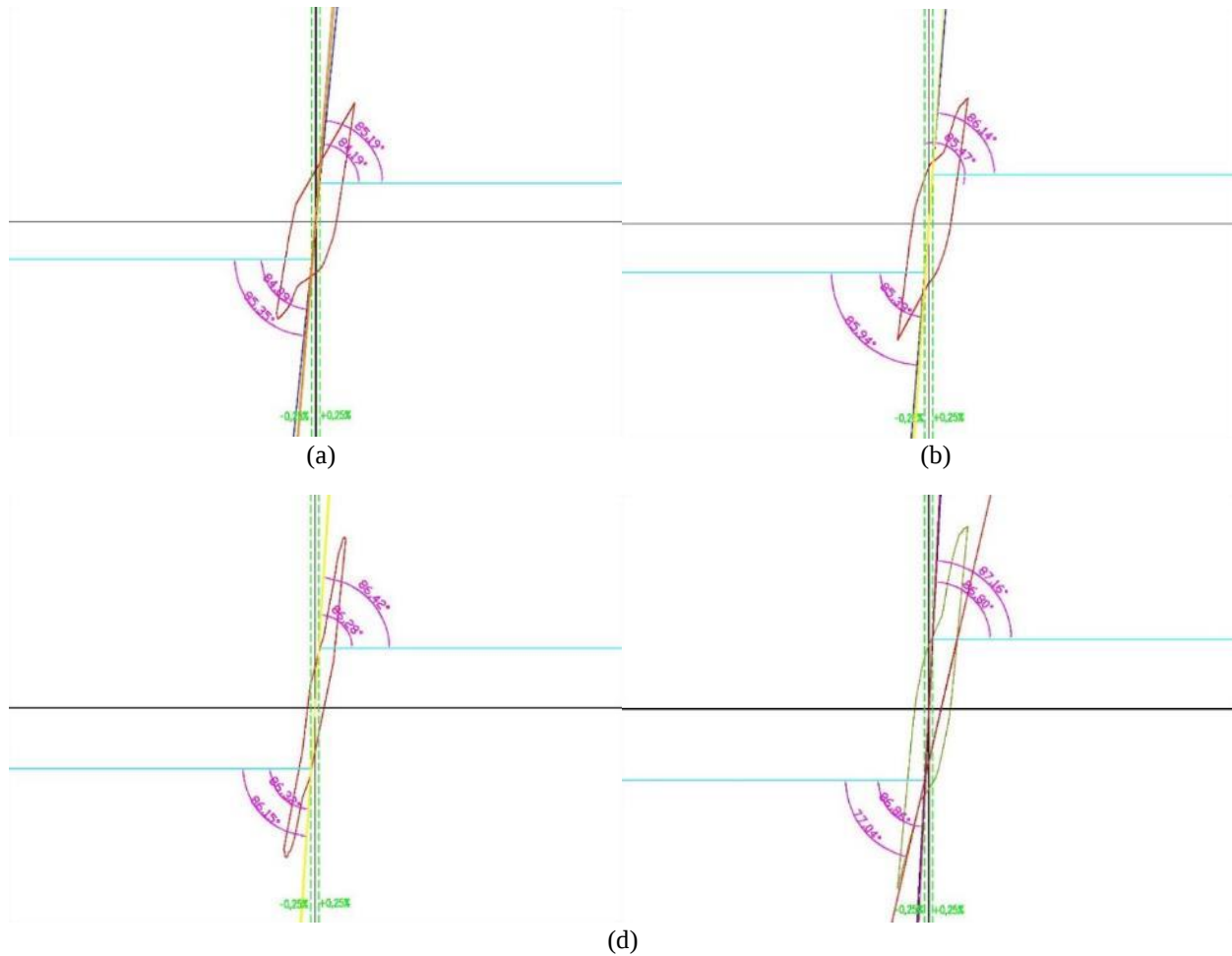
Syarat kriteria kestabilan struktur ke-3 adalah kekakuan garis potong dari *drift ratio* awal sebesar -0,0035 hingga +0,0035, harus tidak kurang dari 0,05 kali kekakuan untuk *story drift* awal yang ditentukan. Dikarenakan *drift ratio* awal yang digunakan pada penelitian sebesar -0,0025 hingga +0,0025. Maka kekakuan garis potong tersebut menggunakan *drift ratio* awal. Pada analisis kestabilan struktur ke-3 ini juga menggunakan program bantu yaitu AutoCad. Nantinya data tersebut akan dipersiapkan terlebih dahulu kemudian di *input* dan dianalisis kedalam AutoCad seperti Gambar 9. Hasil analisis kriteria kestabilan struktur ke-3 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan gradien seluruh model

Model	<i>Push</i>			<i>Pull</i>			Ket. >0,05
	Gradien Akhir	Gradien Awal	Hasil	Gradien Akhir	Gradien Awal	Hasil	
LA	11,88	9,82	1,21	12,3	9,66	1,27	Memenuhi
LB	14,82	12,62	1,17	14,09	12,40	1,14	Memenuhi
LC	15,98	15,38	1,04	14,86	15,55	0,96	Memenuhi
LD	20,16	17,89	1,13	4,35	18,23	0,24	Memenuhi



Gambar 8. Area disipasi energi (a) model LA, (b) model LB, (c) model LC, dan (d) model LD

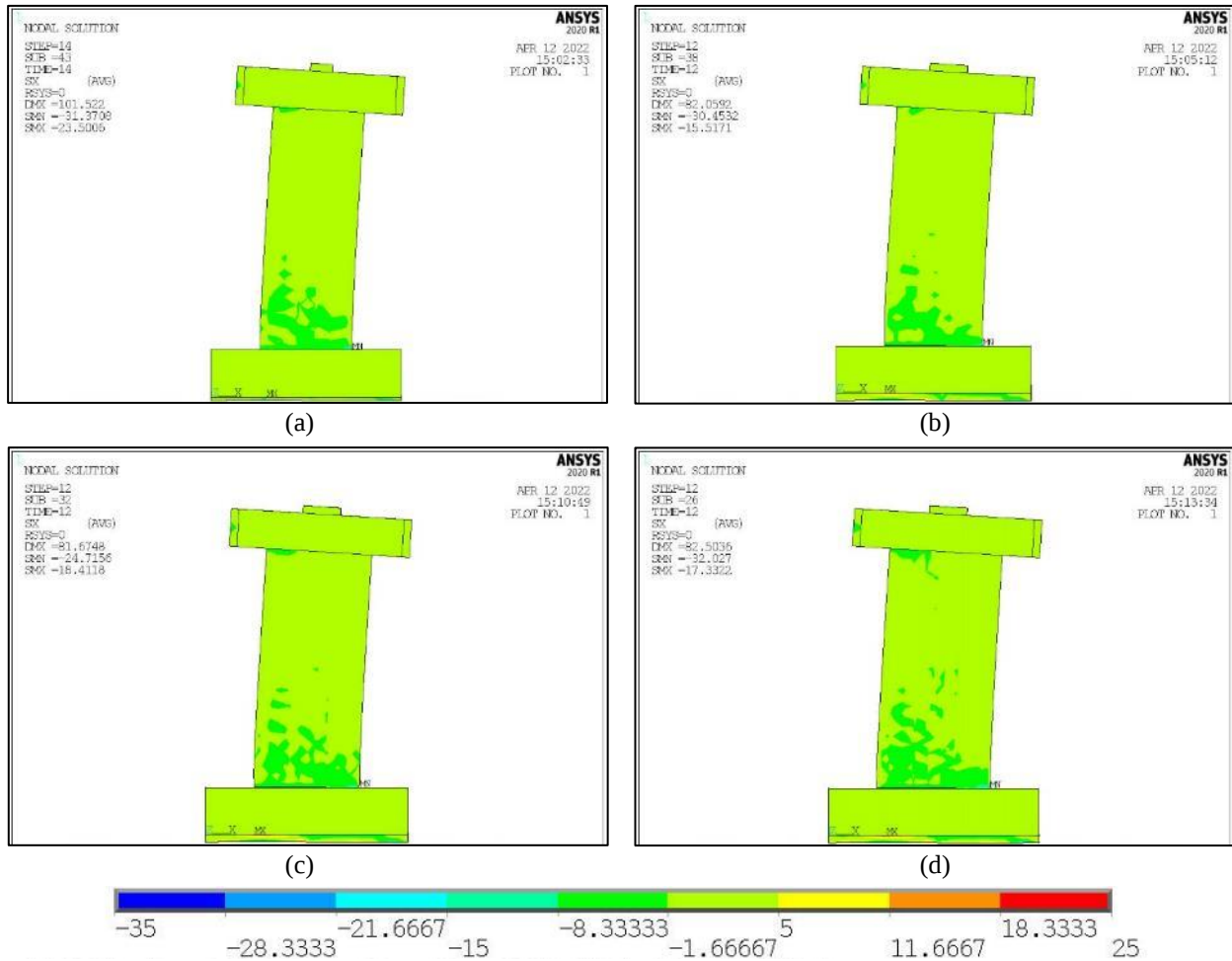


Gambar 9. Perbandingan gradien kurva (a) model LA, (b) model LB, (c) model LC, dan (d) model LD

Kontur tegangan

Model mulai menahan tegangan tarik dan tekan pada *drift ratio* 0,25%. Tegangan tarik dan tekan terus meningkat seiring peningkatan *drift ratio*. Sambungan plastis pada dinding panel terbentuk karena adanya peningkatan tegangan yang signifikan. Penahan diagonal menjadi lebih luas dan meningkatkan tekanan pada *drift ratio* berikutnya. Setelah gaya lateral puncak terjadi, maka kekuatan dan kekakuan model menurun

Model dinding panel mempunyai tegangan beton maksimum di bagian bawah kanan dinding saat tegangan tekan, pada *drift ratio* 2,5% untuk model LA dan *drift ratio* 2% untuk model LB, LC, dan LD. setelah tegangan tekan maksimum bekerja *drift ratio* berikutnya mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan model mengalami kerusakan yang meluas dibandingkan dengan kondisi *drift ratio* yang maksimum. Tegangan maksimum model LA, LB, LC, dan LD secara berturut-turut adalah 31,37 MPa, 30,45 MPa, 24,72 MPa, dan 32,03 MPa. Nilai tegangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 dengan warna biru tua. Model LD memiliki tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan model lainnya.



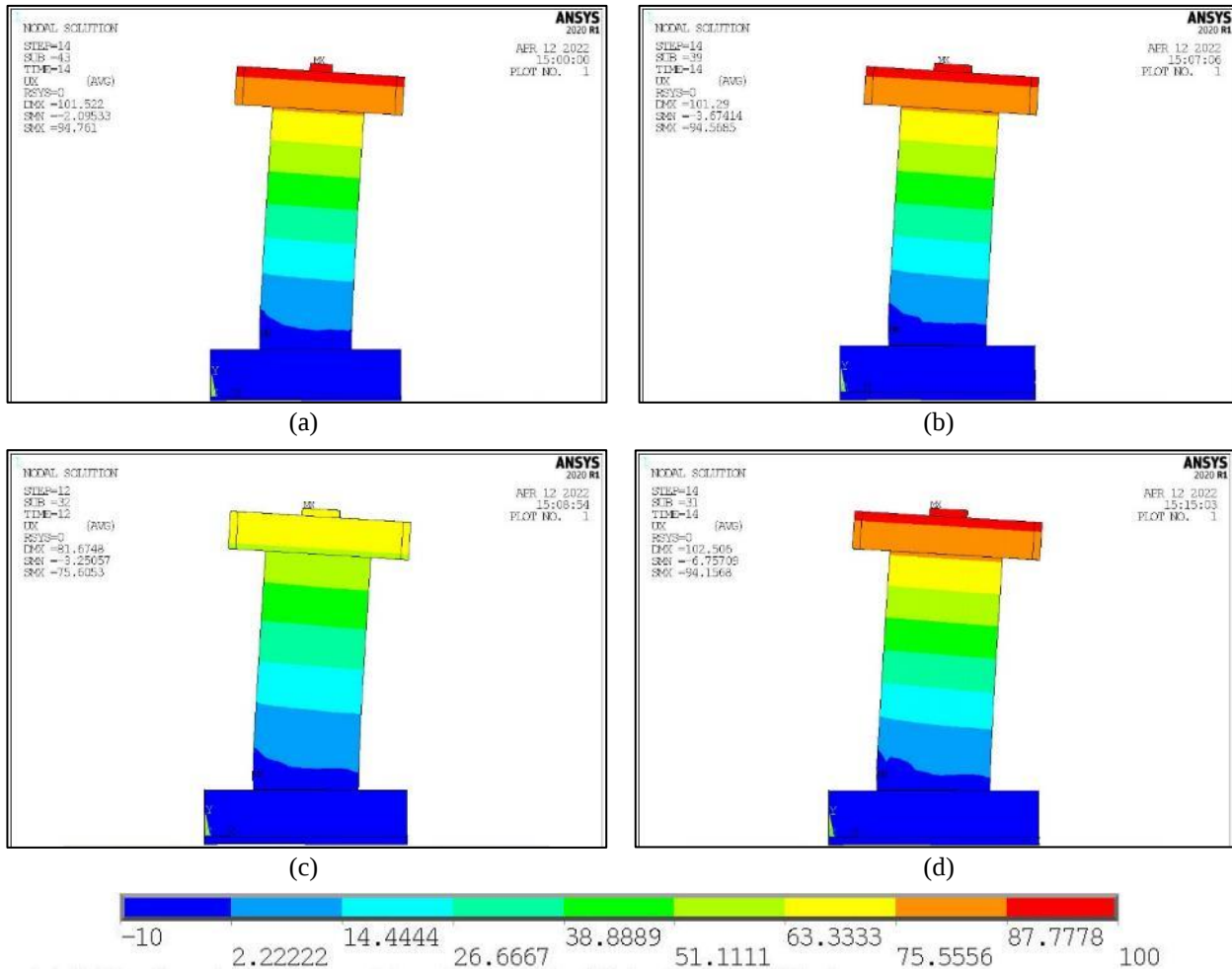
Gambar 10. Kontur tegangan maksimum masing-masing model (a) model LA, (b) model LB,

(c) model LC, dan (d) model LD

Kontur perpindahan

Model mulai mengalami perpindahan saat menerima beban lateral, dengan *drift ratio* pertama sebesar 0,25% dari arah tekan dan tarik. Perpindahan terus meningkat seiring bertambahnya *drift ratio* meskipun nilai tegangannya mengalami penurunan. Hal ini disebabkan kerusakan yang terjadi pada model semakin meluas dibandingkan dengan kondisi *drift ratio* maksimum. Bagian bawah dinding yang berwarna biru tua menandakan bahwa dinding tersebut terjepit sempurna terhadap balok di bawahnya. Sehingga dinding bagian bawah tidak mengalami perpindahan.

Nilai perpindahan dinding di tentukan pada titik tengah dinding bagian paling atas, sesuai dengan Gambar 11. Pada model LA, LB, dan LD nilai perpindahan di kisaran angka 63,33 mm sampai 75,56 mm dengan kontur perpindahan berwarna kuning, pada *drift ratio* 2,5%. Sedangkan untuk model LC memiliki nilai perpindahan di kisaran angka 51,11 mm sampai 63,33 mm dengan kontur perpindahan berwarna hijau muda, pada *drift ratio* 2,0%. Perpindahan-perpindahan tersebut adalah perpindahan terpanjang dari setiap model baik tegangan tekan atau tarik.



Gambar 11. Kontur perpindahan (a) model LA, (b) model LB, (c) model LC, dan (d) model LD

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil permodelan numerik terhadap dinding panel beton ringan dengan jumlah empat model, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan *output* analisis perilaku dinding panel beton normal antara program ANSYS dengan pengujian eksperimental oleh Yu, et al., 2019, terdapat selisih beban lateral maksimum pada arah pembebanan *push* sebesar 5,90% dan *pull* sebesar 3,08%. Perbedaan selisih antara dua metode analisis masih termasuk kategori baik yaitu dengan persentase $\leq 10\%$, menurut Badshah, et al. (2019).
2. Pencapaian *drift ratio* saat beban lateral maksimum dari masing-masing dinding panel beton ringan berbeda. Pada arah pembebanan *push* model LA, LB, dan LD mencapai *drift ratio* 2,5%, sedangkan untuk model LC *drift ratio* sebesar 2,0%. Sedangkan pada arah pembebanan *pull* hanya model LA mencapai *drift ratio* 2,5%, dan sisanya mencapai *drift ratio* 2,0%.
3. Keempat model dinding panel beton ringan memenuhi kriteria kestabilan struktur yang sesuai dengan ACI.374.1-05 (2019). Sehingga kinerja material beton ringan untuk dinding panel terbukti dapat terpenuhi.
4. Pada kontur tegangan menunjukkan adanya upaya dinding beton menahan tegangan yang terjadi di daerah sambungan dinding panel dengan balok dasar, hasil tersebut berlaku pada semua model. sehingga kerusakan dinding panel terbesar dari seluruh model berada di 1/3 dari ketinggian dinding panel.
5. Kontur perpindahan pada model C mempunyai nilai yang lebih kecil dibandingkan model lain. Hal tersebut dikarenakan *drift ratio* yang mampu diterima oleh model C sebesar 2%, sedangkan model lain mencapai 2,5%.
6. Dari hasil analisis variasi dimensi dari keempat model memiliki nilai tegangan dan perpindahan yang berbeda. tetapi semua model telah memenuhi kriteria kestabilan struktur.

Adapun saran yang dapat diberikan untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Persamaan yang digunakan dalam grafik tegangan-regangan beton ringan menggunakan persamaan Hognestad. Sebaiknya menggunakan persamaan khusus material beton ringan atau melakukan penelitian.
2. Perlunya perkuatan tambahan pada sambungan balok dan dinding panel agar bagian bawah dinding panel mampu menerima tegangan yang lebih besar lagi.
3. Perlu adanya perhitungan dan desain khusus untuk menentukan banyaknya tulangan lentur dan tulangan geser pada permodelan dinding, agar mencapai hasil yang maksimum.
4. Pada penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis mengenai disipasi energi, daktilitas, degradasi kekakuan, dan degradasi kekuatan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2019). *ACI 374.1-05(19): Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary (Reapproved 2019)*. American: American Concrete Institute.
- Badshah, M., Badshah, S., & Jan, S. (2019). Comparison of Computational Fluid Dynamics and Fluid Structure Interaction Models for the Performance Prediction of Tidal Current Turbines. *Journal of Ocean Engineering and Science*, V, 164-172. doi:10.1016/j.joes.2019.10.001
- Budiono, B., Nurjannah, S. A., & Imran, I. (2019). Non-linear Numerical Modeling of Partially Pre-stressed Beam-column Sub-assemblages Made of Reactive Powder Concrete. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, LI, 28-47. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.1.3
- Ramadhanty, C. V. (2019). Durabilitas Lightweight Geopolymer Concrete Terhadap Larutan HCl 5% dengan Konsentrasi NaOH 14 M. *Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Universitas Sriwijaya*.
- Yu, H.-J., Kang, S.-M., Park, H.-G., & Chung, L. (2019). Cyclic Loading Test of Structural Walls with Small Openings. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13-44. doi:10.1186/s40069-019-0352-1

