

## Analisis Perilaku Konfigurasi Pelat Pengaku pada Sistem Struktur *Steel Plate Shear Wall* (SPSW) yang Tersambung pada Sisi *Horizontal Boundary Element* (HBE)

Haykal Wildan Tamimi El Jauhari<sup>1,\*</sup> Budi Suswanto<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [haykal.wildan@yahoo.com](mailto:haykal.wildan@yahoo.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	17 Juni 2023	<i>The Steel Plate Shearwall (SPSW) system is a structural system capable of exhibiting high initial stiffness deformation, ductile behavior, and large energy dissipation, making it appropriate to be a large earthquake-resisting system. Removing infill plate from the column can be advantageous because the possibility of initial failure occurred in the column can be minimized. In order to increase the shear force and energy dissipation, it is required to add stiffener plates to the shearwall elements. This SPSW portal uses several models of stiffener plate configurations, namely: cross-shaped and strip model. The results of the test are in the form of a hysteretic curve diagram, a plate deformation pattern, an energy dissipation capacity, and a shear force capacity. This study used the finite element method with the ABAQUS program. The results showed that the addition of stiffener plates in the TFA (tension field action) had a very significant effect on increasing the initial stiffness, increasing shear capacity and generating a great energy dissipation.</i>
Diperbaiki	25 Juli 2023	
Disetujui	27 Juli 2023	

Keywords: *steel plate shear wall, horizontal boundary element, strip model, stiffeners.*

Kata kunci: *steel plate shear wall, elemen batas horizontal, model strip, pengaku.*

### Abstrak

Sistem *Steel Plate Shear Wall* (SPSW) adalah sebuah sistem struktur yang mampu menunjukkan deformasi kekakuan awal yang tinggi, berperilaku daktail, dan mendisipasi energi yang besar, sehingga cocok menjadi sistem penahan gempa yang besar. Pelepasan pelat pengisi pada kolom dapat menguntungkan karena kemungkinan kegagalan awal yang terjadi pada kolom dapat diminimalisir. Untuk meningkatkan gaya geser dan disipasi energi maka perlu adanya penambahan pelat pengaku pada elemen shearwall. Pada portal SPSW ini akan dilakukan pengujian terhadap beberapa model konfigurasi pelat pengaku yaitu diantaranya; berbentuk cross dan strip model. Hasil pengujian yaitu berupa; diagram kurva histeresis, pola deformasi pelat, kapasitas disipasi energi dan kapasitas gaya geser akan diuji dengan metode elemen hingga dengan program bantu ABAQUS. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa penambahan pelat pengaku pada daerah TFA (*tension field action*) memiliki pengaruh yang sangat signifikan dalam meningkatkan kekakuan awal yang baik, meningkatkan kapasitas gaya geser dan menghasilkan disipasi energi yang sangat baik.

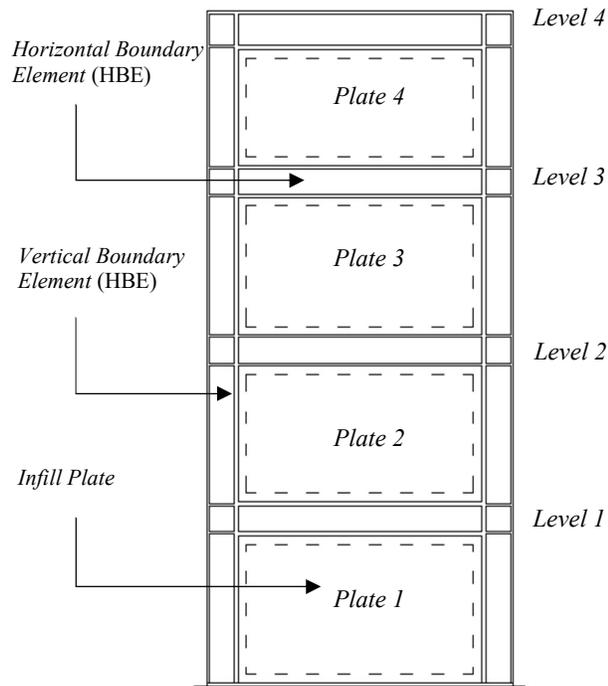
### 1. Pendahuluan

*Steel Plate Shear Wall* (SPSW) adalah sebuah sistem struktur pada gedung yang berperan dalam menahan gaya lateral, terdiri dari pelat baja (biasa disebut pelat pengisi/*infill plate*) yang terhubung ke balok dan kolom disekitarnya dan terpasang di satu atau lebih tepi sepanjang tinggi struktur untuk membentuk dinding kantilever. Pada plat baja yang terhubung pada elemen kolom biasanya disebut *Vertical Boundary Elements* (VBE), sedangkan pada pelat baja yang terhubung dengan elemen balok disebut *Horizontal Boundary Elements* (HBE). SPSW mengalami siklik inelastis yang mampu menunjukkan deformasi kekakuan awal yang tinggi, berperilaku daktail, dan mendisipasi energi yang besar. Sehingga dari karakteristik tersebut membuat sistem struktur SPSW cocok dalam menahan beban seismik[1]. Sambungan balok-ke-kolom pada sistem SPSW terdapat dua prinsip yang dapat diterapkan yaitu adalah sambungan geser sederhana dan sambungan penahan momen[2], meskipun

hanya prinsip sambungan momen yang diizinkan oleh AISC 341 untuk aplikasi seismik. Pada **Gambar 1**, dapat dilihat tipikal elemen penyusun sistem SPSW konvensional, terdiri dari *infill plate* yang tersambung pada keempat sisinya dengan elemen VBE dan HBE[3].

Kekuatan paska tarik dapat dihasilkan dari mekanisme yang disebut *tension field action* (TFA) yang membutuhkan elemen balok dan kolom yang sangat kaku untuk menahan pelat web untuk membuat terjadinya tegangan tarik diagonal untuk menahan gaya lateral. Tegangan tarik diagonal ini menyebabkan meningkatnya gaya aksial dan lentur yang signifikan pada kolom[3][4]. Pada suatu struktur gedung bertingkat tinggi, sistem SPSW konvensional ini memiliki tantangan karena akan terjadinya gaya aksial yang besar pada kolom dan kebutuhan momen yang tinggi. Untuk menciptakan solusi dari permasalahan tersebut, maka sistem struktur SPSW dimodifikasi dengan membuat *boundary element* pada balok saja, sehingga gaya aksial dan lentur yang

tinggi akibat TFA ini dapat diatasi. Studi telah dilakukan bahwa dengan membuat *boundary element* hanya terletak pada balok dapat membuat kapasitas energi yang terserap lebih besar dari pada *infill plate* yang diangkur pada elemen kolom dan elemen balok secara bersamaan[5].



**Gambar 1.** Tipikal Elemen Penyusun Sistem SPSW Umum digunakan[3].

Kekuatan paska tarik dapat dihasilkan dari mekanisme yang disebut *tension field action* (TFA) yang membutuhkan elemen balok dan kolom yang sangat kaku untuk menahan pelat web untuk membuat terjadinya tegangan tarik diagonal untuk menahan gaya lateral. Tegangan tarik diagonal ini menyebabkan meningkatnya gaya aksial dan lentur yang signifikan pada kolom[3][4]. Pada suatu struktur gedung bertingkat tinggi, sistem SPSW konvensional ini memiliki tantangan karena akan terjadinya gaya aksial yang besar pada kolom dan kebutuhan momen yang tinggi. Untuk menciptakan solusi dari permasalahan tersebut, maka sistem struktur SPSW dimodifikasi dengan membuat boundary element pada balok saja, sehingga gaya aksial dan lentur yang tinggi akibat TFA ini dapat diatasi. Studi telah dilakukan bahwa dengan membuat boundary element hanya terletak pada balok dapat membuat kapasitas energi yang terserap lebih besar dari pada *infill plate* yang diangkur pada elemen kolom dan elemen balok secara bersamaan[5]. Konfigurasi sistem SPSW yang terhubung hanya pada sisi HBE juga memiliki kelebihan yaitu menunjukkan perilaku daktilitas yang baik, dan mampu mengurangi kebutuhan

volume baja dibandingkan konfigurasi konvensional-[6][7][8][9].

Sebuah model analisis yang menggunakan strip model telah dikembangkan untuk mensimulasikan perilaku dari bidang tarik, dimana pelat pengisi dibuat dari rangkaian tarik yang berbentuk strip dengan dengan sudut diagonal yang sama sebagai bidang tarik[10][11][12].

Hingga saat ini, hanya ada sedikit penelitian eksperimental yang melaporkan tentang SPSW yang terhubung ke balok saja, dan perilaku histerisnya tidak terlalu jelas. Tidak ada panduan untuk membantu para insinyur merancang dengan SPSW semacam ini[13], sehingga pada jurnal ini dibuat untuk memudahkan para insinyur untuk mempertimbangkan dalam desain sistem struktur yang kuat dari segi struktur namun efisien dari segi biaya.

Sebuah model portal yang telah dilakukan adalah satu lantai dengan satu bentang[13]. Tinggi efektif ( $H$ ) pelat pengisi adalah 1800 mm dan lebar efektif ( $L$ ) pelat pengisi adalah 1800 mm memiliki rasio lebar portal dibanding tinggi ( $\beta$ ) = 1 dan tinggi dibanding tebal plat ( $\lambda$ ) = 500. Tebal pelat pengisi adalah 3,6 mm. Kemudian model tersebut diberi nama SPSW-0 sebagai model validasi untuk pemodelan lainnya. Detail dimensi dan material yang telah dilakukan dalam pengujian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

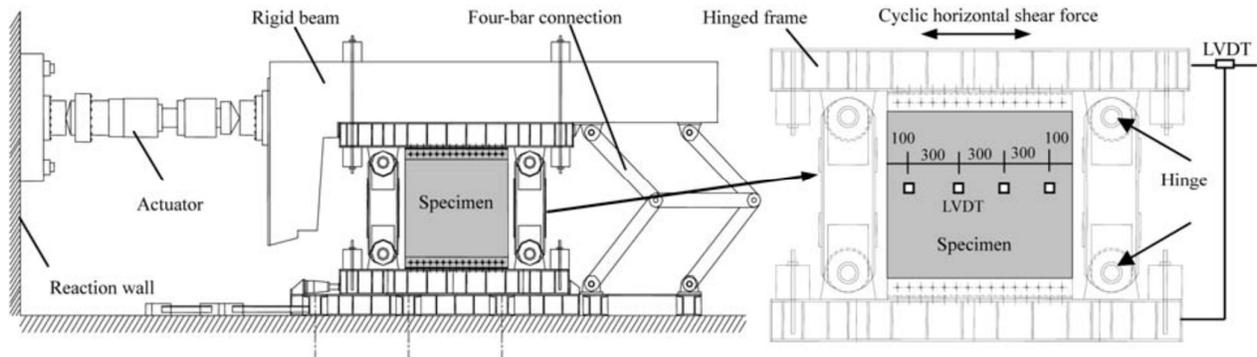
**Tabel 1.** Dimensi dan Material pada Spesimen[13]

Nama	H mm	L mm	t mm	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_y$ (%)
SPSW-0	1800	1800	3,6	345	345	30

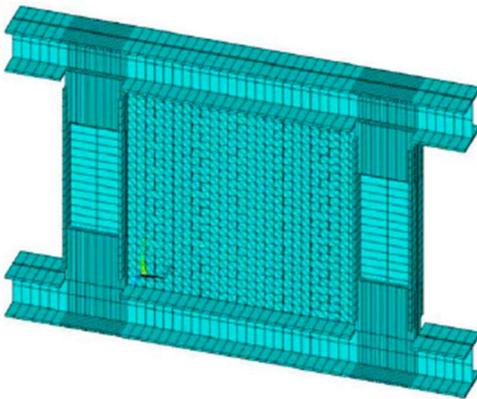
Detail pelat pengisi pada pengujian eksperimental dapat **Gambar 2**. Sambungan balok-kolom menggunakan tipe sendi yang dapat memungkinkan rotasi, hal itu dilakukan agar mengetahui kinerja dari dinding geser dalam menerima beban siklik. Pada HBE sisi atas terjepit dengan balok L dengan kekakuan yang tinggi hal ini agar menghindari kemungkinan portal untuk berdeformasi secara *out-of-plane*. Balok L dihubungkan dengan hidrolik sebagai alat untuk memberikan beban lateral. Sisi bawah HBE terjepit pada dasar lantai. Pada **Gambar 3** dapat dilihat model pengujian yang telah dilakukan oleh Guo [13].

## 2. Metode

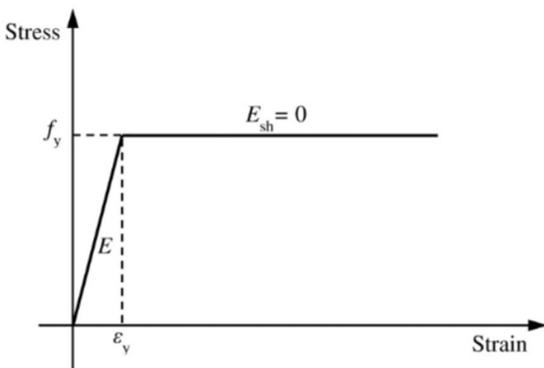
Analisis yang dilakukan menggunakan *Finite Element Methode (FEM)* dan menggunakan prosedur analisis statis non-linear berupa 3D *Shell* pada ABAQUS. Salah satu tujuan utama dari analisis ini adalah untuk memperoleh dan menganalisis nilai kurva histeris *load-displacement* dan dibandingkan antara hasil Guo, dkk. (2011) dengan hasil pemodelan numerik. Melalui perbandingan ini, validitas dan ketepatan model numerik dapat dievaluasi.



**Gambar 2.** Test Setup Model[13]



**Gambar 3.** Pemodelan Model SPSW-0[13]



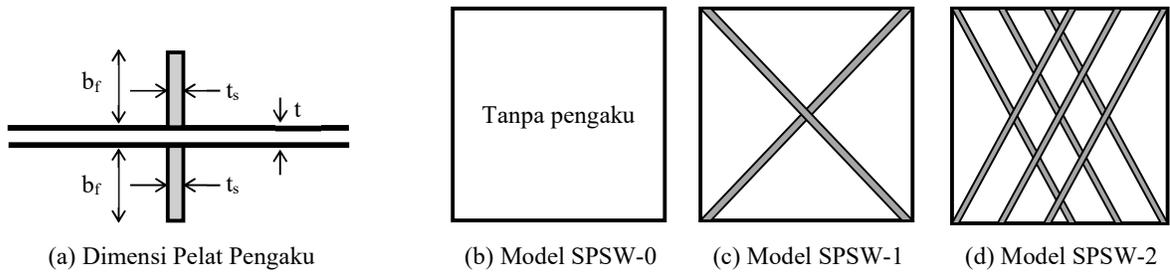
**Gambar 4.** Model Material *Elastic, Perfectly-Plastic*

Dalam simulasi ini, material baja yang digunakan direpresentasikan sebagai model linear elastis, yaitu model plastis bilinear yang telah diimplementasikan di perangkat lunak Abaqus. Kurva model material baja dapat dilihat pada **Gambar 4**. Kurva ini menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan pada material baja yang akan digunakan dalam pemodelan. Parameter yang digunakan hanya parameter dasar yaitu tegangan leleh ( $f_y$ ) 345 MPa,

tegangan *ultimate* ( $f_u$ ) 345 MPa, *Modulus Young* ( $E$ ) 200 GPa dan *Poisson ratio* ( $\nu$ ) 0,3. Parameter-parameter ini membantu mendefinisikan respons material baja terhadap beban yang diberikan dan memberikan wawasan tentang sifat mekanik material yang akan digunakan dalam simulasi pemodelan *software*.

Model SPSW-0 dimodifikasi konfigurasi pelat pengisinya menjadi 2 variasi konfigurasi yang berbeda yang disajikan pada **Gambar 5**. Pada Model SPSW-1 dan SPSW-2 lebar pelat pengaku ( $b_f$ ) adalah sama yaitu 50 mm, namun pada memiliki perbedaan pada ketebalan pelat pengaku ( $t_s$ ). Pada model SPSW-1 direncanakan  $t_s$  15 mm 1 buah pada arah tekan dan 1 buah pada arah tarik. Sementara itu, pada model SPSW-2 direncanakan memiliki ketebalan pengaku  $t_s$  5 mm masing-masing 3 buah pelat pengaku arah tekan dan 3 buah pelat pengaku pada arah tarik. Dengan demikian, kesamaan yang terdapat pada model SPSW-1 dan SPSW-2 adalah pada luasan pelat pengaku yang digunakan, meskipun terdapat perbedaan dalam jumlah dan letak ketebalan pelat pengaku. Untuk lebih memperjelas, detail dimensi dan material yang telah diuji dan digunakan dalam pengujian model SPSW-0 dalam variasi SPSW-1 dan SPSW-2 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

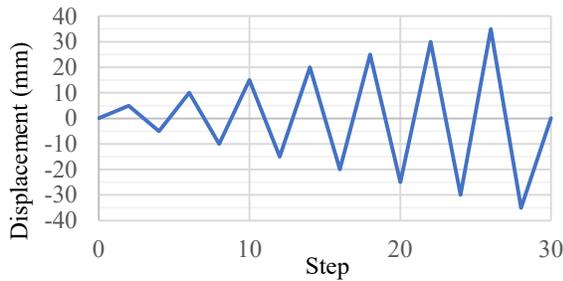
Pembebanan yang diberikan pada pemodelan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Guo dkk. (2011) menggunakan beban siklik quasi statik. Grafik pembebanan siklik yang dimasukkan pada pemodelan ABAQUS dapat dilihat pada **Gambar 6**. Selain itu, tipe model elemen padat dengan delapan node digunakan, yang dikenal sebagai *four-node quadrilateral shell elements with reduced integration and a large-strain formulation*. Dengan demikian, hasil pemodelan ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam terkait perilaku dan performa Model SPSW-0 dalam dua variasi konfigurasi pelat pengaku yang berbeda, yaitu SPSW-1 dan SPSW-2, dengan menggunakan pembebanan siklik quasi statik sesuai dengan penelitian terdahulu.



Gambar 5. Geometri Pelat Pengaku Model Modifikasi

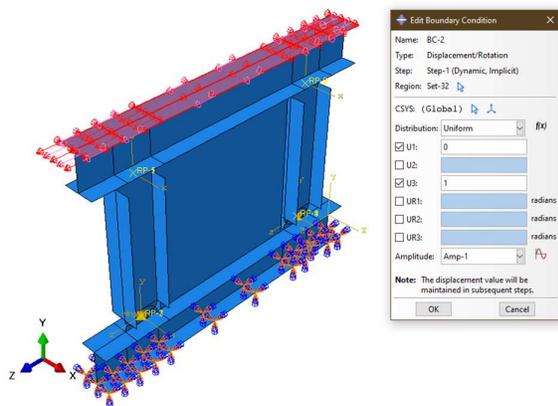
Tabel 2. Dimensi dan Material pada Model Modifikasi

Nama	Pengaku	H mm	L mm	Sudut Pengaku	t mm	$t_r$ mm	$b_f$ mm	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_y$ (%)
SPSW-0	Tanpa pengaku	1800	1800	-	3,6	-	-	345	345	20
SPSW-1	Dengan pengaku <i>Cross</i>	1800	1800	45°	3,6	15	50	345	345	20
SPSW-2	Dengan pengaku <i>Strip</i>	1800	1800	55°	3,6	5	50	345	345	20

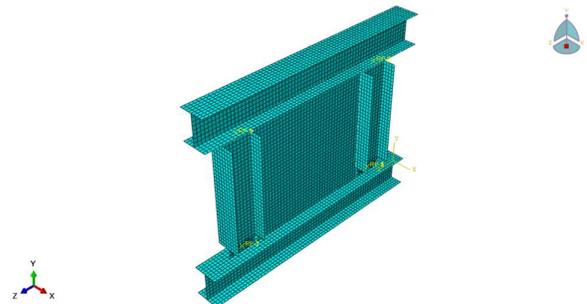


Gambar 6. Grafik Pembebanan Siklik

Ukuran mesh 25 mm × 25 mm dipilih untuk elemen shell. Dimensi profil HBE maupun VBE menggunakan dimensi yang sama yaitu H420×350×15×20. Sambungan *infill plate* dengan elemen frame diasumsikan dengan sambungan rigid, termasuk antara pelat pengaku dengan *infill plate*. Pemodelan SPSW-0 dengan program ABAQUS dapat dilihat pada Gambar 8.

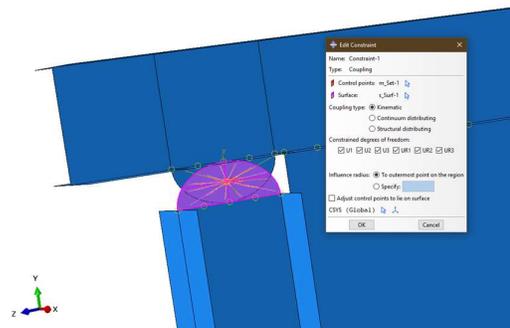


Gambar 7. Skema Pembebanan pada Pemodelan ABAQUS



Gambar 8. Pemodelan Spesimen SPSW-0 pada ABAQUS

Pada *interaction*, dimasukkan hubungan antar elemen strutur yang digunakan. Pada pemodelan, *interaction* yang digunakan adalah *tie constraint node to node* untuk menghubungkan elemen satu dengan elemen lainnya. Pada elemen *hinge*, dimasukkan dibuat titik referensi yang dihubungkan dengan node dengan tipe *constraint* berupa *coupling*, sehingga bertujuan untuk menentukan letak poros sendi yang dapat dilihat pada Gambar 9.



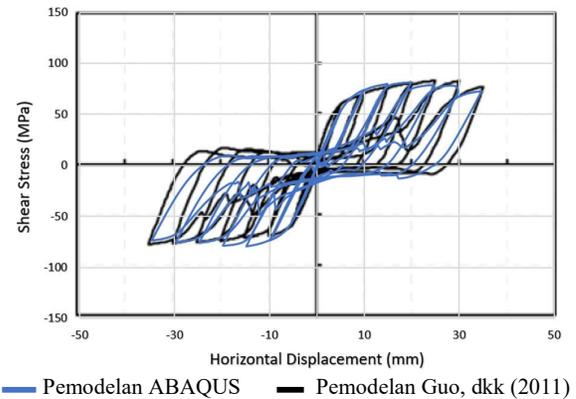
Gambar 9. Detail Hinge pada Model ABAQUS

### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk memastikan keakuratan parameter-parameter yang dimasukkan ke dalam program ABAQUS, dilakukanlah verifikasi hasil pemodelan. Verifikasi yang dilakukan adalah kemiripan kurva histeresis, dan deformasi keluar bidang antara model ABAQUS dengan jurnal. Dari hasil analisa numerik dengan program bantu ABAQUS, didapatkan hasil berupa gaya dan simpangan. Dari kedua hasil tersebut dibuat hubungan reaksi berupa kurva histeresis. Dapat dilihat pada **Gambar 10**. Diketahui hasil tegangan geser maksimum pada jurnal Guo yaitu 83,5 MPa, sementara hasil pemodelan ABAQUS didapatkan tegangan geser sebesar 82,8 MPa. Sehingga selisih hasil dari pemodelan ABAQUS dengan jurnal Guo yaitu 0,8%.

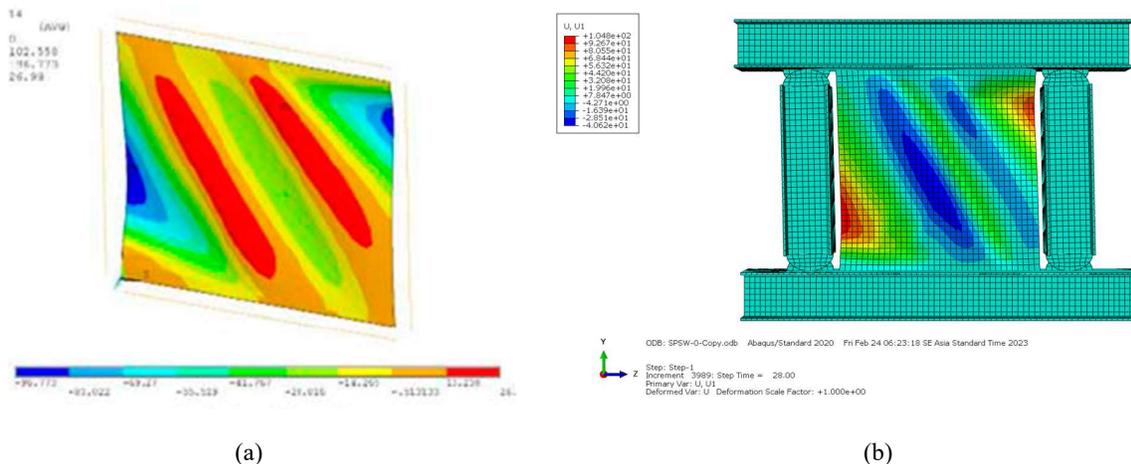
Pada model jurnal Guo diketahui deformasi keluar bidang maksimum adalah sebesar 97 mm. Nilai deformasi keluar bidang maksimum hasil pemodelan ABAQUS yaitu sebesar 104,8 mm, sehingga memiliki perbedaan sebesar 7,8 mm atau 8,04%. Meskipun memiliki perbedaan pada nilai deformasi keluar bidangnya, namun hasil kontur deformasi memiliki pola yang hampir sama antara satu dengan lainnya. Kontur deformasi portal SPSW-0 dapat dilihat pada **Gambar 11**. Sehingga didapatkan kesimpulan bahwa pemodelan dengan ABAQUS memiliki kesesuaian dengan model jurnal Guo dan

dari pemodelan itu lalu kemudian dijadikan acuan dalam pemodelan SPSW yang dengan menggunakan pengaku.



**Gambar 10.** Perbandingan Kurva Histeresis Pemodelan ABAQUS dengan Jurnal Guo, dkk (2011)

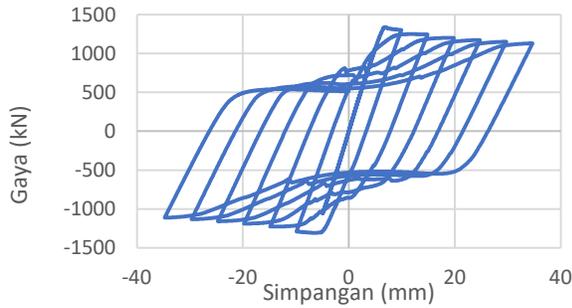
Pada model SPSW-0 saat simpangan 5 mm reaksi gaya geser yaitu sebesar 343 kN atau sebesar 65,2% dari gaya geser ultimate. Pada saat simpangan 5 mm juga terjadi *tension field action* pada pelat pengisi yang membentuk garis diagonal dari sisi ujung ke sisi ujung lainnya. Simpangan saat gaya maksimum terjadi pada saat 19,7 mm dan gaya geser sebesar 526,60 kN.



**Gambar 11.** Kontur Deformasi Keluar Bidang (a) Jurnal Guo (2011), (b) Pemodelan ABAQUS

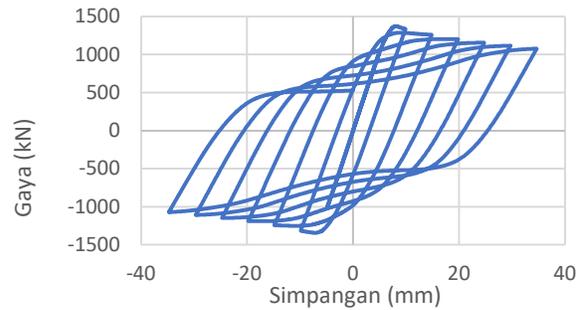
Model SPSW-1 merupakan model validasi yang dimodifikasi dengan pelat pengaku dengan tebal pelat  $t_s$  15 mm dan tinggi pelat  $h_s$  50 mm. Dari hasil analisis dengan software kapasitas geser dasar adalah 1338,04 kN pada displacement 6,9 mm, sementara leleh pertama pada model SPSW-1 terjadi pada displacement 3,75 mm dengan gaya geser sebesar 818,24 kN. Kurva histeresis model SPSW-1 dapat dilihat pada **Gambar 12**.

Hasil menunjukkan bahwa model SPSW-2 memiliki kapasitas geser terbesar dengan peningkatan sebesar 161% dibandingkan tanpa pengaku **Tabel 3**. Sedangkan model SPSW-1 menunjukkan karakteristik dengan tingkat daktilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan model lainnya. Hal ini artinya dengan meningkatkan ketebalan pelat pengaku, kekakuan awal dapat ditingkatkan, tetapi nilai daktilitas akan berkurang.

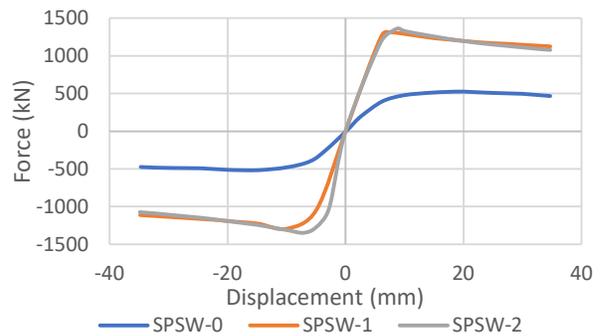


**Gambar 12.** Kurva Histeresis Model SPSW-1

Pada Portal SPSW-2 dengan pengaku berbentuk strip, gaya geser maksimum terjadi saat simpangan mencapai 8,1 mm. Sementara itu, sistem SPSW-2 dengan pengaku berbentuk strip dapat mencapai gaya geser ultimate sebesar 1372,92 kN. Pelelehan pertama pada model SPSW-2 terjadi saat simpangan mencapai 3,75 mm dengan gaya geser sebesar 784,7 kN, yang setara dengan 57% dari kapasitas geser. Kurva histeresis model SPSW-2 dapat dilihat pada **Gambar 13**. Kapasitas gaya pemodelan dilakukan perhitungan kurva *backbone*, kurva *backbone* disajikan pada **Gambar 14**. Kurva ini menggambarkan beban maksimum pada setiap tahap pembebanan. Dari kurva *backbone* tersebut, dapat disimpulkan bahwa model SPSW-2 memiliki kapasitas geser yang lebih besar daripada model SPSW lainnya. Namun, pada model SPSW-1, terlihat bahwa kekakuan awal yang dihasilkan lebih baik. Untuk rincian nilai kapasitas geser pada setiap model SPSW, dapat dilihat pada **Tabel 3**.

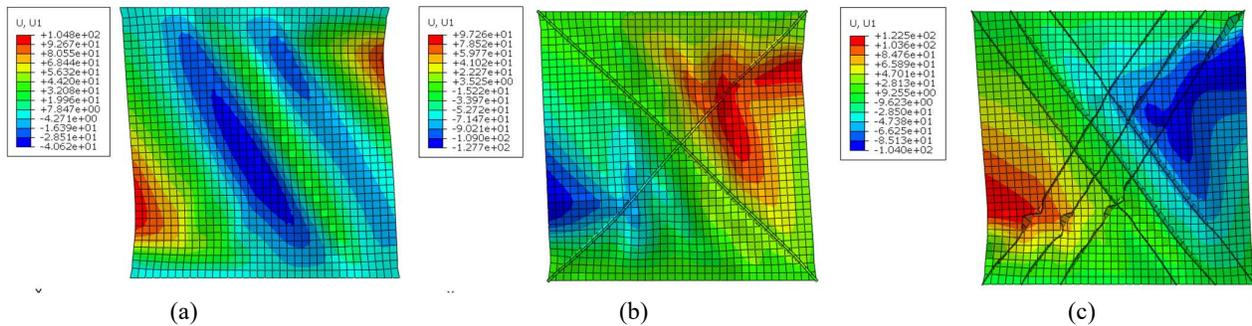


**Gambar 13.** Kurva Histeresis Model SPSW-2



**Gambar 14.** Kurva *Backbone* Model SPSW

Berdasarkan hasil pemodelan, deformasi keluar bidang pada SPSW-1 adalah yang terbesar, yaitu sebesar 127,7 mm. Sedangkan model dengan deformasi terkecil adalah pada model SPSW-0 tanpa pengaku yaitu 104,8 mm. Kontur deformasi keluar bidang maksimum pada model SPSW dapat dilihat pada **Gambar 15**.



**Gambar 15.** Deformasi Keluar Bidang pada SPSW (a) SPSW-0, (b) SPSW-1, (c) SPSW-2

**Tabel 3.** Rekapitulasi Nilai Kapasitas Geser Model SPSW

Model	Simpangan saat Leleh Pertama (mm)	Gaya Geser Saat Leleh Pertama (kN)	Simpangan saat Gaya Geser Maksimum (mm)	Gaya Geser Maksimum (kN)	Daktilitas	Peningkatan Kapasitas Geser
SPSW-0	5	343,30	19,7	526,603	3,9	0%
SPSW-1	3,75	818,24	6,9	1338,04	1,8	154%
SPSW-2	3,75	784,70	8,10	1372,92	2,2	161%

Energi disipasi dihitung menggunakan luasan yang berada pada loop histeresis. Dapat dilihat pada **Tabel 4** bahwa model SPSW-1 memiliki disipasi energi yang paling besar dibandingkan dengan model lainnya. Model SPSW-1 merupakan model SPSW yang dilengkapi dengan pengaku berbentuk X. Meskipun model SPSW-2 memiliki kapasitas geser terbesar, namun jumlah gaya yang dapat diserap oleh sistem tersebut lebih kecil sebesar 8,6% dibandingkan dengan model SPSW-1.

**Tabel 4.** Disipasi Energi Setiap Model SPSW

Model	Disipasi Energi N.m	Peningkatan terhadap SPSW-0
SPSW-0	29.668,0	0%
SPSW-1	86.675,5	292%
SPSW-2	79.831,6	269%

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

Hasil perbedaan grafik kurva histeresis antara jurnal dengan pemodelan ABAQUS adalah selisih 0,8%. Dari mode deformasi out-of-plane, pemodelan dengan menggunakan ABAQUS mengalami selisih 8,04%.

Dengan menambahkan pelat pengaku pada steel plate yang terhubung pada HBE, khususnya pada area TFA, terjadi peningkatan kapasitas gaya geser dasar, dan disipasi energi yang sangat baik. Pada model SPSW-2, yang menggunakan pengaku berbentuk strip dengan sudut 55°, terjadi peningkatan kapasitas geser sebesar 161%.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. S. Lubell, et al, "Performance of Unstiffened Steel Plate Shear Walls Under Cyclic Quasi-Static Loading," *Journal of Structural Engineering*, vol.126, no. 4, Apr. 2000.
- [2] S. J. Chen and C. Jhang, "Experimental study of low-yield-point steel plate shear wall under in-plane load," *J Constr Steel Res*, vol. 67, no. 6, pp. 977–985, Jun. 2011.
- [3] J. W. Berman and M. Bruneau, "Capacity Design of Vertical Boundary Elements in Steel Plate Shear Walls", *Engineering Journal*, American Institute of Steel Construction, Vol. 45, 2008.
- [4] B. Qu, M. Asce, and M. Bruneau, "Capacity Design of Intermediate Horizontal Boundary Elements of Steel Plate Shear Walls", *Journal of Structural Engineering*, vol. 136, 2010.
- [5] Y. Zhang and X. Zhan, "Study on Seismic Behavior of Steel Frame-Steel Shear Wall with Assembled Two-Side Connections," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2019, 2019.
- [6] Y. Ozelik and P. M. Clayton, "Strip model for steel plate shear walls with beam-connected web plates," *Engineering Structures*, vol. 136, pp. 369–379, Apr. 2017.
- [7] C. Vatansever and N. Yardimci, "Experimental investigation of thin steel plate shear walls with different infill-to-boundary frame connections," *Steel and Composite Structures*, vol. 11, no. 3, pp. 251–271, 2011.
- [8] P. M. Clayton, "Self-Centering Steel Plate Shear Walls: Subassembly and Full-Scale Testing."
- [9] M. Wang, X. Zhang, L. Yang, and W. Yang, "Cyclic performance for low-yield point steel plate shear walls with diagonal T-shaped-stiffener," *J Constr Steel Res*, vol. 171, Aug. 2020.
- [10] Y. Ozelik, "Expeditious strip model for steel plate shear walls with beam-connected web plates," *J Constr Steel Res*, vol. 184, Sep. 2021.
- [11] Lanhui Guo, Ran Li, and Guirong Yan, "Hysteretic Analysis of Steel Plate Shear Walls (SPSWs) and A Modified Strip Model for SPSWs", *Advances in Structural Engineering*, vol. 15, no. 10, Feb. 2012.
- [12] J. J. Shishkin, R. G. Driver, M. Asce, and G. Y. Grondin, "Analysis of Steel Plate Shear Walls Using the Modified Strip Model", *Journal of Structural Engineering*, vol. 135, no.11, Nov. 2009.
- [13] L. Guo, Q. Rong, X. Ma, and S. Zhang, "Behavior of steel plate shear wall connected to frame beams only," *International Journal of Steel Structures*, vol. 11, no. 4, pp. 467–479, Dec. 2011.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**