



TESIS - RC14-2501

**ANALISA PERFORMA *STEEL PLATE SHEAR WALL*
DENGAN MODIFIKASI *WALL OPENING* DAN
*REDUCED BEAM SECTION (RBS)***

CHRISTIANTO CREDIDI SEPTINO KHALA
NRP. 03111650020008

DOSEN PEMBIMBING :
Budi Suswanto ST., MT., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC14-2501

**ANALISA PERFORMA *STEEL PLATE SHEAR WALL*
DENGAN MODIFIKASI *WALL OPENING* DAN
*REDUCED BEAM SECTION (RBS)***

**CHRISTIANTO CREDIDI SEPTINO KHALA
NRP. 03111650020008**

**DOSEN PEMBIMBING :
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



THESIS - RC14-2501

**ANALYSIS OF STEEL PLATE SHEAR WALL
PERFORMANCE WITH WALL OPENING
MODIFICATION AND REDUCED BEAM SECTION (RBS)**

CHRISTIANTO CREDIDI SEPTINO KHALA
Student ID 03111650020008

SUPERVISOR :
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

**POST GRADUATE PROGRAM
MASTER PROGRAM OF STRUCTURE
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENT AND GEOSCIENCE ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Christianto Credidi Septino Khala

NRP. 03111650020008

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:


1. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19730128 199802 1 002

(Pembimbing)


2. Prof. Ir. Privo Suprobo, M.S., Ph.D.

NIP. 19590911 198403 1 001

(Penguji)


3. Bambang Pisceca, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19840318 200812 1 002

(Penguji)


4. Dr. Ir. Dioko Irawan, M.S.

NIP. 19590213 198701 1 001

(Penguji)

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan,


Ida A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19750212 199903 2 001

**ANALISA PERFORMA *STEEL PLATE SHEAR WALL*
DENGAN MODIFIKASI *WALL OPENING* DAN *REDUCED*
*BEAM SECTION (RBS)***

Nama Mahasiswa : Christianto Credidi Septino Khala
NRP : 0311650020008
Dosen Konsultasi : Budi Suswanto ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Steel plate shear wall (SPSW) merupakan salah satu jenis pengaku struktur bangunan baja tahan gempa yang dapat mendisipasi energi gempa dalam jumlah yang besar, dimana *steel plate shear wall* itu sendiri telah dikembangkan dari waktu-waktu, dan masih akan terus dikembangkan. Idealnya, *SPSW* didesain sedemikian rupa sehingga seluruh bagian *plate* dapat meredam seluruh energi melalui deformasi inelastik ketika struktur menerima beban seismik. Karenanya, tebal dari *steel plate* yang akan dipasang pada suatu portal ditentukan oleh nilai geser pada portal tersebut. Dalam tesis ini, telah dilakukan percobaan terhadap berbagai jenis metode baru yang dapat digunakan pada *SPSW*, dimana penggunaannya dapat menyesuaikan dengan kebutuhan arsitektur. Penelitian ini dilaksanakan dengan penerapan pembebanan pada spesimen *steel plate* dengan berbagai varian opening, yaitu *single window (SW)*, *double window (DW)* dan door (D). Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan pola penyerapan energi oleh *steel plate* dikarenakan adanya *reduced beam section (RBS)* dan adanya penurunan performa yang cukup jelas dari setiap spesimen, yaitu penurunan sebesar 15%-25% dari segi penyerapan energi disipasi dan 10%-20% dari segi daktilitas.

Kata kunci : *Steel plate Shear Wall, Reduced Beam Section, Opening, Finite Element, Baja Daktil*

**ANALYSIS OF STEEL PLATE SHEAR WALL
PERFORMANCE WITH WALL OPENING MODIFICATION
AND REDUCED BEAM SECTION (RBS)**

Student Name : Christianto Credidi Septino Khala
Student Reg. Number : 0311650020008
Supervisor : Budi Suswanto ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Steel plate shear wall (SPSW) is one kind of steel earthquake resistant building structural stiffener that can dissipate the tremendous amount of quake energy, where the steel plate itself had been developed from years, and still, in development. Ideally, SPSW is designed so all of its parts can absorb the energy of lateral force, seismic load for instance, through inelastic deformation. Because of that, the thickness of applied steel plate in a section of a building (a portal in this case) is determined by the shear force of the portal itself. In this thesis, experiment had been done using multiple applicable methods for the SPSW, where the use of it depends on the architect aspect and necessity. In this experiment, the specimen will be tested with some applicable lateral loading, where in the steel plate itself, there are some opening applied to the web plate, which are single window opening (SW), double window opening (DW) and door opening (D). The result of the research shows some behavior changing of the dissipating energy throughout the steel plate, making a new pattern caused by the applied reduced beam section (RBS). Because of that fact, there are some performance degradation in every specimen, compared to the normal steel plate, which is 15%-20% reduction of dissipated energy and 10%-20% reduction of structural ductility.

Keyword : *Steel plate Shear Wall, Reduced Beam Section, Opening, Finite Element, Ductile Steel Structure*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Analisa Performa *Steel Plate Shear Wall* dengan Modifikasi *Wall Opening* dan *Beam Section*” sebagai bentuk pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar magister (M.T) Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan Proposal Tesis ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang mencipta segala sesuatunya, yang memberi berkat dan rahmat serta menghendaki dan merestui penulis sehingga dapat memulai studi magister, melewati proses studi di Indonesia maupun di Taiwan, dan menyelesaikan Tesis ini sebagai tanda penulis telah mencapai tahap akhir dari seluruh proses studi tahap magister ini.
2. Kedua orangtua, yakni papa Ir. Howard Philips dan mama Dra. Justina Duabai serta adik Fransiskus Junianto Yesaya Khala yang tidak putus-putusnya memberikan dukungan moral dalam berbagai doa dan kata-kata motivasi juga dukungan materi.
3. Kepada segenap keluarga besar penulis, terutama Nenek Maria Sumbang dan om Jos Danari yang sangat menolong dalam doa dan selalu memberi semangat dalam proses perkuliahan.
4. Yuniar Denissa Harvianti selaku pendukung utama dan pendamping yang tidak pernah habis kesabaran, ketekunan dan kemurahan hati serta yang selalu bisa diandalkan di dalam dan luar proses perkuliahan dan pengerjaan Tesis ini.
5. Pak Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan Tesis ini.
6. Pak Ir. Faimun M.Sc, Ph.D selaku dosen wali selama masa perkuliahan
7. Segenap pengajar, staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSLK – ITS

8. Teman - teman PPS Struktur angkatan 2016, Fedya Diajeng, Danny Setiamanah, Mbak Santi Nuraini, Mbak Meity Wulandari, Mbak Dhiafa Hera Darayani, Mbak Kiki Dwi Wulandari, Mas Susanto Hari A, Mas Masruri Anwar, Mas Yehezkiel Yoganata, dan Mas Vicky Yustisia, yang memberi dukungan dalam proses perkuliahan selama studi magister dan pengerjaan Tesis ini.
9. Teman - teman NTUST Fall 106 yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang memberi dukungan selama penulis menempuh studi di Taiwan.
10. Teman - teman Kamar 1308, Stevanus Wongso, Lordy Zefanya, “Da Ge” Daniel Santoso, Bang Junius Halawa dan Richard Evander dan teman-teman asrama di NTUST.
11. Teman - teman Katolik Indonesia-Taiwan (KITA), terutama ko Albert Hansel dan ko Charles Julis serta kak Ima Kristianti yang sudah sangat membantu penulis dalam pengembangan iman selama penulis menempuh studi di NTUST.
12. Trie Sony, Indra Denny dan Irvan Pratama serta teman-teman yang lain yang memberi dukungan moriil kepada penulis .
13. Segenap pihak yang turut membantu dalam proses penyelesaian Tesis ini.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga Tesis ini bermanfaat bagi penulis dan orang lain.

Surabaya, 22 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Umum.....	5
2.2. Pengaruh <i>Stiffener</i> pada Performa SPSW	6
2.3. Sambungan pada SPSW	11
2.4. <i>Opening</i> pada SPSW	17
2.5. Pengaruh Perbandingan Tinggi dan Lebar SPSW	19
2.6. RBS pada Balok Terkoneksi SPSW	21
2.7. <i>Preliminary Design</i> VBE, HBE, dan SPSW	23
BAB III METODOLOGI	27
3.1. Diagram Alir Metodologi.....	27
3.2. Studi Literatur	29
3.3. Pemodelan SPSW Utama dalam Program <i>Finite Element</i>	29
3.4. Proses Pembebanan	32
3.5. Validasi Hasil Pembebanan.....	32
3.6. Pemodelan SPSW dengan Modifikasi.....	34
3.7. Analisa Hasil Pemodelan <i>Steel plate</i> dengan Varian Metode	38

BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1.	Elemen-Elemen pada Spesimen	41
4.2.	Pemodelan Spesimen SPSW	44
4.3.	Pembebanan Pada Spesimen	46
4.3.1	Tahapan Penentuan Perilaku Elemen terhadap Deformasi	46
4.3.2	Perhitungan Nilai dan Proses Pembebanan.....	47
4.4.	Validasi Hasil Eksperimen dengan Analisa Program	47
4.5.	Pemodelan dan Pembebanan pada Spesimen dengan Modifikasi <i>Wall</i> <i>Opening</i>	51
4.6.	Verifikasi Hasil	54
4.6.1	Spesimen SSW-1-SW	54
4.6.2	Spesimen SSW-1-DW.....	57
4.6.3	Spesimen SSW-1-D	60
4.6.4	Spesimen SSW-2-SW	62
4.6.5	Spesimen SSW-2-DW.....	65
4.6.6	Spesimen SSW-2-D	67
4.7.	Perbandingan Hasil dan Pembahasan.....	69
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1.	Kesimpulan.....	73
4.2.	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		77
BIODATA PENULIS		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	SPSW <i>Set-up</i> dengan <i>Stifener</i> (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)	7
Gambar 2.2	SPSW <i>Set-up</i> Tanpa <i>Stifener</i> (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)	7
Gambar 2.3	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen DS-SPSW-0% (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)	8
Gambar 2.4	Gambar 2.4 Spesimen DS-SPSW-0% Setelah Proses Pembebanan (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)	9
Gambar 2.5	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen DS-PSW-0% (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)	10
Gambar 2.6	Sobekan pada Pelat dan Ujung <i>Stifener</i> saat 2.71% <i>Drift</i> pada Spesimen DS-PSW (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)	10
Gambar 2.7	<i>Test set-up</i> pada percobaan Guo dkk, 2017	11
Gambar 2.8	<i>Buckling</i> pada Spesimen Guo dkk, 2017	12
Gambar 2.9	<i>Failure Mode</i> pada Salah Satu Spesimen Guo dkk, 2017	13
Gambar 2.10	Kurva <i>hysteresis</i> Pada Pemodelan Spesimen dalam Program Elemen Hingga (Guo dkk, 2017)	14
Gambar 2.11	Perbandingan Kurva <i>Hysteresis</i> pada Eksperimen dan Pemodelan Finite Element (Guo dkk, 2017)	16
Gambar 2.12	Spesifikasi dan Detail dari Eksperimen Saeid Sabouri-Ghomi dan Salahedin Mamazizi	17
Gambar 2.13	<i>Test Setup</i> Penelitian Saeid Sabouri-Ghomi dan Salahedin Mamazizi	18
Gambar 2.14	Pemodelan SPSW dengan 2 Sisi Sambungan (Liu Wen-Yang dkk, 2017)	19
Gambar 2.15	Gambar 2.15 Distribusi Tegangan von Mises pada BRSPSW dengan Perbandingan Tinggi dan Lebar yang Kecil (Liu Wen-Yang dkk, 2017)	20
Gambar 2.16	Perbandingan antara Hasil Eksperimen dan Pemodelan (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)	21
Gambar 2.17	Grafik Perbandingan Gaya Geser – <i>Lateral Displacement</i> (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)	22
Gambar 2.18	Gaya Interaksi SPSW (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)	23

Gambar 2.19	Perbandingan balok dengan dan tanpa <i>slotted hole</i> (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017).....	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi (lanjutan)	28
Gambar 3.2	Detail <i>Test Setup</i> penelitian Sabouri-Ghomi dan Mamazizi tanpa <i>Opening</i>	30
Gambar 3.3	Strip Model <i>SPSW</i> Utama dengan (a) Rasio 1:1 (<i>SSW-1</i>) (b) Rasio 1:1 dengan Bukaan Ganda (<i>SSW-O</i>) (c) Rasio 1:1,5 (<i>SSW-2</i>).....	31
Gambar 3.4	Grafik Pembebanan <i>Cyclic</i> pada Spesimen Berdasarkan ATC 24	32
Gambar 3.5	<i>Hysteresis Curve</i> Spesimen tanpa <i>Opening</i>	33
Gambar 3.6	Sketsa Spesimen <i>SSW-1-DW (Double Opening)</i>	35
Gambar 3.7	Sketsa Spesimen <i>SSW-2-DW (Double Opening)</i>	35
Gambar 3.8	Sketsa Spesimen <i>SSW-1-SW (Single Opening)</i>	36
Gambar 3.9	Sketsa Spesimen <i>SSW-2-SW (Single Opening)</i>	36
Gambar 3.10	Sketsa Spesimen <i>SSW-1-D (Single Opening</i> untuk Pintu)	37
Gambar 3.11	Sketsa Spesimen <i>SSW-2-D (Single Opening</i> untuk Pintu)	37
Gambar 3.12	Sketsa <i>Reduced Beam Section</i> pada <i>Frame</i>	38
Gambar 3.13	Bentuk Akhir dari <i>Boundary Element</i> setelah Pembebanan pada Specimen (Liu Wen-Yang dkk, 2017).....	39
Gambar 3.14	<i>Failure Mode</i> pada <i>SPSW</i> (Niari dkk, 2015).....	39
Gambar 4.1	Perbandingan <i>Solid Element</i> dan <i>Shell Element</i> pada Pemodelan <i>Finite Element</i>	41
Gambar 4.2	Grafik <i>Force-Displacement</i> Baja St. 14 (Aboutalebi dkk, 2011)..	45
Gambar 4.3	Grafik <i>Stess-Strain</i> Baja St. 37 (Khalifeh dkk, 2018)	45
Gambar 4.4	Grafik <i>Stress-Strain</i> Baja St.52 (Khalifeh dkk, 2018).....	45
Gambar 4.5	Grafik Pembebanan Berdasarkan Penelitian Sabouri Ghomi dan Mamazizi (2015)	46
Gambar 4.6	<i>Buckling</i> pada Spesimen.....	46
Gambar 4.7	Grafik Pembebanan yang Digunakan untuk spesimen <i>SSW 1</i> dan <i>SSW O</i>	47
Gambar 4.8	(a) <i>Failure Mode</i> pada Spesimen <i>DS-SPSW- 0%</i> (b) Tahap Akhir Spesimen <i>SSW 1</i> pada Pemodelan <i>Abaqus</i>	48
Gambar 4.9	(a) <i>Hysteresis Curve</i> Spesimen <i>DS-SPSW-0%</i> (b) <i>Hysteresis Curve</i> Eksperimen <i>SSW 1</i> (c) Gabungan Kedua Grafik	49

Gambar 4.10	<i>Failure Mode</i> pada Spesimen SPSW202 (b) Tahap Akhir Spesimen SSW O pada Pemodelan Abaqus.....	49
Gambar 4.11	<i>Hysteresis Curve</i> Spesimen SPSW202 (b) <i>Hysteresis Curve</i> Eksperimen SSW O (c) Gabungan Kedua Grafik	50
Gambar 4.12	Pemodelan SSW 2	51
Gambar 4.13	<i>Hysteresis Curve</i> Spesimen SSW 2.....	51
Gambar 4.14	Grafik Pembebanan untuk Spesimen Seri SSW-1 dan SSW-2	54
Gambar 4.15	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen SSW-1-SW	55
Gambar 4.16	Spesimen SSW-1-SW saat Mengalami Leleh Pertama.....	55
Gambar 4.17	Pola Penyebaran Tegangan Pada SSW-1-SW	56
Gambar 4.18	Pemodelan Pasca Pembebanan Spesimen SSW-1-SW	57
Gambar 4.19	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen SSW-1-DW	58
Gambar 4.20	Spesimen SSW-1-DW Saat Mengalami Leleh Pertama.....	58
Gambar 4.21	Pola Penyebaran Tegangan Pada Spesimen SSW-1-DW.....	59
Gambar 4.22	Pemodelan Pasca Pembebanan Spesimen SSW-1-DW.....	60
Gambar 4.23	Spesimen Saat Mengalami Leleh Pertama	60
Gambar 4.24	Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-1-D.....	61
Gambar 4.25	Pemodelan Saat Mencapai Pembebanan 7% <i>Drift</i> pada Spesimen SSW-1-D	62
Gambar 4.26	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen SSW-1-D.....	62
Gambar 4.27	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen SSW-2-SW	63
Gambar 4.28	Spesimen SSW-2-SW Saat Leleh Pertama.....	63
Gambar 4.29	Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-2-SW.....	64
Gambar 4.30	Pemodelan SSW-2-SW Saat <i>Drift</i> 7% (240 mm).....	64
Gambar 4.31	Kurva <i>Hysteresis</i> Spesimen SSW-2-DW	65
Gambar 4.32	Leleh Signifikan Pertama pada <i>Steel Plate</i> Spesimen SSW-2-DW.....	65
Gambar 4.33	Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-2-DW.....	66
Gambar 4.34	Pemodelan Saat Pembebanan 7% <i>Drift</i> Spesimen SSW-2-DW....	66
Gambar 4.35	Grafik <i>hysteresis</i> dari hasil analisa spesimen SSW-2-D	67
Gambar 4.36	Spesimen SSW-2-D Saat Mengalami Leleh Pertama pada <i>Wall Plate</i>	67
Gambar 4.37	Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-2-D.....	68
Gambar 4.38	Pemodelan Pasca Pembebanan Spesimen SSW-2-D	68
Gambar 4.39	Perbandingan <i>Backbone Curve</i> Setiap Spesimen.....	70

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perbandingan Kapasitas Leleh dari <i>BRSPSW</i> dengan Dua Sisi Sambungan	19
Tabel 3.1.	Spesifikasi Pemodelan <i>SPSW</i>	30
Tabel 3.2.	Perbandingan Hasil Penelitian <i>Steel plate</i> dengan dan Tanpa <i>Opening</i>	34
Tabel 3.3.	Spesifikasi Pemodelan <i>SPSW</i> dengan <i>Opening</i>	34
Tabel 4.1.	Profil Elemen pada Spesimen SSW 1	42
Tabel 4.2.	Profil Elemen pada Spesimen SSW 2	42
Tabel 4.3.	Profil Elemen pada Spesimen SSW O.....	43
Tabel 4.4.	Profil Elemen pada Spesimen Seri SSW – 1	52
Tabel 4.5.	Profil Elemen pada Spesimen Seri SSW – 2.....	53
Tabel 4.6.	Nilai Tegangan Lateral Eksperimen.....	69
Tabel 4.7.	Nilai Simpangan Eksperimen.....	69
Tabel 4.8.	Nilai Energi Terdisipasi pada Setiap Spesimen.....	70
Tabel 4.9.	Perbandingan Nilai Daktilitas Setiap Spesimen.....	71

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan bangunan menengah dan tinggi semakin meningkat dari masa ke masa, dikarenakan ketersediaan lahan yang makin menyempit, sehingga hanya meninggalkan sedikit pilihan tersisa. 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 (Patel *dkk*, 2017).

Dalam AISC 360-16, telah diisyaratkan perancangan gedung baja yang ideal untuk dapat menerima beban lateral, khususnya berupa beban gempa. Berbagai sistem penahan beban lateral pada bangunan diatur sesuai dengan tahapan pembagian beban lateral tersebut, juga kontrol terhadap elemen-elemen pada struktur bangunan baja, tidak terkecuali pengaturan perancangan dinding geser pelat baja.

Penggunaan *Steel Plate Shear Wall (SPSW)* yang merupakan salah satu solusi alternatif untuk bangunan baja yang semakin marak digunakan (Ridwan, 2016). Keuntungan dari *SPSW* secara umum ialah *SPSW* dapat mendisipasi energi gempa dalam sebuah bangunan dan meneruskannya ke dalam pondasi (Shah *dkk*, 2017). Seiring berjalannya waktu, kebutuhan akan penggunaan *SPSW*, baik pada bangunan tinggi ataupun menengah yang semakin meningkat, mendorong para peneliti untuk memberi inovasi pada proses perancangan *SPSW* sehingga dapat menghasikan performa yang lebih baik dalam penggunaannya.

Pada awal dekade 1980, telah dilakukan penelitian yang dapat menjadi dasar perancangan *SPSW*. Pendekatan di kemudian hari mengarah pada *SPSW* tanpa pengaku apapun (*unstiffened*) dan diberi pengaku (*stiffened*). Pendekatan tanpa pengaku apapun populer di awal tahun 2000. Amerika Serikat yang pertama kali mempopulerkan penggunaannya dengan berbagai penerapan. Penerapan yang umum digunakan ialah pada *Vertical Boundary Element (VBE)*, atau pembatas sisi vertikal *SPSW* didesain untuk mengalami leleh di daerah *panel zone*, sedangkan *Horizontal Boundary Element (HBE)* didesain untuk mengalami sendi plastis. Bahkan, untuk

bangunan di zona gempa tinggi, *SPSW* didesain agar mencapai tegangan leleh maksimum pada seluruh elemen-nya (Koppal, 2012).

Namun, desain seperti itu tidak dapat diterapkan di semua tempat. Pada pelaksanaannya, di berbagai daerah di dunia, marak ditemukan masalah yang sudah diprediksi sebelumnya, yaitu perilaku tekuk geser pada *SPSW*. *SPSW* tanpa pengaku cenderung akan mengalami tekuk geser sebelum mencapai kapasitas maksimum lelehnya. Sehingga performa maksimum dari *SPSW* tidak akan tercapai.

Sedangkan pendekatan dengan pengaku pada *SPSW* memberi solusi alternatif pada masalah yang telah disebutkan sebelumnya. Pengaku tambahan dapat mengubah pola tekuk pada *SPSW*, sehingga memperbesar kemungkinan *SPSW* mencapai leleh maksimumnya sebelum mengalami tekuk, dan menambah nilai dari energi maksimum yang dapat didisipasi oleh *SPSW*. Namun hal ini juga memiliki masalah tersendiri, yaitu membutuhkan biaya yang lebih besar dan waktu yang lebih banyak dalam pelaksanaannya (Ding, dkk, 2017).

Meskipun demikian, penggunaan *stiffener* pada *SPSW* memegang peranan penting, sehingga penggunaannya tak terelakkan. Pengaplikasian *stiffener* berupa penambahan beton merupakan salah satu cara yang digunakan. Namun, untuk dapat mengetahui performa terbaik dari *SPSW* dengan *stiffener*, digunakan teori *Plate-Frame Interaction* (PFI) (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012). Teori ini digunakan untuk memprediksi perilaku linier dan non-linier dari konfigurasi *SPSW* yang berbeda-beda, termasuk plat tipis ataupun tebal, dengan atau tanpa pengaku, bahkan dengan atau tanpa *opening*.

Kedua metode tersebut menjadi dasar pengembangan akan penerapan *SPSW* di masa berikutnya. Berbagai inovasi telah ditemukan, seperti pemberian pengaku ganda pada *SPSW* (Qiao dkk, 2018), pemberian pengaku silang (Guo dkk, 2015) dan pengaku segi empat (Sabouri-Ghomi, 2015) dan pelubangan pada *SPSW* (Ding dkk, 2017).

Tidak terbatas pada element dinding geser itu sendiri, berbagai penelitian juga telah dilakukan pada elemen pembatas panel pelat baja dengan tujuan meningkatkan performa *SPSW* itu sendiri, seperti penerapan RBS pada *beam section* yang menggunakan *SPSW* (Hoseinzadeh, 2017) dan penerapan *SPSW* tanpa melekat pada kolom (Guo dkk, 2015)

Pada Tesis ini akan dilakukan penelitian berupa penerapan *opening* yang bervariasi pada *solid steel plate* dengan *stiffener*. Pada balok yang tersambung pada *SPSW*, diterapkan system *Reduced Beam Section (RBS)*, sehingga tegangan pada *steel plate* dapat ditanggung sebagian oleh balok.

Penelitian mengenai *opening* pada *SPSW* ini telah dilakukan sebelumnya namun hanya terbatas pada dua *wall opening* dengan bentuk serupa, namun berbeda jarak antara *wall opening* tersebut. Penelitian ini perlu dilaksanakan mengingat pemberian *opening* pada dinding geser yang menyesuaikan dengan pelaksanaan lapangan merupakan hal yang sudah umum terjadi, namun belum diketahui secara lebih mendalam mengenai efek *opening* pada *shear wall* tersebut. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat mengetahui konfigurasi *opening* seperti apa yang dapat menghasilkan performa *steel plate* yang paling baik.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh *wall opening* secara umum pada kinerja *SPSW*?
2. Bagaimana pengaruh ukuran dan jumlah *opening* pada performa *SPSW*?
3. Bagaimanakah performa *SPSW* terhadap pemberian tipe *opening* yang berbeda-beda?
4. Apakah pengaruh *Reduced Beam Section* pada performa *SPSW* dengan *opening*?
5. Metode apa sajakah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan performa *SPSW* dengan *wall opening* sehingga memberikan hasil yang paling baik?

1.3 Batasan Masalah

1. Pemodelan digambarkan dengan mengambil satu portal, yang terdiri dari struktur balok, kolom, dan *SPSW*
2. Setiap pemodelan dilakukan hanya dengan 1 jenis elemen *SPSW*
3. Pemodelan sambungan dengan *fish plate* pada eksperimen dimodelkan sebagai sambungan *tie-constrain* dalam model pada program *finite element*

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh *wall opening* secara umum pada kinerja *SPSW*.
2. Mengetahui pengaruh ukuran dan jumlah *opening* pada performa *SPSW*.
3. Mengetahui performa *SPSW* terhadap pemberian tipe *opening* yang berbeda-beda.
4. Mengetahui pengaruh *Reduced Beam Section* pada performa *SPSW* dengan *opening*.
5. Mengetahui beragam metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan performa *SPSW* dengan *opening* sehingga memberikan hasil terbaik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari Tesis ini adalah:

1. Menambah wawasan dan menerapkan teori yang telah diperoleh selama masa perkuliahan
2. Memberi alternatif baru dalam penerapan penggunaan *SPSW*
3. Mengembangkan penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya dan dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Umum

Steel Plate Shear Wall telah banyak digunakan sebagai system penahan beban lateral yang efektif untuk *high-rise building* di daerah dengan resiko seismik tinggi, dikarenakan memiliki kekakuan lateral yang tepat, kapasitas disipasi energi yang besar, dan nilai daktilitas yang tinggi (Dou dkk, 2016). *SPSW* secara tradisional merupakan pelat baja datar yang dibatasi oleh balok dan kolom di sekitarnya. *SPSW* sederhana seperti ini masih sering digunakan karena memiliki *bearing efficiency* yang baik dan ekonomis, namun masih memiliki beberapa kelemahan, yaitu (1) Daerah tegangan diagonal pasca tekuk dari pelat menginduksi gaya Tarik yang besar pada *frame*, yang menjadikan kebutuhan akan kekakuan pada *frame* menjadi lebih tinggi dan dapat mengganggu perilaku struktur dari balok dan kolom. (2) Karena efek bidang diagonal ini, *hysteresis curve* menjadi sejajar dengan beban siklik dan mengganggu kapasitas disipasi energi. (3) Tekuk pertama pada pelat terjadi saat nilai beban rendah, dan suara yang cukup mengganggu terjadi saat proses deformasi mengurangi kenyamanan dalam pelaksanaan lapangan. Penambahan pengaku dapat diterapkan, namun dengan biaya fabrikasi yang lebih besar (Dou dkk, 2016).

Banyak penelitian telah dilakukan terhadap *SPSW* tanpa pengaku ini. Berdasarkan hasil eksperimen, tekuk lokal akan muncul ketika dikenakan beban horizontal kecil. Guratan Tarik akan Nampak pada sisi diagonal pelat baja. Energi terdisipasi melalui deformasi disebabkan oleh pelat baja tipis. Akibat dari pengenduran guratan Tarik dan deformasi residu plastis, pengaku pelat baja melunak dan kurva histeresis menjadi makin kecil (Guo dkk, 2017).

Evaluasi kinerja pada sistem *SPSW* dilakukan secara sistematis dan memperhitungkan berbagai konfigurasi geometric dan banyak variabel tidak tentu lainnya yang diperlukan. Analisa ini dapat dilakukan secara efisien dengan menggunakan metode elemen hingga makroskopik yang dapat menghubungkan hasil empiris eksperimental dengan teori plastisitas dan memperhitungkan kerusakan pada komponen yang disebabkan oleh akumulasi kerusakan pada *frame member* (Jalali dan Banazadeh, 2016).

Dengan menggunakan program metode elemen hingga dapat meningkatkan efisiensi analisa numerik dengan mengabaikan detail pada plastisitas dan *solid meshes*. Plastisitas terdistribusi pada balok kolom yang terhitung sebagian secara non-linier pada *cross section* balok dan kolom dan terhitung sebagai interaksi *axial-flexural* merupakan salah satu jenis metode elemen hingga makroskopis.

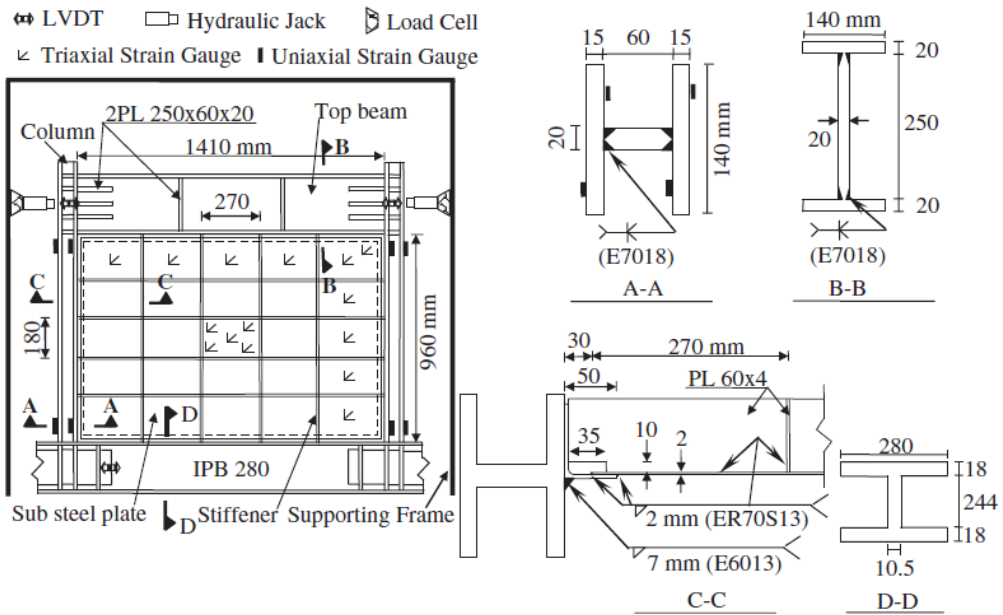
Metode ini pertama kali dilakukan oleh Thorburn, dkk di tahun 1983 dengan memodelkan *infill plates*. *Strip model* menggunakan *diagonal truss member* yang menyerupai daerah tarik dalam *infill plates*. Perhitungan dan analisa persamaan untuk mendefinisi besaran sudut inklinasi telah dilakukan Timler dan Kulak di tahun yang sama. Untuk specimen dengan beban siklik, Timler dan Kulak mengusulkan bahwa model akan digunakan dalam 2 arah diagonal berlawanan dimana perilaku tekannya akan direpresntasi oleh *non-stiffness* model elastik. Model ini kemudian dikenal dengan sebutan "*Original Strip Model*". Model hysteresis lebih lanjut telah dilaksanakan dengan model serupa, seperti penelitian Choi-park di tahun 2010 dan Purba-Bruneau di tahun 2014.

Untuk mencegah *buckling* pada *steel plate* tipis, meningkatkan kapasitas tahanan dan kekakuan pada pelat, dan mengurangi penggunaan baja secara keseluruhan, penempatan pengaku yang layak diperlukan untuk dapat meningkatkan kekakuan dari pelat dan mencegah penyusutan *hysteresis loop*.

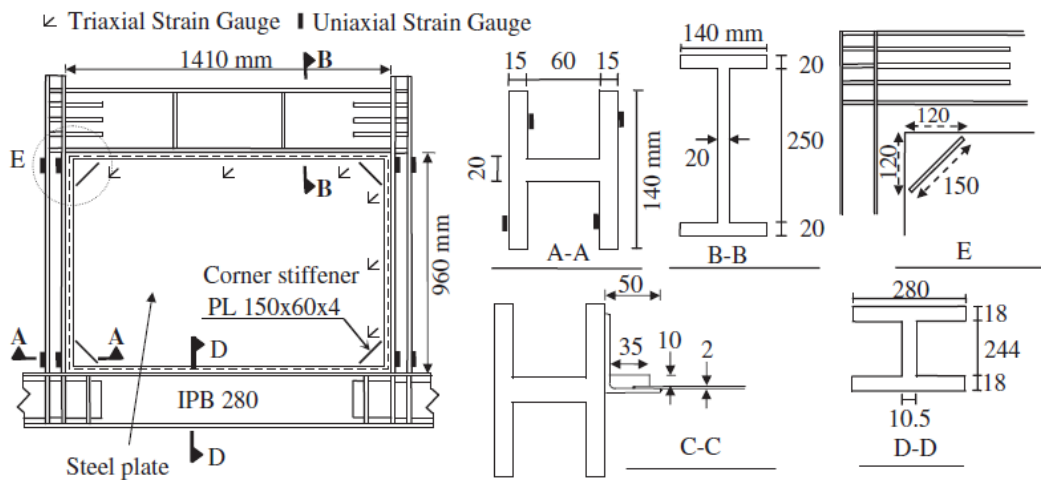
Sebagaimana tepi dari *SPSW* terhubung sepenuhnya dengan balok dan kolom, interaksi antara *infill steel plate* dan tepi frame menjadi sedikit rumit. *Bearing capacity* dan kekakuan dari struktur tidak hanya bergantung pada ukuran dari *frame* dan *SPSW*, melainkan juga bergantung pada *joint stiffness* (Guo dkk, 2015). Dengan kombinasi yang tepat antara kekakuan element dan kekakuan joint dan sambungan, dapat meningkatkan perilaku seismik struktur secara drastis.

2.2. Pengaruh Stiffener pada Performa SPSW

Sabouri-Ghomi dan Salahedin Sajjadi (2012) mengemukakan pentingnya penggunaan *stiffener* pada *SPSW*. Berdasarkan teori PFI, diadakan eksperimen dengan menggunakan dua jenis spesiemen dengan skala 1:3, yaitu spesiemen dengan (DS-*SPSW*-0%) dan tanpa (DS-*PSW*-0%) *stiffener*, dengan spesifikasi yang dapat terlihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2



Gambar 2.1 SPSW Set-up dengan Stiffener (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)



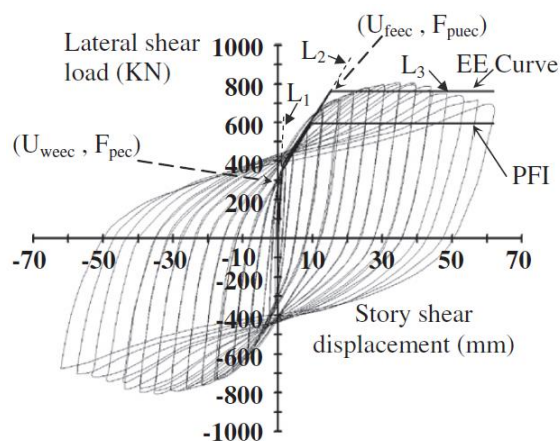
Gambar 2.2 SPSW Set-up Tanpa Stiffener (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)

Stiffener yang digunakan pada spesimen pertama membagi pelat menjadi beberapa sub-pelat. Dengan menggunakan analisa elemen hingga *eigenvalue*, ukuran dari pengaku didapatkan sehingga dapat mencegah *global shear buckling* pada *steel plate*. Untuk itu, momen inersia dari pengaku meningkat secara bertahap sampai pada saat dimana terjadi tekuk geser lokal terjadi pada salah satu bagian sub-panel. Dengan menggunakan persamaan untuk tekuk geser pada plat, dimensi dari sub-pelat didesain untuk mencegah terjadinya tekuk pada *steel plate* sebelum mencapai leleh.

Pada spesimen tanpa pengaku, empat pengaku kecil dipasang pada keempat sudut *steel plate* pada salah satu sisi untuk mencegah efek *zipping*. Adapun material yang digunakan dalam elemen *steel plate* ialah *low strength steel* dan material yang digunakan untuk balok dan kolomnya ialah *high strength steel*.

Pengetesan pada spesimen dilakukan berdasarkan prosedur ATC-24, dan selama lima proses siklik, beban meningkat secara bertahap dan tidak terjadi *proses yielding* yang signifikan. Pada siklus keenam, melalui *strain gauge* yang terpasang pada spesimen, diketahui bahwa kedua spesimen menunjukkan proses *yielding* yang signifikan. Pada spesimen dengan *stiffener*, *story shear displacement* bernilai konstan sampai pada akhir test, namun spesimen tanpa *stiffener* menunjukkan bahwa *story shear displacement* bernilai konstan selama dua puluh dua siklus, dan meningkat dua kali pada langkah selanjutnya

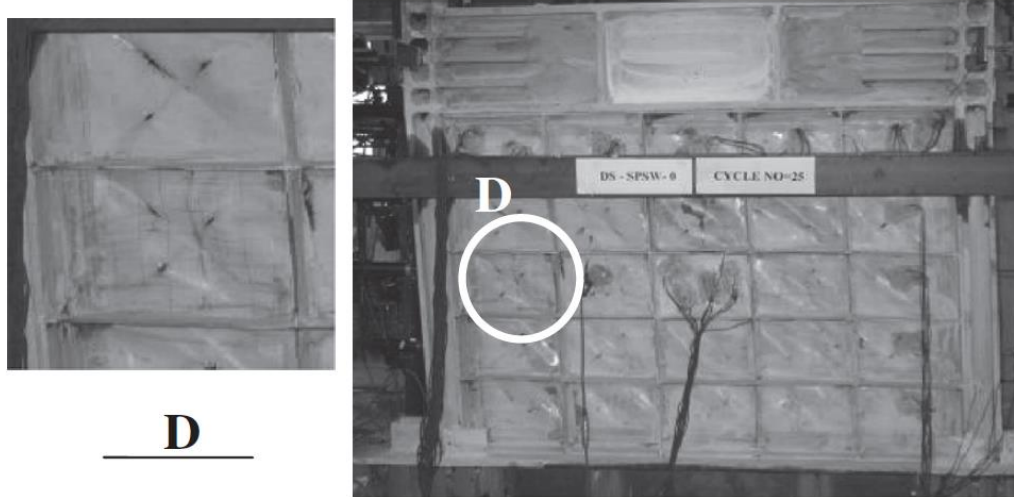
Pada *SPSW* dengan *stiffener*, saat siklus keenam pembebanan, *strain gauge* yang terpasang menunjukkan leleh signifikan pertama terjadi saat *story shear displacement* berada pada nilai 1.58 mm (0.16% *drift*). Kurva *hysteresis* dari spesimen dapat terlihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Kurva *Hysteresis* Spesimen DS-SPSW-0% (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)

Beban maksimum tertanggung sebesar 808 kN yang terjadi saat *story shear displacement* berada di angka 34.05 mm (3.55% *drift*). *Drift* maksimum spesimen adalah sebesar 6.44%. Tekuk lokal pertama terjadi saat *story shear displacement* bernilai sebesar 2.7 mm (0.28% *drift*). Kemudian, setelah nilai pergeseran ditingkatkan, *post buckling* merambat ke semua sisi *steel plate*. Sobekan pertama

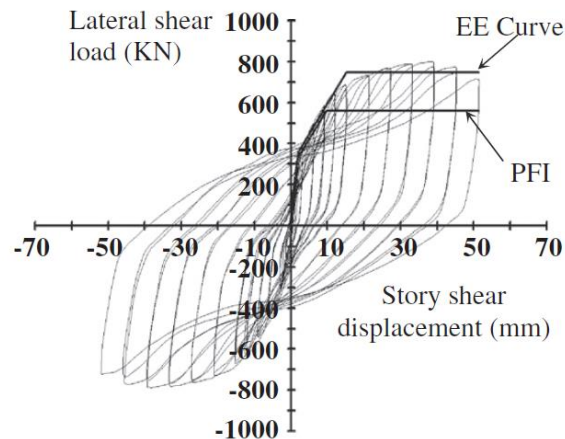
terjadi terlihat sebagai sobekan yang sangat kecil di tengah salah satu sub-panel saat *story shear displacement* bernilai 21.6 mm (2.25% *drift*). Gambar 2.4 Menunjukkan saat dimana proses pengujian telah berakhir.



Gambar 2.4 Spesimen DS-SPSW-0% Setelah Proses Pembebanan (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)

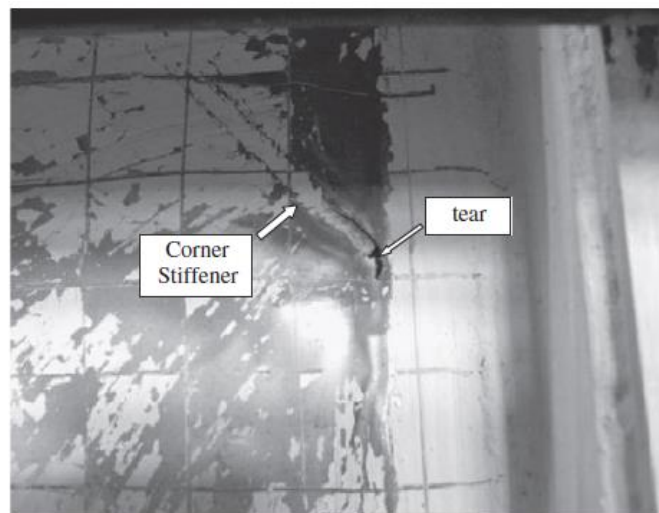
Spesimen DS-PSW-0% (*SPSW* tanpa *stiffener*) menunjukkan bahwa pada siklus keenam, *strain gauge* menunjukkan leleh signifikan pertama yang terjadi saat *story shear displacement* bernilai 1.7 mm (0.18% *drift*). *Hysteresis curve* spesimen ini dapat terlihat pada Gambar 2.5 Beban maksimum yang dapat ditanggung oleh spesimen sebesar 789.6 kN. *Drift* maksimum pada spesimen ialah sebesar 5.34%. Adapun tekuk terjadi ketika saat-saat awal pembebanan.

Pada percobaan Sabouri-Ghomi dan Gholhaki di tahun 2008 menunjukkan bahwa kerusakan pada spesimen terjadi dikarenakan sobekan yang bermula dan berkembang sebagai *zipping* di sisi ujung *steel plate*. Berdasarkan hal tersebut, spesimen ini dirancang untuk mencegah kegagalan dini berupa sobekan tersebut, dengan menambahkan empat *stiffener* kecil pada ujung spesimen.



Gambar 2.5 Kurva *Hysteresis* Spesimen DS-PSW-0% (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)

Test pada spesimen DS-PSW-0% berakhir saat sobekan yang besar terjadi pada sisi sudut *steel plate*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6 Sampai pada saat akhir dari test, tidak terjadi tekuk lokal dan global pada kolom, meskipun *strain gauge* yang terpasang pada *flange* kolom menunjukkan bahwa terjadi sendi plastis pada sisi atas dan bawah kolom dari saat *story shear displacement* bernilai 8.4 mm sampai 13 mm.



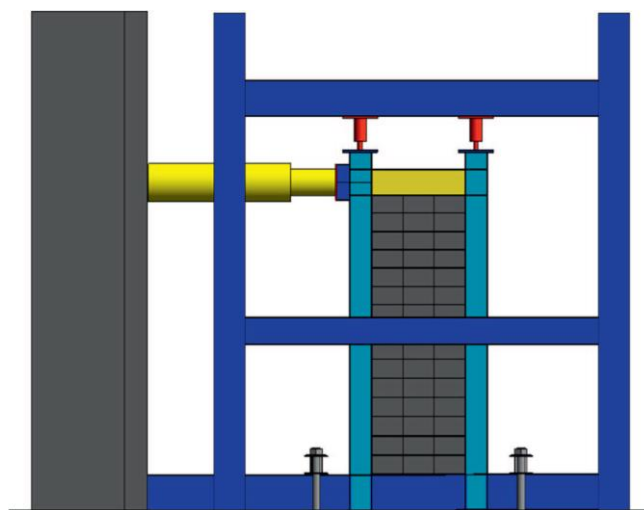
Gambar 2.6 Sobekan pada Pelat dan Ujung *Stiffener* saat 2.71% *Drift* pada Spesimen DS-PSW (Sabouri-Ghomi dan Sajjadi, 2012)

Sehingga dapat disimpulkan, bahwa penggunaan *stiffener* pada *steel plate* memiliki efek yang sedikit dari segi *shear strength*, namun berdampak besar pada *shear stiffness* dan *shear yield displacement* dari *SPSW*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemasangan *stiffener* pada *steel plate* menurunkan nilai *shear*

yield displacement pada *steel plate* tipis sebesar 25.4%, dan meningkatkan *shear stiffnes* pada *steel plate* sebesar 51.1%. Sebagai tambahan, pemasangan *stiffener* meningkatkan kapasitas nilai disipasi energi *steel plate* sebesar 26%.

2.3. Sambungan pada SPSW

Penelitian Hong-Chao Guo, dkk tahun 2017 berpusat pada sambungan semi rigid yang digunakan pada *frame* dengan SPSW. Untuk dapat mengetahui efek dari *joint connection* pada SPSW dalam performa seismiknya, sambungan balok kolom didesain menggunakan tepi atas dan dasar sudut sambungan dengan *double web angles*, *end-plate connection*, dan sambungan baut las. Ukuran spesimen sebesar 1/3 ukuran sesungguhnya di lapangan, dan dimodelkan sebagai SPSW 2 lantai, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Test set-up* pada percobaan Guo dkk, 2017

Beban vertikal diterapkan pada *jack* hidrolis dan beban horisontal diterapkan dengan menggunakan MTS. Katrol ditempatkan pada sisi ujung *jack* hidrolis untuk dapat memastikan alat pembebanan dapat bergeser secara bebas dalam arah horisontal. Sisi dasar spesimen dikekang dengan menggunakan baut M36 dan balok pada dasar spesimen dikekang sempurna dengan menggunakan baut angkur.

Fleksibilitas dari sambungan tidak hanya mengubah distribusi gaya dan momen pada balok dan kolom, tetapi juga meningkatkan *lateral displacement* dan melemahkan stabilitas dari struktur secara umum. Relasi antara moment dan rotasi

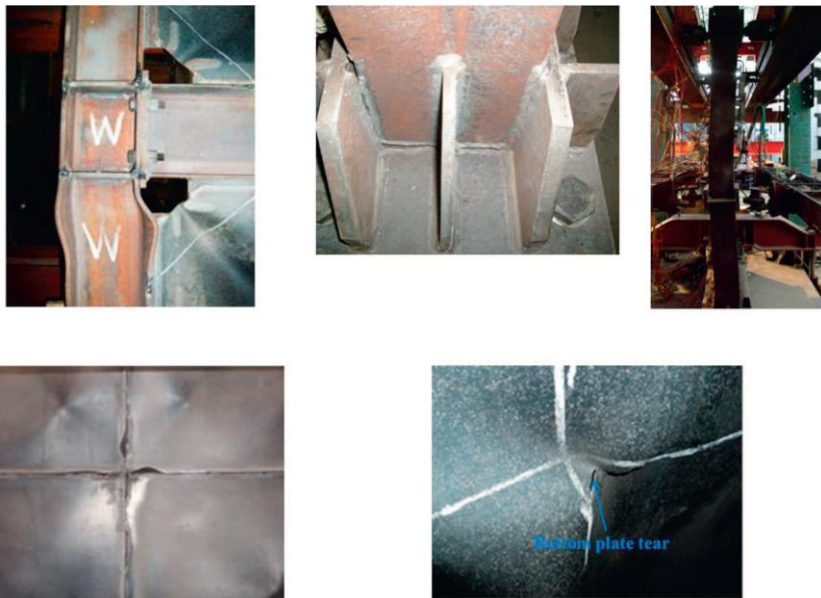
pada *semi-rigid joints* didapatkan berdasarkan 3 parameter *power function* dari model Kishi dan Chen (1991)

$$M = \frac{R_{ki}\theta}{\left[1 + \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^n\right]^{\frac{1}{n}}} \quad (2.1)$$

$$\theta = M_u / R_{ki} \quad (2.2)$$

Dimana R_{ki} adalah kekakuan sambungan, M_u adalah kapasitas momen ultimate pada sambungan dan n parameter bentuk.

Setelah dilakukan eksperimen, ada beberapa hal yang dapat menjadi bahan diskusi yang dapat mengacu pada kesiimpulan, diantaranya:



Gambar 2.8 *Buckling* pada Spesimen Guo dkk, 2017

1. Perilaku Umum

Tegangan pada spesimen dapat dibagi menjadi tiga tahap

a. Tahap *elastic*

Pada tahap ini, tidak terlihat perubahan besar pada spesimen. Grafik beban-*displacement* meningkat secara linier.

b. Tahap *yield*

Pada tahap ini, terjadi *local buckling* pada sisi bawah *SPSW*. Sudut sambungan dan *end plate* pada *semi-rigid joints* tertarik dibawah pengaruh beban horisontal. Deformasi pada joint pada dasarnya kembali ketika beban

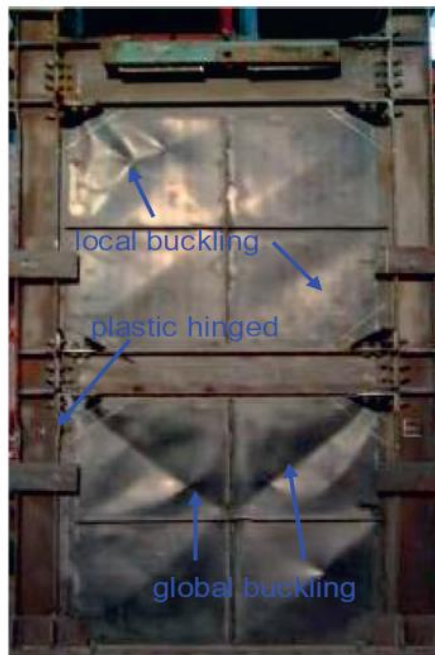
ditiadakan. Energi umumnya terdisipasi melalui *buckling deformation* pada *steel plate*.

c. Tahap *failure*

Pada saat beban puncak, *bearing capacity* spesimen menurun secara bertahap. Sendi plastis terbentuk pada sisi bawah daerah joint di tengah balok dan las pada dasar kolom mengalami *crack*. Pengaku pada sisi bawah mengalami *buckling* dengan pola yang tidak teratur.

2. Mode Kegagalan

Beban pada frame dibatasi dikarenakan *bearing capacity* dan kekakuan berkurang oleh karena sambungan *semi-rigid* pada balok dan kolom. Balok tersambung dengan elemen *SPSW* dengan *ear plate* untuk mentransmisi beban horizontal, dan oleh karena itu, sebagian besar beban horisontal didistribusikan dengan *steel plate*. Pengaku silang berfungsi memperlambat *buckling* pada *steel plate* dan meningkatkan *bearing capacity* dan kekakuan pelat baja.



Gambar 2.9 *Failure Mode* pada Salah Satu Spesimen Guo dkk, 2017

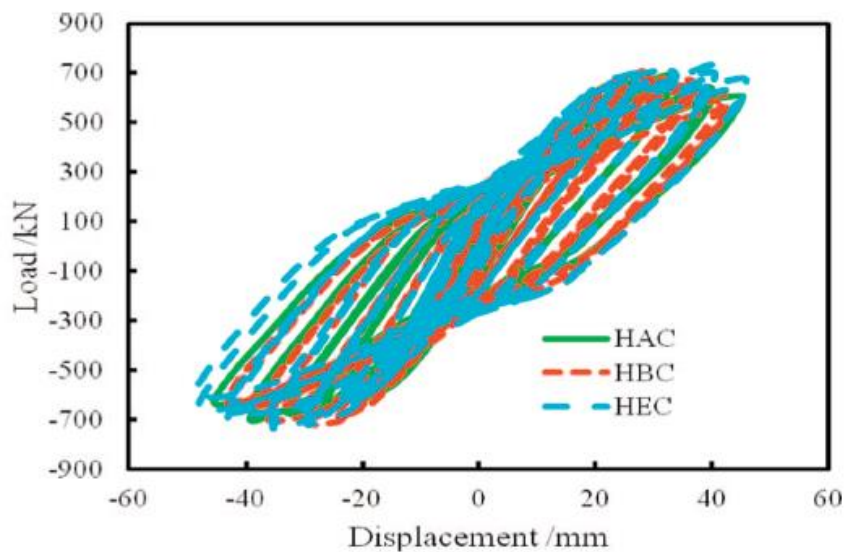
Mode kegagalan dapat diuraikan sebagai berikut: (1) Sendi plastis pada sisi dasar kolom dan 150 mm dibawah sambungan balok kolom. (2) *Steel plate* pada lantai dasar mengalami *global buckling* dan menyisakan deformasi residu

sebesar 20 mm. (3) Spesimen menunjukkan keseluruhan kegagalan flexural pada plate dan kolom mengalami *flexural torsional buckling* setelah beban puncak

3. Perilaku hysteresis

Kesimpulan yang dapat ditarik mengenai hysteresis curve adalah:

- Pada tahap awal pembebanan, *hysteretic curve* menunjukkan garis lurus yang panjang dan dangkal dan area yang tercakupi cukup kecil.
- Seiring meningkatnya beban *displacement*, pada pelat sel lantai dasar, tampak tekuk lokal, hysteresis loop makin melebar dan energi disipasi pada steel plate lantai dasar meningkat
- Pada tahapan yang sama pada tahap pembebanan, kekakuan struktur berkurang pada saat $displacement = 0$ dikarenakan pengenduran pada tegangan dan deformasi residu. Hysteresis loop mengecil. *Bearing capacity* dari struktur tidak mengalami penurunan



Gambar 2.10 Kurva *hysteresis* Pada Pemodelan Spesimen dalam Program Elemen Hingga (Guo dkk, 2017)

- Setelah beban puncak, *bearing capacity* dan kekakuan menurun dengan cepat. Hysteresis loop dari pelat pertama lebih “bulat” dan berbentuk S. Hysteresis loop steel plate pada lantai 2 meningkat. *Bearing capacity* dari struktur menurun drastis pada level beban yang sama dan energi disipasi kurang lebih sama.

- e. Perbandingan tinggi-lebar dari spesimen adalah 2,0. Deformasi lateral adalah bertipe bending dan hysteresis loop berbentuk bulat, dan mengindikasikan bahwa struktur memiliki kapasitas deformasi plastis yang sempurna
4. Kapasitas *bearing* dan daktilitas
- Breaking point* ditentukan ketika beban puncak menurun sebesar 15%. Dari *skeleton curves* dapat ditarik kesimpulan bahwa:
- a. Pada tahap kegagalan, displacement pada ketiga spesimen berada di nilai 45.7 mm dan 52.5 mm dan *inter-story displacement* ada pada nilai 1/53 sampai 1/60. Setelah mencapai beban puncak, kurva menurun perlahan-lahan, yang menunjukkan bahwa struktur memenuhi persyaratan *safety* yang baik
 - b. Faktor daktilitas dari struktur bernilai 3.62 sampai 4.4. Setelah mencapai beban puncak, performa dari *steel plate* menurun secara signifikan, dalam kasus ini, *steel plate* kehilangan *bearing capacity*-nya.
 - c. *Buckling load* pada ketiga spesimen pada dasarnya memiliki nilai yang sama, yang mana mengindikasikan bahwa efek dari kekakuan sambungan balok kolom pada *bearing capacity* dari struktur *SPSW* tidak terlalu besar.

5. Kapasitas energi disipasi

Kapasitas energi disipasi pada struktur diukur dari luas area dalam *hysteresis loop*. Dapat disimpulkan bahwa energi disipasi meningkat seiring meningkatnya beban *displacement*. Nilai dari ketiga spesimen berdekatan dan koefisien peredaman viskositas bernilai 0.2.

Dengan menggunakan pemodelan elemen hingga, dan setelah melakukan analisis, didapatkan hasil sebagai berikut:

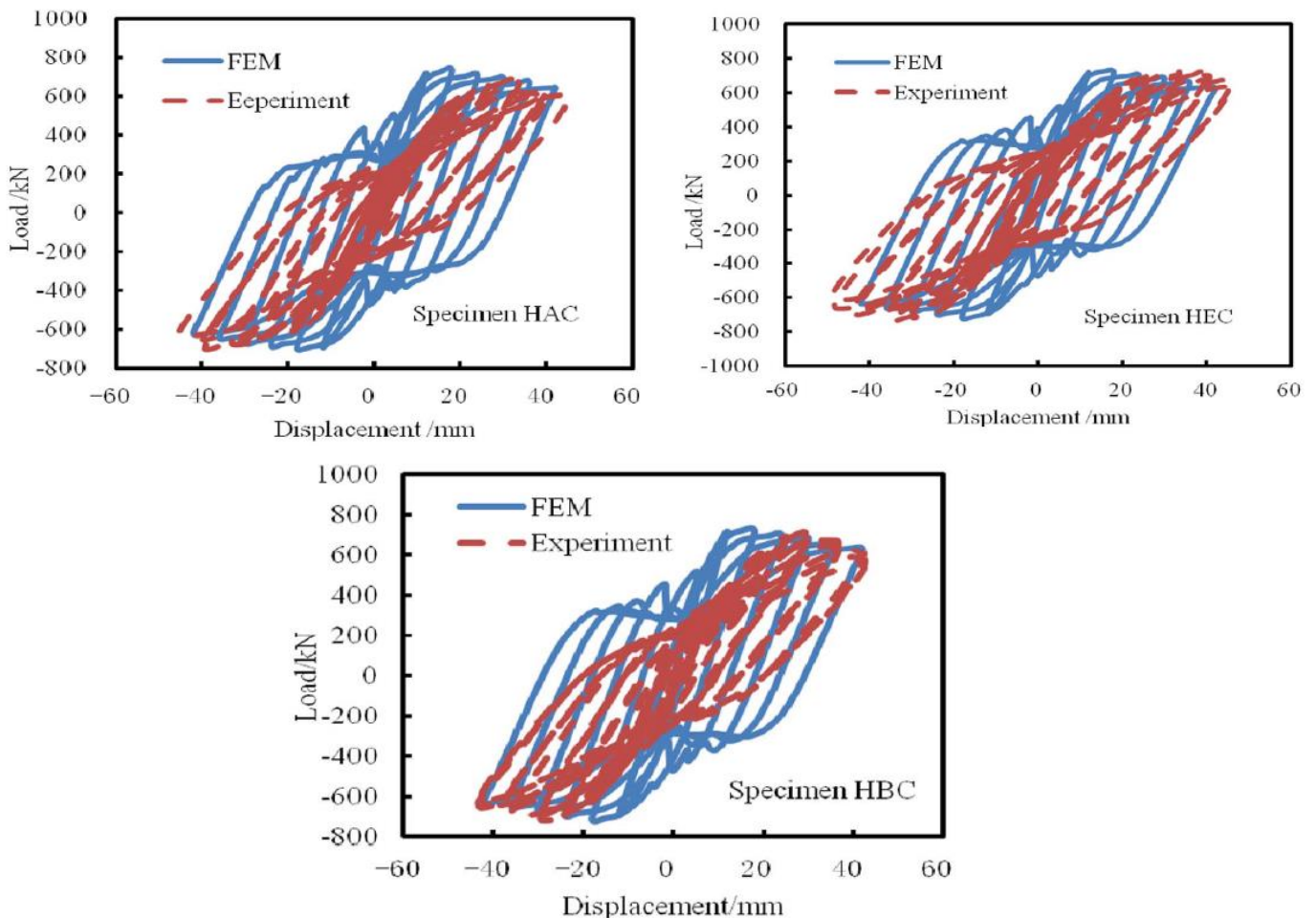
1. Perilaku hysteresis

Kurva histeresis dari spesimen yang dimodelkan dalam program finite element dapat terlihat pada gambar

Dikarenakan adanya factor yang mempengaruhi seperti deformasi awal, tegangan residual, beban eksentris, *hysteresis loop* yang didapatkan dari program *finite element* lebih besar dari hasil tes pada spesimen. *Bearing capacity* dari struktur dan beban puncak serupa dengan spesimen.

2. Stress development

Stress development dapat diamati dengan menampilkan tegangan Von Mises. Dapat diketahui bahwa pengaku membagi steel plate menjadi sel yang lebih kecil, sehingga mengurangi rasio tinggi-lebar dari plat, memperlambat terjadinya *buckling* pada *steel plate*, dan meningkatkan *bearing capacity* dan kekakuan dari struktur. Saat pembebanan selesai, seluruh pelat baja mengalami *buckling* dengan *buckling wave* yang rumit, dan element memasuki tahap *hardening*. Pengaku pada lantai dasar, dimana tegangan lokal terkonsentrasi, mengalami tekuk dan gagal.



Gambar 2.11 Perbandingan Kurva *Hysteresis* pada Eksperimen dan Pemodelan Finite Element (Guo dkk, 2017)

3. *Deformation*

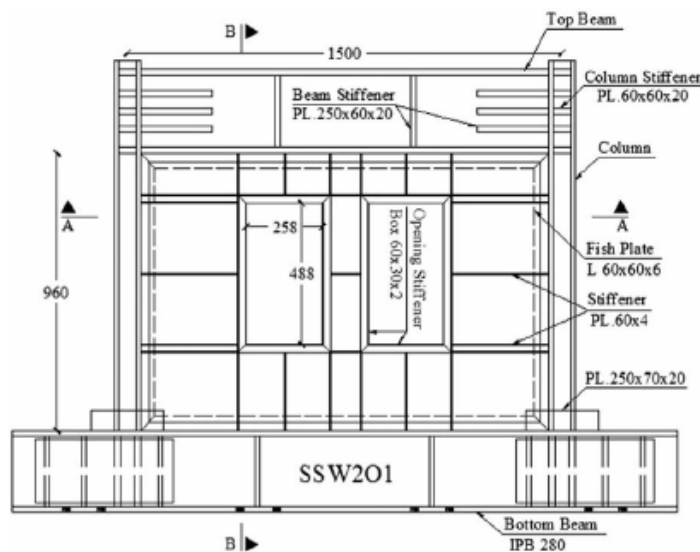
Global buckling dominan terjadi pada *steel plate* lantai dasar. Pengaku mengalami *buckle*, menurun dan bahkan kehilangan pengaku. Sendi plastis terbentuk pada kedua ujung kolom. Deformasi pada *steel plate* di lantai dasar jauh lebih besar dari *steel plate* pada lantai atas.

4. *Stiffener Arrangement*

Untuk dapat mengetahui efek dari penempatan dan jumlah pengaku, tiga spesimen didesain untuk keperluan analisa statis. Dapat diketahui bahwa kurva *bearing capacity* dari ketiga spesimen pada tahap elastis memiliki banyak kesamaan. Namun, pada kesimpulan akhir, bahwa semakin banyak pengaku yang digunakan, deformasi dari struktur secara efektif dapat dikurangi. Karena penempatan pengaku akan meningkatkan penggunaan baja dan biaya konstruksi, jumlah dari pengaku harus diperhitungkan secara saksama

2.4. *Opening pada SPSW*

Penelitian Saeid Sabouri-Ghomi dan Salahedin Mamazizi menggunakan 3 spesimen identik dengan skala 1:3, *SPSW* berpengaku 1 lantai dengan 2 bukaan *rectangular* simetris berpengaku dan 1 spesimen berpengaku dan tanpa bukaan. Pengaku ditempatkan pada *infill steel plate* terbagi menjadi beberapa *sub-panel*. *Sub-panel* yang terletak di antara 2 bukaan disebut sebagai *middle panel* dan bukaan yang terletak antara bukaan dan kolom disebut *lateral panel*.



Gambar 2.12 Spesifikasi dan Detail dari Eksperimen Saeid Sabouri-Ghomi dan Salahedin Mamazizi

Berdasarkan kapasitas beban dan actuator laboratorium, specimen didesain dan diproduksi berdasarkan metode PFI (*plate-frame interaction*). Gambar 2.13 menunjukkan *specimen setup* sebelum tes dilakukan.



Gambar 2.13 *Test Setup* Penelitian Saeid Sabouri-Ghomi dan Salahedin Mamazizi

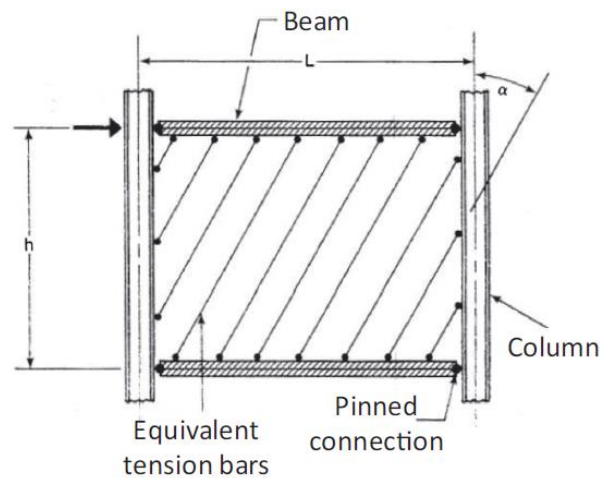
Beban quasi-statik siklik diaplikasikan pada specimen secara horizontal, pada tengah balok di atas specimen, sesuai dengan protocol ATC-24. Selama tes berlangsung, spesimen mengalami leleh pada angka yang telah diperkirakan sebelumnya. Beban vertikal tidak diterapkan dalam specimen ini dan tes dihentikan bila beban lateral turun sebesar 80% dari beban maksimum.

Dari eksperimen ini, didapatkan kesimpulan bahwa (1) pada spesimen berlubang, sebagian besar disipasi energi terjadi di bagian tengah dan lateral pada panel, yang mana besarnya bergantung pada tipe performanya, yakni dominan geser atau lentur. (2) Sendi plastis pada kolom dimulai dari sayap luar di sisi dasar. (3) Sambungan dari sisi horisontal dan vertikal boks mengalami crack dan ruptur dikarenakan kekakuan boks yang lebih besar dibandingkan dengan panel. (4) Tekuk dan deformasi pada pengaku yang ditempatkan di sudut boks yang mengelilingi terjadi lebih banyak daripada pengaku yang ditempatkan di tengah boks (5) Pengaku horisontal dan vertikal yang ditempatkan pada sisi tengah box yang mengitari berperan penting untuk mencegah deformasi. (6) Geser ultimate,

kekakuan geser dan energi disipasi memiliki nilai yang kurang lebih sama pada semua spesimen.

2.5. Pengaruh Perbandingan Tinggi dan Lebar SPSW

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku mekanis dari SPSW berdasarkan perbandingan tinggi dan lebar dari SPSW, seperti yang terlihat pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Pemodelan SPSW dengan 2 Sisi Sambungan (Liu Wen-Yang dkk, 2017)

Buckling Restrained Steel Plate Shear Wall (BRSPSW) dengan dua sisi telah dilakukan sebelumnya, dan diketahui bahwa *BRSPSW* memiliki kekakuan lateral, kapasitas beban dan energi disipasi yang besar daripada *SPSW* tanpa perlakuan apapun, baik dalam hal pengaku, ataupun perubahan pada *boundary element*.

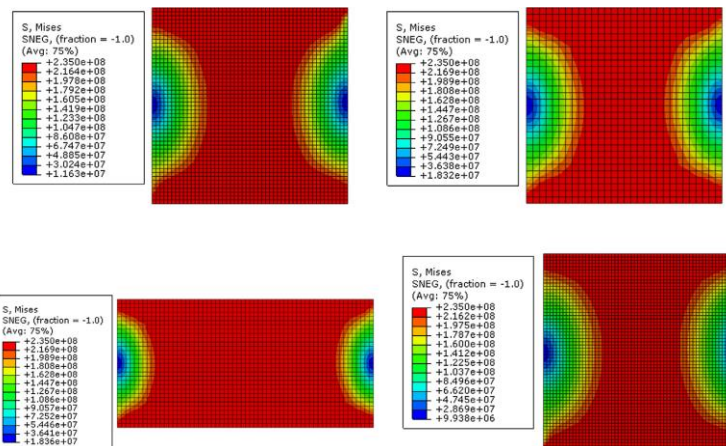
Tabel 2.1 Perbandingan Kapasitas Leleh dari *BRSPSW* dengan Dua Sisi Sambungan

No.	h (m)	b (m)	FEM (kN)	Lu et al. [25]		Proposed formula	
				Yielding capacity (kN)	Difference (%)	Yielding capacity (kN)	Difference (%)
1	3	1	258.0	276.3	7.1	280.8	8.8
2	3	1.5	560.4	581.3	3.7	583.2	4.1
3	3	2	930.6	952.8	2.4	943.5	1.4
4	3	3	1742.8	1793.9	2.9	1776.6	1.9
5	3	4.5	2963.2	3119.2	5.3	3003.3	1.4
6	3	6	4183.3	4434.2	6.0	4230.0	1.1
7	3	9	6623.9	7002.1	5.7	6683.4	0.9
8	4.5	1.5	384.2	414.5	7.9	421.2	9.6
9	4.5	2	668.9	750.9	12.3	711.4	6.4
10	4.5	3	1381.4	1429.2	3.5	1415.2	2.4
11	4.5	4.5	2597.2	2690.9	3.6	2664.9	2.6
12	4.5	6	3818.3	4014.9	5.1	3891.6	1.9
13	4.5	9	6260.6	6651.4	6.2	6345.0	1.3

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Liu Wen-Yang dkk (2017), dilakukan pemodelan dalam program elemen hingga dengan *BRSPSW* dengan 2 sisi

sambungan yang mana memiliki perbedaan ketinggian, lebar dan ketebalan sambungan. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat apada Tabel 2.1. Dari penelitian teresbut, hal-hal yang dapat disimpulkan ialah:

1. Ketika perbandingan tinggi dan lebar dari *SPSW* lebih kecil dari 1.5, terdapat *middle shearing region* dan *boundary restraining region* di tepi *SPSW* dengan lebar kurang lebih 1/3 dari tinggi *steel plate*. Karena hal ini, *middle shearing region* hamper sepenuhnya berada dalam kondisi geser yang mana sesuai dengan *BRSPSW* dengan 4 sisi sambungan
2. Untuk *BRSPSW* dengan perbandingan tinggi dan lebar yang kecil, daerah leleh berada dalam bentuk “I” yang mana tinggi sayap adalah kurang lebih 1/10 dari tinggi *steel plate*



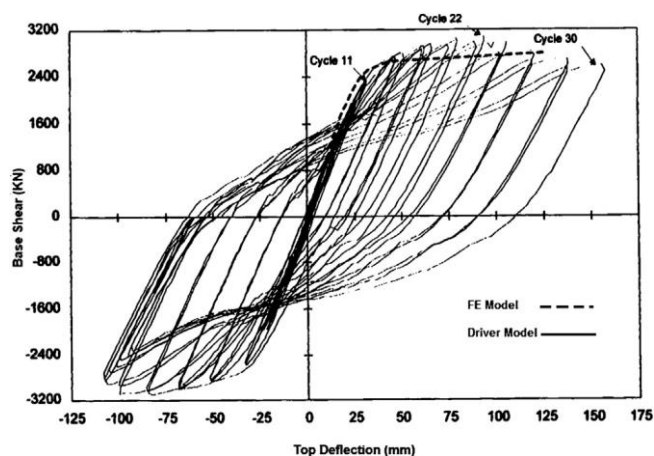
Gambar 2.15 Distribusi Tegangan von Mises pada *BRSPSW* dengan Perbandingan Tinggi dan Lebar yang Kecil (Liu Wen-Yang dkk, 2017)

3. Untuk *BRSPSW* dengan perbandingan tinggi dan lebar yang kecil, balok yang bersambung dengan *steel plate* menerima gaya geser di tengah bentang, berawal dar *shearing region* dari *steel plate*, dan tegangan dan regangan pada balok berasal dari *boundary restraining region* daripada *steel plate*. Untuk *BRSPSW* dengan perbandingan tinggi dan lebar yang besar, hanya gaya regangan dan tegangan vertikal yang ditransfer dari *steel plate* ke balok
4. Formula sederhana telah diusulkan untuk memperkirakan kapasitas leleh dari *BRSPSW* dengan 2 sisi sambungan pada *SPSW* dengan perbandingan tinggi-lebar yang kecil maupun besar. Perbedaan dari hasil yang didapatkan dari formula dan analisa numerik berada dalam *range* 10%.

2.6. RBS pada Balok Terkoneksi SPSW

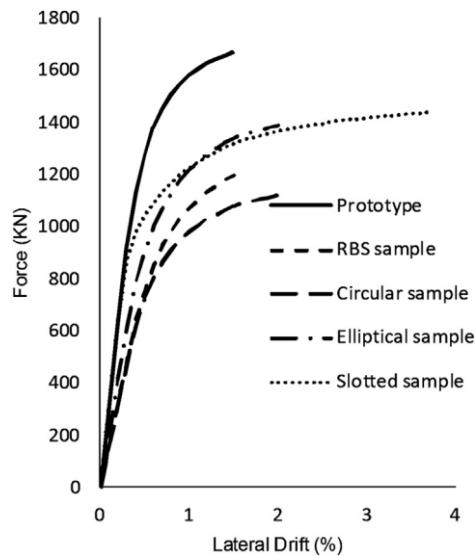
Penelitian Hoseinzadeh Asl dan Safarkhani di tahun 2017 menjadi acuan dalam penelitian ini, sebagai landasan akan pentingnya penggunaan *Reduced Beam Section (RBS)* pada balok terkoneksi *SPSW*. Penelitian ini berdasar pada analisa statis non-linier pada program elemen hingga ANSYS versi 15.0, dimana beban ditrapkan sebagai beban deformasi lateral, sebagai contoh, *displacement control*, untuk mempermudah kontrol meningkatkan konvergensi dari solusi numerik.

Steel plate dimodelkan dengan pengaku lateral, sambungan balok dan kolom dapat dimodelkan sebagai sambungan jepit atau rigid. Dalam kasus *rigid connection, moment resisting boundary frame* akan meningkatkan kualitas sistem penahan beban lateral. Namun, *rigid connection* meningkatkan kebutuhan akan *boundary frame*, dan sambungan balok kolom dapat mengalami kegagalan sebelum *web plate* mengalami *full yield*. Sehingga diberi solusi untuk mengurangi kekuatan elemen balok.



Gambar 2.16 Perbandingan antara Hasil Eksperimen dan Pemodelan
(Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

Penelitian ini dimodelkan dalam *frame* 4 tingkat, dibagi dalam 3 eksperimen, dimana setiap eksperimen menggunakan ukuran RBS berbeda namun tetap dibebani secara tipikal. Hasil dari analisa dengan program dan eksperimen telah dibandingkan, dan mendapatkan hasil yang serupa, sehingga dapat dikatakan bahwa pemodelan telah tervalidasi, seperti yang terlihat dalam Gambar 2.16



Gambar 2.17 Grafik Perbandingan Gaya Geser – *Lateral Displacement*

(Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

Adapun hasil analisa dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.17., dengan penguraian sebagai berikut:

1. Kekakuan

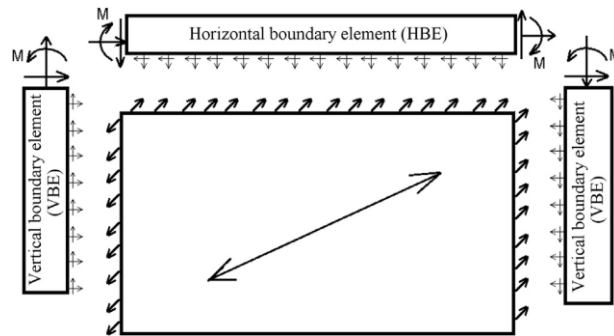
Pengurangan bagian pada *boundary element* dapat menyebabkan pengurangan pada kekakuan geser dan *flexural* pada balok, mengakibatkan pengurangan pada pengaku lateral. Pada model RBS, bagian sayap balok dikurangi, sehingga mengakibatkan pengurangan momen inersia dari balok dan juga mengurangi kekakuan model secara keseluruhan. Pada *slotted model*, bagian badan dari balok dikurangi (hanya mengurangi sedikit momen inersia), berkurangnya kekakuan geser pada daerah berlubang sangat sedikit.

2. Kekuatan dan Daktilitas

Gaya interaksi antara *SPSW* dan *boundary element* dapat terlihat pada Gambar 2.18. Diharapkan bahwa dengan pemodelan gaya tersebut, leleh tarik pada pelat terjadi ketika elemen di sekitarnya tetap berada dalam daerah elastis.

Peningkatan nilai momen yang tidak terkontrol dapat menyebabkan 2 hal, yaitu patah pada sambungan dan tekuk lokal pada kolom disekitar sambungan. Dengan menyediakan pengurangan *section* pada kolom dan perencanaan sendi plastis, momen ujung dapat terkontrol

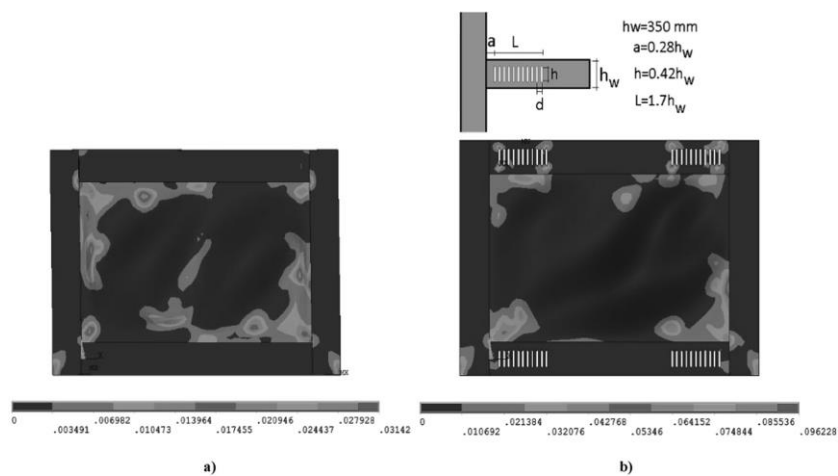
Setelah beberapa pengamatan dan olah data dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa pendistribusian plastisitas sepanjang daerah berlubang dapat membantu menghindari kegagalan *brittle* pada model, yang menyebabkan peningkatan daktilitas



Gambar 2.18 Gaya Interaksi *SPSW* (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

3. Perilaku hysteresis

Perilaku *hysteresis* dari *slotted beam* dibandingkan dengan yang tidak memiliki slot sama sekali Dapat terlihat pada Gambar 2.19 Model *slotted beam* lebih baik perihal ukuran balok dan kolom.



Gambar 2.19 Perbandingan balok dengan dan tanpa *slotted hole* (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

2.7. Preliminary Design VBE, HBE dan SPSW

1. Steel Plate Shear Wall

Berdasarkan rumus regangan struktur dari penelitian yang diadakan Deylami dan Rowghani-Kashani (2011) yang menggunakan Standard AISC, nilai dari sudut inklinasi (α) dari daerah geser didapatkan dengan rumus:

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2 A_c}}{1 + t_w h \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360 I_c L} \right)} \quad (2.3)$$

dan

$$\phi V_n = 0.90(0.42) f_y t_w L_{cf} \cos 2\alpha \quad (2.4)$$

Dimana:

t_w = Tebal badan plat

L_{cf} = Jarak bersih antar sayap (*flange*) VBE

A_b = Luas penampang HBE

A_c = Luas penampang VBE

I_c = Momen inersia VBE

L = Jarak antar as VBE

2. Horizontal Boundary Element (HBE)

Secara umum, *preliminary design* pada HBE berdasarkan perbedaan antara komponen dari gaya regangan yang disebabkan oleh pelat badan di atas dan bawah HBE. Gaya tersebut disebarkan sepanjang HBE dan mencapai nilai maximum ketika pelat badan mengalami leleh. Adapun besaran gaya tersebut adalah:

$$w_u = R_y f_y (t_w - t_{w1}) \cos^2 \alpha \quad (2.5)$$

Dimana R_y adalah rasio perkiraan tegangan maksimum dari SPSW

Balok dalam SPSW dipengaruhi oleh gaya aksial dan *flexural* yang disebabkan gaya tarik dari pelat badan dan beban gravitasi, juga beban momen dan geser yang disebabkan oleh deformasi dari frame. Dapat diasumsikan bahwa *bending force* dihasilkan dari deformasi pada *frame*, menyebabkan terjadinya sendi plastis di ujung-ujung balok. Hal ini dapat diabaikan bila balok dapat menanggung nilai tarik maksimum pada pelat badan sepenuhnya, yang mana momen pada tengah bentang sebesar:

$$M_u = \frac{w_u L_h^2}{8} + P_u^* \left[\frac{L}{3} - \frac{d_c}{2} - \frac{d_b}{2} \right] \quad (2.6)$$

Dimana P_u^* adalah gaya yang berasal dari balok anak, d_b dan d_c adalah tinggi balok dan kolom, dan L_h adalah jarak antara sendi-sendi plastis yang setara dengan

$$L_h = L - 2S_h \quad (2.7)$$

dan

$$S_h = \frac{1}{2}(d_c + d_b) \quad (2.8)$$

Tegangan axial pada balok adalah:

$$P_u = P_{HBE} = P_{HBE(VBE)} \pm \frac{1}{2}P_{HBE(web)} \quad (2.9)$$

$$P_{HBE(VBE)} = \sum \frac{1}{2}R_y f_y \sin^2(\alpha) t_w h_c \quad (2.10)$$

$$P_{HBE(web)} = \frac{1}{2}R_y f_y [t_i \sin(2\alpha_i) - t_{i+1} \sin(2\alpha_{i+1})]L_{cf} \quad (2.11)$$

h_c adalah jarak bersih antara sayap *HBE* di atas dan bawah pelat badan. Dapat diasumsikan bahwa komponen horizontal dari beban merata dari pelat badan menuju kolom akan diteruskan sama besar ke *HBE* di lantai atas dan bawah.

Kemudian, tegangan axial dan flexural orde kedua harus diperhitungkan. Metode yang digunakan dalam analisa elastis orde pertama dapat diterima sebagai metode yang digunakan dalam analisa elastis orde kedua.

Gaya geser dalam balok dapat diperhitungkan sebagai:

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + P_u^* + \frac{w_g + w_u}{2}L_{cf} \quad (2.12)$$

$$M_{pr} = 1.1R_y f_y Z_x \quad (2.13)$$

dimana w_g adalah beban gravitasi merata pada balok dan M_{pr} adalah gaya *flexural* pada sendi plastis. M_{pr} dapat direduksi dengan mempertimbangkan gaya tekan pada balok dalam *beam to column connection*.

3. Vertical Boundary Element (VBE)

Untuk kebutuhan perencanaan *VBE*, diharapkan memenuhi syarat kekakuan

$$I_c = 0.00307t_w h^4 \cos^2 \alpha \quad (2.14)$$

Gaya tekan pada kolom adalah:

$$E_m = \sum \frac{1}{2}R_y f_y \sin(2\alpha) t_w h + \sum V_u \quad (2.15)$$

atau

$$E_m = \sum \frac{1}{2}R_y f_y \sin(2\alpha) t_w h + \sum \left[\frac{2M_{pr HBE}}{L_{h HBE}} + P_u^* + \frac{w_g + w_u}{2}L_{cf} \right] - \sum \left[\frac{2M_{pr Adj}}{L_{h Adj}} \right] \quad (2.16)$$

Dalam persamaan ini, $M_{pr \text{ Adj}}$ adalah *expected flexural strength* pada balok yang melekat pada *SPSW*. *Bending* pada kolom disebabkan oleh gaya Tarik pada pelat badan dan sendi plastis pada *HBE*. Momen pada ujung kolom yang disebabkan oleh tarik pada pelat badan setara dengan:

$$M_{VBE(web)} = R_y f_y \sin^2(\alpha) t_w \left[\frac{h_c^2}{12} \right] \quad (2.17)$$

Momen yang dihasilkan sendi plastis pada *HBE* dihitung berdasarkan gaya lentur pada balok di daerah sambungan. Dapat diasumsikan bahwa momen pada setiap bagian kolom adalah setengah dari gaya lentur pada balok di daerah sambungan, seperti pada persamaan berikut

$$M_{VBE(web)} = \frac{1}{2} \sum M_{pb} \quad (2.18)$$

$$M_{pb} = \frac{M_{pr}}{1.1R_y} + V_u S_h \quad (2.19)$$

Dengan demikian, nilai geser pada *VBE* dapat dihitung. Gaya geser pada pelat badan dan bagian dari *shear story* tidak ditanggung oleh pelat badan. Bagian dari dapat disamakan dengan perhitungan pada sendi plastis *HBE*

$$V_u = V_{VBE(web)} + V_{VBE(HBE)} \quad (2.20)$$

$$V_{VBE(web)} = \frac{1}{2} R_y f_y \sin^2(\alpha) t_w h_c \quad (2.21)$$

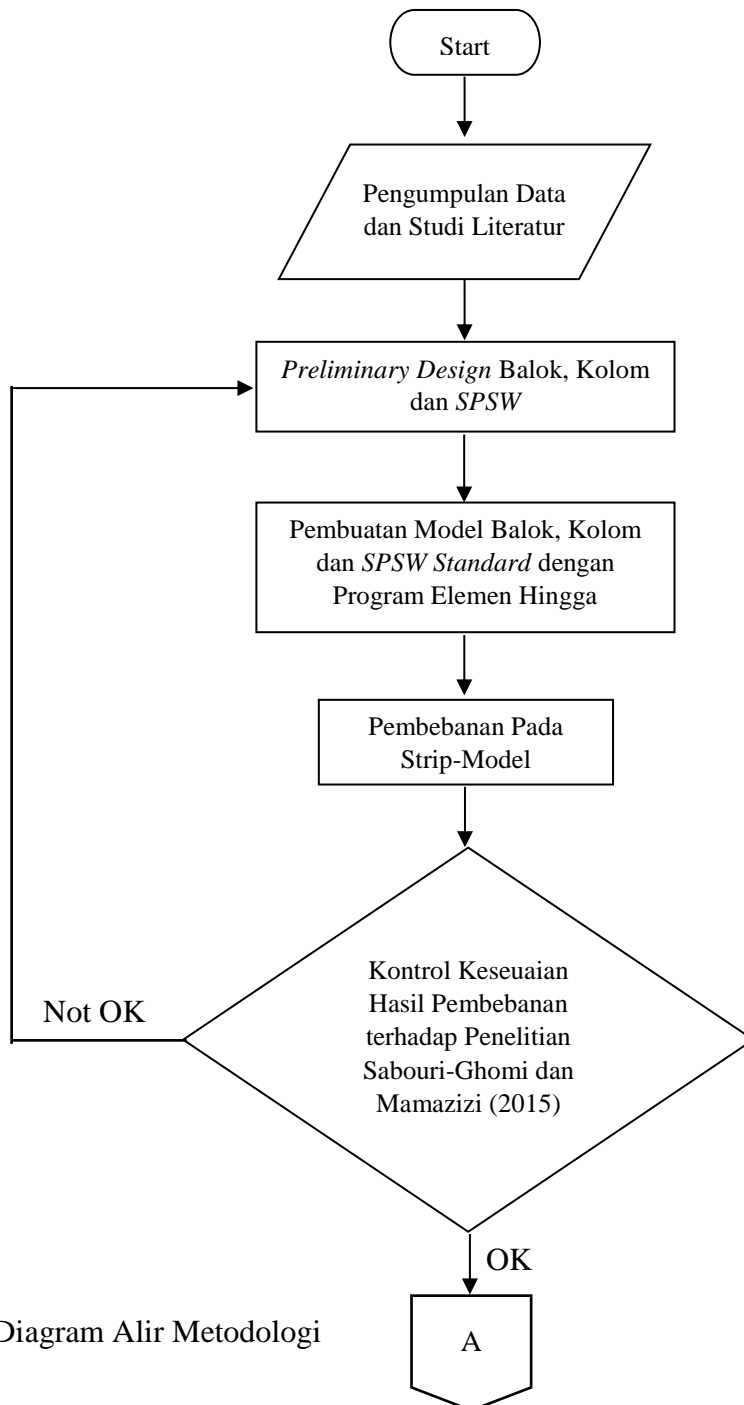
$$V_{VBE(web)} = \sum \frac{1}{2} \left[\frac{M_{pc}}{h_c} \right] \quad (2.22)$$

Dimana M_{pc} adalah *flexural strength* dari *VBE*

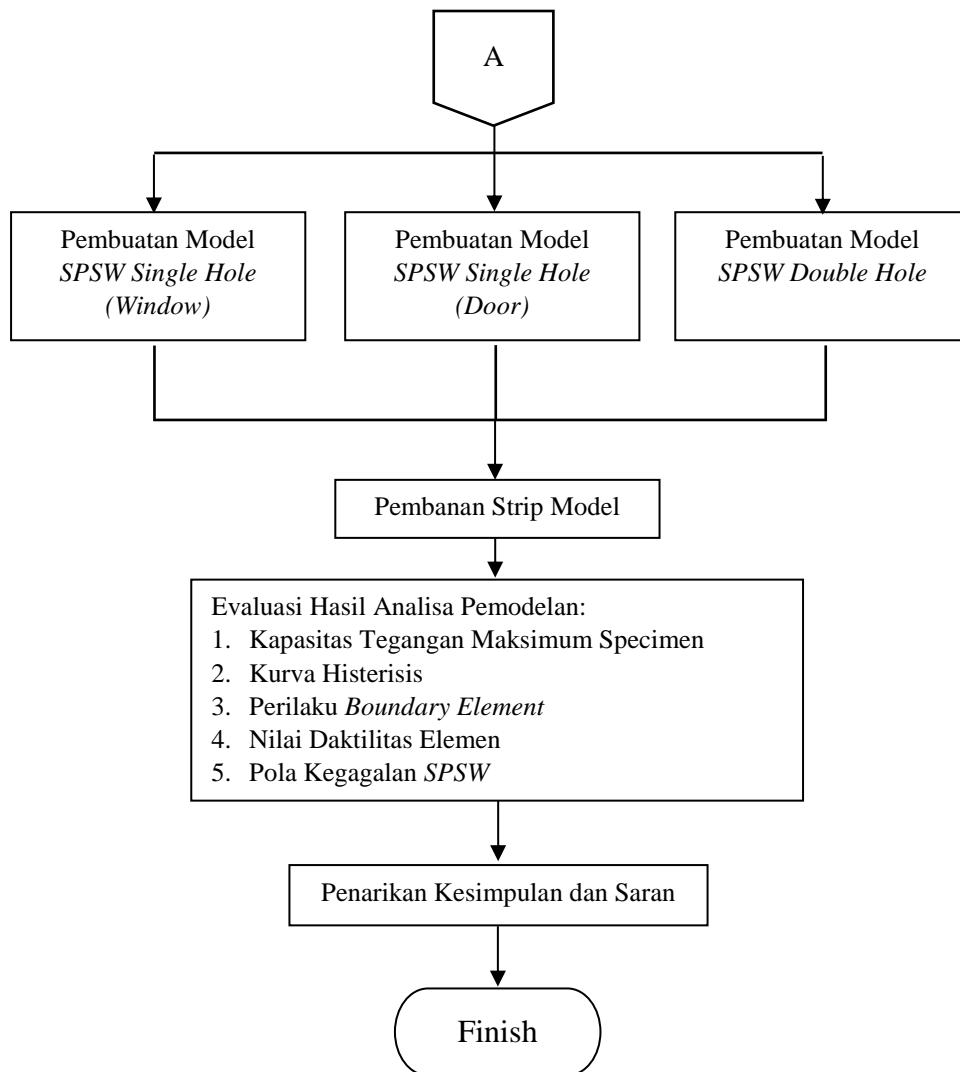
BAB 3 METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Metodologi

Berikut ini adalah diagram alir dari pengerjaan tesis ini. Diagram alir ini merepresentasikan keseluruhan proses pelaksanaan, dimulai dari studi literature hingga penarikan kesimpulan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi (lanjutan)

3.2. Studi Literatur

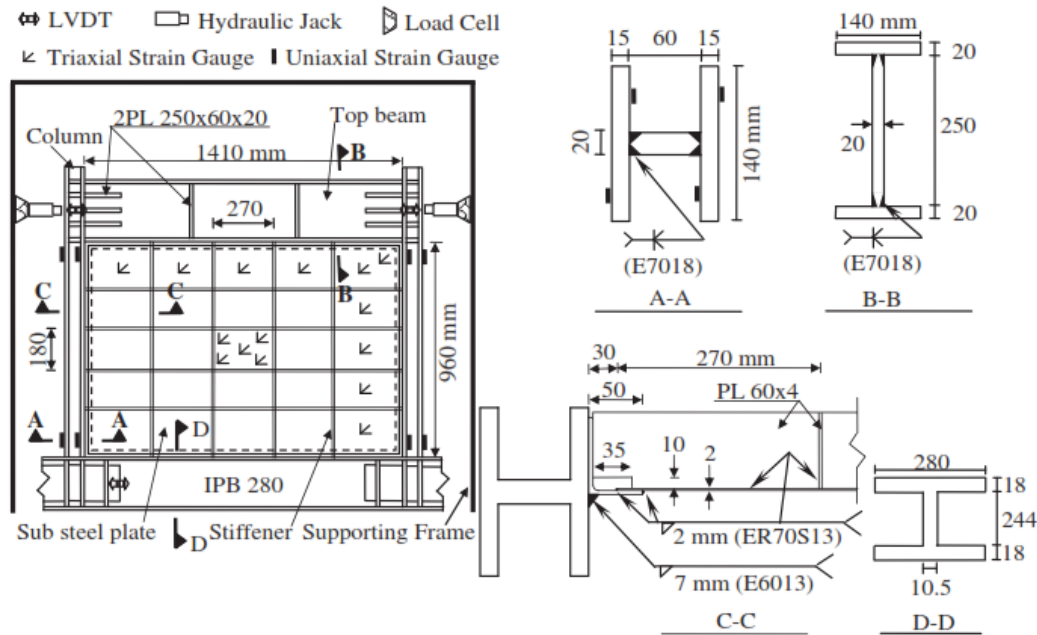
Pada tahap studi literatur, beberapa sumber perlu dipelajari sehingga dapat menjadi acuan dalam penelitian ini, baik dalam rupa buku maupun jurnal-jurnal penelitian yang berupa eksperimen dan permodelan yang berkaitan dengan penelitian ini. Dengan adanya acuan yang dimiliki, keabsahan dari penelitian yang akan dilakukan tidak akan diragukan lagi, sehingga dapat dipakai untuk penelitian-penelitian lebih lanjut.

Pada dasarnya, *Steel Plate Shear Wall* telah digunakan sebagai sistem penahan gaya lateral pada gedung bertingkat selama kurang lebih tiga puluh tahun. Banyak penelitian telah dilakukan mengenai perilaku elemen struktur ini di berbagai negara, seperti Amerika Serikat, Kanada dan Jepang. Cukup banyak bangunan yang menerapkan sistem struktur ini, dengan kecenderungan *steel plate* tipis dan kaku di Jepang dan *steel plate* yang lentur dan cukup tebal lebih sering digunakan di AS (Koppal, 2012).

Secara umum, keuntungan yang dapat diperoleh bila menggunakan sistem struktur ini, diantaranya elemen *steel plate* yang sangat tipis, sehingga sangat berpengaruh terhadap berat keseluruhan gedung. Adapun keuntungan lainnya ialah proses konstruksi yang cepat, memiliki kecenderungan daktilitas yang tinggi dan telah melalui serangkaian penelitian yang telah berlangsung lama (Ridwan, 2016).

3.3. Pemodelan SPSW Utama dalam Program *Finite Element*

Pemodelan dilakukan dengan pembuatan portal balok-kolom dan *steel plate* di dalamnya dengan menggunakan alat bantu software Abaqus 6.13. Model ini dibuat berdasarkan model yang digunakan pada penelitian Sabouri-Ghomi dan Sajjadi di tahun 2012, yang mengacu pada spesimen DS-SPSW-0%. Spesimen ini merupakan *SPSW* tanpa opening, namun menggunakan pengaku (*stiffness*). Adapun set-up test yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Set-up test ini akan kembali dimodelkan dalam penelitian ini sebagai dasar untuk pemodelan-pemodelan berikutnya.

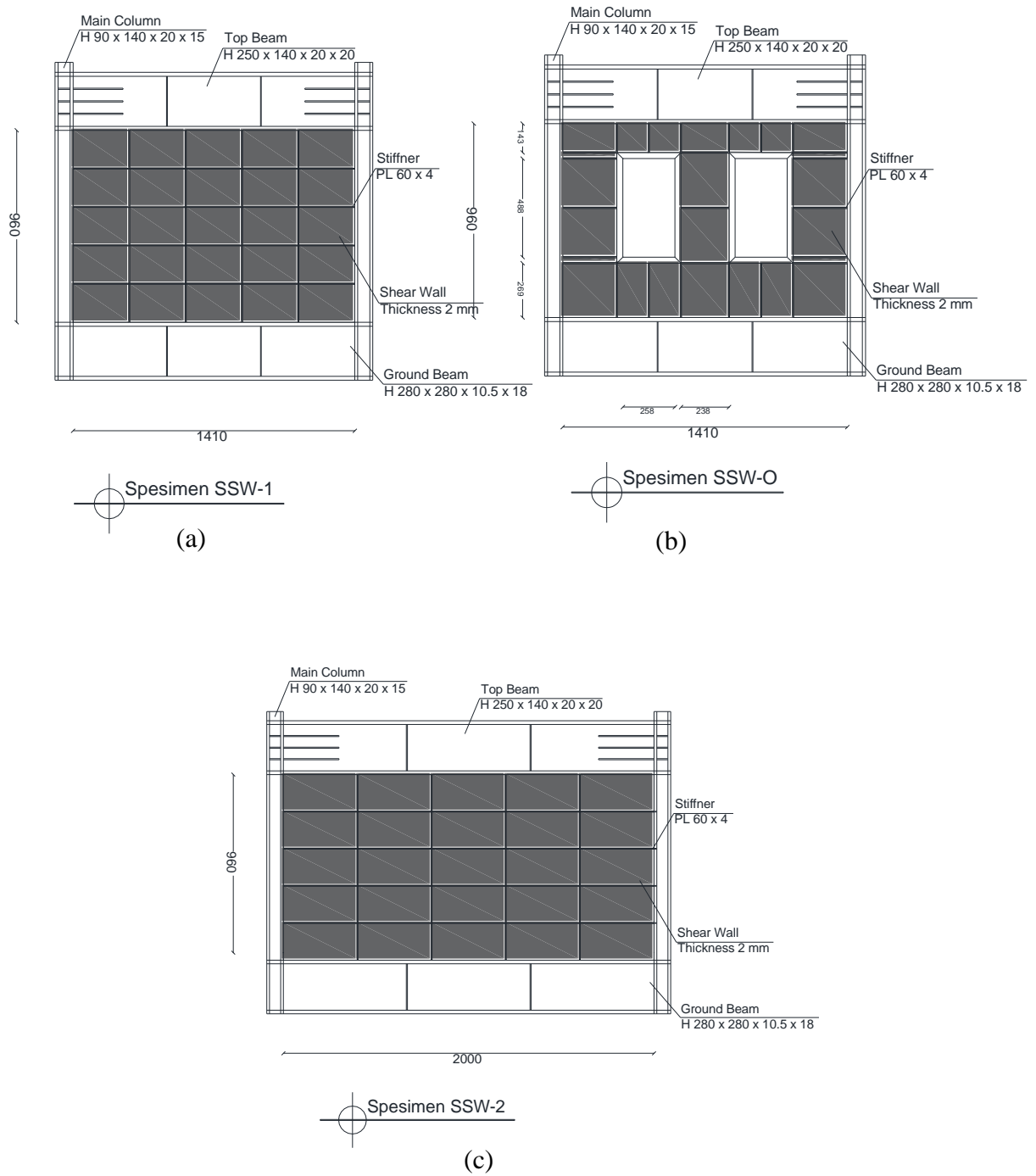


Gambar 3.2. Detail *Test Setup* Penelitian Sabouri-Ghomi dan Mamazizi tanpa *Opening*

Tabel 3.1 dan Gambar 3.3 menjelaskan spesifikasi dari model yang akan digambarkan pada program Abaqus, yang kemudian akan digunakan sebagai dasar perbandingan dengan penelitian yang telah ada sebelumnya.

Tabel 3.1 Spesifikasi Pemodelan *SPSW*

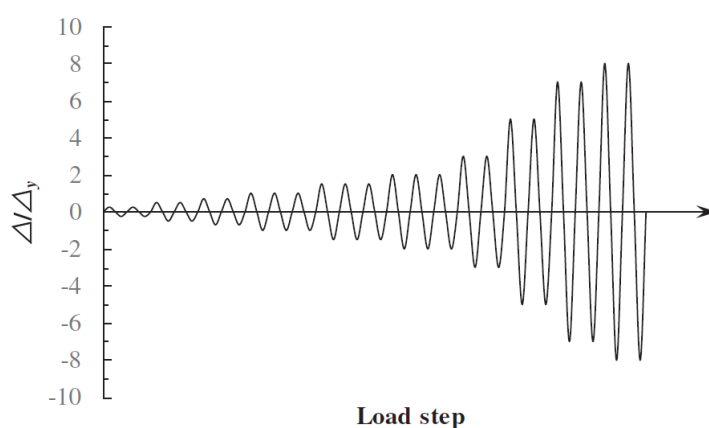
No	Nama Spesimen	Jenis Elemen	Material (German Standard)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Ukuran Section
1	SSW-1	Kolom	St 52	414,9	551,8	H 90 x 140 x 20 x 15
		Balok Atas	St 52	414,9	551,8	H 250 x 140 x 20 x 20
		Balok Bawah	St 52	414,9	551,8	H 280 x 280 x 10.5 x 18
		SPSW	St 14	192,4	277,2	1410 x 960, 2 mm
		Stiffener	St 37	258,3	390,4	PL 60 x 4
		2	SSW-2	Kolom	St 52	414,9
Balok Atas	St 52	414,9		551,8	H 250 x 140 x 20 x 20	
Balok Bawah	St 52	414,9		551,8	H 280 x 280 x 10.5 x 18	
SPSW	St 14	192,4		277,2	2000 x 960, 2 mm	
Stiffener	St 37	258,3		390,4	PL 60 x 4	
3	SSW-O	Kolom		St 52	414,9	551,8
Balok Atas		St 52	414,9	551,8	H 250 x 140 x 20 x 20	
Balok Bawah		St 52	414,9	551,8	H 280 x 280 x 10.5 x 18	
SPSW		St 14	192,4	277,2	1410 x 960, 2 mm	
Stiffener		St 37	258,3	390,4	PL 60 x 4	



Gambar 3.3 *Strip Model SPSW* Utama dengan (a) Rasio 1:1 (SSW-1)
 (b) Rasio 1:1 dengan Bukaan Ganda (SSW-O) (c) Rasio 1:1,5 (SSW-2)

3.4. Proses Pembebanan

Pembebanan dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sabouri-Ghomi dan Mamazizi dalam jurnal *Experimental Investigation on Stiffened Steel Plate Shear Walls with Two Rectangular Openings* di tahun 2015. Adapun cara pembebanannya ialah dengan menggunakan kuasi statis beban siklik sesuai terapan direkomendasikan oleh ATC (American Technology Council) dalam protokol ATC 24 (ATC,1992), seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Adapun pembebanan elastis tersebut dilakukan dengan metode *displacement control*. Berdasarkan protokol tersebut, setidaknya-tidaknya ada tiga tahapan siklus elastis yang dilakukan dengan menggunakan amplitude gaya (*force amplitude*) dan saat memasuki daerah inelastik, test dilakukan dengan metode *deformation control*. Beban vertikal tidak akan disertakan pada spesimen ini.



Gambar 3.4 Grafik Pembebanan *Cyclic* pada Spesimen Berdasarkan ATC 24

3.5. Validasi Hasil Pembebanan

Kontrol terhadap pemodelan dilakukan dengan cara perbandingan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dengan cara pemodelan yang serupa dengan penelitian Sabouri Ghomi dan Mamazizi tahun 2015, pada spesimen DS-SPSW-0%.

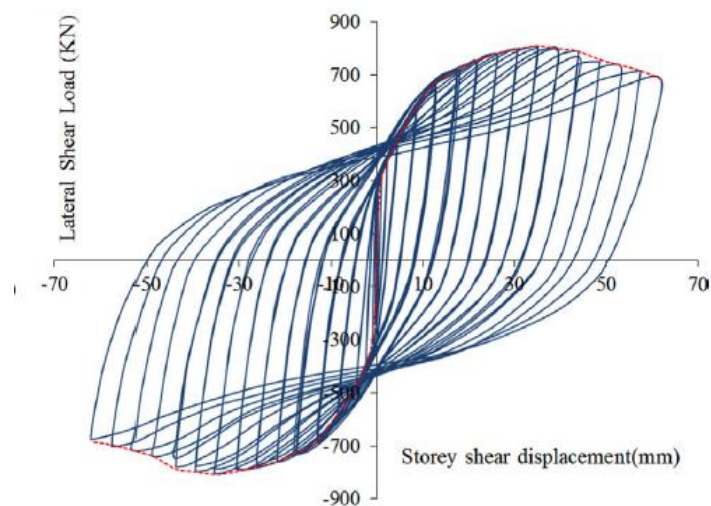
Sebelum test ini dilakukan, *displacement* yang disebabkan oleh leleh geser the diprediksi dengan menggunakan metode PFI secara teori dan numerik. Kemudian, selama test berlangsung, specimen mengalami leleh pada nilai yang

hampir sama dengan prediksi sebelumnya, sehingga memvalidasi prediksi yang telah dilakukan sebelumnya.

Adapun pembebanan pada spesimen ini telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, dimana test dihentikan saat beban lateral menurun hingga kurang 80% dari beban maksimum.

Hasil dari test ini juga telah dijelaskan pada sub-bab 2.4. Lebih spesifik, dari hasil spesimen menunjukkan, pada siklus ke 6 pembebanan, *strain gauge* menunjukkan terjadi pelehan signifikan saat *displacement* bernilai 1.58 mm (0.16% *drift*). Beban maksimum yang dapat ditanggung spesimen bernilai 808 kN, terjadi saat *displacement* bernilai 34.05 mm (3.55% *drift*). Adapun *buckling* pertama terjadi saat *displacement* bernilai 2.7 mm (0.28% *drift*).

Sobekan pertama terlihat saat *displacement* bernilai 21.6 mm (2.25% *drift*). Sobekan tersebut terus melebar namun tidak membuat *steel plate* terpisah dari *frame*. *Plastic hinge* terbentuk di sisi atas dan bawah kolom saat *displacement* bernilai antara 8.6 mm (0.89% *drift*) dan 12.9 mm (1.34% *drift*). Hasil dari pembebanan siklus tersebut dapat terlihat dalam kurva *hysteresis* pada Gambar 3.5. Tabel 3.2 menunjukkan perbandingan hasil eksperimen yang menggunakan dan tidak menggunakan *opening*.



Gambar 3.5 *Hysteresis Curve* Spesimen tanpa *Opening*

Tabel 3.2 Perbandingan Hasil Penelitian *Steel Plate* dengan dan Tanpa *Opening*

Comparison between structural parameters of specimens.

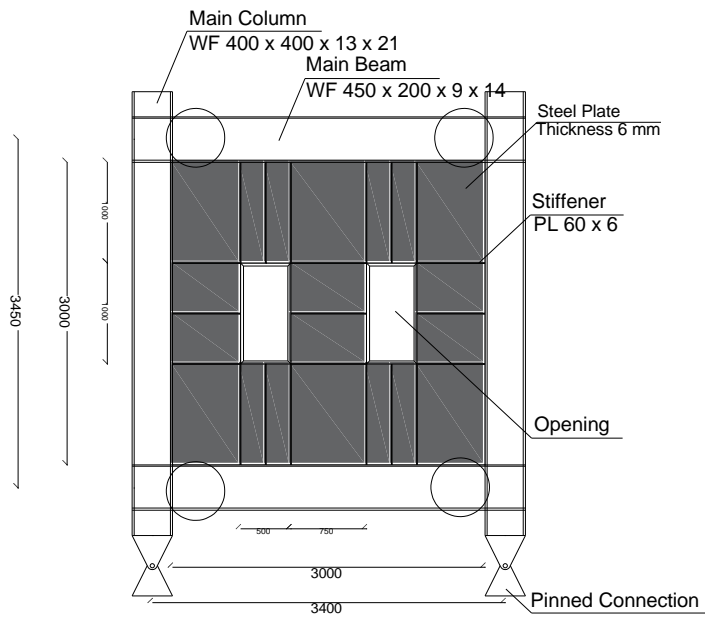
	Ultimate shear strength (kN)	Initial stiffness (kN/mm)
SSW201	585.7	179.1
SSW202	583.8	172.2
SSW203	587.3	170.8
Average of perforated specimens	585.6	174.0
DS-SPSW-0%	751.9	273.5
Difference between average of perforated specimens and unperforated specimen	22%	36%

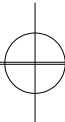
3.6. Pemodelan SPSW dengan Modifikasi

Pemodelan serupa dengan Subbab 3.4 dilakukan kembali dengan beberapa perubahan dan modifikasi, sehingga menjadi langkah selanjutnya dalam pengerjaan keseluruhan Tesis ini. Tabel 3.3 dan Gambar 3.6 sampai Gambar 3.11 adalah rencana pemodelan SPSW dengan modifikasi *opening*.

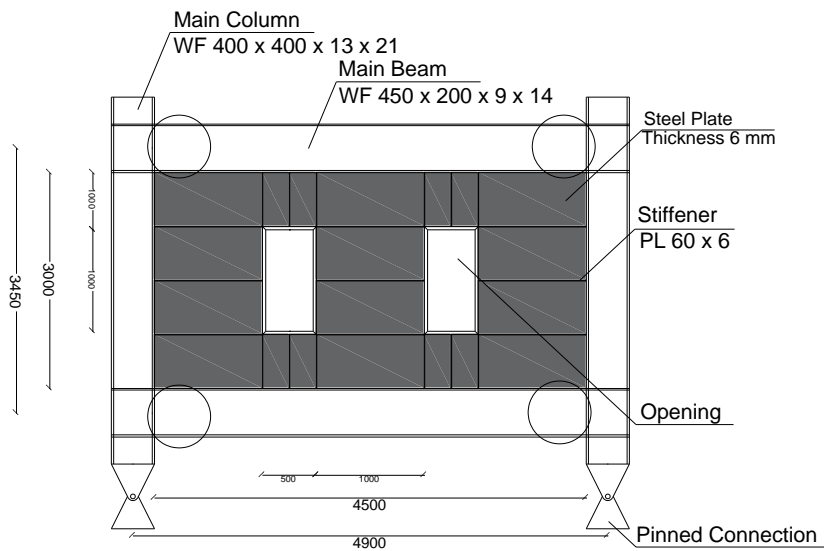
Tabel 3.3 Spesifikasi Pemodelan SPSW dengan *Opening*

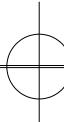
No	Nama Spesimen	Jenis Elemen	Material (German Standard)	f_y (MPa)	f_u (MPa)	Ukuran Section
1	SSW-1-DW	Kolom	St 52	414.9	551.8	WF 400 x 400 x 13 x 21
		Balok Atas	St 52	414.9	551.8	WF 450 x 200 x 9 x 14
		SPSW	St 14	192.4	277.2	3000 x 3000, 6 mm
		Stiffener	St 37	258.3	390.4	PL 60 x 4
2	SSW-2-DW	Kolom	St 52	414.9	551.8	WF 400 x 400 x 13 x 21
		Balok Atas	St 52	414.9	551.8	WF 450 x 200 x 9 x 14
		SPSW	St 14	192.4	277.2	4500 x 3000, 6 mm
		Stiffener	St 37	258.3	390.4	PL 60 x 4
3	SSW-1-SW	Kolom	St 52	414.9	551.8	WF 400 x 400 x 13 x 21
		Balok Atas	St 52	414.9	551.8	WF 450 x 200 x 9 x 14
		SPSW	St 14	192.4	277.2	3000 x 3000, 6 mm
		Stiffener	St 37	258.3	390.4	PL 60 x 4
4	SSW-2-SW	Kolom	St 52	414.9	551.8	WF 400 x 400 x 13 x 21
		Balok Atas	St 52	414.9	551.8	WF 450 x 200 x 9 x 14
		SPSW	St 14	192.4	277.2	4500 x 3000, 6 mm
		Stiffener	St 37	258.3	390.4	PL 60 x 4
5	SSW-1-D	Kolom	St 52	414.9	551.8	WF 400 x 400 x 13 x 21
		Balok Atas	St 52	414.9	551.8	WF 450 x 200 x 9 x 14
		SPSW	St 14	192.4	277.2	3000 x 3000, 6 mm
		Stiffener	St 37	258.3	390.4	PL 60 x 4
6	SSW-2-D	Kolom	St 52	414.9	551.8	WF 400 x 400 x 13 x 21
		Balok Atas	St 52	414.9	551.8	WF 450 x 200 x 9 x 14
		SPSW	St 14	192.4	277.2	4500 x 3000, 6 mm
		Stiffener	St 37	258.3	390.4	PL 60 x 4



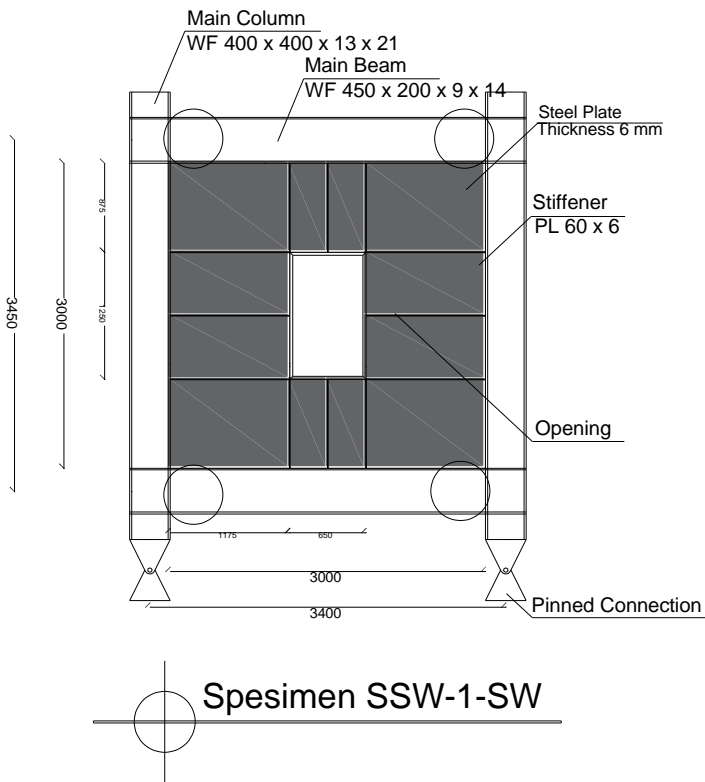

Spesimen SSW-1-DW

Gambar 3.6 Sketsa Spesimen SSW-1-DW (*Double Opening*)

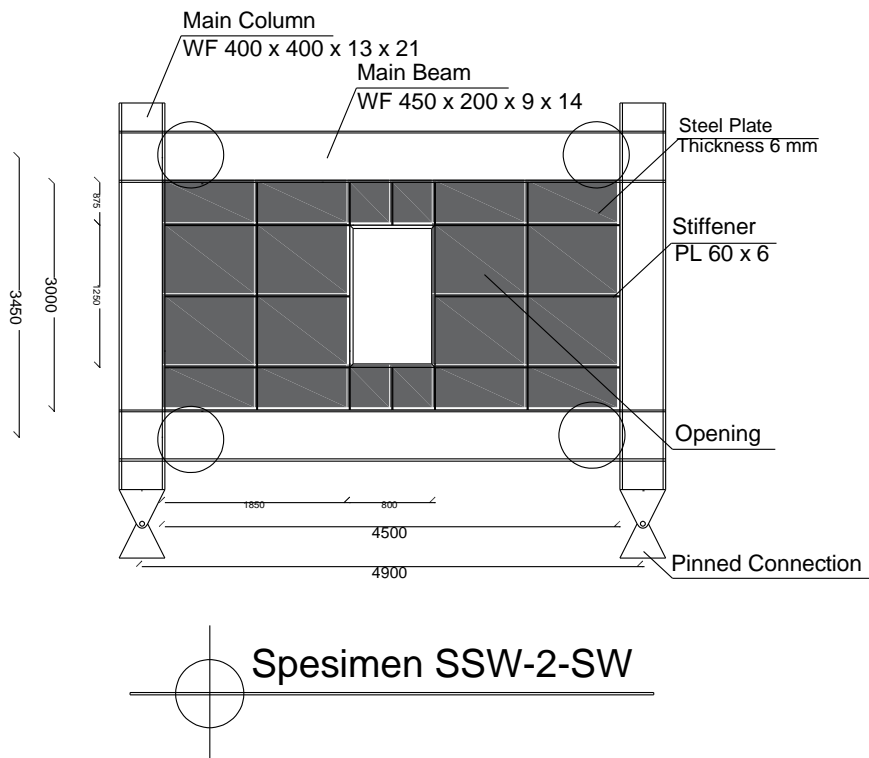



Spesimen SSW-2-DW

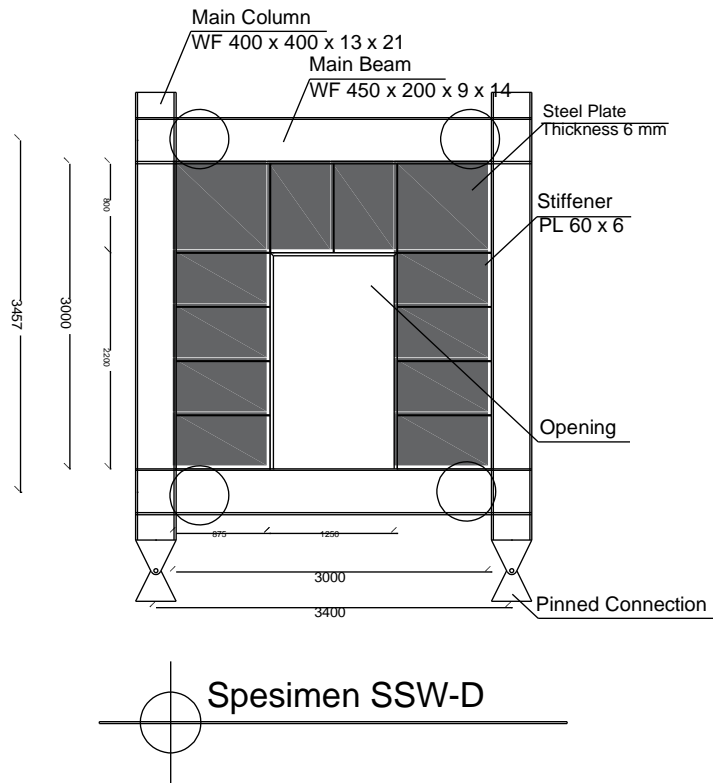
Gambar 3.7 Sketsa Spesimen SSW-2-DW (*Double Opening*)



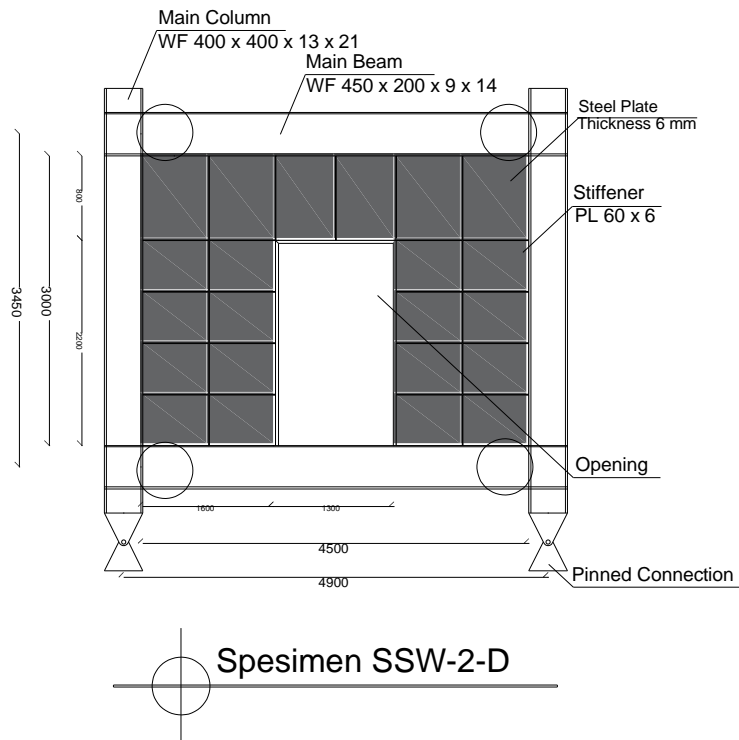
Gambar 3.8 Sketsa Spesimen SSW-1-SW (*Single Opening*)



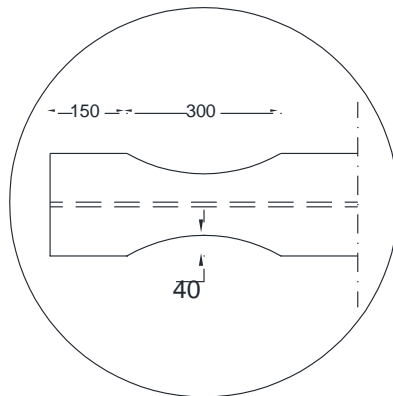
Gambar 3.9 Sketsa Spesimen SSW-2-SW (*Single Opening*)



Gambar 3.10 Sketsa Spesimen SSW-1-D (*Single Opening* untuk Pintu)



Gambar 3.11 Sketsa Spesimen SSW-2-D (*Single Opening* untuk Pintu)



Gambar 3.12 Sketsa *Reduced Beam Section* pada *Frame*

3.7. Analisa Hasil Pemodelan *Steel Plate* dengan Varian Metode

Perbandingan hasil dari berbagai varian metode dilakukan dari berbagai jenis hasil penelitian, yaitu kapasitas *SPSW*, kurva beban *cyclic SPSW*, perilaku *boundary element*, daktilitas dan pola kegagalan *SPSW*.

1. Kapasitas *SPSW*

Kemampuan *SPSW* dalam menerima beban yang didapatkan setelah melakukan pembebanan siklik, mulai dari pembebanan pertama, saat mencapai kekuatan leleh maupun kekuatan *ultimate*.

2. *Hysteresis Curve* dan *Backbone Curve*

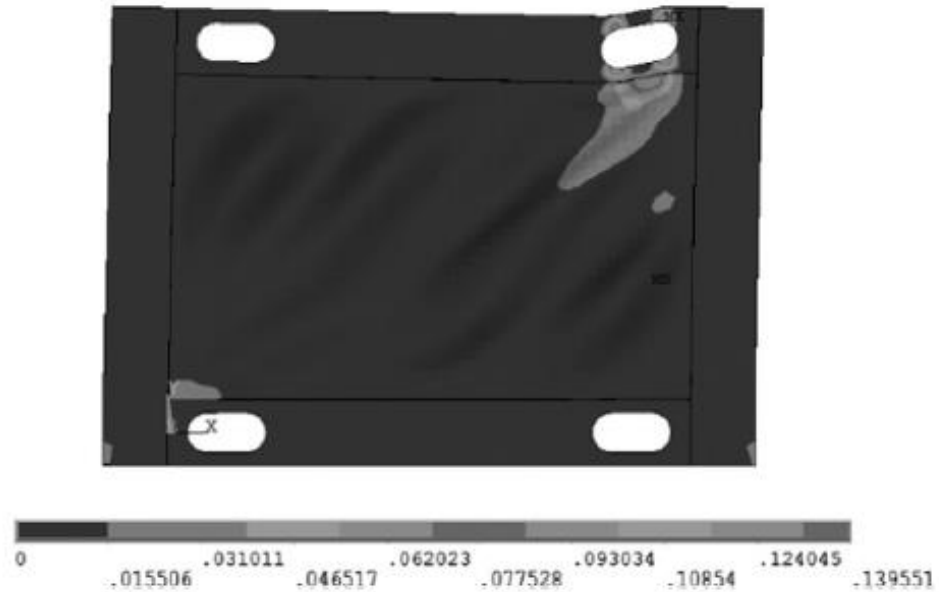
Hasil analisa numerik yang ditampilkan dalam kurva beban-*displacement*. Dalam kurva ini akan ditampilkan data yang didapatkan selama proses pembebanan, khususnya pembebanan siklik, seperti yang terlihat pada Gambar 3.13. Kurva ini akan memperlihatkan kenaikan atau penurunan *displacement* seiring dengan pembebanan yang dikenakan pada *SPSW* dengan berbagai metode yang digunakan.

3. Perilaku *Boundary Element*

Efek yang dihasilkan pada portal di sekitar *SPSW* berupa bentuk dan besarnya deformasi. Efek yang ditimbulkan dari deformasi *SPSW* terhadap elemen struktur disekitarnya akan dicatat selama proses pembebanan, seperti yang dapat terlihat pada Gambar 3.14, sehingga dapat diketahui metode terbaik untuk meningkatkan performa dari *SPSW*.

4. Daktilitas

Hubungan antara simpangan *ultimate* dengan simpangan waktu leleh awal. Dalam setiap varian perilaku yang dikenakan pada *SPSW*, akan diambil nilai tegangan dan regangan searah *SPSW* dan diambil pada tempat yang sama, sehingga dapat menghasilkan nilai yang valid.



Gambar 3.13 Bentuk Akhir dari *Boundary Element* setelah Pembebanan pada Specimen (Liu Wen-Yang dkk, 2017)

5. Pola Kegagalan *SPSW*

Perilaku struktur selama pembebanan berlangsung, dan besarnya deformasi pada setiap tahap pembebanan. Dalam setiap proses pembebanan, elemen struktur akan mengalami deformasi, apapun bentuk perlakuan yang diberikan pada elemen struktur tersebut, seperti yang terlihat pada Gambar 3.15. Nilai dalam proses pembebanan ini akan dicatat sehingga performa terbaik elemen struktur dapat direncanakan untuk dicapai.



Gambar 3.14 *Failure Mode* pada *SPSW* (Niari dkk, 2015)

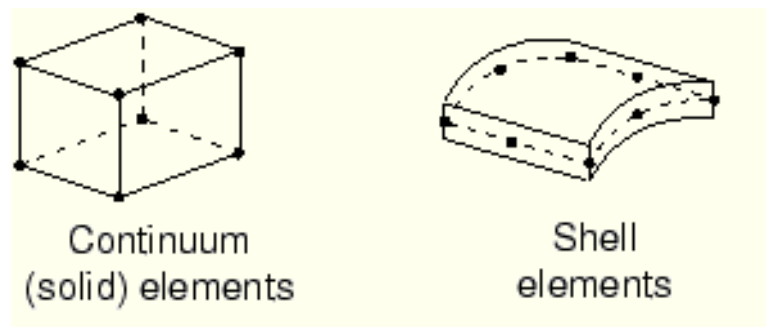
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

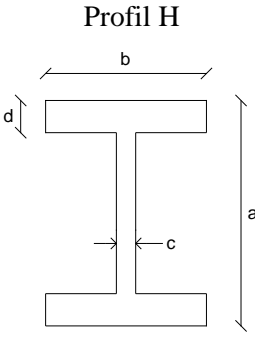
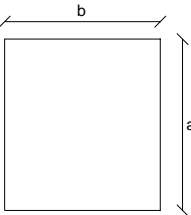
4.1. Elemen-Elemen pada Spesimen

Pada penelitian ini, spesimen dibuat berdasarkan pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dengan beberapa perubahan dan penyesuaian pada penerapannya. Penelitian-penelitian tersebut membentuk suatu specimen berupa portal yang terdiri dari dua balok dan kolom serta dinding geser pelat baja itu sendiri. Berdasarkan jurnal “*Experimental and theoretical studies of steel shear walls with and without stiffeners*” oleh Sabouri-Ghomi dan Sajjadi serta “*Experimental investigation on stiffened steel plate shear walls with two rectangular openings*” oleh Sabouri-Ghomi dan Mamazizi, sebagai pembanding eksperimen penelitian tersebut dengan analisa program pada penelitian ini, digunakan elemen-elemen dengan profil yang dijelaskan dalam Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3. Adapun pemodelan pada setiap elemen dimodelkan sebagai *solid element* yang diilustrasikan dalam Gambar 4.1. Penggunaan *solid element* (yang memiliki tiga *degree of freedom* di setiap node) dimaksudkan agar lebih akurat dalam menggambarkan pemodelan yang akan dilakukan sebagai pembanding dengan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya, bila dibandingkan dengan *shell element* yang memiliki enam *degree of freedom* di setiap *node*-nya.

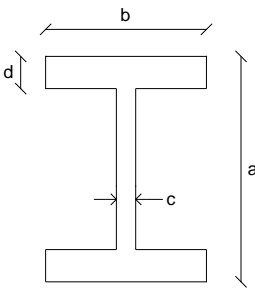


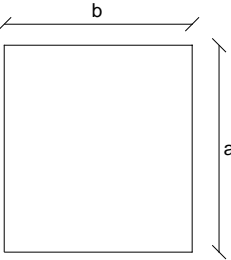
Gambar 4.1 Perbandingan *Solid Element* dan *Shell Element* pada Pemodelan *Finite Element*

Tabel 4.1 Profil Elemen pada Spesimen SSW 1

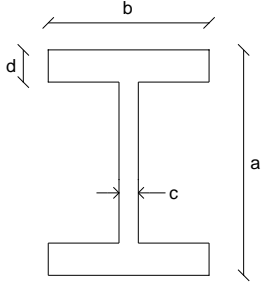
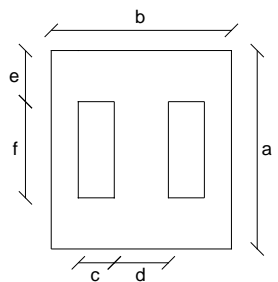
Jenis Profil	Jenis Elemen	Dimensi (mm)						Tebal/Panjang (mm)
		a	b	c	d	e	f	
<p>Profil H</p> 	Kolom	90	140	20	15	-	-	1250
	Balok Atas	290	140	20	20	-	-	1410
	Balok Bawah	280	280	10.5	18	-	-	1590
<p>Plat</p> 	Steel Plate	960	1410	-	-	-	-	2
	Stiffeners	60	4	-	-	-	-	menyesuaikan

Tabel 4.2 Profil Elemen pada Spesimen SSW 2

Jenis Profil	Jenis Elemen	Dimensi (mm)						Tebal/Panjang (mm)
		a	b	c	d	e	f	
<p>Profil H</p> 	Kolom	90	140	20	15	-	-	1290
	Balok Atas	290	140	20	20	-	-	2000
	Balok Bawah	280	280	10.5	18	-	-	2180

Jenis Profil	Jenis Elemen	Dimensi (mm)						Tebal/Panjang (mm)
		a	b	c	d	e	f	
Plat 	Steel Plate	1000	2000	-	-	-	-	2
	Stiffeners	60	4	-	-	-	-	menyesuaikan

Tabel 4.3 Profil Elemen pada Spesimen SSW O

Jenis Profil	Jenis Elemen	Dimensi (mm)						Tebal/Panjang (mm)
		a	b	c	d	e	f	
Profil H 	Kolom	90	140	20	15	-	-	1250
	Balok Atas	290	140	20	20	-	-	1410
	Balok Bawah	280	280	10.5	18	-	-	1590
Plat 	Steel Plate	960	1410	318	238	143	548	2
	Stiffeners	60	4	-	-	-	-	menyesuaikan

4.2. Pemodelan Spesimen SPSW

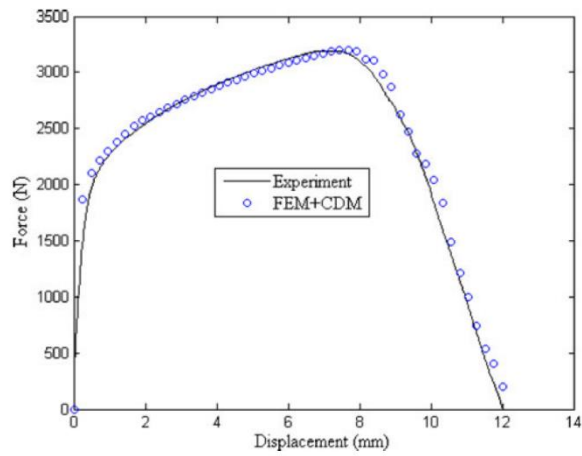
Analisa spesimen pembanding dimodelkan serupa dengan spesimen, yaitu dengan menggunakan balok terkekang sempurna. Hasil dari eksperimen ini memungkinkan adanya leleh, buckling dan torsi bukan hanya pada SPSW dan *stiffener*, juga pada kolom dan balok di atas SPSW.

1. *Parts*

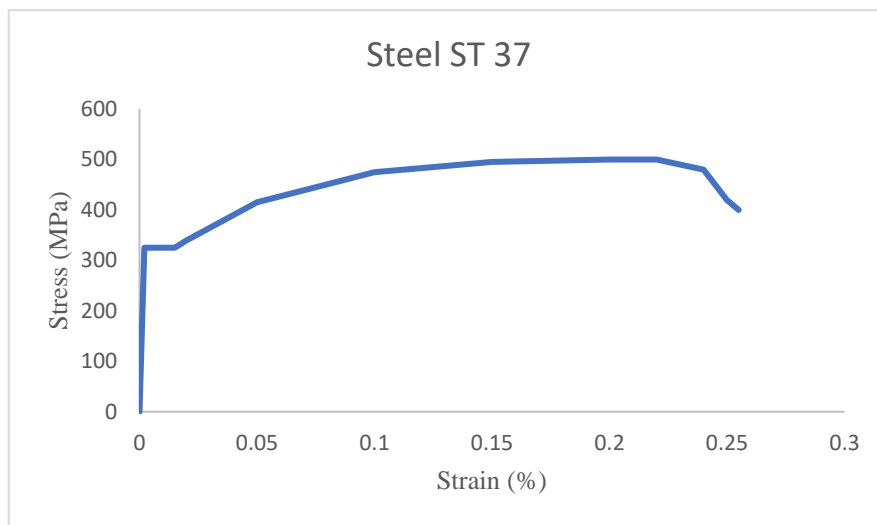
Pembuatan bentuk elemen yang akan digunakan dalam penelitian ini dilakukan pada tahap ini. Adapun tahapannya dimulai dengan membuat sketsa *section cut* dan panjang elemen tersebut. Elemen-elemen yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat terlihat pada Tabel 4.1 sampai 4.3.

2. *Property*

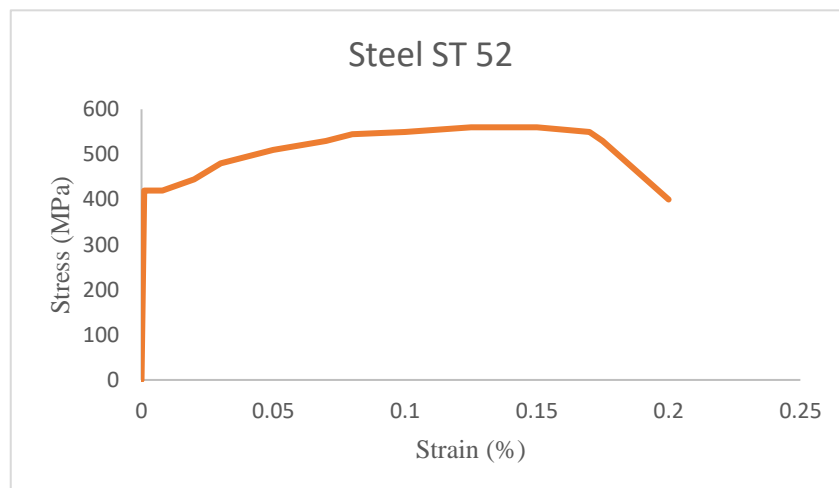
Pembuatan jenis bahan/material yang akan digunakan dalam penelitian ini dilakukan pada tahap ini. Tahapan dimulai dengan perincian perilaku material, seperti nilai tegangan leleh (*yield*) dan maksimum (*ultimate*), beserta regangannya, berdasarkan grafik gaya-perpindahan dan/atau grafik *stress-strain* setiap material seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.4.



Gambar 4.2 Grafik *Force-Displacement* Baja St. 14 (Aboutalebi dkk, 2011)



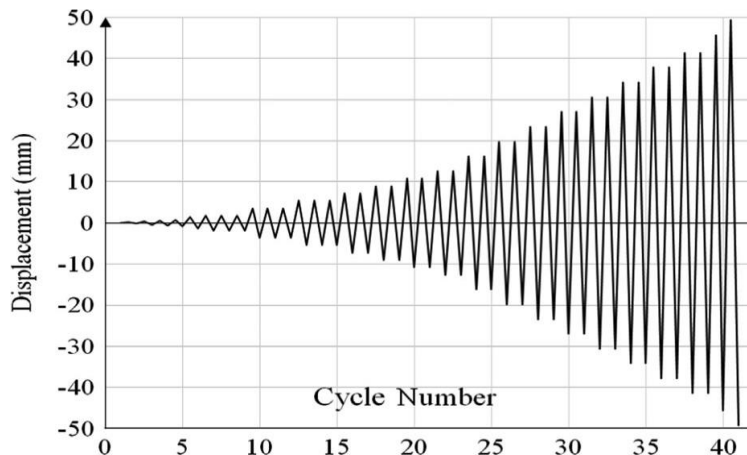
Gambar 4.3 Grafik *Stess-Strain* Baja St. 37 (Khalifeh dkk, 2018)



Gambar 4.4 Grafik *Stress-Strain* Baja St.52 (Khalifeh dkk, 2018)

4.3. Pembebanan Pada Spesimen

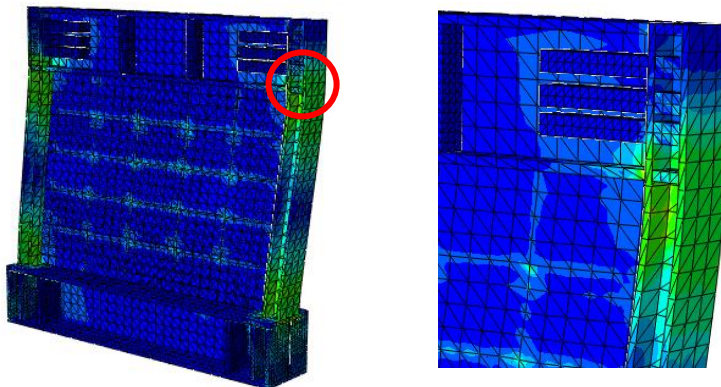
Pembebanan pada elemen didasarkan pada Gambar 4.5. Dengan menggunakan *loading period* yang ada pada penelitian sebelumnya, nilai beban yang akan digunakan dapat dihitung dan disesuaikan dengan eksperimen ini.



Gambar 4.5 Grafik Pembebanan Berdasarkan Penelitian Sabouri Ghomi dan Mamazizi (2015)

4.3.1. Tahapan Penentuan Perilaku Elemen terhadap Deformasi

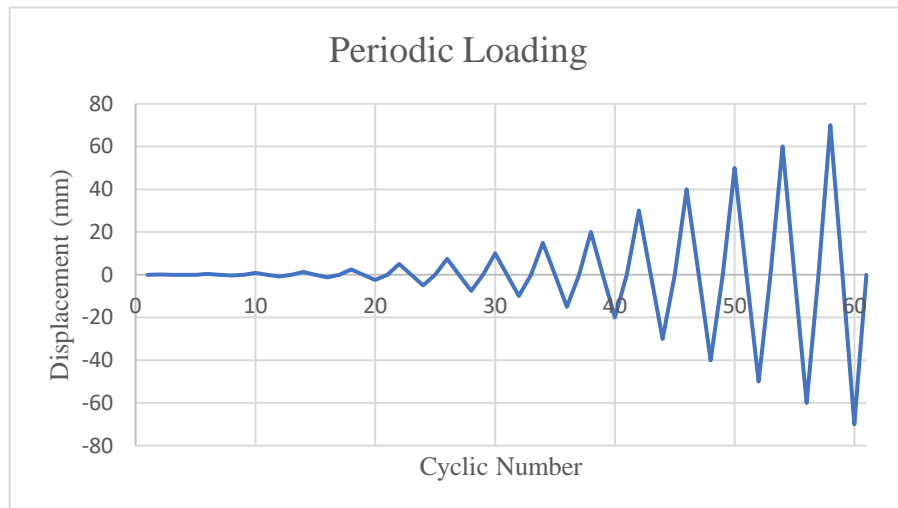
Sebagaimana telah diketahui, bahwa penerapan pelat baja mutu rendah pada pelat tipis akan menyebabkan *buckling* sebelum mencapai titik leleh pertama. Untuk itu, perlu dilakukan perhitungan nonlinier untuk dapat mengetahui efek dari *buckling* pada eksperimen ini. *Buckling* seperti pada Gambar 4.6 dapat mempengaruhi perilaku suatu eksperimen. Sobekan/*tearing* pada elemen juga sangat berpengaruh, namun tahapan ini tidak dapat terlihat pada pemodelan dalam program Abaqus



Gambar 4.6 *Buckling* pada Spesimen

4.3.2. Perhitungan Nilai dan Proses Pembebanan

Perhitungan nilai pembebanan berdasarkan penelitian yang telah ada sebelumnya dimodelkan kembali dalam bentuk yang lebih sederhana. Gambar 4.7 memperlihatkan nilai pembebanan yang telah disesuaikan dengan analisa yang akan dilakukan selanjutnya.



Gambar 4.7 Grafik Pembebanan yang Digunakan untuk spesimen SSW 1 dan SSW O

4.4. Validasi Hasil Eksperimen dengan Analisa Program

Spesimen SSW-1 dan SSW-O digunakan sebagai dasar sebagai pembandingan penelitian Sabouri-Ghomi dan Mamazizi (2015) dengan analisa pada spesimen ini. Grafik histeresis, nilai maksimum beban dan *displacement* serta *buckling* pada spesimen dapat menjadi dasar yang cukup untuk dapat melanjutkan pada spesimen berikutnya. Gambar 4.8 dan 4.8 merupakan perbandingan *failure mode* dan kurva histeresis dari spesimen serupa. Dapat terlihat bahwa hasil eksperimen dan analisa tidak jauh berbeda, meskipun ada sedikit perbedaan terhadap nilai tegangan dan *displacement* dibawah *Drift* 1% Hal ini ditunjukkan dengan nilai maksimum beban dan *displacement* yang serupa. Juga dapat terlihat, pola kegagalan pada eksperimen juga tidak jauh berbeda dengan pola kegagalan pada spesimen analisa program.

Pada spesimen SSW 1 (dengan spesimen DS-SPSW-0% dalam penelitian sebagai pembandingan) menunjukkan bahwa spesimen ini memiliki nilai tegangan

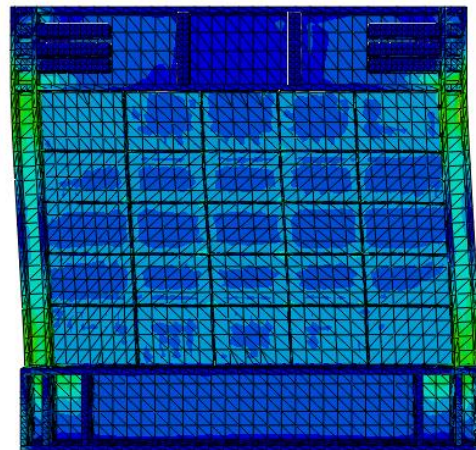
maksimum 829 kN saat *displacement* 39.75mm (4% *Drift*), sedikit berbeda dengan eksperimen yang mencapai tegangan maksimum 808 kN saat *displacement* mencapai 34.05mm (3.55% *Drift*), seperti yang terlihat pada Gambar 4.9

Pada spesimen ini juga, nilai dari *displacement* maksimum dari hasil analisa program elemen hingga sebesar 68 mm, tidak jauh berbeda dengan nilai *displacement* maksimum spesimen sebesar 66.5 mm.

Pada spesimen SSW O (dengan spesimen SSW202 dalam penelitian Sabouri-Ghomi dan Sajjadi sebagai pembanding) memiliki nilai tegangan maksimum 686 kN saat *displacement* 59.4 mm (6.1% *Drift*) dalam analisa program elemen hingga, dibandingkan dengan eksperimen yang mencapai tegangan maksimum 616 kN saat *displacement* mencapai 23.4 mm (2.4% *Drift*), seperti yang terlihat pada Gambar 4.11. Sedangkan nilai dari *displacement* maksimum dari hasil analisa program elemen hingga sebesar 68.3 mm, dibandingkan dengan nilai *displacement* maksimum spesimen sebesar 61.5 mm. Perbandingan pola kegagalan pada spesimen dan analisa program dapat terlihat pada Gambar 4.10.

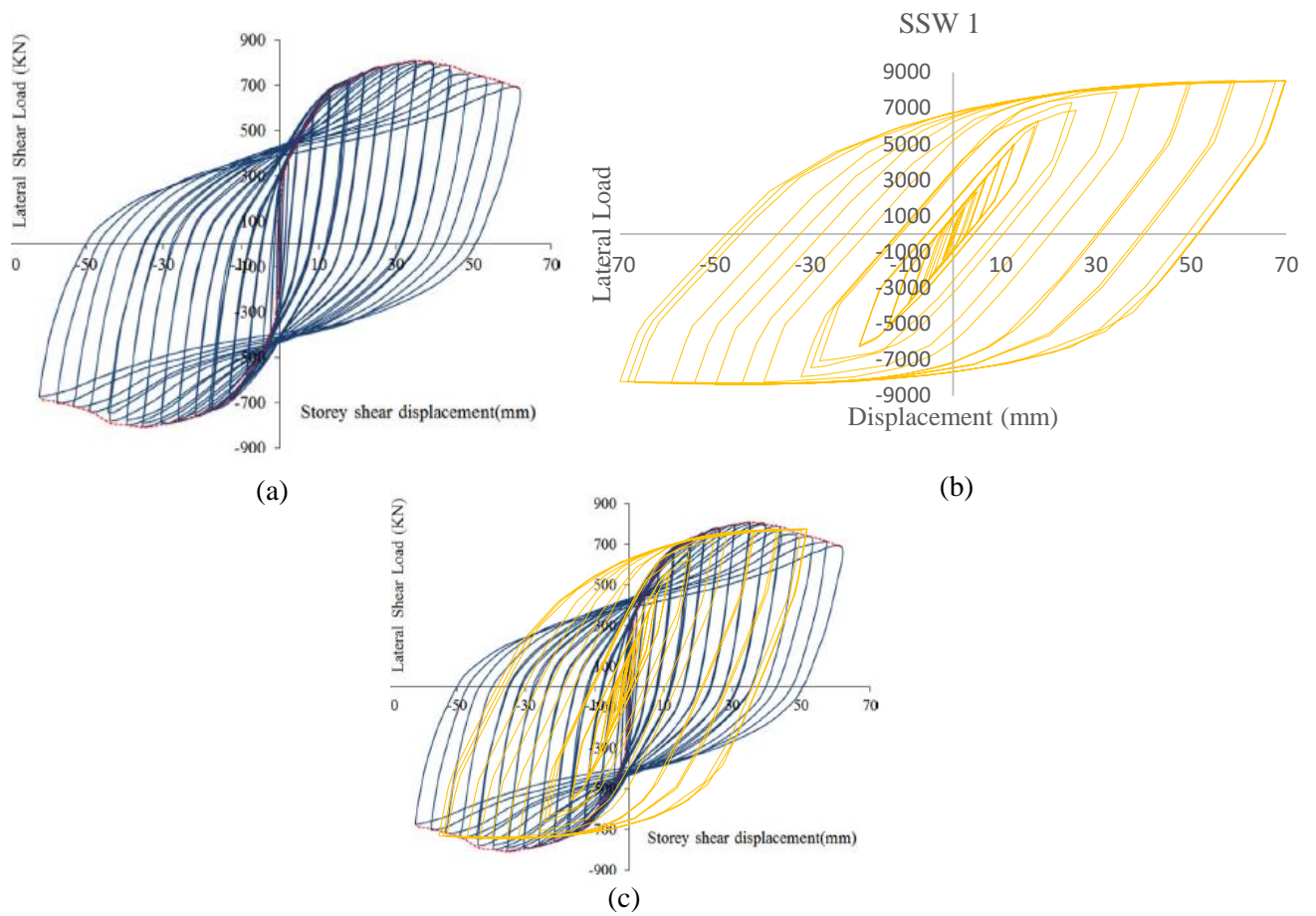


(a)

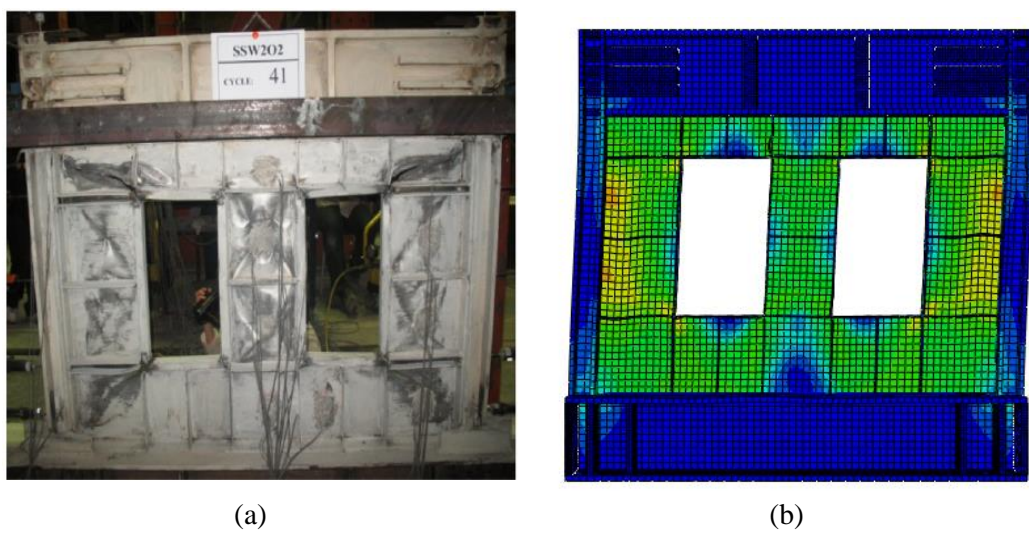


(b)

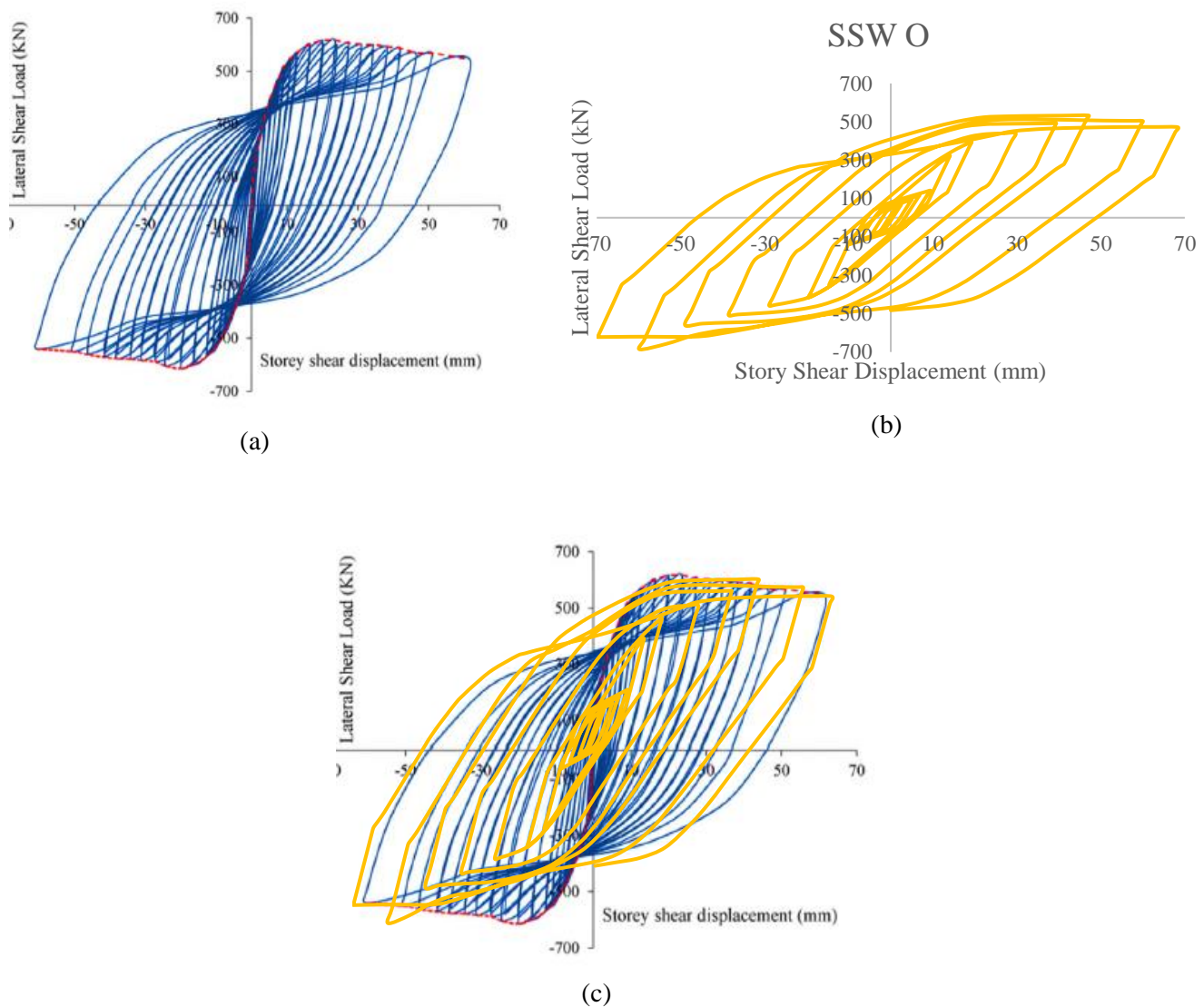
Gambar 4.8 (a) *Failure Mode* pada Spesimen DS-SPSW- 0% (b) Tahap Akhir Spesimen SSW 1 pada Pemodelan Abaqus



Gambar 4.9 (a) Hysteresis Curve Spesimen DS-SPSW-0% (b) Hysteresis Curve Eksperimen SSW 1 (c) Gabungan Kedua Grafik



Gambar 4.10 *Failure Mode* pada Spesimen SPSW202 (b) Tahap Akhir Spesimen SSW O pada Pemodelan Abaqus

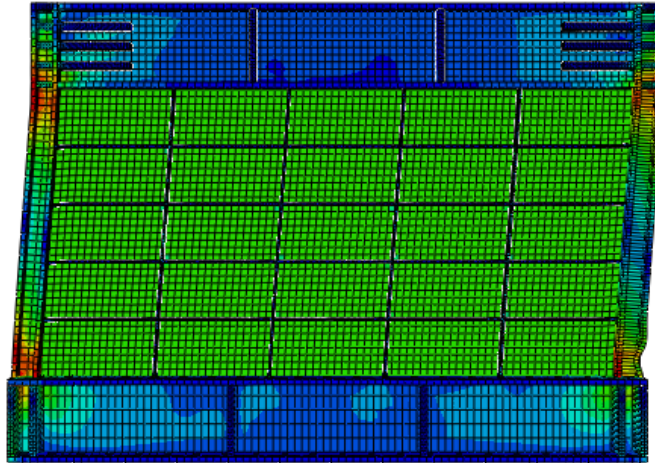


Gambar 4.11 (a) *Hysteresis Curve* Spesimen SPSW202 (b) *Hysteresis Curve* Eksperimen SSW O (c) Gabungan Kedua Grafik

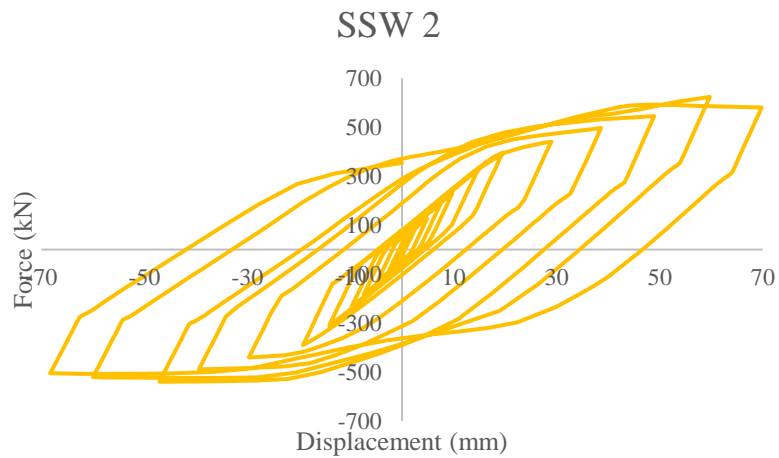
Berdasarkan hasil dari kedua analisa Abaqus terhadap spesimen yang telah dilakukan menunjukkan bahwa analisa pada program elemen hingga untuk penelitian sebelumnya ini valid sehingga dapat dijadikan dasar dalam pengembangan bentuk model SPSW yang baru, sebagaimana yang akan dijelaskan dalam tesis ini.

Sebagai tambahan, telah dilakukan eksperimen dengan spesimen SSW 2, yakni spesimen dengan rasio tinggi : lebar SPSW sebesar 1:1.5, seperti pada Gambar 4.12. Spesimen ini akan digunakan kemudian sebagai pembandingan untuk spesimen SSW 1 sebelumnya, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan efek yang ditimbulkan pada SPSW dengan *opening*. Hasil analisa sepsimen ini

menunjukkan, tegangan maksimum 624.01 kN saat *displacement* 59.73 mm (6% *Drift*), dan *displacement* maksimum 68.32 mm (7% *Drift*), seperti yang terlihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.12 Pemodelan SSW 2

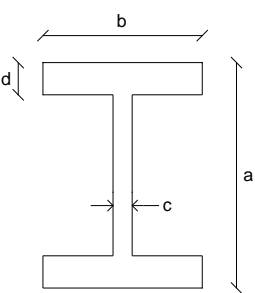
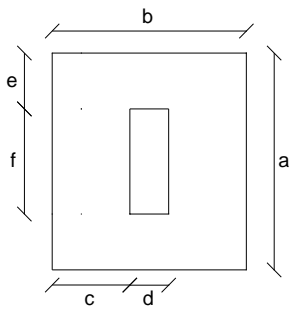
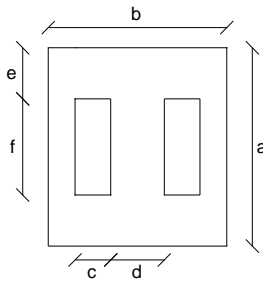
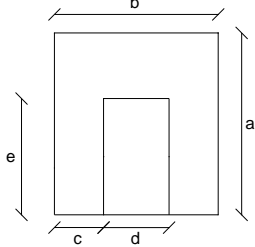


Gambar 4.13 *Hysteresis Curve* Spesimen SSW 2

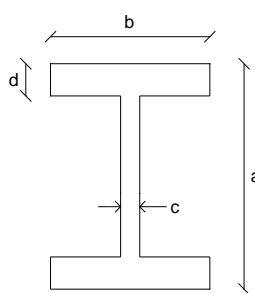
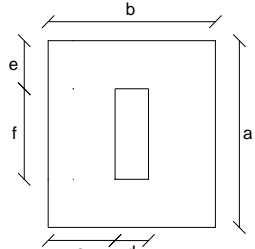
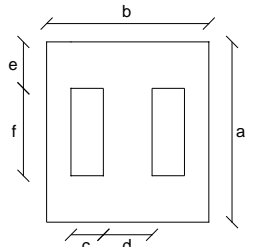
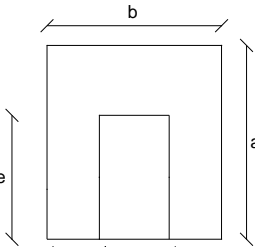
4.5. Pemodelan dan Pembebanan pada Spesimen dengan Modifikasi *Wall Opening*

Pemodelan spesimen dengan modifikasi pada wall dilakukan serupa dengan pemodelan yang telah dilakukan sebelumnya, namun dengan ukuran spesimen yang lebih besar. Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 merupakan daftar dari elemen-elemen yang digunakan dalam setiap pemodelan dalam penelitian ini.

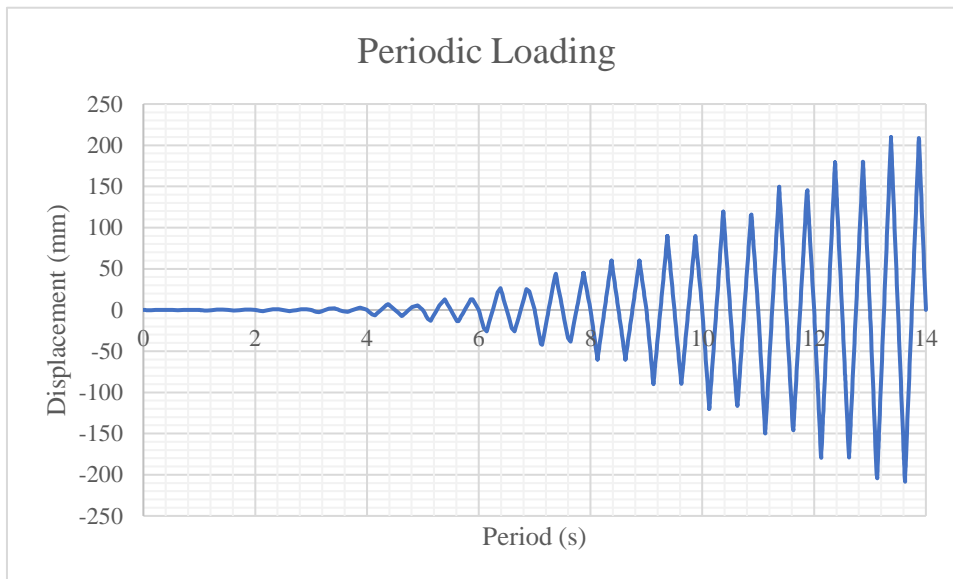
Tabel 4.4 Profil Elemen pada Spesimen Seri SSW – 1

Jenis Profil	Jenis Elemen	Dimensi (mm)						Tebal/Panjang (mm)		
		a	b	c	d	e	f			
Profil H 	Kolom	400	400	13	21	-	-	4500		
	Balok Atas	450	200	9	14	-	-	3000		
	Balok Bawah	450	200	9	14	-	-	3000		
Plat	Single Window (SW) 		Steel Plate	3000	3000	1175	650	875	1250	6
			Stiffeners	60	6	-	-	-	-	menyesuaikan
	Double Window (DW) 		Steel Plate	3000	3000	500	750	1000	1000	6
			Stiffeners	60	6	-	-	-	-	menyesuaikan
	Door (D) 		Steel Plate	3000	3000	875	1250	2200	-	6
			Stiffeners	60	6	-	-	-	-	menyesuaikan

Tabel 4.5 Profil Elemen pada Spesimen Seri SSW – 2

Jenis Profil	Jenis Elemen	Dimensi (mm)						Tebal/Panjang (mm)			
		a	b	c	d	e	f				
Profil H 	Kolom	400	400	13	21	-	-	4500			
	Balok Atas	450	200	9	14	-	-	4500			
	Balok Bawah	450	200	9	14	-	-	4500			
Plat	Single Window (SW)			Steel Plate	3000	4500	1850	800	875	1250	6
	Stiffeners	60		6	-	-	-	-	menyesuaikan		
	Double Window (DW)			Steel Plate	3000	4500	500	1000	1000	1000	6
	Stiffeners	60		6	-	-	-	-	menyesuaikan		
	Door (D)			Steel Plate	3000	4500	1600	1300	2200	-	6
	Stiffeners	60		6	-	-	-	-	menyesuaikan		

Metode pembebanan yang digunakan serupa dengan metode pembebanan pada spesimen sebelumnya, dengan penyesuaian pada nilai *displacement* dan *Drift* pada model-model yang baru. Sehingga grafik pembebanan yang baru sesuai dengan Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik Pembebanan untuk Spesimen Seri SSW-1 dan SSW-2

Dari grafik pembebanan tersebut, spesimen akan dibebani dengan presentasi *Drift* dari 0.01% (3 mm) hingga mencapai *Drift* 7% (210 mm). Pembebanan dilakukan dengan prosedur yang telah dilakukan sebelumnya, dan kemudian akan dilakukan tahap verifikasi hasil dari pengujian spesimen.

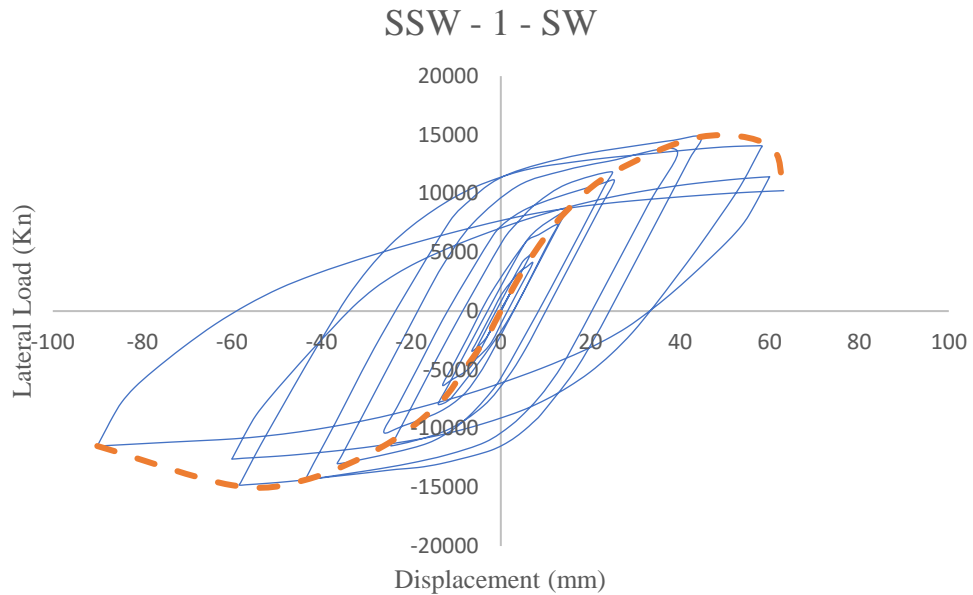
4.6. Verifikasi Hasil

Setelah tahap pembebanan dilakukan, akan didapatkan hasil analisa berupa nilai *displacement* dan tegangan maksimum dan nilai energi terdisipasi.

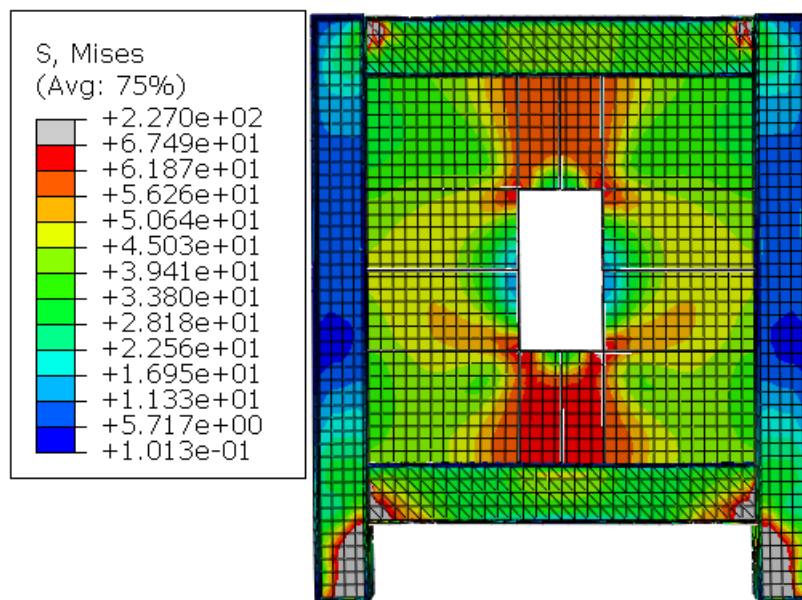
4.6.1. Spesimen SSW-1-SW

Gambar 4.15 merupakan grafik *hysteresis* dari hasil analisa spesimen SSW-1-SW. Dapat terlihat dari grafik tersebut, leleh signifikan pertama terlihat saat memasuki *displacement* 4.67 mm (0.25% *Drift*) siklus kedua saat nilai tegangan mencapai +4087.7 kN. Gambar 4.16 menunjukkan saat spesimen mengalami pelepasan pertama, dan pola penyebaran tegangan pada spesimen dapat terlihat pada Gambar 4.17. Nilai tegangan maksimum dari spesimen ini mencapai +14837.55 kN saat *displacement* mencapai 44 mm (1% *Drift*) dan -14820.6 kN saat *displacement* mencapai -60 mm (2% *Drift*) serta mengalami penurunan nilai tegangan saat memasuki pembebanan *displacement* 45 mm (1.5% *Drift*). Proses

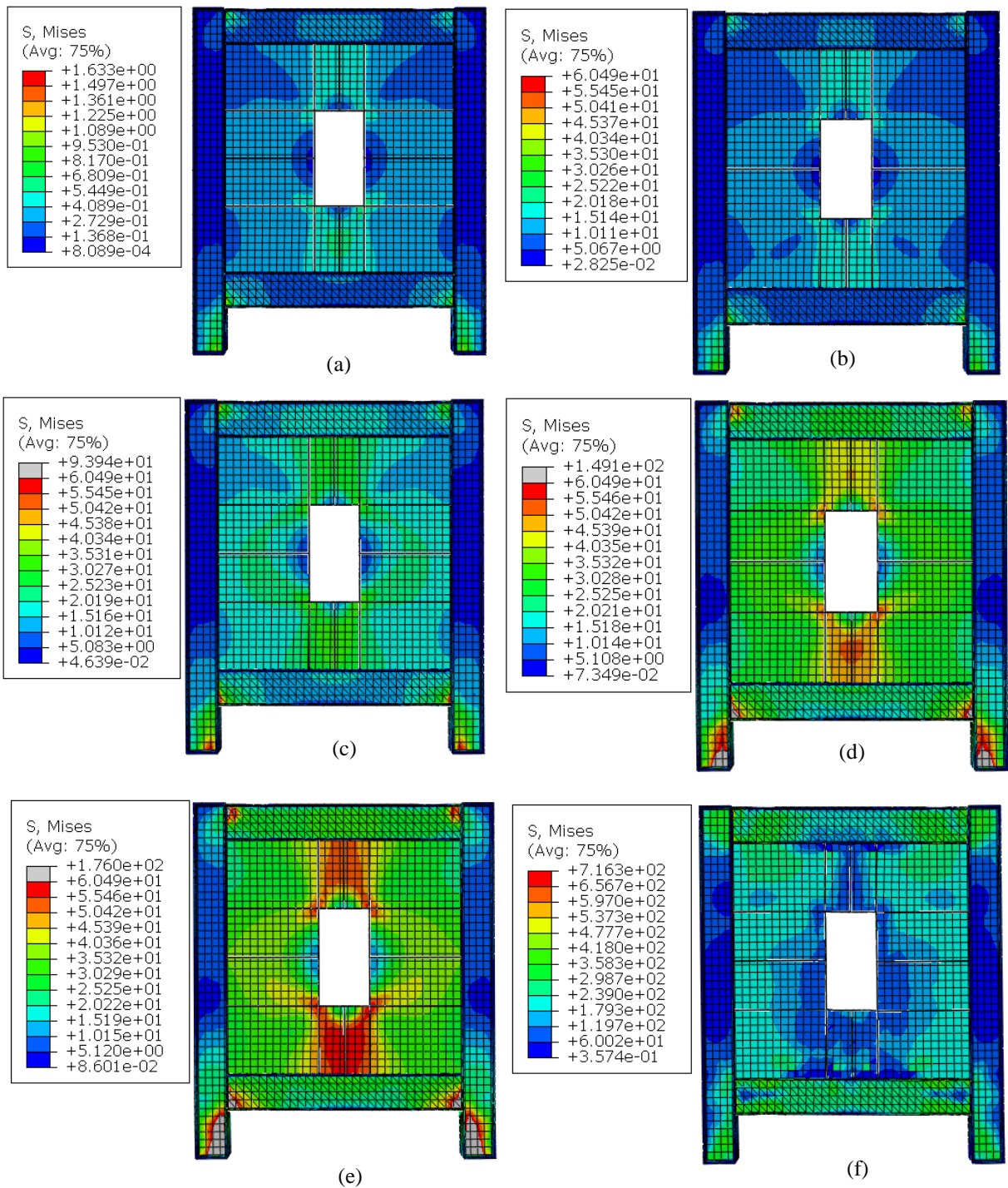
pembebanan terhenti saat *displacement* 63 mm siklus pertama (sedang dalam tahap pembebanan *displacement* 90 mm atau 3% *Drift*), karena spesimen diperkirakan mengalami *failure*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.18. Dengan demikian, nilai daktilitasnya, yaitu simpangan saat terjadinya leleh pertama dibagi dengan simpangan saat spesimen mencapai tegangan maksimum mencapai 17.39



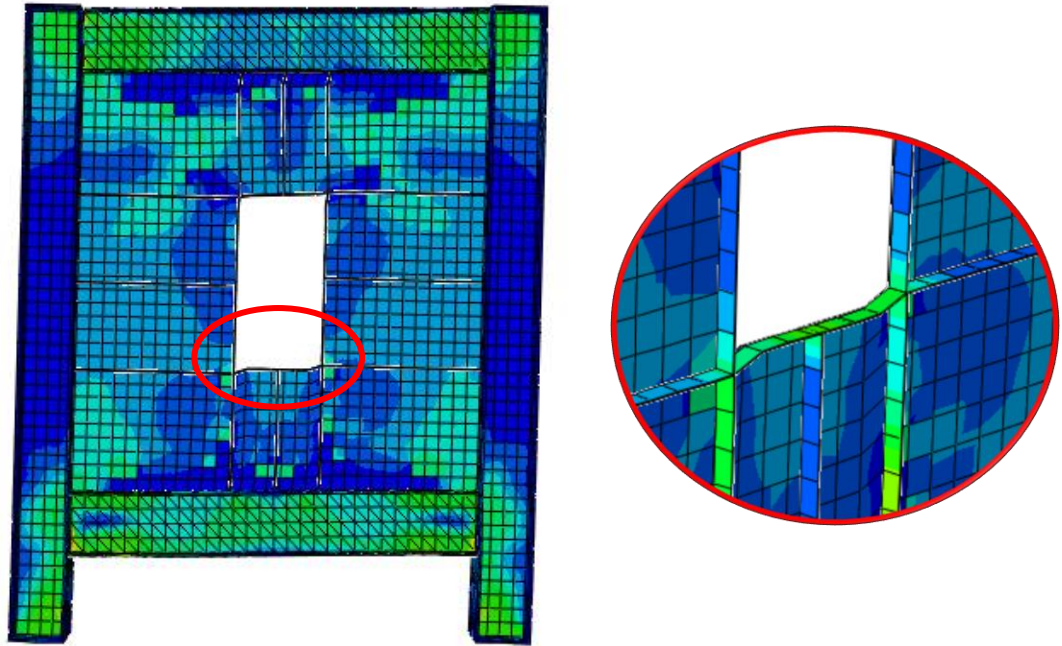
Gambar 4.15 Kurva *Hysteresis* Spesimen SSW-1-SW



Gambar 4.16 Spesimen SSW-1-SW saat Mengalami Leleh Pertama



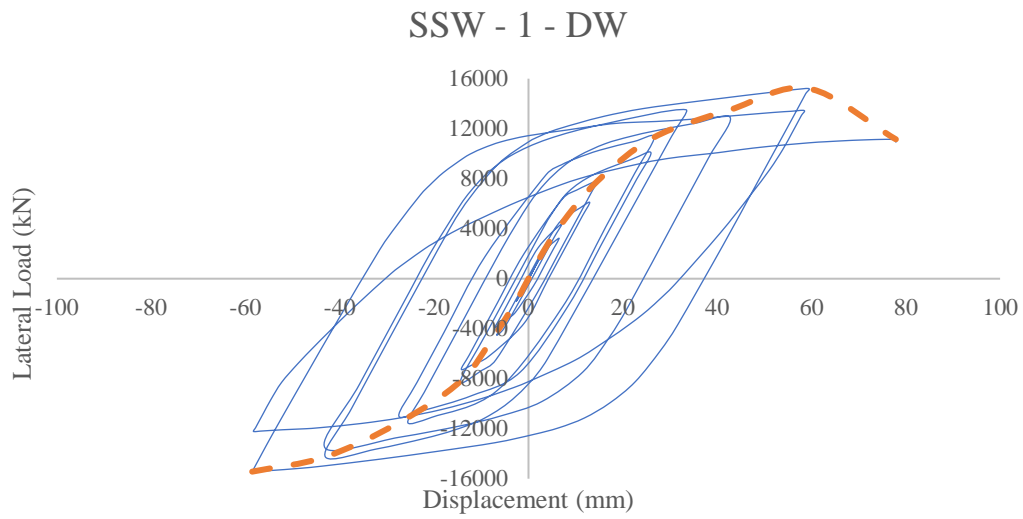
Gambar 4.17 Pola Penyebaran Tegangan Pada SSW-1-SW Saat (a) Permulaan Pembebanan, (b) 0.1% *Drift*, 0.8 mm (c) 0.1% *Drift* Simpangan 1.4 mm, (d) 0.1% *Drift* Simpangan 2.2 mm, (e) 0.1% *Drift* Simpangan 2.6 mm, (f) Semua Elemen pada Spesimen Mengalami Leleh



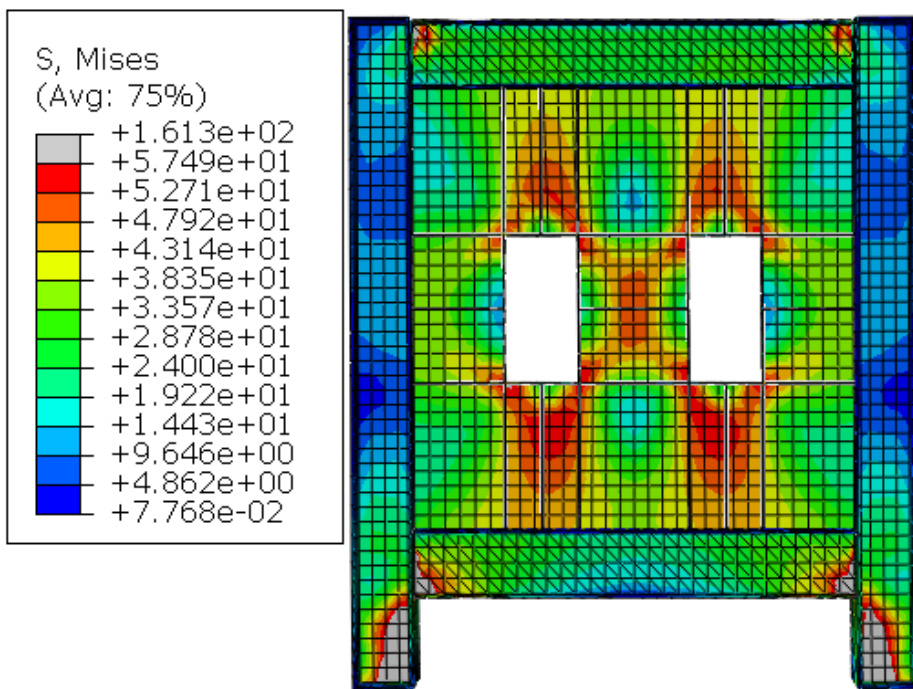
Gambar 4.18 Pemodelan Pasca Pembebanan Spesimen SSW-1-SW

4.6.2. Spesimen SSW-1-DW

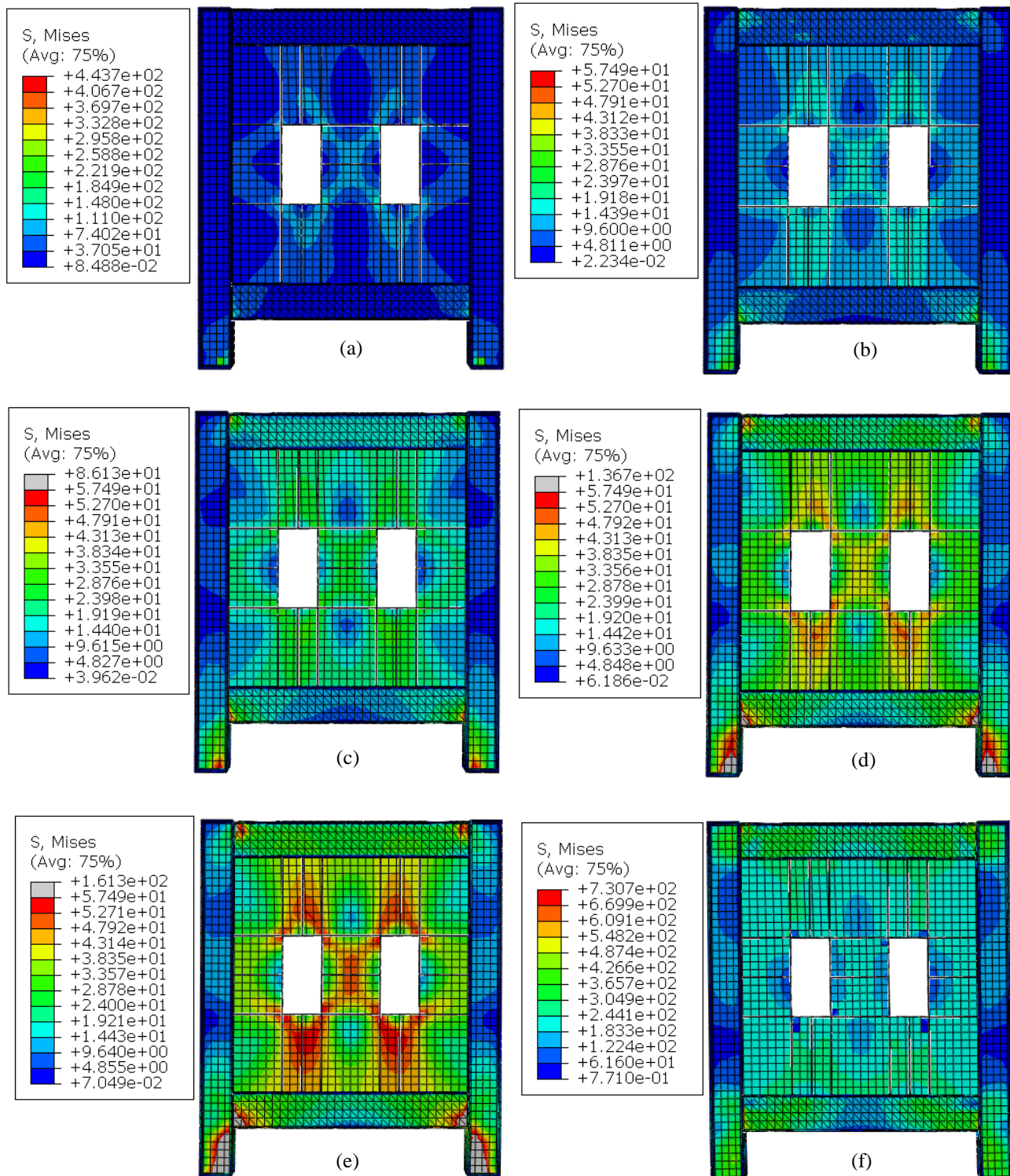
Gambar 4.19 merupakan grafik *hysteresis* dari hasil analisa spesimen SSW-1-DW. Dapat terlihat dari grafik tersebut, leleh signifikan pertama terlihat (Gambar 4.20) saat memasuki *displacement* -2.58 mm (0.1% *Drift*) siklus pertama saat nilai tegangan mencapai -1801.4 kN. Nilai tegangan maksimum dari spesimen ini mencapai +15214.14 kN saat *displacement* mencapai 59 mm (2% *Drift*) dan -15434.7 kN saat *displacement* mencapai -58 mm (2% *Drift*) serta mengalami penurunan nilai tegangan saat memasuki pembebanan *displacement* 77 mm (3% *Drift*). Proses penyebaran tegangan spesimen ini dapat terlihat pada Gambar 4.21. Proses pembebanan juga terhenti pada tahap pembebanan ini karena spesimen diperkirakan mengalami *failure*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.22. Simpangan akhir yang dicapai spesimen ini, bila dibagi dengan nilai simpangan saat leleh pertama terjadi, akan menghasilkan nilai daktilitas sebesar 22.67.



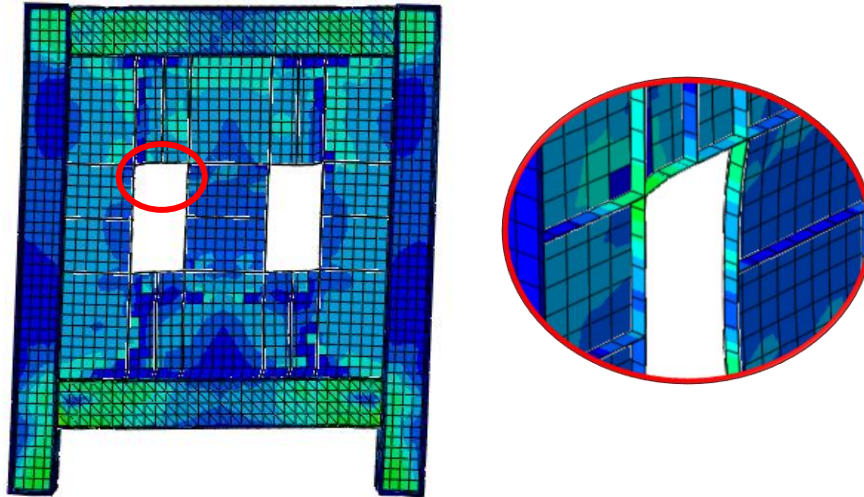
Gambar 4.19 Kurva *Hysteresis* Spesimen SSW-1-DW



Gambar 4.20 Spesimen SSW-1-DW Saat Mengalami Leleh Pertama



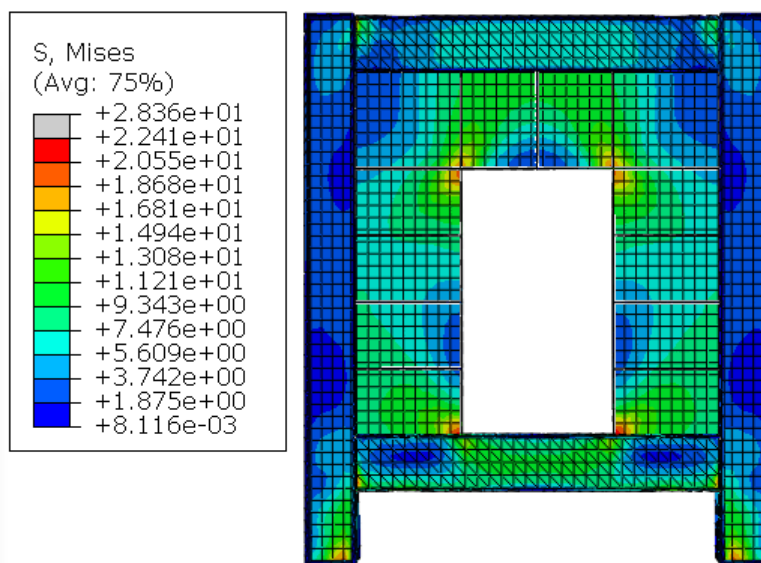
Gambar 4.21 Pola Penyebaran Tegangan Pada Spesimen SSW-1-DW Saat
 (a)Pembebanan Pertama (b) 0.1% *Drift*, Simpangan 0.8 mm (c) 0.1% *Drift*,
 Simpangan 1.4 mm (d) 0.1% *Drift*, Simpangan 2.2 mm (e) 0.1% *Drift*, Simpangan
 2.6 mm (f) Semua Elemen Mengalami Leleh



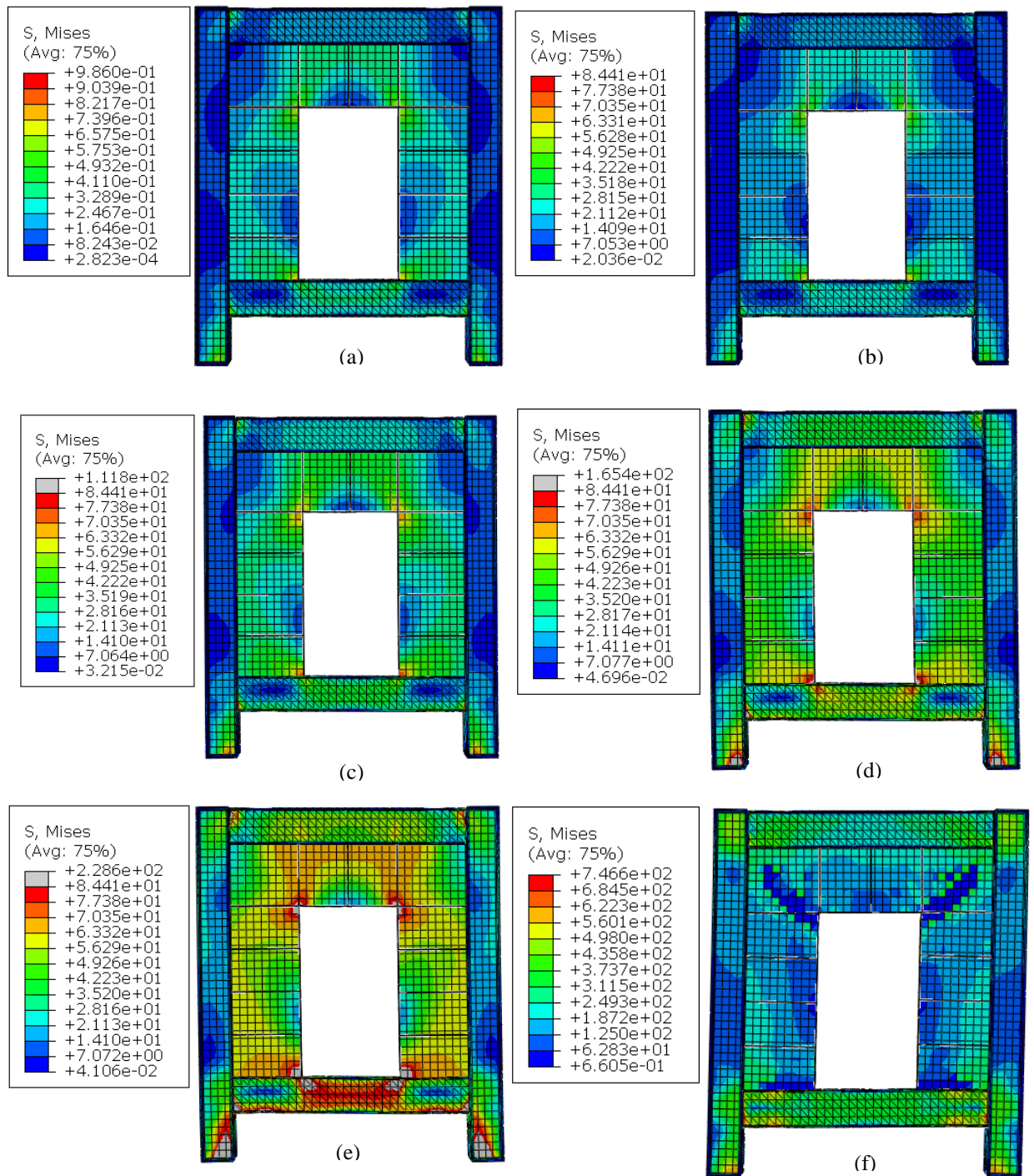
Gambar 4.22 Pemodelan Pasca Pembebanan Spesimen SSW-1-DW

4.6.3. Spesimen SSW-1-D

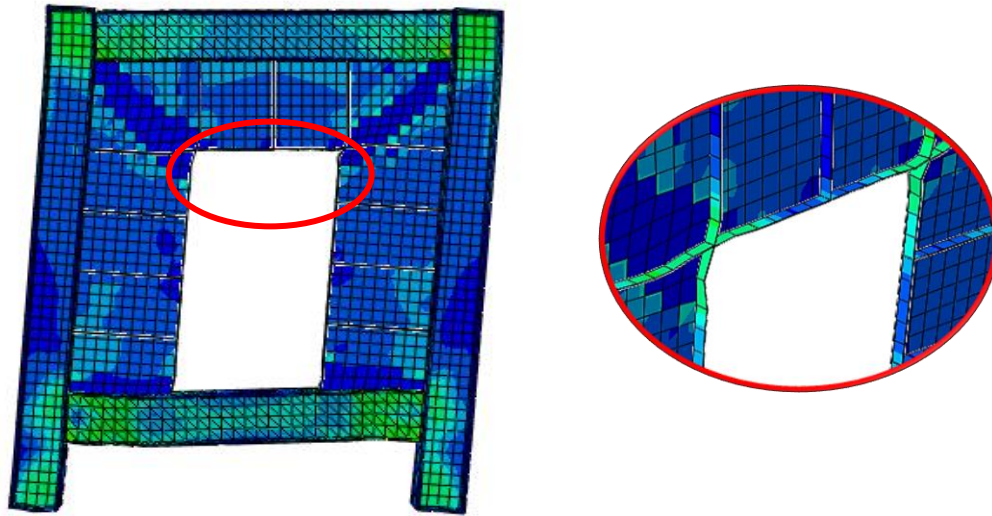
Gambar 4.26 merupakan grafik *hysteresis* dari hasil analisa spesimen SSW-1-D. Dapat terlihat dari grafik tersebut, leleh signifikan pertama terlihat saat memasuki *displacement* 4.28 mm (0.25% *Drift*) siklus kedua saat nilai tegangan mencapai +1853.81 kN (Gambar 4.23). Proses penyebaran tegangan spesimen ini dapat terlihat pada Gambar 4.24. Nilai tegangan maksimum dari spesimen ini mencapai +9437.38 kN saat *displacement* mencapai 45 mm (1% *Drift*) dan -9597.55 kN saat *displacement* mencapai -60 mm (1.5% *Drift*) serta mengalami penurunan nilai tegangan saat memasuki pembebanan *displacement* 60 mm (1.5% *Drift*), sehingga nilai daktilitasnya mencapai 17.39. Gambar 4.25 menunjukkan bentuk spesimen setelah tahap pembebanan.



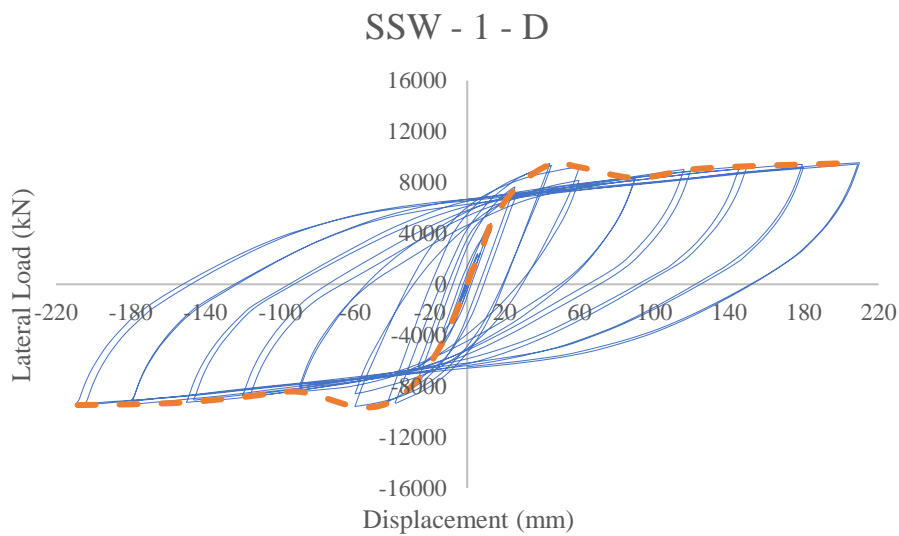
Gambar 4.23 Spesimen Saat Mengalami Leleh Pertama



Gambar 4.24 Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-1-D (a) Tahap Awal Pembebanan (b) 0.1% *Drift*, 6.9 mm (c) 0.1% *Drift*, 11 mm (d) 0.1% *Drift*, 13 mm (e) 0.1% *Drift*, 10.7 mm (f) Saat Semua Elemen Mengalami Leleh



Gambar 4.25 Pemodelan Saat Mencapai Pembebanan 7% *Drift* pada Spesimen SSW-1-D

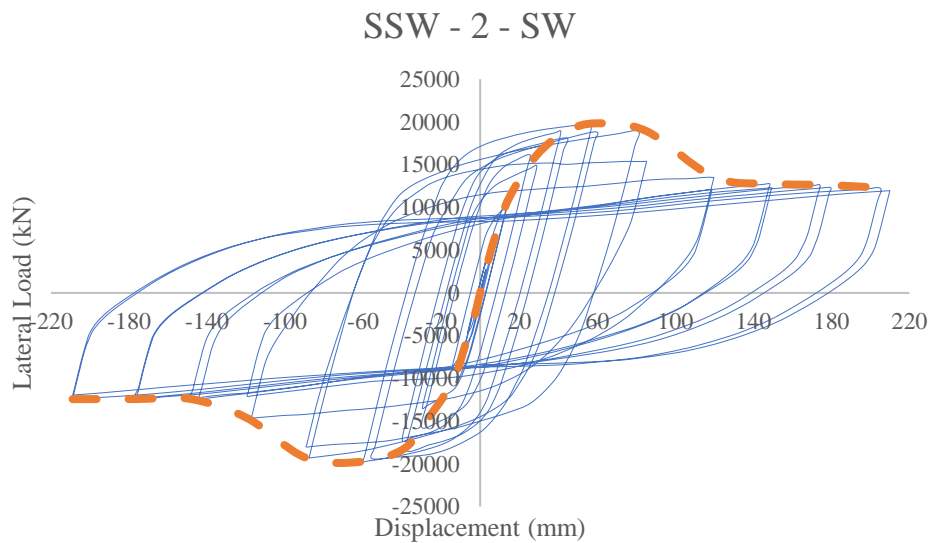


Gambar 4.26 Kurva *Hysteresis* Spesimen SSW-1-D

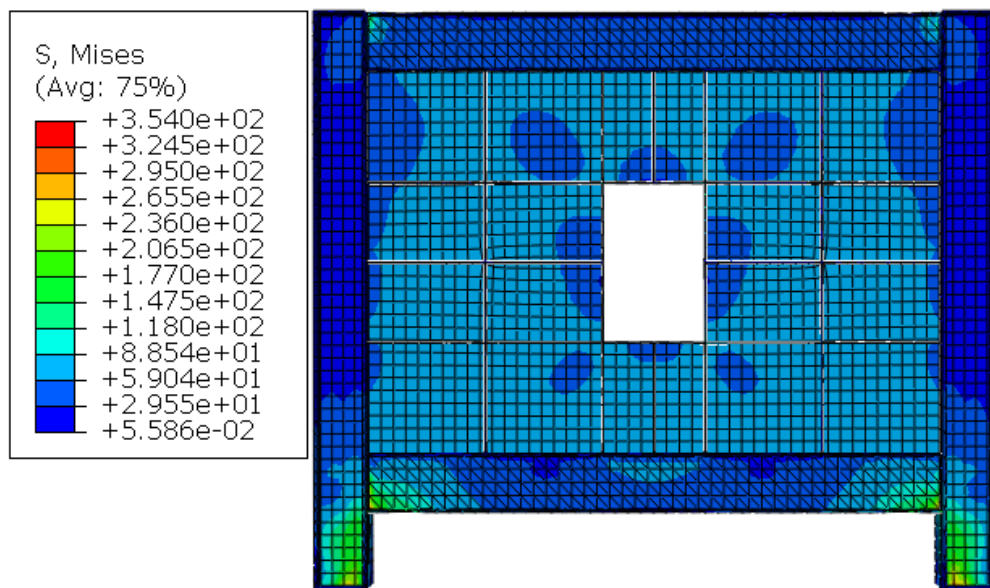
4.6.4. Spesimen SSW-2-SW

Gambar 4.27 merupakan grafik *hysteresis* dari hasil analisa spesimen SSW-2-SW. Dapat terlihat dari grafik tersebut, leleh signifikan pertama terlihat saat pembebanan memasuki *displacement* 3.1 mm (0.25% *Drift*) saat nilai tegangan mencapai 6901.85 kN, seperti yang terlihat pada Gambar 4.28.

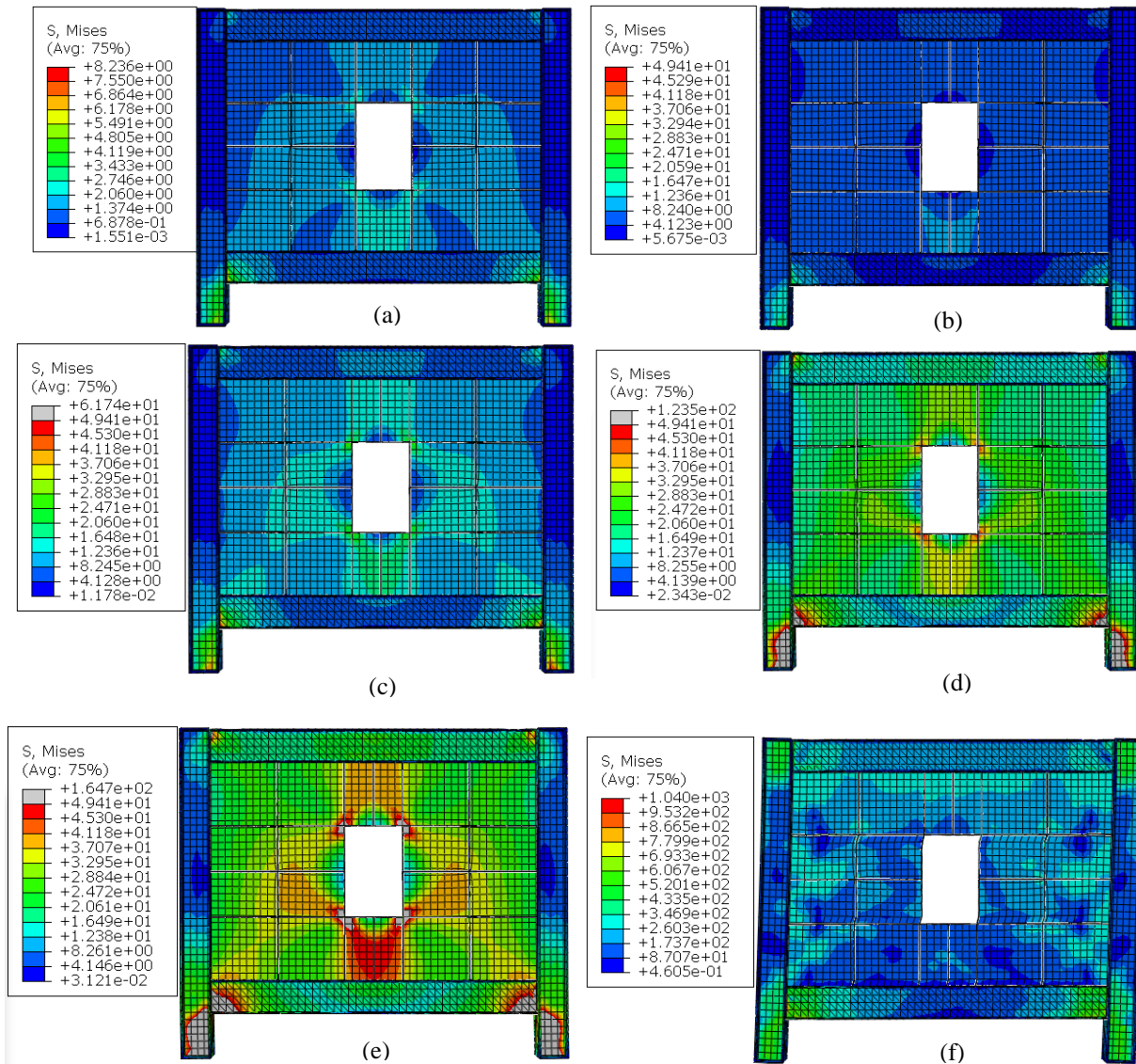
Nilai tegangan maksimum dari spesimen ini mencapai 19832.58 kN saat *displacement* mencapai 59.6 mm (1.5% *Drift*) dan mengalami penurunan nilai tegangan maksimum (18914.29 kN dan -19303.6 kN) saat memasuki *displacement* 85.3 mm (2% *Drift*) dan cenderung konstan sampai pada *Drift* ketujuh. Gambar 4.29 menunjukkan pola penyebaran tegangan pada elemen SPSW dan Gambar 4.30 merupakan gambaran spesimen setelah proses pembebanan.



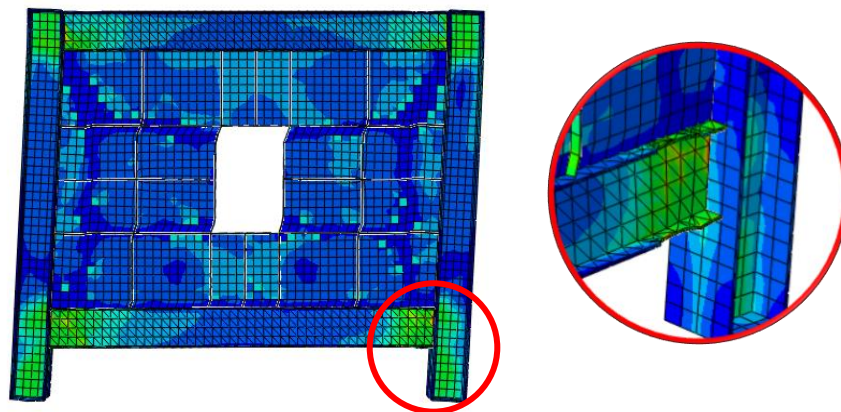
Gambar 4.27 Kurva *Hysteresis* Spesimen SSW-2-SW



Gambar 4.28 Spesimen SSW-2-SW Saat Leleh Pertama



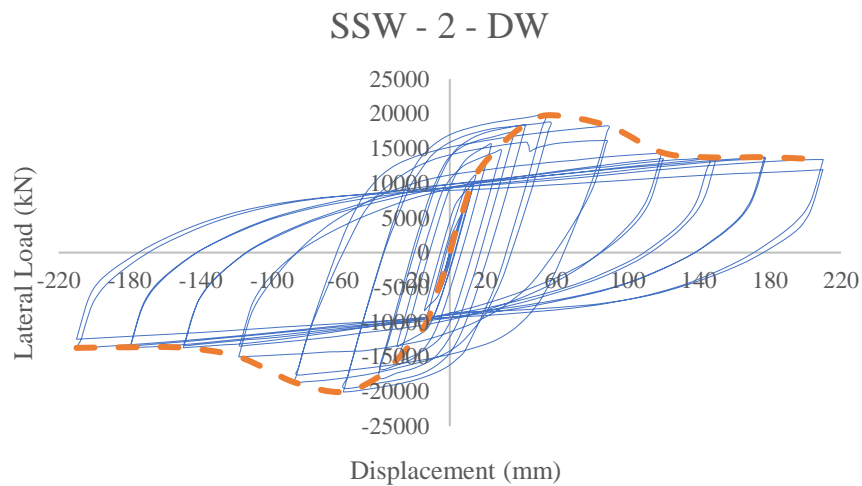
Gambar 4.29 Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-2-SW (a) Tahap Awal Pembebanan (b) 0.1% *Drift*, 0.5 mm (c) 0.1% *Drift*, 0.9 mm (d) 0.1% *Drift*, 1.8 mm (e) 0.1% *Drift*, 2.4 mm (f) Saat Semua Elemen Mengalami Leleh



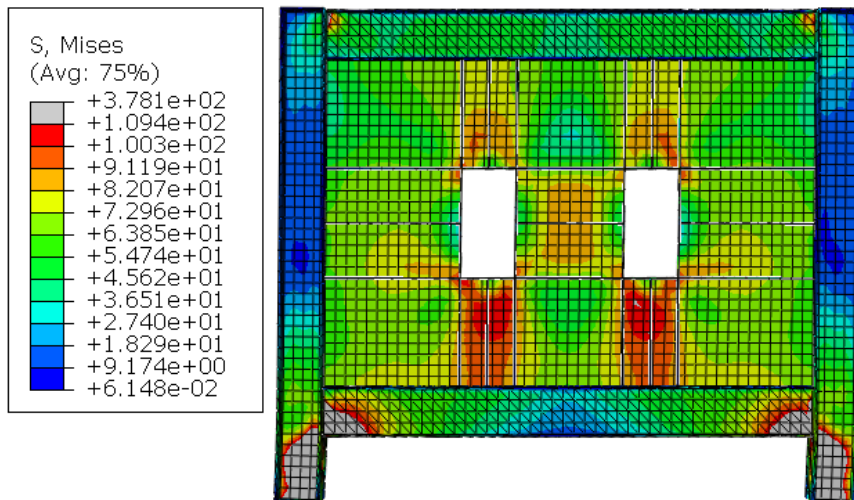
Gambar 4.30 Pemodelan SSW-2-SW Saat *Drift* 7% (240 mm)

4.6.5. Spesimen SSW-2-DW

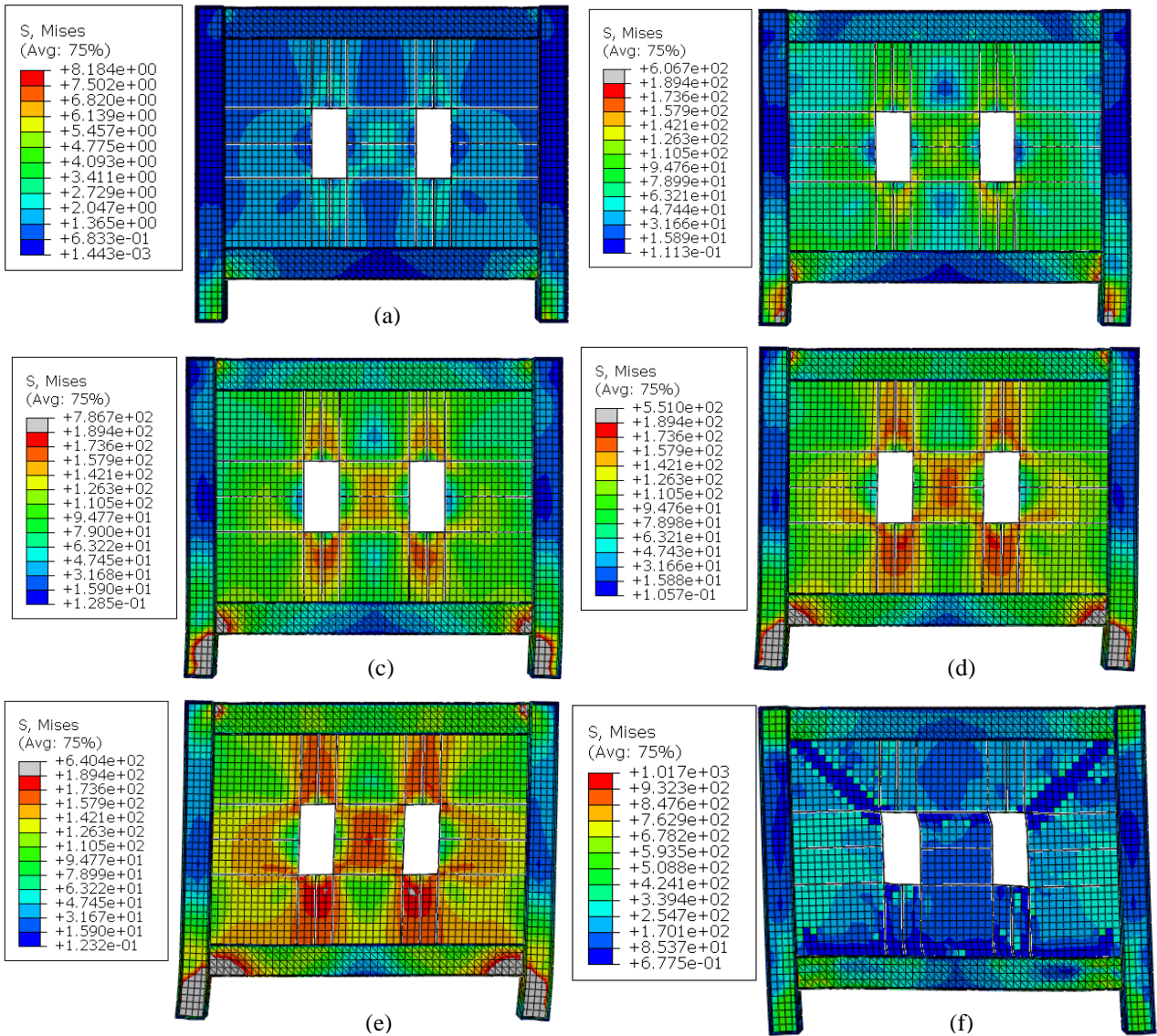
Gambar 4.31 merupakan grafik *hysteresis* dari hasil analisa spesimen SSW-1-SW. Dapat terlihat dari grafik tersebut, leleh signifikan pertama (Gambar 4.32) terlihat saat memasuki *displacement* -6 mm (0.25% *Drift*) saat nilai tegangan mencapai -5927.47 kN. Nilai tegangan maksimum dari spesimen ini mencapai 19802.4 kN dan -20088.9 kN saat *displacement* mencapai 56.7 mm dan -59.8 mm (1.5% *Drift*) dan mengalami penurunan nilai tegangan saat memasuki *displacement* 89.3 mm dan -87.3 mm (2% *Drift*). Gambar 4.33 dan 4.33 pola penyebaran tegangan pada spesimen dan rupa spesimen setelah menerima beban siklik.



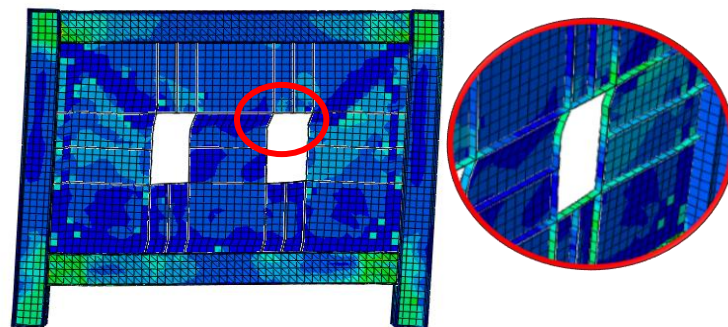
Gambar 4.31 Kurva *Hysteresis* Spesimen SSW-2-DW



Gambar 4.32 Leleh Signifikan Pertama pada *Steel Plate* Spesimen SSW-2-DW

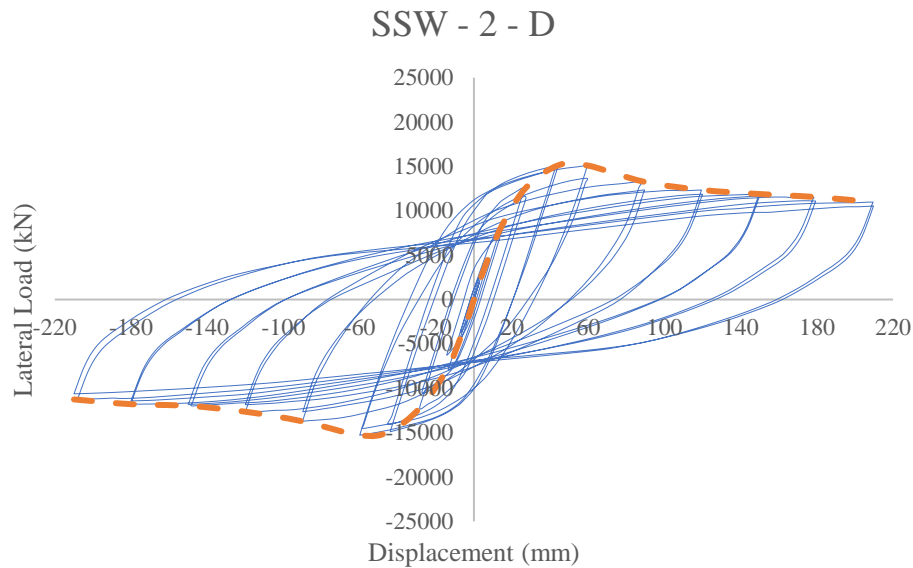


Gambar 4.33 Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-2-DW Saat
 (a) Pembebanan Tahap Pertama (b) 0,5% *Drift*, 7.3 mm (c) 0,5% *Drift*, 0.3 mm
 (d) 0,5% *Drift*, 3.1 mm (e) 0,5% *Drift*, 7.4 mm (f) Semua Elemen Mengalami
 Leleh



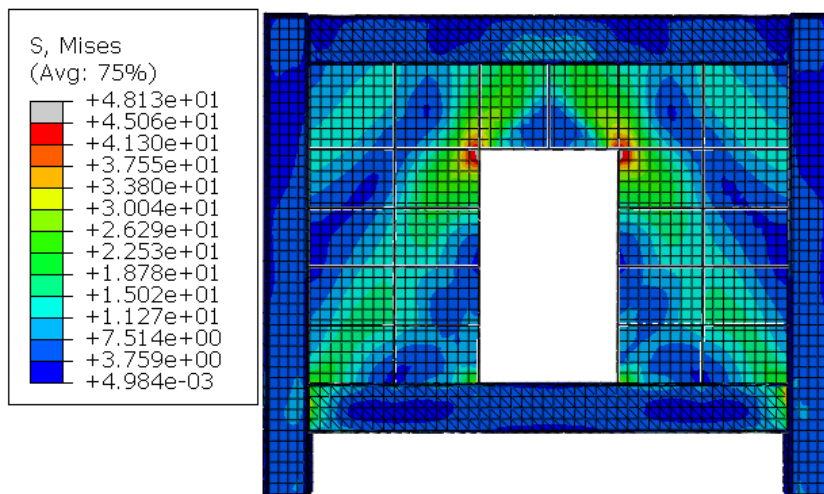
Gambar 4.34 Pemodelan Saat Pembebanan 7% *Drift* Spesimen SSW-2-DW

4.6.6. Spesimen SSW-2-D

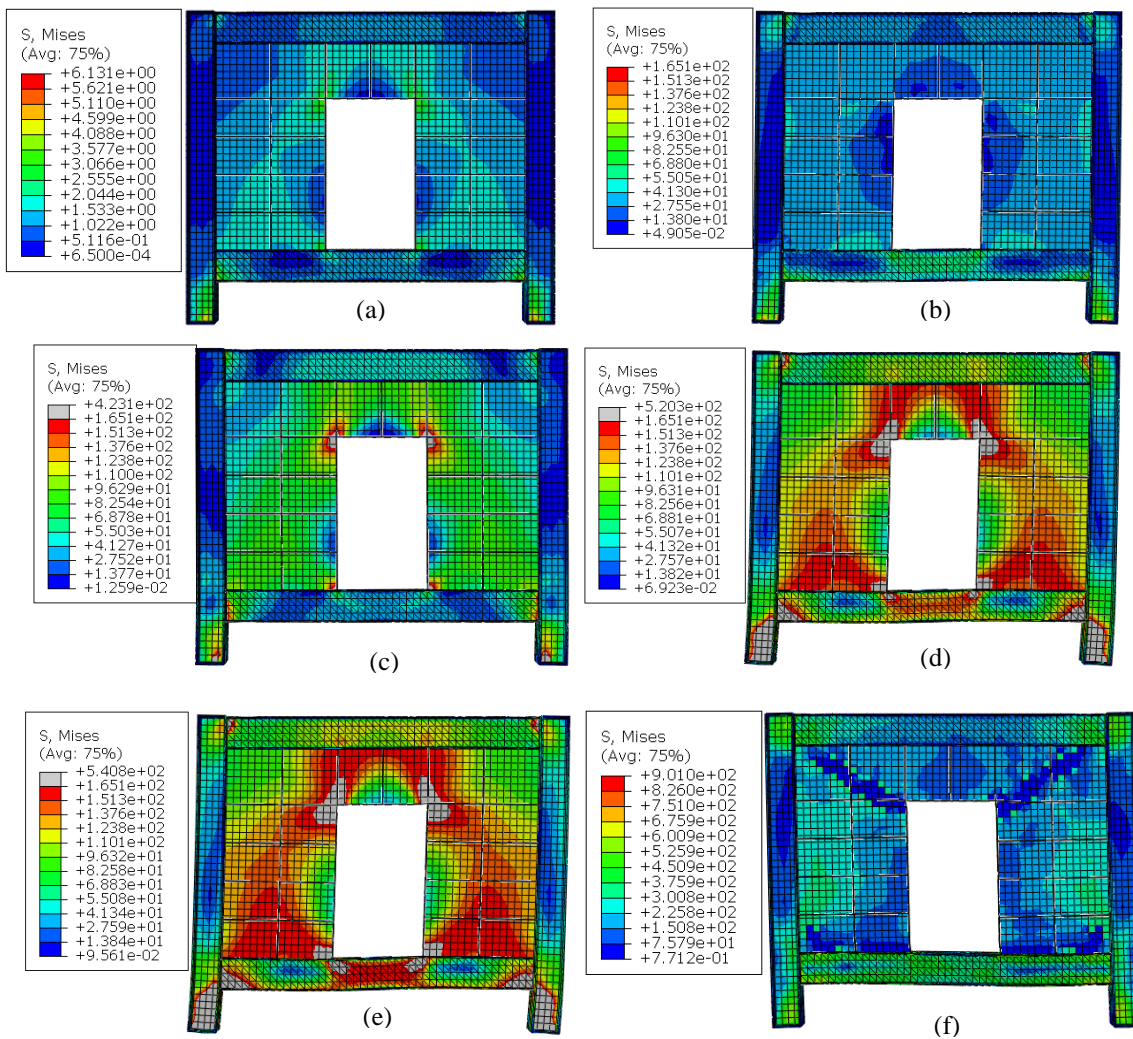


Gambar 4.35 Grafik *hysteresis* dari hasil analisa spesimen SSW-2-D.

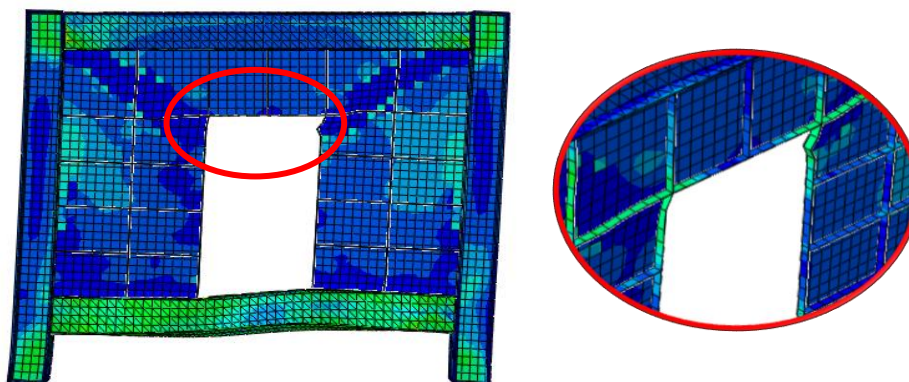
Gambar 4.35 merupakan kurva *hysteresis* dari spesimen SSW-2-D. Dapat terlihat dari kurva tersebut, leleh signifikan pertama terlihat saat memasuki *displacement* -6 mm (0.25% *Drift*) saat nilai tegangan mencapai -4068.55 kN, seperti yang terlihat pada Gambar 4.36. Nilai tegangan maksimum dari spesimen ini mencapai 15125.31 kN dan -15289.5 kN saat *displacement* mencapai 44.3 mm dan -59.9 mm (1% *Drift* dan 1.5%) dan mengalami penurunan nilai tegangan saat memasuki *displacement* ± 89.5 mm (2% *Drift*). Pada balok di sisi bawah *steel plate* mengalami torsi yang cukup besar, seperti yang terlihat pada Gambar 4.38



Gambar 4.36 Spesimen SSW-2-D Saat Mengalami Leleh Pertama pada *Wall Plate*



Gambar 4.37 Pola Penyebaran Tegangan pada Spesimen SSW-2-D Saat
 (a) Pembebanan Tahap Pertama (b) 1.5% Drift, 0.2 (c) 1.5% Drift, 6.2 mm
 (d) 0.5% Drift, 11.7 mm (e) 0.5% Drift, 14.7 mm (f) Semua Elemen Mengalami
 Leleh pada Penampang



Gambar 4.38 Pemodelan Pasca Pembebanan Spesimen SSW-2-D

4.7. Perbandingan Hasil dan Pembahasan

Hasil dari yang didapatkan pada setiap spesimen, berupa nilai tegangan lateral, simpangan, perilaku *boundary element*, nilai daktilitas, dan pola *failure* dibandingkan satu sama lain. Nilai tegangan lateral dan simpangan dirangkum dalam Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Nilai Tegangan Lateral Eksperimen

Parameter (kN)	SSW-1			SSW-2		
	SW	DW	D	SW	DW	D
Nilai Leleh Pertama (+)	4087.7	2301.54	1853.81	6901.85	5159.64	3752.1
Nilai Leleh pertama (-)	-2375.28	-1801.4	-1364.07	-3449.73	-5927.47	-4068.55
Nilai Tegangan Maksimum (+)	14837.55	15214.14	9437.38	19832.58	19802.4	15125.31
Nilai Tegangan Maksimum (-)	-14820.6	-15434.7	-9597.55	-19730	-20088.9	-15289.5
Nilai Tegangan Akhir (+)	10246.01	10947.13	9544.41	12225.9	13405.76	10977.5
Nilai Tegangan Akhir (-)	-11486.5	-15434.7	-9485.82	-12419.2	-13734.8	-11259.5

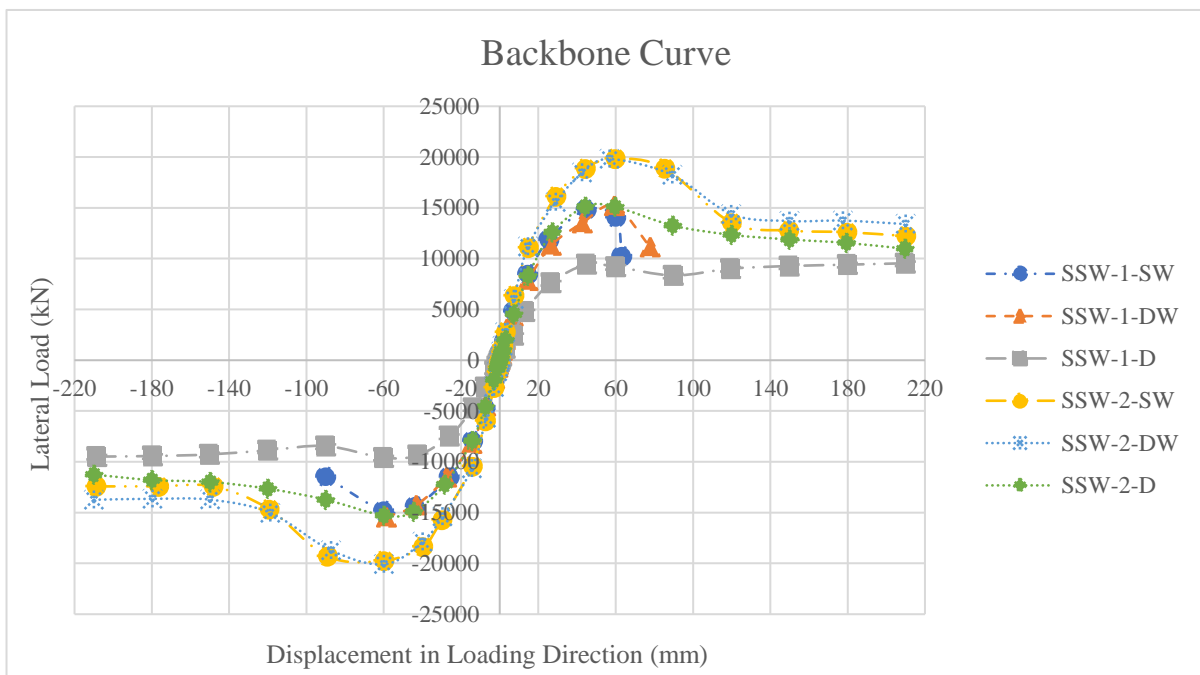
Tabel 4.7 Nilai Simpangan Eksperimen

Parameter (mm)	SSW-1			SSW-2		
	SW	DW	D	SW	DW	D
Simpangan saat Leleh Pertama (+)	4.67	3.5	4.28	3.1	5.8	4.7
Simpangan saat Leleh Pertama (-)	-3.45	-2.58	-3.45	-3.8	-6	-6
Simpangan saat Tegangan Maksimum (+)	44	59	45	59.6	56.7	44.3
Simpangan saat Tegangan Maksimum (-)	-60	-58.5	-60	-59.9	-59.8	-59.9
Simpangan Maksimum (+)	63	77.9	209.8	210	210	209.7
Simpangan Maksimum (-)	-90	-58.5	-208.5	-208.9	-209.9	-209.9

Dari kedua tabel tersebut diketahui, spesimen SSW-2-DW menghasilkan nilai tegangan tertinggi, sedangkan spesimen SSW-1-D menghasilkan nilai tegangan yang paling rendah. Juga dari sisi ketahanan terhadap beban lateral setelah mencapai tegangan puncak, spesimen SSW-2-DW menghasilkan nilai tegangan tertinggi, dan spesimen SSW-1-D menghasilkan nilai tegangan terendah. Namun, spesimen SSW-1-SW dan SSW-1-DW mengalami *failure* dalam proses pembebanannya, sehingga sangat mempengaruhi performa spesimen ini secara keseluruhan. Dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7, juga dapat disimpulkan pengaruh dari perbandingan jumlah dan luasan dari *opening* pada *shear wall* dan seberapa besar pengaruh dari setiap perlakuan yang diberikan pada spesimen.

Gambar 4.39 merupakan *Backbone Curve* dari setiap spesimen yang telah diuji. Dari *backbone curve* tersebut, spesimen SSW-1-SW dan SSW-1-DW

memperlihatkan hasil yang serupa. Tidak jauh berbeda dengan spesimen spesimen SSW-2-SW dan spesimen SSW-2-DW, dimana kedua spesimen ini menunjukkan performa yang serupa. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa performa dari SPSW dengan *window opening* pada pelat *shear wall*-nya tidak bergantung pada jumlah dan letaknya, melainkan rasio dari tinggi-lebar SPSW dan jarak dari *opening* menuju sisi kiri dan kanan *Steel Plate* itu sendiri.



Gambar 4.39 Perbandingan *Backbone Curve* Setiap Spesimen

Adapun nilai energi terdisipasi dari setiap spesimen mempunyai peran penting dalam penentuan metode yang akan dilaksanakan di lapangan. Tabel 4.8 menunjukkan nilai energi terdisipasi dari setiap spesimen yang diuji.

Tabel 4.8 Nilai Energi Terdisipasi pada Setiap Spesimen

Spesimen	Nilai Energi Terdisipasi (kNm)
SSW-1-SW	17562.44419
SSW-1-DW	14424.48206
SSW-1-D	29630.07728
SSW-2-SW	82441.17936
SSW-2-DW	86190.21947
SSW-2-D	276112.8739

Dari Tabel 4.8 Dapat terlihat bahwa spesimen SSW-2-DW memiliki nilai energi terdisipasi yang paling besar. Terlebih khusus, bila dibandingkan spesimen

single window dan *double window*, akan terlihat perbedaan bahwa pengaruh jarak antara *opening* dan sisi horizontal berpengaruh terhadap energi yang dapat didisipasi oleh *shear wall*. Spesimen SSW-1-SW memiliki nilai terdisipasi lebih banyak daripada spesimen SSW-1-DW, sedangkan spesimen SSW-2-DW memiliki nilai energi terdisipasi lebih besar daripada spesimen SSW-2-SW. Juga dapat terlihat bahwa spesimen SSW-2-D memiliki energi terdisipasi lebih sedikit daripada spesimen SSW-1-D, meskipun perbedaannya tidak sebanyak bila dibandingkan dengan spesimen dengan *window opening* (SW dan DW).

Nilai daktilitas 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. Tabel 4.9 merupakan rangkuman hasil perhitungan nilai daktilitas setiap spesimen.

Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Daktilitas Setiap Spesimen

Spesimen		Simpangan Saat		Daktilitas
		Leleh Pertama	<i>Ultimate</i>	
SSW-1	SW	-3.45	-60	17.39130435
	DW	-2.58	-58.5	22.6744186
	D	-3.45	-60	17.39130435
SSW-2	SW	3.1	-59.9	19.32258065
	DW	5.8	-59.8	10.31034483
	D	4.7	-59.9	12.74468085

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. Adapun perilaku *boundary element* dan pola penyebaran tegangan serta pola kegagalan (*failure*) pada spesimen dapat terlihat pada Gambar 4.15 sampai dengan Gambar 4.38. Setiap spesimen menggunakan *redced beam section (RBS)* pada balok di sisi atas dan bawah spesimen, sehingga akan sangat mempengaruhi pola kegagalan dari *SPSW* 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. Adanya *RBS* memungkinkan penyebaran tegangan secara lebih merata terhadap seluruh bagian *steel plate*, sehingga setiap bagian pada *steel plate* mengalami *buckling* pada saat yang hampir bersamaan, namun tidak dalam tahap pembebanan dengan nilai yang kecil. Hal ini dapat terlihat dari pola kegagalan spesimen pada Gambar 4.17, Gambar 4.21, Gambar 4.25, Gambar 4.29, Gambar 4.33, dan Gambar 4.37. 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.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, telah didapatkan kesimpulan dengan perincian sebagai berikut:

1. Hasil analisa menunjukkan, spesimen dengan *opening* dapat mengurangi kinerja/performa umum dari *steel plate shear wall*, termasuk diantaranya adalah energi terdisipasi, pola kegagalan, penyebaran tegangan dan nilai daktilitas struktur.
2. Jumlah dan ukuran *opening* pada *shear wall* akan menghasilkan perbedaan yang bervariasi pada performa *steel plate* itu sendiri secara keseluruhan. Jumlah *opening* yang semakin banyak dan dimensi *opening* yang semakin berubah-ubah bukan merupakan faktor utama dari performa *SPSW* itu sendiri, selama rasio dari luasan pada *opening* tersebut dipertahankan. Dalam penelitian ini, posisi *opening* dibatasi di sisi tengah *steel plate*, sehingga kesimpulan ini tidak dapat digunakan bila *opening* terletak di tepian *steel plate*.
3. *Opening* pada *shear wall* berupa jendela (*window*) akan mengubah pola penyebaran tegangan pada *steel plate*. Dengan membandingkan spesimen SSW-1-SW dan SSW-2-SW serta SSW-1-DW dan SSW-2-DW, dapat disimpulkan bahwa hal yang dapat memengaruhi performa *steel plate* itu sendiri ialah jarak dari *opening* ke sisi horizontal *steel plate*. Semakin jauh jarak antara *opening* dengan tepian *steel plate*, maka performa *steel plate* itu sendiri akan mendekati performa *steel plate* tanpa *opening*. Pemberian *opening* dengan tipe ini juga memengaruhi nilai tegangan maksimum *steel plate*, yaitu berkurang sebesar 10-15% dari *steel plate* tanpa *opening*, memengaruhi nilai daktilitas, yakni berkurang sebesar 7-8% namun tidak memberi banyak pengaruh pada perilaku elemen di sekitarnya.
4. *Opening* pada *shear wall* berupa pintu (*door*) cenderung akan mengubah pola penyebaran tegangan pada *steel plate* menjadi seolah terbagi menjadi dua *steel plate* yang terpisah. Dalam kasus pintu ada di tengah *steel plate*,

dengan membandingkan spesimen SSW-1-D dan spesimen SSW-2-D, dapat disimpulkan bahwa (a) Pengaruh lebar pada *steel plate* hanya akan memengaruhi nilai tegangan maksimum yang dapat dicapai. Hal ini merupakan hal yang wajar, dikarenakan *opening* dengan tipe seperti ini seolah membagi *steel plate* menjadi dua bagian terpisah. (b) Tidak adanya penurunan performa secara drastis pada spesimen ini. Performa spesimen akan turun secara perlahan setelah mencapai tegangan *ultimate*. (c) Dengan adanya *opening* yang sangat besar pada *steel plate* menyebabkan pengaruh besar pada elemen-elemen di sekitar *steel plate*, khususnya balok di sisi bawah spesimen. Balok akan mengalami punter yang besar akibat tidak adanya struktur yang menjadi pengekang (*stiffener*) pada balok tersebut. (d) Pemberian *opening* dengan tipe ini dapat memengaruhi nilai tegangan maksimum *steel plate* secara signifikan, yaitu berkurang sebesar 20-25% dari *steel plate* tanpa *opening*, memengaruhi nilai daktilitas, yakni berkurang sebesar 15-20%.

5. *Reduced beam section* (RBS) akan sangat mempengaruhi pola penyebaran tegangan dan *failure mode* pada *steel plate* itu sendiri.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah penelitian ini dilaksanakan, ialah:

1. Pemberian *opening* pada *shear wall* harus dilakukan dengan cermat dan teliti, mengingat jenis dari *opening* itu sendiri akan sangat berpengaruh pada kinerja *SPSW* secara keseluruhan. Penerapan *opening* tanpa perhitungan yang cermat dapat mengurangi tegangan maksimum yang dapat dicapai oleh *steel plate* secara signifikan. Hal tersebut juga tidak akan jauh berbeda dengan nilai daktilitasnya.
2. Kombinasi *opening* pada *shear wall* dapat menghasilkan performa *shear wall* yang berbeda. Untuk itu, penyesuaian terhadap penerapan metode yang telah dilakukan pada penelitian ini harus menyesuaikan dengan keadaan lapangan. Penambahan *stiffener* dan penggunaan *reduced beam section* (RBS) merupakan contoh penyesuaian yang dapat diterapkan di lapangan.

3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kombinasi *opening* yang lebih bervariasi pada *shear wall* di kemudian hari, mengingat penelitian ini hanya sebatas analisa program elemen hingga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Aboutalebi, Farhad Haji, Mahmoud Farzin, Mehrdad Poursina. (2011). "Numerical Simulation and Experimental Validation of a Ductile Damage Model for DIN 1623 St14 Steel". *SPRINGER-VERLAG International Journal of Advanced Manufacture Technology* no.53 pp. 157-165
- American Institute of Steel Construction (AISC) 360. (2016). "Specification of Structural Steel Buildings". American National Standards Institute (ANSI).
- Applied Technology Council (ATC) 24. (1998) *Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures*. American Iron and Steel Institute, American Institute of Steel Construction, National Center for Earthquake Engineering Research.
- Choi, In-Rak dan Hong-Gun Park. (2010). "Hysteresis Model of Thin Infill Plate for Cyclic Nonlinear Analysis of Steel Plate Shear Walls". *Journal Structural Engineering* 10.1061/(ASCE) ST.1943-541X.0000244, 1423-1434.
- Ding, Yang, En-Feng Deng, Liang Zong, Xiao-meng Dai, Yang Chen. (2017). "Cyclic Test on Corrugated Steel Plate Shear Walls with Openings in Modularized-Constructions". *ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research* no. 138 pp. 675-691.
- Dou, Chao, Zi-Qin Jiang, Yong-Lin Pi, Yan-Lin Guo. (2016). "Elastic Shear Buckling of Sinusoidally Corrugated Steel Plate Shear Wall. *ELSEVIER Engineering Structures Journal* no. 121 pp. 136-146.
- Guo, Hong-Chao, Ji-Ping Hao dan Yun-He Liu. (2015). "Behavior of Stiffened Steel Plate Shear Walls Considering Joint Properties". *ELSEVIER Thin-Walled Structures Journal* no. 97 pp. 53-62.
- Guo, Hong-Chao, Yan-Long Li, Gang Liang, Yun-He Liu. (2017). "Experimental Study of Cross Stiffened Steel Plate Shear Wall with Semi-Rigid Connected Frame". *ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research* no. 135 pp. 69-82.
- Hoseinzadeh Asl, Masoud dan Mahna Safarkhani. (2017). "Seismic Behavior of Steel Plate Shear Wall with Reduced Boundary Beam Section". *ELSEVIER Thin-Walled Structures Journal* no. 116 pp. 169-179 .
- Jalali, S. A. dan M. Banazadeh. (2016). "Development of a New Deteriorating Hysteresis Model for Seismic Collapse Assessment of Thin Steel Plate Shear Walls". *ELSEVIER Thin-Walled Structures Journal* no. 106 pp. 244-257.
- Khalifeh, A.R., A. Dehghan Banaraki, H. Danesh Manesh, M. Deghan Banaraki. (2018). "Investigating of the tensile mechanical properties of structural steels at high strain rates". *ELSEVIER Material Science & Engineering A* no. 712 pp. 232-239
- Kishi, N. dan W.F. Chen. (1991). Moment-rotation Relations of Semi-rigid Connections with Angles. *Journal of Structural Engineering* no.117 pp. 2811-2815 .
- Koppal, M. (2012). *Computational Investigation of Tunable Steel Plate Shear Walls for Improved Seismic Resistance*. Thesis Master. Polytechnic Institute and State University, Blacsburg.

- Liu, Wen-Yang, Guo-Qiang Li dan Jian Jiang. (2017). "Mechanical Behavior of Buckling Restrained Steel Plate Shear Walls with Two-Side Connection". *ELSEVIER Engineering Structures Journal* no. 138 pp. 283-292.
- Niari, Shirin Esmaeili, Behzad Rafezy dan Karim Abedi. (2015). "Seismic Behavior of Steel Sheathed Cold-Formed Steel Shear Wall: Experimental Investigation and Numerical Modeling". *ELSEVIER Thin-Walled Structures* no. 96 pp. 337-347.
- Patel, Kavin Y dan Dipali Y Patel. (2017). "A Comparative Study of Effectiveness of Steel Plate Shear Wall Patterns in Steel Building". *ICRISET2017 (Kalpa Publications in Civil Engineering, vol.1)*, pp. 502-507
- Purba, Ronny dan Michel Bruneau. (2015). "Seismic Performance of Steel Plate Shear Walls Considering Two Different Design Philosophies of Infill Plates. I: Deterioration Model Development". *Journal Structural Engineering* no. 141(6): 04014160.
- Qiao, Qi-Yun, Wan-Lin Cao, Xiang-Yu Li, Hong-Ying Dong, Wen-Wen Chang, Fei Yin. (2018). "Seismic Behavior of Shear Walls with Boundary CFST Columns and Embedded Multiple Steel Plates: Experimental Investigation". *ELSEVIER Engineering Structures Journal* no. 160 pp. 243-256.
- Ridwan, M. (2016). *Studi Perilaku Pelat Baja Dinding Geser (Steel Plate Shear Wall) dengan Variasi Perforasi akibat Beban Siklik*. Tesis Master. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sabouri-Ghomi, Saied dan Salaheddin Mamazizi. (2015). "Experimental Investigation on Stiffened Steel Plate Shear Walls with Two Rectangular Openings". *ELSEVIER Thin-Walled Structures Journal* no. 86 pp. 56-66.
- Sabouri-Ghomi, Saied dan Seyed Sajjadi. (2012). "Experimental and Theoretical Studies of Steel Plate Shear Walls and Without Stiffeners". *ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research* no. 75 pp 152-159.
- Shah, Archin A dan Megha Thomas dan V.R Patel. (2017). "Comparison of Performance of Steel Plate Shear Wall with R.C. C. Shear Wall in Tall Building". *International Journal of Advanced Engineering and Tall Building* Vol.4 e-ISSN 2348-4470.

BIODATA PENULIS



Christianto Credidi Septino Khala, penulis dilahirkan di Ujung Pandang, 23 September 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Katolik Rajawali Makassar, SD Katolik Hati Kudus Rajawali Makassar, SMP Katolik Rajawali Makassar, dan SMA Katolik Rajawali Makassar. Setelah lulus dari pendidikan SMA tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan jenjang sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) setelah menyelesaikan pendidikan sarjana di tahun 2016 dengan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Perencanaan Ulang Struktur Gedung MNC Tower Padang dengan Menggunakan Steel Plate Shear Wall*”. Pada tahun 2016, penulis melanjutkan Pendidikan jenjang Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya program studi teknik sipil, bidang keahlian struktur.

Email : cred_khala@ymail.com