

Analisis dan Rekomendasi Desain *Corrugated Steel Plate Shear Wall* dengan Modifikasi *Wall Opening* dan *Reduced Beam Section*

Ezra Pasereng Rambak^{1,*}, Budi Suswanto¹, Hidajat Sugihardjo¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: epdesign04@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	15 Februari 2021	Corrugated Steel Plate Shear Wall (CSSW) is one type of seismic-resistant steel structure stiffener that can anticipate large amounts of earthquake energy. There is difficulty in informing the behavior of the nonlinear corrugated steel plate shear wall behavior, in particular the wall with an opening. Because the CSSW design methodology has not been included in the design standards. In this paper, research has been carried out on new methods that can be used in CSSW. This research was carried out by applying loading to the specimen with two models, namely Vertical CSSW and Horizontal CSSW with an opening of 10%. From the results of this study, the highest ductility value was 16.0 and had an average energy dissipation value of 7862.63 kN.m. The results of this study indicate that each of the Vertical and Horizontal CSSW specimens was able to increase the stiffness and capacity of the structure.
Diperbaiki	22 Februari 2021	
Disetujui	24 Februari 2021	

Keywords: Vertical Corrugated Steel Plate Shear Wall, Horizontal Corrugated Steel Plate Shear Wall, Opening, Reduced Beam Section.

Abstrak
Dinding Geser Pelat Baja Bergelombang atau *Corrugated Steel Plate Shear Wall (CSSW)* merupakan salah satu jenis pengaku struktur bangunan baja tahan gempa yang dapat mendisipasi energi gempa dalam jumlah yang besar. Ada kesulitan informasi mengenai perilaku dinding geser pelat baja bergelombang nonlinier, khususnya dinding dengan bukaan. Karena metodologi desain CSSW belum dimasukkan dalam standar desain. Dalam paper ini, telah dilakukan penelitian terhadap metode baru yang dapat digunakan pada CSSW. Penelitian ini dilaksanakan dengan penerapan pembebanan pada spesimen dengan dua model, yaitu CSSW Vertikal dan CSSW Horizontal dengan bukaan 10%. Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai daktilitas tertinggi sebesar 16.0 dan memiliki nilai disipasi energi rata-rata, sebesar 7862,63 kN.m. Hasil penelitian ini menunjukkan masing-masing spesimen CSSW Vertikal dan Horizontal mampu meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur.

Kata kunci: Dinding Geser Pelat Baja Bergelombang Vertikal, Dinding Geser Pelat Baja Bergelombang Horizontal, Bukaan, Penampang Balok Tereduksi.

1. Pendahuluan

Ketersediaan lahan yang menyempit mengakibatkan kebutuhan akan bangunan menengah dan tinggi semakin meningkat dari masa ke masa. Hanya ada dua cara untuk mengatasi masalah ini, yakni dengan menyediakan bangunan dengan elemen struktur yang besar, atau dengan cara menyediakan sistem yang cukup baik untuk menahan beban lateral pada bangunan [1].

Corrugated Steel Plate Shear Walls (CSSW) adalah konstruksi dinding geser pelat baja bergelombang yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang diterima secara luas dan efisien. Karena stabilitas geometrik tinggi di dalam dan di luar bidang, pelat baja bergelombang diusulkan sebagai pengganti pelat baja kaku pada balok pada tahun 1980-an [2].

Pelat baja bergelombang memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan pelat baja dengan permukaan datar. Bahkan jika pelat baja bergelombang lebih tipis masih memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan

dengan yang datar, sehingga sangat berguna untuk konstruksi balok-balok ringan [2]. Mo dan Perng [3] memasang dinding geser baja bergelombang (*CSSW*) dalam rangka beton bertulang *Reinforced Concrete (RC)* dan mengevaluasi kinerja gaya gempa secara eksperimental.

Berman dan Bruneau [4] menguji tiga spesimen satu lantai: dua spesimen dengan pelat dinding datar (*SPSW*) dan satu spesimen dengan pelat dinding bergelombang (*CSSW*). Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa struktur dengan pelat dinding bergelombang secara signifikan dapat mendisipasi energi dan mengurangi kebutuhan dimensi elemen pembatas (balok dan kolom) [4]. Emami dkk. [5] mempelajari perilaku siklik pelat dinding bergelombang trapesium melalui tiga pengujian eksperimental, dari hasil studi mereka menunjukkan bahwa pelat dinding bergelombang memiliki kekakuan awal, rasio daktilitas, dan kapasitas disipasi energi yang lebih besar dari pada dinding datar.

Emami dan Mofid [6] melaporkan bahwa analisis *Finite Element (FE)* tidak dapat secara tepat menentukan perilaku

tekuk dinding bergelombang tetapi dapat menentukan kekuatan geser tekuk. Vigh dkk. [7] menggunakan *Genetic Algorithm (GA)* untuk mengkalibrasi perilaku siklik dari dinding bergelombang.

Farzampour dan Yekrangnia [8] melakukan studi parametrik numerik menggunakan analisis *Finite Element (FE)* untuk menyelidiki efek bukaan di *CSSW*, dan mengusulkan bentuk bukaan persegi panjang yang dioptimalkan. Yu dan Yu [9] melakukan penelitian pada sepuluh *CSSW* dengan konfigurasi bukaan melingkar yang berbeda dan menyimpulkan bahwa lubang melingkar dapat meningkatkan daktilitas dinding tetapi keberadaan bukaan mengarah pada pengurangan yang signifikan dalam kekakuan dan kekuatan dari dinding geser.

Zhao dkk. [10] menerangkan hasil studi parametrik numerik mereka pada *CSSW* dengan konfigurasi yang berbeda serta efek beban gravitasi menggunakan perangkat lunak *Abaqus*. Baru-baru ini, Shon dkk. [11], mempelajari perilaku histeresis dinding bergelombang trapesium melalui uji eksperimental dan menyimpulkan bahwa dinding tersebut memiliki disipasi energi yang lebih tinggi, daktilitas, dan kapasitas *ultimate* dibandingkan dengan *open frame*.

Konsep *Reduced Beam Section (RBS)* juga telah digunakan akhir-akhir ini dalam berbagai sistem struktural. Selama beberapa dekade terakhir, sejumlah studi mengenai penggunaan *RBS* di *SPSW* dilakukan untuk memastikan bahwa *hinge frame plastic* terjadi di ujung balok dan tidak terjadi pada kolom [12].

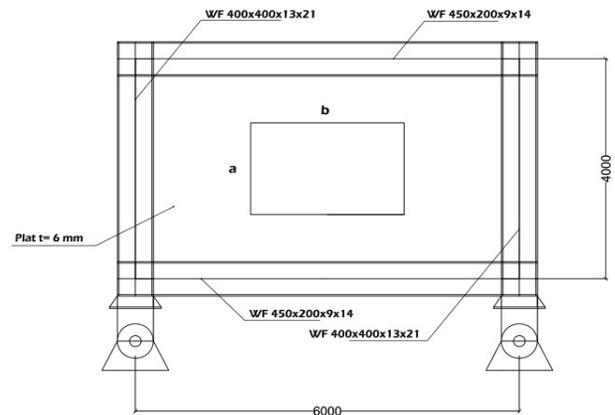
Karena dinding geser baja bergelombang dengan bagian balok tereduksi (*RBS-CSSW*) belum dimasukkan dalam ketentuan desain, oleh karena itu Jurnal ini akan membahas dan menyarankan prosedur desain mengenai *CSSW* dengan *RBS*. Perilaku *RBS-CSSW* sebagai sistem penahan beban lateral baru diselidiki, dan solusi analitik yang mempertimbangkan tegangan geser geser interaktif pada panel bergelombang diusulkan untuk memperkirakan kekuatan dinding.

Model komputasi kemudian dikembangkan untuk mempelajari dinding serta memvalidasi persamaan analitik yang diusulkan. Pada akhirnya, perilaku koneksi *RBS* dengan *SPSW* dan *CSSW* dibandingkan dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitas mereka.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa *CSSW* terhadap gaya lateral yang terjadi, mengetahui pengaruh dan persentase *wall opening* pada *CSSW* Vertikal dan Horizontal, serta pengaruh *Reduced Beam Section* pada *Corrugated Steel Plate Shear Wall*.

2. Metode

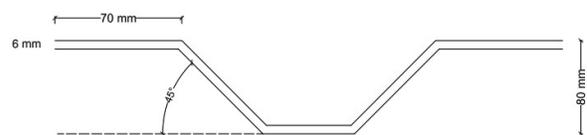
Pemodelan dilakukan dengan pembuatan portal balok-kolom dan *steel plate* di dalamnya menggunakan alat bantu *software Abaqus 6.16*. Model ini dibuat berdasarkan model yang digunakan pada penelitian Wei Wang dan Yingzi Ren di tahun 2019 [13]. Adapun set-up test yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. Set-up test ini akan kembali dimodelkan dalam penelitian ini sebagai dasar untuk pemodelan-pemodelan berikutnya.



Gambar 1. Detail Test Setup Penelitian

Gambar 1 dan **Gambar 2** akan menjelaskan spesifikasi dari model yang akan digambarkan pada program *Abaqus*, yang kemudian akan digunakan sebagai dasar perbandingan dengan penelitian yang telah ada sebelumnya. Pemilihan posisi opening yang berada di area tengah *CSSW* diambil berdasarkan penelitian dari Farzampour dan Laman [14] yang berjudul “*Behavior prediction of corrugated steel plate shear walls with openings*”.

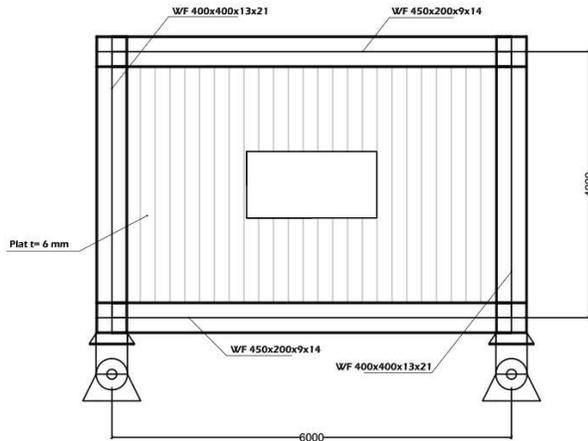
Berdasarkan dari penelitian tersebut posisi opening yang berada di area tengah *shear wall* lebih efektif dibandingkan apabila posisi *opening* berada disisi samping *shear wall*.



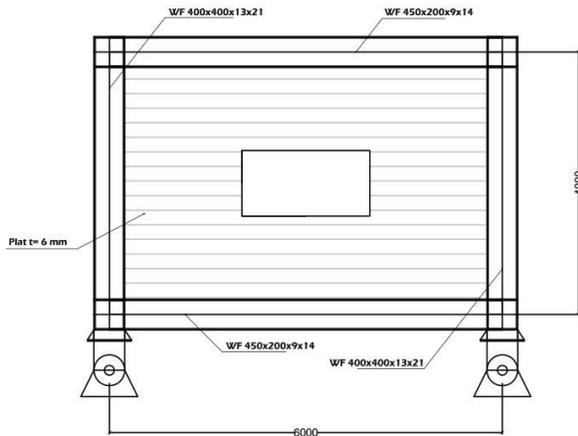
Gambar 2. Geometri Pelat Baja Bergelombang

Pada penelitian ini menggunakan 2 model spesimen yang pertama *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10% seperti pada **Gambar 3** dan yang kedua *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10% seperti pada **Gambar 4**. Setiap spesimen menggunakan *Reduced Beam Section (RBS)* pada balok di sisi atas dan bawah spesimen, seperti yang terlihat pada

Gambar 5, sehingga akan sangat mempengaruhi pola kegagalan dari *CSSW* itu sendiri. Adapun penggunaan *RBS* dimaksudkan agar *steel plate* tidak dengan segera mengalami proses *buckling* dan *tearing*, terutama di sudut *opening* pada tahap-tahap pembebanan awal.

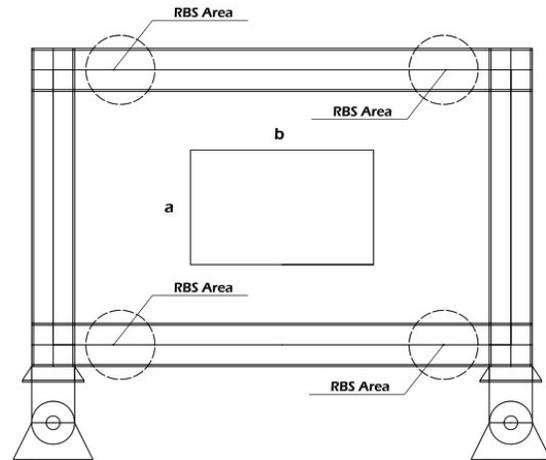


Gambar 3. *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10%

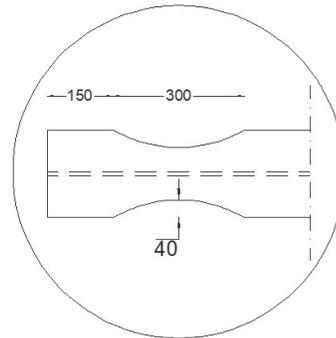


Gambar 4. *CSSW* Horisontal dengan *Opening* 10%

Adanya *RBS* memungkinkan penyebaran tegangan secara lebih merata terhadap seluruh bagian *corrugated steel plate shear wall*, sehingga setiap bagian pada *corrugated steel plate shear wall* mengalami *buckling* pada saat yang hampir bersamaan, namun tidak dalam tahap pembebanan dengan nilai yang kecil. Tegangan umumnya terkonsentrasi tepat di sisi-sisi *opening*. Namun, dengan adanya *RBS*, konsentrasi tegangan tidak terpusat pada sisi *opening* saja, melainkan juga pada *RBS* pada *VBE*-nya. Detail *Reduced Beam Section* dapat dilihat pada **Gambar 6**.

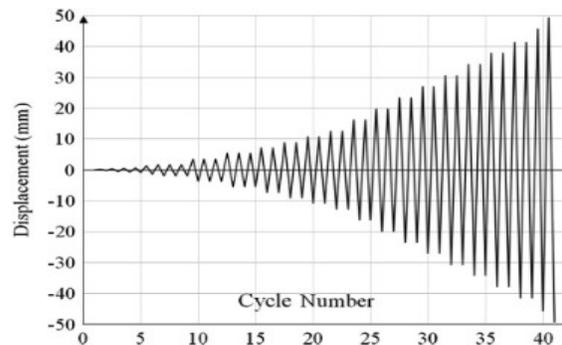


Gambar 5. Perletakan *RBS* pada *Frame*



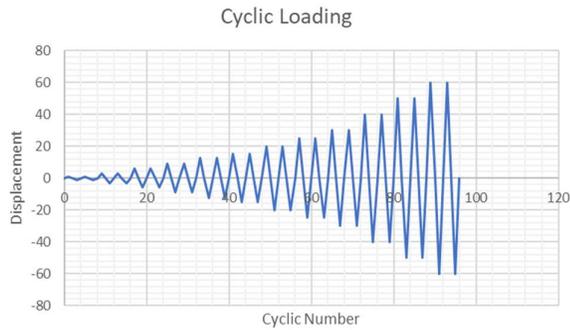
Gambar 6. Detail *Reduced Beam Section* pada *Frame*

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan kuasi statis beban siklik seperti pada **Gambar 7** sesuai dengan yang direkomendasikan oleh Teknologi Council (*ATC*) memuat protokol *ATC 24 1998* (15). Beban yang digunakan sebagai input adalah *Displacement control*, nilai yang diambil adalah nilai *displacement* dari Penelitian Ghomi dan Mamazizi [16].



Gambar 7. Grafik Pembebanan *Cyclic*

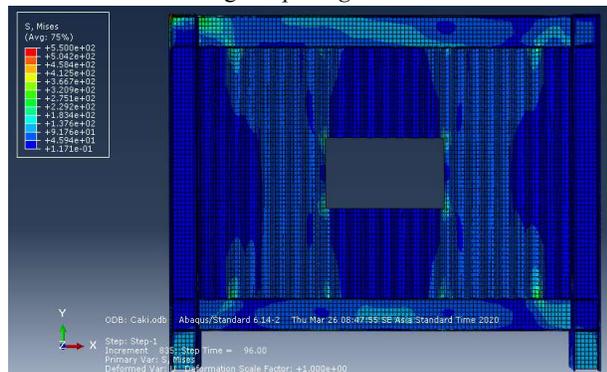
Perhitungan nilai pembebanan berdasarkan penelitian yang telah ada sebelumnya dimodelkan kembali dalam bentuk yang lebih sederhana. **Gambar 8** memperlihatkan nilai pembebanan yang telah disesuaikan dengan analisis yang akan dilakukan selanjutnya.



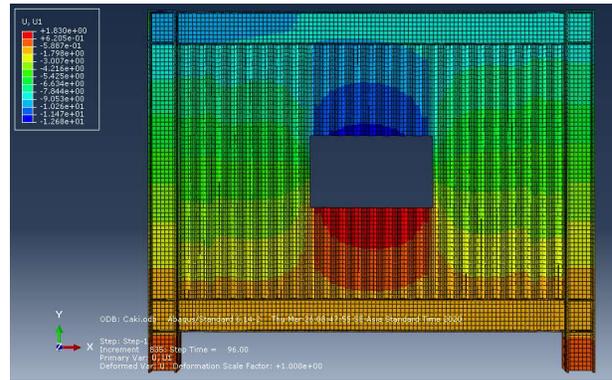
Gambar 8. *Cyclic Loading*

3. Hasil dan Pembahasan

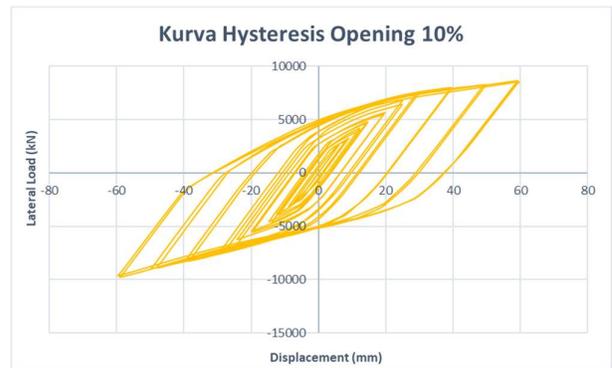
Hasil analisis yang diperoleh dari *program Finite Element Analysis* digunakan untuk mengetahui kapasitas *CSSW*, Pengaruh opening, kurva hysteresis, perilaku *boundary element*, daktilitas dan secara *economic performance*, pada masing-masing specimen. **Gambar 9** memperlihatkan pola penyebaran tegangan yang terjadi pada specimen *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10%, **Gambar 10** memperlihatkan reaksi yang terjadi pada *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10%. **Gambar 11** memperlihatkan Kurva *Hysteresis* dari *CSSW* Vertikal dengan *opening* 10%. Sedangkan untuk specimen yang kedua pola penyebaran tegangan yang terjadi pada *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10% dapat dilihat pada **Gambar 12**, dan reaksi yang terjadi pada specimen *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10% dapat dilihat pada **Gambar 13**. Untuk **Gambar 14** memperlihatkan Kurva *Hysteresis* dari specimen *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10%.



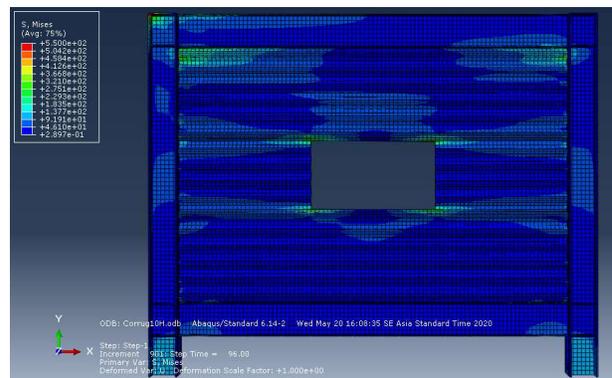
Gambar 9. Pola Penyebaran Tegangan *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10%



Gambar 10. Reaksi yang terjadi *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10%



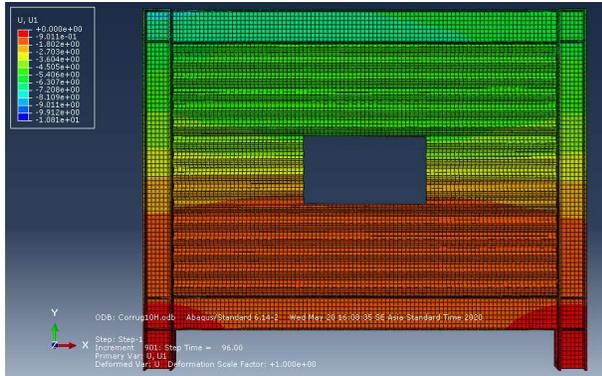
Gambar 11. Kurva *Hysteresis* *CSSW* Vertikal With *Opening* 10%



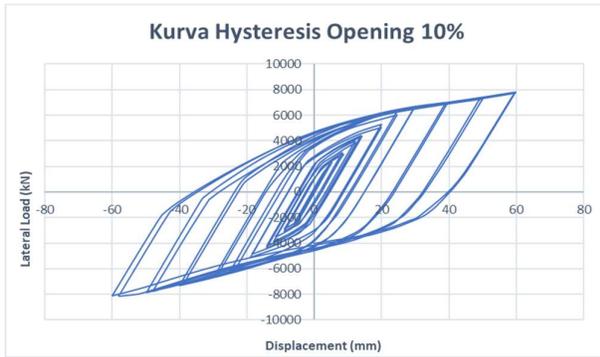
Gambar 12. Pola Penyebaran Tegangan *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10%

Dari hasil analisis *Finite Element* dengan program bantu *Abaqus 6.16*, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada specimen *CSSW* Vertikal dengan *Opening* 10% adalah 8519.93 kN dan -9797.09 kN saat *displacement* mencapai 55.82 mm dan -48.46 mm. Sedangkan untuk nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada specimen *CSSW* Horizontal

dengan *Opening* 10% adalah 7805.60 kN dan -8105.81 kN saat *displacement* mencapai 50.46 mm dan -48.94 mm.



Gambar 13. Reaksi yang terjadi *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10%



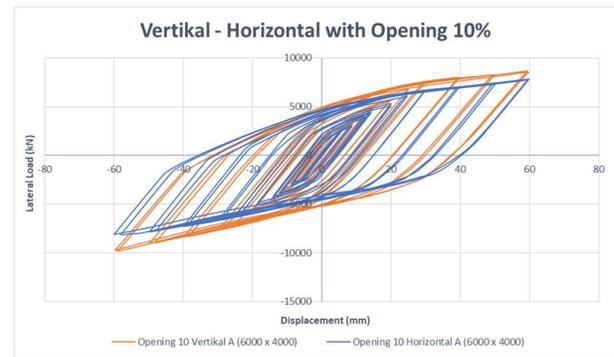
Gambar 14. Kurva *Hysteresis* *CSSW* Horizontal dengan *Opening* 10%

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Penelitian

	<i>CSSW</i>	
	Vertikal	Horizontal
Gaya Lateral (kN)		
Leleh Pertama +	2244.99	2036.61
Leleh Pertama -	2994.92	2542.11
Lateral Max +	8519.93	7805.60
Lateral Max -	9797.09	8105.81
Leleh Akhir +	7658.87	7677.13
Leleh Akhir -	8287.12	7953.84
<i>Displacement</i> (mm)		
Leleh Pertama +	3.62	3.15
Leleh Pertama -	5.15	3.17
Lateral Max +	55.82	50.46
Lateral Max -	48.46	48.94
Leleh Akhir +	59.55	59.79
Leleh Akhir -	59.05	58.04
Daktilitas	15.42	16.02
Disipasi Energi (kNm)	7857.08	7868.20

Nilai daktilitas struktur dan energi terdisipasi dari setiap spesimen perlu menjadi perhatian dalam mempertimbangkan pemilihan penggunaan metode yang tepat dalam penerapannya pada gedung bertingkat. Nilai daktilitas yang tinggi akan sangat terasa manfaatnya bila diterapkan pada gedung di daerah dengan nilai beban lateral yang tinggi. Adapun nilai daktilitas yang diperoleh dari spesimen *CSSW* Vertikal sebesar 15.42 dan 16.02 untuk spesimen *CSSW* Horizontal, sedangkan untuk nilai energi terdisipasi yang diperoleh dari spesimen *CSSW* Vertikal sebesar 7857.08 kNm dan untuk spesimen *CSSW* Horizontal sebesar 7868.19 kNm.

Rekapitulasi hasil penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**, sehingga dari tabel tersebut kita bisa melihat perbedaan grafik *hysteresis* dari kedua spesimen, seperti yang terlihat pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Grafik Gabungan *CSSW* Vertikal dan Horizontal

Beberapa hal lain yang dapat menjadi perhatian utama dalam penerapan metode dari setiap spesimen ini, yang dapat digunakan sebagai pembanding adalah perilaku *boundary element* dan pola kegagalan dari spesimen itu sendiri. Setiap spesimen menggunakan *Reduced Beam Section (RBS)* pada balok di sisi atas dan bawah spesimen, sehingga akan sangat mempengaruhi pola kegagalan dari *CSSW* itu sendiri.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis yang telah dilakukan, telah didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis menunjukkan, performa *CSSW* Vertikal dan *CSSW* Horizontal masing-masing mampu meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur.
2. *Wall Opening* pada *CSSW* sangat berpengaruh untuk meningkatkan kapasitas struktur, seperti penyebaran tegangan dan daktilitas struktur. Spesimen *CSSW* Vertikal dengan opening 10% memiliki nilai disipasi energi sebesar 7857.08 kNm. *CSSW* Horizontal dengan

opening 10% memiliki nilai energi disipasi lebih besar dari *CSSW* Vertikal dengan *opening* 10% sebesar 7868.20 kNm. Spesimen *CSSW* Vertikal dengan *opening* 10% memiliki nilai daktilitas sebesar 15.41 dan untuk *CSSW* Horizontal memiliki nilai daktilitas sebesar 16.02.

3. Persentase *opening* 10% untuk *CSSW* dapat direkomendasikan karena masih memiliki nilai daktilitas dan disipasi energi yang besar untuk menahan gaya lateral.
4. *Reduced Beam Section (RBS)* memungkinkan penyebaran tegangan secara lebih merata terhadap seluruh bagian *corrugated steel plate shear wall (CSSW)*, sehingga setiap bagian pada *CSSW* mengalami *buckling* pada saat yang hampir bersamaan. Oleh sebab itu dengan menggunakan *RBS* pada setiap balok akan sangat mempengaruhi pola penyebaran tegangan dan *failure mode* pada *steel plate* itu sendiri.

Daftar Pustaka

- [1] Patel KY, Patel. DY. "A Comparative Study of Effectiveness of Steel Plate Shear Wall Patterns In Steel Building". Kalpa Publications in Civil Engineering. 2017 September; I(502-507).
- [2] Botros RB. "Nonlinear Finite Element Analysis of Corrugated Steel Plate Shear Walls". University of Calgary. 2006 December; PRISM(456).
- [3] Y.L. Mo SFP. "Behavior of Framed Shearwalls Made of Corrugated Steel Under Lateral Load Reversals". Adv. Struct. Eng. 2000 July; III(255-256).
- [4] J. Berman MB. "Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls". J. Structural Engineering. 2003 November; 129(1448-1456).
- [5] F. Emami MM, Vafai A. "Experimental Study on Cyclic Behavior of Trapezoidally Corrugated Steel Shear Walls". Engineering Structures. 2013 March; 48(750-762).
- [6] F. Emami MM. On The Hysteretic behavior of Trapezoidally Corrugated Steel Shear Walls. Struct Des Tall Spec Build. 2014 February; 23(94-104).
- [7] Vigh LG LA, Deierlein GG ea. "Component Model Calibration for Cyclic Behavior of a Corrugated Shear Wall". Thin-Walled Struct. 2014 February; 75(53-62).
- [8] A. Farzampour MY. "On The Behaviour of Corrugated Steel Shear Walls With and Without Openings". In The 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (2ECEES); 2014; Istanbul, Turkey.
- [9] C. Yu GY. Experimental Investigation of Cold-Formed Steel Framed Shear Wall Using Corrugated Steel Sheathing with Circular Holes". J. Struct. Eng. 2016 December; 145(04016126).
- [10] Q. Zhao JSYLZL. "Cyclic Analyses of Corrugated Steel Plate Shear Walls". Struct. Des. Tall Spec. Build. 2017; 26.
- [11] S. Shon MYSL. "An Experimental Study on The Shear Hysteresis and Energy Dissipation of The Steel Frame with a Trapezoidal-Corrugated Steel Plate". Materials. 2017 March; 10(p.261).
- [12] Hoseinzadeh Asl M, Safarkhani M. "Seismic Behavior of Steel Plate Shear Wall with Reduced Boundary Beam Section". ELSEVIER Thin-Walled Structures Journal. 2017; 116(169-179).
- [13] Wei Wang YRZLea. "Experimental Study of the Hysteretic Behaviour of Corrugated Steel Plate Shear Walls and Steel Plate Reinforced Concrete Composite Shear Walls". ELSEVIER Thin-Walled Structures. 2019 September; 160(136-152).
- [14] A. Farzampour JAL. "Behavior prediction of Corrugated Steel Plate Shear Walls With Openings". Journal of Constructional Steel Research. 2015 July; 114(258-268).
- [15] ATC 24 1998. Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Steel Structures America: American Iron and Steel Institute, American Institute of Steel Construction, National Center for Earthquake Engineering Research.
- [16] Sabouri-Ghomi S, Salaheddin M. "Experimental Investigation on Stiffened Steel Plate Shear Walls with Two Rectangular Openings". ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research. 2015 July; 86(56-66).