

Studi Eksperimental Perilaku Dinding Geser Pelat Baja Tebal 1 Mm Dengan Konfigurasi Perforasi Lurus Akibat Pembebanan Siklik

Reska Af Delina¹, Sabril Haris^{2*}, Rendy Thamrin³, Nidiasari⁴

^{1,2,3,4} Program Studi S2 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

Jl. Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, 25175

E-mail: reskaafdelina@gmail.com, sabril.haris@eng.unand.ac.id, rendythamrin@eng.unand.ac.id, nidia@eng.unand.ac.id

*Corresponding Author: Sabril Haris

E-mail : sabril.haris@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Struktur baja banyak digunakan dalam dunia konstruksi sebagai salah satu sistem struktur tahan gempa karena memiliki kekuatan, daktilitas, serta kemampuan penyerapan energi yang tinggi, sehingga mampu mengurangi risiko keruntuhan bangunan. Karakteristik tersebut menjadikan struktur baja sangat sesuai diterapkan pada wilayah dengan tingkat aktivitas seismik yang tinggi. Salah satu sistem struktur baja yang mengalami perkembangan signifikan adalah dinding geser pelat baja (SPSW), yang berperan sebagai elemen utama dalam menahan gaya lateral pada bangunan bertingkat menengah hingga tinggi. Sistem ini menawarkan keunggulan berupa kekakuan lateral yang besar, struktur yang lebih ringan, serta efisiensi dalam proses konstruksi jika dibandingkan dengan sistem dinding geser berbahan beton bertulang. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis kinerja dari dinding geser pelat baja (SPSW) yang diberi lubang dengan konfigurasi lurus dibawah pembebanan siklik dengan meninjau perilaku struktur dan jumlah energi yang diserap selama pembebanan berulang. Pengujian dilakukan secara eksperimental pada benda uji P1S.65.25 berupa pelat baja tebal 1 mm dengan konfigurasi perforasi lurus 5×5 berdiameter 65 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji mengalami tekuk awal (*initial buckling*) dan fase *post-buckling* dengan mekanisme tarik diagonal (*tension field action*) yang menandakan kestabilan struktur hingga mencapai kondisi *ultimate*. Kurva histeresis menunjukkan bentuk yang lebar dan simetris, menandakan kemampuan struktur dalam mendisipasi energi secara efektif selama pembebanan berulang. Secara keseluruhan, konfigurasi perforasi lurus pada benda uji ini menunjukkan perilaku struktur yang stabil dan kapasitas disipasi energi yang baik, sehingga berpotensi diterapkan sebagai elemen penahan gaya lateral pada sistem struktur baja tahan gempa.

Kata Kunci: Dinding Geser Pelat Baja, Perilaku Struktur, Siklik, Energi Disipasi,

ABSTRACT

Steel structures are widely used in construction as one of the earthquake-resistant structural systems due to their high strength, ductility, and energy absorption capacity, which help reduce the risk of building collapse. These characteristics make steel structures highly suitable for application in regions with high seismic activity. Among the various steel structural systems, the Steel Plate Shear Wall (SPSW) has been extensively developed as a key element for resisting lateral loads in medium- and high-rise buildings. This system offers advantages such as high lateral stiffness, lighter structural weight, and greater construction efficiency compared to reinforced concrete shear wall systems. The objective of this research is to investigate the performance of a perforated SPSW with a straight hole arrangement subjected to cyclic loading, emphasizing its structural behavior and the amount of energy dissipated during repeated loading cycles. Experimental testing was carried out on specimen P1S.65.25, consisting of a 1 mm thick steel plate with a 5×5 straight perforation pattern of 65 mm diameter. The results show that the specimen experienced initial buckling followed by a post-buckling phase with a diagonal tension field mechanism, indicating structural stability up to the ultimate condition. The hysteresis curve exhibited a wide and symmetrical shape, indicating the structure's effective ability to dissipate energy during cyclic loading. Overall, the straight perforation configuration demonstrated stable structural behavior and high energy dissipation efficiency, suggesting its potential application as a lateral load-resisting element in earthquake-resistant steel structural systems.

Keywords: Steel Plate Shear Wall, Structural Behavior, Cyclic Loading, Energy Dissipation

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang konstruksi modern, baja banyak dipilih sebagai material struktural utama karena memiliki kekuatan tinggi, ketangguhan yang baik, serta sifat daktil yang memungkinkannya mengalami deformasi besar tanpa mengalami penurunan kapasitas secara signifikan. Sifat-sifat tersebut berkontribusi penting terhadap ketahanan struktur terhadap beban gempa, khususnya pada wilayah dengan intensitas seismik tinggi [1], [2]. Selain itu, baja memiliki kemampuan mendisipasi energi melalui deformasi plastis dan perilaku histeresis yang stabil, sehingga dapat mengurangi risiko keruntuhan mendadak ketika bangunan mengalami beban gempa berulang [3].

Berbagai sistem struktur penahan gaya lateral telah dikembangkan pada konstruksi baja untuk meningkatkan ketahanan terhadap beban dinamis, seperti *Moment Resisting Frame* (MRF), *Concentrically Braced Frame* (CBF), *Eccentrically Braced Frame* (EBF), *Buckling Restrained Braced Frame* (BRBF), dan *Steel Plate Shear Wall* (SPSW) [4]. Di antara sistem tersebut, SPSW merupakan sistem yang efektif karena memberikan kekakuan lateral yang tinggi, bobot struktur yang relatif ringan, kemampuan disipasi energi yang baik, serta kinerja yang stabil selama pembebanan siklik [5].

Sistem *Steel Plate Shear Wall* bekerja menahan beban lateral melalui pelat baja tipis sebagai elemen penahan geser dan elemen batas berupa kolom serta balok sebagai *vertical boundary elements* (VBE) dan *horizontal boundary elements* (HBE). Ketika struktur mengalami pembebanan lateral berulang, pelat baja umumnya mengalami tekuk elastis pada tahap awal, kemudian berkembang menjadi mekanisme *tension field action*, yaitu terbentuknya bidang tegangan tarik diagonal yang berperan dalam menahan dan mendistribusikan gaya geser secara efektif ke elemen batas dan rangka sekitarnya. Penelitian terkini menunjukkan bahwa pembentukan bidang tegangan tarik ini dipengaruhi oleh rasio aspek pelat, kekakuan elemen batas, serta perkembangan retak awal pada pelat, yang secara keseluruhan berkontribusi terhadap peningkatan daktilitas dan kemampuan disipasi energi sistem SPSW dalam kondisi inelastic [6], [7].

Perforasi pada pelat baja merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengurangi berat struktur, meningkatkan efisiensi penggunaan material, serta memberikan ruang bagi integrasi utilitas tanpa mengorbankan fungsi struktural utama. Namun demikian, jumlah, bentuk, dan pola perforasi memiliki pengaruh signifikan terhadap kapasitas geser dan perilaku seismik sistem *Steel Plate Shear Wall* (SPSW). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rasio atau persentase perforasi umumnya menurunkan kapasitas geser pelat baja akibat berkurangnya luas efektif bidang tegangan tarik. Meskipun demikian, pola perforasi yang dirancang dengan konfigurasi teratur, seperti tata letak elips atau pola zigzag yang simetris, mampu mempertahankan bahkan meningkatkan kemampuan disipasi energi dan stabilitas histeresis melalui mekanisme tegangan tarik diagonal yang lebih terkendali [8], [9]. Hasil uji eksperimental oleh [10] menunjukkan bahwa pola perforasi simetris pada SPSW mampu mempertahankan kapasitas geser dan

meningkatkan disipasi energi saat mengalami pembebanan siklik.

Pada pengujian pembebanan siklik, energi yang didisipasikan oleh struktur dalam satu siklus setara dengan energi yang dihasilkan dari kerja gaya tekan dan tarik yang terjadi secara bergantian selama proses pembebanan. Luas area di bawah kurva hubungan antara beban dan perpindahan menunjukkan besarnya energi yang diserap oleh elemen struktur selama proses deformasi berulang [11].

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa konfigurasi perforasi lurus pada *Steel Plate Shear Wall* (SPSW) berperan penting dalam mengatur keseimbangan antara kekakuan struktur dan kemampuan disipasi energi. Walaupun perforasi mengurangi luas efektif pelat, penataan lubang yang teratur mampu mempertahankan mekanisme *tension field action* yang dominan dalam menahan gaya geser. Pendekatan ini dinilai efisien untuk mengoptimalkan berat struktur tanpa mengorbankan kapasitas seismik sistem [12]. Bentuk dan jarak antar perforasi berpengaruh langsung terhadap pola tegangan dan kapasitas geser SPSW. Model elemen hingga memperlihatkan bahwa jarak lubang yang seragam pada konfigurasi lurus menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan mengurangi konsentrasi tegangan di sekitar tepi lubang. Dengan demikian, pelat mampu mempertahankan perilaku histeresis yang stabil meskipun terjadi degradasi kekuatan akibat pembebanan siklik berulang [13].

Selain bentuk lubang, interaksi antara pelat dan elemen batas menjadi faktor penting dalam menentukan efisiensi sistem SPSW berlubang. Studi eksperimental menunjukkan bahwa sambungan balok-kolom yang kaku serta penambahan pelat pengaku lokal dapat meningkatkan penyerapan energi selama proses pembebanan. Hal ini terjadi karena pembentukan bidang tegangan tarik diagonal yang lebih merata, menghasilkan kurva histeresis yang lebih penuh dan peningkatan energi disipasi kumulatif [14].

Analisis parametrik menunjukkan bahwa rasio aspek pelat dan rasio luas perforasi merupakan dua parameter dominan yang menentukan kekuatan serta daktilitas SPSW. Semakin besar rasio perforasi, kapasitas geser menurun secara signifikan, sedangkan pelat dengan rasio perforasi rendah menunjukkan deformasi plastis yang lebih stabil. Temuan ini menegaskan perlunya keseimbangan antara jumlah lubang dan ketebalan pelat agar performa seismik tetap optimal [15].

Kajian numerik lebih lanjut mengungkapkan bahwa orientasi perforasi terhadap arah tegangan tarik diagonal juga berpengaruh terhadap kapasitas deformasi inelastik. Pelat dengan lubang sejajar arah tegangan tarik diagonal menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap deformasi besar dan mampu menjaga fungsi penahan gaya lateral pada fase *post-buckling* [16].

Untuk mendukung penerapan desain struktur berbasis kinerja, beberapa peneliti telah mengembangkan model empiris dan rumus praktis guna memprediksi kapasitas geser ultimit serta kemiringan bidang tegangan tarik pada SPSW berlubang. Model tersebut memungkinkan estimasi energi disipasi total tanpa perlu pengujian eksperimental berskala besar, sehingga dapat menjadi dasar dalam perancangan SPSW dengan konfigurasi perforasi lurus pada beban siklik [17].

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kinerja dinding geser pelat baja (SPSW) dengan pola perforasi lurus ketika dikenai pembebanan siklik. Kajian difokuskan pada respon perilaku strukturnya serta kemampuan dalam menyerap dan mendisipasikan energi selama berlangsungnya deformasi, sehingga dapat menjadi acuan dalam

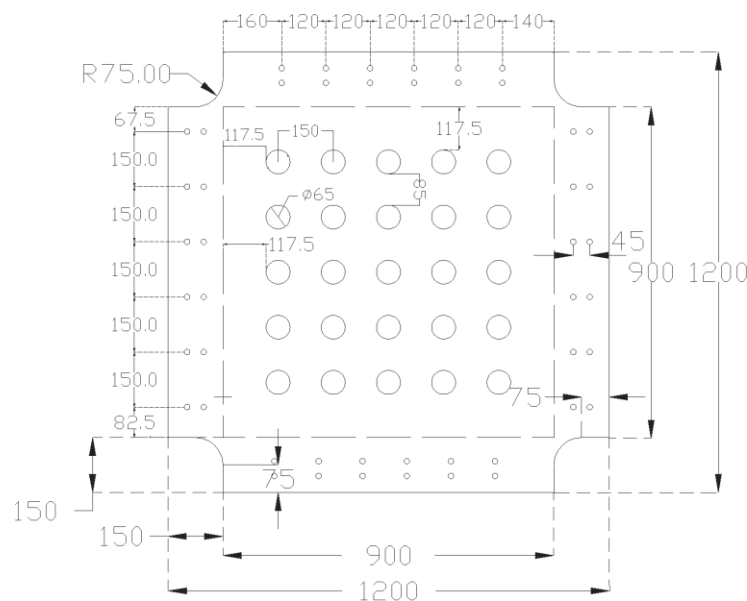
pengembangan rancangan SPSW yang lebih optimal dan tahan terhadap pengaruh gempa.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental untuk benda uji yang telah dirancang sebelumnya. Proses pengujian dilaksanakan secara langsung di Laboratorium Material dan Struktur, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.

Permodelan Benda Uji

Model benda uji dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Benda Uji dengan Perforasi 10,25% dan Diameter 65 mm (5x5 Perforasi)

Benda uji berupa pelat baja ketebalan 1 mm, perforasi lurus konfigurasi 5x5, dan diameter 65 mm dengan persentase luasan perforasi terhadap luasan pelat sebesar 10,25%. Untuk memudahkan identifikasi, spesimen tersebut diberi kode P1S.65.25. Pelat baja yang telah dibuat sesuai desain rencana kemudian diberi cat warna putih. Pengecatan dilakukan untuk mempermudah observasi area pelat yang mengalami deformasi selama proses pengujian sebelum dipasang pada rangka (*frame*) pengujian.

Arti kode penamaan benda uji:

P1S.65.25

P = Pelat Baja/ *Steel Plate*
1 = Tebal Plat Baja/ *Plate thickness (mm)*

S = Lurus/ *Straight*
65 = Diameter lubang/ Perforasi (mm)
25 = Jumlah Lubang/ Perforasi

Pemodelan Frame Pengujian Dinding Geser Pelat Baja

Pelat baja yang telah selesai dibuat kemudian dilakukan pemasangan pada frame menggunakan baut berdasarkan jumlah dan posisi lubang baut yang telah ditentukan pada desain. Frame dirancang mengacu pada ketentuan AISC 341-16 dengan kondisi tumpuan sendi, serta berfungsi sebagai media penyalur beban selama pengujian. Setiap panel dikelilingi oleh rangka kaku dan dihubungkan dengan sambungan pin, kemudian diberikan pembebanan geser bolak-balik dalam beberapa siklus. Balok yang digunakan merupakan profil baja tipe WF berukuran 300 mm × 300 mm × 13 mm × 20 mm. Selain itu, sling baja digunakan untuk menjaga posisi pelat agar

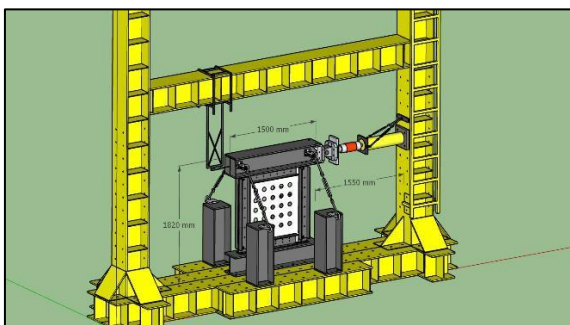
tetap stabil dan tidak mengalami kemiringan saat pembebanan. Adapun konfigurasi frame dinding geser pelat baja ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Frame Dinding Geser Pelat Baja

Prosedur Pengujian dan Loading Protocol

Setting-up penempatan posisi benda uji dan perletakan *frame*/rangka dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.

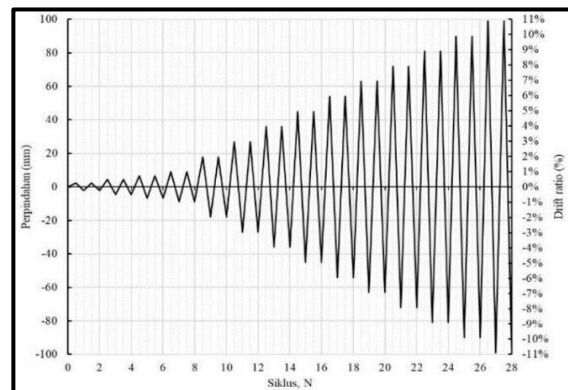


Gambar 3. Setting Up Benda Uji Steel Plate Shear Wall

Aktuator ditempatkan pada ketinggian sekitar 1.630 mm dari permukaan loading frame untuk mensimulasikan beban lateral. Proses pemasangan dilakukan menggunakan forklift guna bantuan mempermudah pengangkatan dan penempatan aktuator pada posisi yang telah ditentukan. Benda uji diberi beban menggunakan aktuator hidrolik berkapasitas 500 kN dengan kemampuan perpindahan maksimum sebesar 100 mm yang dihubungkan dengan pelat baja menggunakan sambungan pin untuk memastikan transfer gaya berlangsung optimal. Pergerakan pelat baja dimonitor menggunakan *Linear Variable Differential Transformer* (LVDT) yang terpasang pada aktuator dan terhubung ke sambungan balok bagian atas. Seluruh perangkat pengukuran, termasuk LVDT dan load cell, diintegrasikan dengan data logger untuk merekam perubahan gaya dan perpindahan selama proses pengujian berlangsung.

Pembebanan dilakukan dengan pola pembebanan bolak-balik secara bertahap sesuai protokol pembebanan. Pengujian dikendalikan

berdasarkan kontrol perpindahan mengacu pada *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC 341-16). Siklus awal dimulai dengan drift ratio 0,25% yang kemudian meningkat 0,25% hingga siklus ke-4. Selanjutnya, pada siklus ke-5 sampai dengan siklus ke-14 peningkatan drift ratio sebesar 1%. Setiap siklus pembebanan dilaksanakan dua kali, yaitu siklus A dan B. Rincian urutan siklus pembebanan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Loading Protocol untuk Pengujian

Setelah benda uji menerima pembebanan siklik, dilakukan pengamatan terhadap deformasi maupun kerusakan yang muncul pada pelat baja. Selain itu, hubungan antara perpindahan dan beban yang terjadi selama proses pembebanan juga dianalisis dari kurva hasil pengujian. Pengujian dihentikan ketika pelat mengalami keruntuhan (*fracture*), yang ditunjukkan oleh kerusakan signifikan atau kemampuan menahan beban yang menurun secara nyata dibandingkan siklus sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

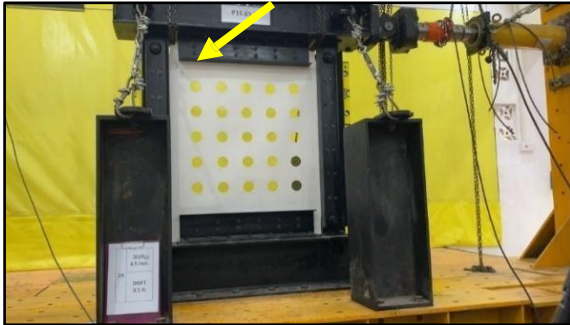
Setelah pengujian eksperimental dilakukan pada benda uji dengan penerapan beban siklik dari siklus ke-1 hingga siklus ke-14 dan dilakukan observasi/ pengamatan selama proses pengujian, diperoleh hasil berupa perilaku struktur/ *respons* benda uji dan besar energi disipasi yang dihasilkan pada benda uji.

Pengamatan Perilaku Benda Uji



Gambar 5. Kondisi Benda Uji P1S.65.25 pada Tahap Awal

Pada tahap awal pembebanan, benda uji berada pada kondisi elastis linier, di mana respons material bersifat proporsional terhadap beban yang diterapkan. Artinya, peningkatan beban akan diikuti oleh peningkatan perpindahan atau deformasi, dan ketika beban dilepaskan, material akan kembali ke bentuk semula tanpa menghasilkan deformasi permanen maupun kerusakan.

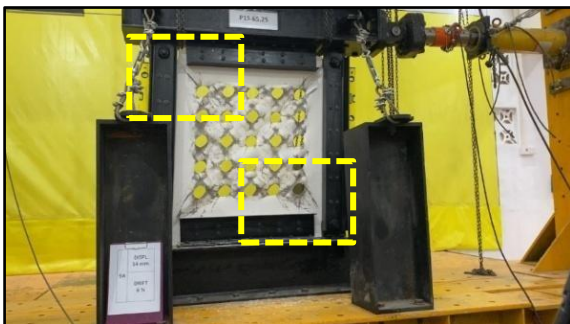


Gambar 6. Kondisi Benda Uji P1S.65.25 pada Siklus 2A

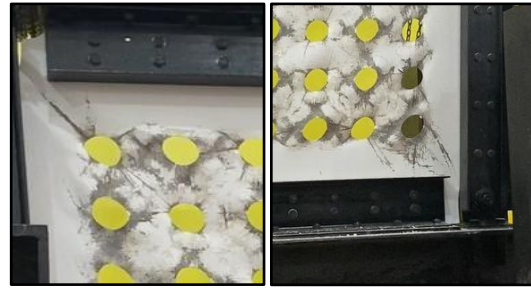


Gambar 7. Tekuk Awal Benda Uji P1S.65.25 pada Siklus 2A

Pada siklus 2A (drift 0,5%) mulai terlihat indikasi tekuk awal (*initial buckling*) dengan munculnya garis diagonal yang ditandai dengan cat yang terkelupas pada sudut kiri atas pelat (Gambar 7). Fenomena ini menunjukkan bahwa pelat telah mengalami deformasi awal.



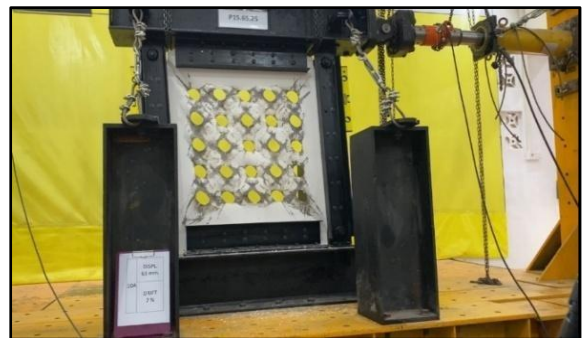
Gambar 8. Kondisi Benda Uji P1S.65.25 pada Siklus 9A



Gambar 9. Pola Deformasi Sisi Diagonal Benda Uji P1S.65.25 pada Siklus 9A

Seiring bertambahnya siklus pembebanan, pelat terus mengalami deformasi secara bertahap. Pada siklus 9A (drift sekitar 4%), deformasi semakin berkembang dengan terbentuknya pola tarik diagonal (*tension field*) di sepanjang sisi diagonal pelat. Selain itu, mulai tampak robekan (*tearing*) di area lubang bagian bawah (Gambar 8). Hal ini menunjukkan bahwa struktur telah memasuki fase *post-buckling*, di mana mekanisme tarik-diagonal berperan dalam menahan beban setelah terjadi tekuk awal.

Material mengalami peningkatan deformasi, yang ditunjukkan oleh semakin luasnya area terkelupasnya cat pada permukaan pelat seiring dengan bertambahnya beban dan perpindahan pada setiap siklus pembebanan yang diterapkan. Pada siklus 10A, deformasi pelat semakin meluas di sekitar area perforasi bagian kanan atas. Hal serupa terjadi pada siklus 10B, baik pada arah dorong maupun tarik, di mana pola robekan semakin bertambah di sekitar lubang bagian kiri atas dan kanan bawah. Meskipun deformasi cukup besar, struktur belum mengalami kegagalan total dan masih mampu mempertahankan stabilitas beban.



Gambar 10. Kondisi Benda Uji P1S.65.25 pada Siklus 10A

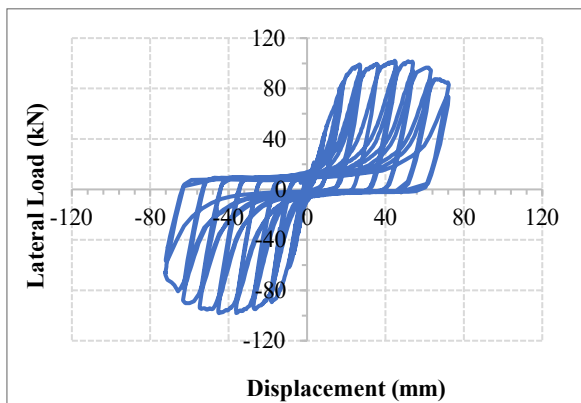
Kerusakan signifikan mulai terlihat pada siklus 11A, ditandai dengan robekan yang lebih besar di area sudut kiri dan kanan atas pelat, menunjukkan terjadinya degradasi kekakuan. Pola deformasi diagonal semakin jelas, dan pelat menunjukkan penurunan kemampuan dalam menahan beban berulang. Pada siklus 11B, robekan meluas menjadi

patahan kontinu pada area perforasi, menandakan bahwa pelat telah mengalami keruntuhan lokal (local failure), sehingga pengujian dihentikan.



Gambar 11. Kondisi Benda Uji P1S.65.25 pada Tahap Akhir (Kondisi Fraktur)

Energi Disipasi



Gambar 12. Kurva Histeresis Benda Uji P1S.65.25

Kurva histeresis pada Gambar 12. menunjukkan hubungan antara gaya lateral (lateral load) dan perpindahan lateral (displacement) yang terjadi selama proses pembebanan siklik bolak-balik pada benda uji. Kurva ini menggambarkan perilaku inelastis struktur terhadap pembebanan berulang serta kemampuan spesimen dalam menyerap dan mendisipasikan energi selama proses pengujian.

Pada tahap awal pembebanan, kurva terlihat sempit dan cenderung linear, yang menandakan bahwa benda uji masih berada pada fase elastis. Pada fase ini, gaya dan perpindahan masih berbanding lurus, dan struktur mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Kekakuan awal struktur (initial stiffness) pada tahap ini masih tinggi dan relatif konstan, sehingga energi yang tersimpan sepenuhnya merupakan energi elastik, dengan nilai energi disipasi yang masih sangat kecil.

Seiring meningkatnya beban dan terjadinya siklus pembebanan berulang, kurva mulai melebar dan membentuk loop histeresis yang lebih besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur telah memasuki fase plastis, di mana terjadi deformasi permanen pada pelat baja akibat regangan plastis

yang terus berkembang. Luas area di dalam loop histeresis merepresentasikan jumlah energi yang diserap dan didisipasikan oleh struktur pada setiap siklus pembebanan. Semakin besar luas area tersebut, semakin besar pula kemampuan struktur dalam menyerap energi dari gaya berulang. Hal ini menandakan bahwa benda uji memiliki kemampuan disipasi energi yang baik, yang merupakan salah satu parameter penting dalam menilai ketahanan struktur terhadap beban gempa.

Bentuk kurva yang relatif simetris terhadap sumbu gaya (vertikal) menunjukkan bahwa respons struktur terhadap gaya ke arah positif dan negatif seimbang, menandakan perilaku dua arah yang stabil. Simetri ini juga menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi terdistribusi secara merata, tanpa adanya pergeseran kekakuan ke satu sisi, sehingga struktur menunjukkan respon siklik yang stabil (*stable hysteretic behavior*).

Pada tahap mendekati beban maksimum, kurva mulai menyempit dan luas loop berkurang. Hal ini mengindikasikan adanya penurunan kekakuan (*stiffness degradation*) dan penurunan kekuatan (*strength deterioration*) akibat kerusakan progresif pada pelat, seperti local buckling, robekan (tearing), atau deformasi permanen pada sambungan pelat dan rangka. Kondisi ini menyebabkan kemampuan struktur dalam menyerap energi mulai menurun, karena sebagian energi eksternal telah digunakan untuk membentuk retak atau sobekan pada material.

Pada siklus-siklus akhir, kurva menunjukkan penurunan tajam pada gaya lateral, dan loop menjadi semakin sempit. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur telah mengalami penurunan kapasitas plastis dan memasuki tahap kegagalan (failure stage), di mana deformasi plastis yang berlebihan menyebabkan penurunan kemampuan disipasi energi secara signifikan.

Dengan kata lain, hasil pengujian menunjukkan bahwa energi disipasi meningkat pada setiap siklus awal hingga menengah, kemudian mencapai nilai maksimum saat mendekati beban puncak, sebelum akhirnya menurun akibat degradasi kekakuan dan kerusakan material. Pola ini menunjukkan bahwa spesimen P1S.65.25 memiliki kapasitas penyerapan energi yang tinggi dan perilaku plastis yang baik selama pembebanan berulang, yang menunjukkan kinerja struktur yang efektif dalam meredam energi dinamis.

Nilai energi disipasi untuk setiap siklus dapat dilihat pada Tabel 1, yang memperlihatkan tren peningkatan hingga mendekati puncak kapasitas struktur dan kemudian menurun seiring dengan bertambahnya kerusakan.

Tabel 1 Besar Energi Disipasi Benda Uji P1S.65.25

Daerah Spesimen	Drift (%)	Energi Disipasi (KN mm)	Displacement Max arah + (mm)	Displacement Max arah - (mm)
Siklus 1A	0.25	10.62	2.88	-2.31
Siklus 1B		9.59	2.43	-2.37
Siklus 2A	0.50	45.37	4.62	-4.53
Siklus 2B		28.11	4.53	-4.50
Siklus 3A	0.75	69.15	6.78	-6.87
Siklus 3B		46.49	6.78	-6.84
Siklus 4A	1.00	154.16	9.03	-9.18
Siklus 4B		97.08	9.00	-9.03
Siklus 5A	2.00	1112.14	18.09	-18.39
Siklus 5B		571.31	18.39	-18.66
Siklus 6A	3.00	2101.13	27.12	-27.27
Siklus 6B		1177.86	27.42	-27.24
Siklus 7A	4.00	1787.21	27.36	-36.24
Siklus 7B		2241.18	36.18	-36.03
Siklus 8A	5.00	3356.48	45.27	-45.30
Siklus 8B		2076.55	45.81	-45.24
Siklus 9A	6.00	3590.15	54.09	-54.81
Siklus 9B		2302.34	54.09	-54.27
Siklus 10A	7.00	3768.48	63.15	-63.24
Siklus 10B		2509.42	63.09	-63.06
Siklus 11A	8.00	3908.41	72.30	-72.27
Siklus 11B		2434.98	72.12	-72.12
Total		33398.18		

4. KESIMPULAN

Benda uji P1S.65.25 menunjukkan perilaku struktur yang stabil selama pembebanan siklik. Pada tahap awal, pelat berperilaku elastis linier, kemudian mengalami tekuk awal (*initial buckling*) dan memasuki fase *post-buckling*, dimana mekanisme tarik diagonal (*tension field action*) berperan dalam mempertahankan kapasitas beban. Seiring bertambahnya siklus, terjadi deformasi plastis progresif hingga mencapai kondisi ultimate, diikuti penurunan kekakuan dan kerusakan lokal di sekitar perforasi.

Berdasarkan kurva histeresis, spesimen menunjukkan *loop* yang lebar, stabil, dan simetris, menandakan kemampuan struktur dalam menyerap dan melepas energi secara efektif hingga mendekati kondisi kegagalan.

Secara keseluruhan, konfigurasi perforasi lurus pada benda uji ini terbukti memberikan perilaku struktur yang baik dan kapasitas disipasi energi yang tinggi, sehingga efektif digunakan sebagai elemen penahan gaya lateral pada sistem struktur baja tahan gempa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Sharma, R. Kumar, H. Singh, W. Ahmad4 and P. Yogendra, "A Review Study on uses of steel in construction," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 04, no. 04, pp. 1140-1142, 2017.
- [2] M. Bruneau, C.-M. Uang and R. Sabelli, *Ductile Design of Steel Structures*, Mc Graw Hill, 2011.
- [3] J. Duan, D. Yang , X. Liu and P. Xiang , "Seismic Energy Dissipation and Hysteresis Performances of Distinctly Shaped Steel-Reinforced Concrete Column–Beam Joints under Cyclic Loading," *Buildings*, vol. 14(9), 2024.
- [4] B. S. Taranath, *Structural Analysis and Design of Tall Buildings Steel and Composite Construction*, Boca Raton, 2016.
- [5] H. Valizadeh , H. Veladi, B. F. Azar and M. R. Sheidaii, "The cyclic behavior of Butterfly-shaped Link Steel Plate Shear Walls with and without Buckling-restrainers," *Structures*, vol. 27, pp. 607-625, 2020.
- [6] C. V. Nguyen and A. Ghamari, "An innovative model to estimate the tension field inclination considering crack growth for steel plate shear wall," *Journal Of Science and Technology in Civil Enginenering*, vol. 17(3), 2023.
- [7] N. Yobelita, S. Siswosukarto, M. Muslikh and R. Purba, "Numerical Analysis of Infill Plate Performance on Steel Plate Shear Wall (SPSW)," *Inersia Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 19 (1), 2023.
- [8] Nidiasari, R. Thamrin, S. Haris and R. Kurniawan, "Seismic performance of perforated-steel plate shear wall with different perforation layouts," *Results in Engineering*, vol. 24, 2024.
- [9] H. Kosarzadeh and M. Poursha, "Seismic evaluation of vertically irregular RC frames subjected to mainshock-aftershock sequences of near-fault and far-fault ground motions," vol. 49, pp. 1130-1156, 2023.
- [10] Nidiasari, R. Thamrin, S. Haris and R. Purba, "Experimental Test of Perforated Steel Plate Shear Wall Under Cyclic Load," in *Proceedings of the 3rd International Civil Engineering and Architecture Conference*, Padang, 2023.
- [11] R. Thamrin, J. Tanjung and A. Lesya , "Metode Sederhana Untuk Pengujian Pembebanan Siklik pada Balok Beton Bertulang," 2015.

- [12] M. Bahrebar, J. B. Lim, G. C. Clifton, T. Zirakian, A. Shahmohammadi and M. Hajsadeghi, "Perforated steel plate shear walls with curved corrugated webs under cyclic loading," *Structures*, vol. 24, pp. 600-609, 2020.
- [13] F. Ghobadi and H. Ghaffarzadeh, "Finite element model evolution of perforated steel plate shear walls under cyclic loading," *Structures*, vol. 52, pp. 286-298, 2023.
- [14] W. A. Ghafar, Z. Tao, Y. Tao, Y. He , L. Wu and Z. Zhang, "Experimental and Numerical Study of an Innovative Infill Web-Strips Steel Plate Shear Wall with Rigid Beam-to-Column Connections," *MDPI*, p. 12(10), 2022.
- [15] F. Hassani and Z. Javanbakht, "Effect of geometrical variations on the failure mechanisms of perforated steel plate shear Walls—a parametric study towards a new design," *Thin-Walled Structures*, vol. 159, 2021.
- [16] F. A. Zarrinkolaei , A. Naseri and S. Gholampou, "Numerical assessment of effect of opening on behavior of perforated steel shear walls," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 181, 2021.
- [17] J. Hou , L.-Q. Wang, J.-Z. Tong, G.-S. Tong and J.-L. Jiang, "Easy-to-use formulas for predicting ultimate shear resistance and tension field distribution of semi-supported steel plate shear walls," *Thin-Walled Structures*, vol. 185, 2023.