TESIS – RC5401

ANALISIS DAN REKOMENDASI DESAIN *CORRUGATED STEEL PLATE SHEAR WALL* DENGAN MODIFIKASI *WALL OPENING* DAN *REDUCED BEAM SECTION*

EZRA PASERENG RAMBAK
03111750020013

DOSEN PEMBIMBING
Budi Suswanto ST., MT., Ph.D
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, M.S.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

TESIS – RC14-2501

ANALISIS DAN REKOMENDASI DESAIN *CORRUGATED STEEL PLATE SHEAR WALL* DENGAN MODIFIKASI *WALL OPENING* DAN *REDUCED BEAM SECTION*

EZRA PASERENG RAMBAK
NRP. 03111750020013

DOSEN PEMBIMBING :
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D
Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, M.S.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN STRUKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ezra Pasereng Rambak
NRP. 03111750020013

Tanggal Ujian : 20 November 2020
Periode Wisuda : Maret 2021

Disetujui Oleh:

Pembimbing:

1. **Budi Suswanto, S.T. M.T. Ph.D.** (……)
   NIP. 197301281998021002

2. **Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., M.S.** (……)
   NIP. 195503251980031004

Penguji:

1. **Data Iranata, S.T. M.T. Ph.D.** (……)
   NIP. 198004302005011002

2. **Harun Alrasyid, S.T. M.T. Ph.D.** (……)
   NIP. 198308082008121005

Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumian

Dr. techn. Umboro Lasminto, ST., MSc.
NIP. 197212021998021001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS DAN REKOMENDASI DESAIN CORRUGATED STEEL PLATE SHEAR WALL DENGAN MODIFIKASI WALL OPENING DAN REDUCED BEAM SECTION

Nama Mahasiswa	:	Ezra Pasereng Rambak
NRP	:	03111750020013
Dosen Pembimbing	:	Budi Suswanto ST., MT., Ph.D.
		Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, M.S.

ABSTRAK

Dinding geser pelat baja bergelombang atau lebih sering dikenal *Corrugated Steel Plate Shear Wall* (*CSSW*) dan konstruksi dinding geser pelat baja sederhana merupakan salah satu jenis pengaku struktur bangunan baja tahan gempa yang dapat mendisipasi energi gempa dalam jumlah yang besar. Ada kesulitan informasi mengenai perilaku dinding geser pelat baja bergelombang nonlinier yang rinci, khususnya dinding dengan bukaan. Karena metodologi desain *CSSW* belum dimasukkan dalam standar desain.

Dalam Tesis ini, telah dilakukan penelitian terhadap berbagai jenis metode baru yang dapat digunakan pada *CSSW*. Penelitian ini dilaksanakan dengan penerapan pembebanan pada spesimen dengan berbagai model, yaitu *CSSW* Vertikal dan Horizontal *without opening*, dan *CSSW* Vertikal dan Horizontal dengan *opening* 10% - 40%.

Hasil penelitian ini menunjukkan masing-masing spesimen *CSSW* Vertikal dan Horizontal mampu meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur. Dari hasil penelitian ini diperoleh nilai daktilitas tertinggi sebesar 16.0 dan memiliki nilai disipasi energi rata-rata tertinggi, sebesar 13076.9 kNm. Persentase opening yang di rekomendasikan untuk *CSSW* adalah 10% karena memiliki nilai daktilitas dan disipasi energi yang besar untuk menahan gaya lateral.

Kata kunci : *Corrugated Steel Plate Shear Wall Vertical, Corrugated Steel Plate Shear Wall Horizontal, Opening, Reduced Beam Section.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALYSIS AND DESIGN RECOMMENDATION OF CORRUGATED STEEL PLATE SHEAR WALL WITH MODIFICATION OF WALL OPENING AND REDUCED BEAM SECTION

Student Name	:	Ezra Pasereng Rambak
Student Reg. Number	:	03111750020013
Supervisor	:	Budi Suswanto ST., MT., Ph.D.
		Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M, M.S

ABSTRACT

Corrugated steel plate shear walls or more commonly known as Corrugated Steel Plate Shear Wall (CSSW) and simple steel plate shear wall construction is one type of seismic steel structure stiffener that can anticipate large amounts of earthquake energy. There is difficulty information regarding the detailed behavior of the nonlinear corrugated steel plate shear walls, in particular walls with openings. Because the CSSW design methodology has not been included in the design standards.

In this thesis, research has been carried out on various types of new methods that can be used in CSSW. This research was carried out by applying loading to specimens with various models, namely vertical and horizontal CSSW without opening, and vertical and horizontal CSSW with an opening of 10% - 40%.

The results of this study indicate that each of the Vertical and Horizontal CSSW specimens can increase the stiffness and capacity of the structure. From the results of this study, it was obtained that the highest ductility value was 16.0 and had the highest average energy dissipation value, amounting to 13076.9 kNm. The recommended opening percentage for CSSW is 10% because it has high ductility and energy dissipation values to withstand lateral forces.

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

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah, berkat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul "*Analisis dan Rekomendasi Desain Corrugated Steel Plate Shear Wall dengan Modifikasi Wall Opening dan Reduced Beam Section*" sebagai bentuk pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar magister (M.T) Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan 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 semua pihak yang turut terlibat dalam penulisan Tesis ini sebagai berikut:

1. Tuhan Yesus Kristus yang mencipta segala sesuatunya, yang memberi berkat dan anugerah serta menghendaki dan mengijinkan penulis sehingga dapat memulai studi magister, melewati proses studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, dan menyelesaikan Tesis ini sebagai tanda penulis telah mencapai tahap akhir dari seluruh proses studi tahap magister ini.
2. Kedua orangtua, yakni Ayah Zeth Rambak, SH dan Ibu Ester Dian Pasereng serta Kakak drg. Dizmayu Pasereng Rambak dan Adik dr. Jaffray Diaztri Pasereng Rambak yang saya cintai dan tidak putus-putusnya memberikan dukungan moral dalam berbagai doa dan kata-kata motivasi juga dukungan materi.
3. Kepada segenap keluarga besar penulis, yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah mendukung dalam doa dan selalu memberi semangat dalam proses perkuliahan.
4. Hendri Hermawan ST., MT. 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 pertama serta dosen wali saya sendiri dan Pak Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., M.S. selaku dosen pembimbing kedua yang selalu sabar memberikan bimbingan, nasehat dan dukungan dalam penyusunan Tesis ini.

6. Segenap dosen pengajar, staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil CIVPLAN – ITS
7. Teman - teman PPS Struktur angkatan 2017, Hendri Hermawan, Yohanes Duran, Wilman Adi Santoso, Martinus Alexandro Bastian, Gabriel Jose Ghewa, Adrian Candra Purnama, Muhammad Ali Rofiq, Bernard T. Wijaya, Richo Oktavian, Merzhy Mooy, Winda Nur Oktaviani, Syahidah Fani N, Rihnatul Ilmiah, Oktavia Ully Artha Silalahi, dan Annisa Rahmadina yang telah memberi dukungan dalam proses perkuliahan selama studi magister dan pengerjaan Tesis ini.
8. Abang saya di Surabaya Jauhar yang telah berbagi suka dan duka selama merantau di Surabaya.
9. Teman - teman Futsal Pascasarjana ITS yang selalu mendorong dalam perkuliahan dan penyelesaian Tesis ini.
10. Teman - teman FA Araya, terutama ce Julian dan Lois Felicia yang selalu mendukung dan mengingatkan lewat doa dan nasehat untuk terus berjuang menyelesaikan studi.
11. Teman – teman fulltimer dan sepelayanan Gereja Bethany Nginden Surabaya yang selalu mendukung lewat doa.
12. 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, 23 Oktober 2020

Penulis

DAFTAR ISI

COVER ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **iii**
ABSTRAK ..... **v**
ABSTRACT ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
DAFTAR TABEL ..... **xix**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Perumusan Masalah 4
1.3. Tujuan Penelitian 4
1.5. Manfaat Penelitian 4
BAB II STUDI LITERATUR **5**
2.1. Umum 5
2.2. Perilaku dan Desain *CSSW* 7
2.3. Prosedur Desain Untuk Interaksi Struktur Pelat Bergelombang 12
2.4. Studi Verifikasi 17
2.5. Pemodelan Finite Element 21
2.6. RBS pada Balok Terkoneksi SPSW 23
2.7. *Preliminary Design* VBE, HBE, dan SPSW 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **31**
3.1. Diagram Alir Penelitian 31
3.2. Studi Literatur 32
3.3. Pemodelan *CSSW* Utama dalam Program *Finite Element* 32
3.4. Pemodelan *CSSW* dengan Modifikasi 35
3.5. Proses Pembebanan 47
3.6. Analisa Hasil Pemodelan *Steel plate* dengan Varian Metode 48
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN **51**
4.1. Elemen-Elemen pada Spesimen 51
4.2. Pemodelan Spesimen CSSW 54
4.3. Pembebanan pada Spesimen 63

4.4. Hasil Analisis Penelitian 65
4.4.1 CSSW Vertical A, Without Opening 65
4.4.2 CSSW Vertical A, With Opening 10%..... 66
4.4.3 CSSW Vertical A, With Opening 20%..... 68
4.4.4 CSSW Vertical A, With Opening 30%..... 69
4.4.5 CSSW Vertical A, With Opening 40%..... 71
4.4.6 CSSW Vertical B, Without Opening 73
4.4.7 CSSW Vertical B, With Opening 10%..... 74
4.4.8 CSSW Vertical B, With Opening 20%..... 76
4.4.9 CSSW Vertical B, With Opening 30%..... 77
4.4.10 CSSW Vertical B, With Opening 40%..... 79
4.4.11 CSSW Horizontal A, Without Opening..... 81
4.4.12 CSSW Horizontal A, With Opening 10% 82
4.4.13 CSSW Horizontal A, With Opening 20% 84
4.4.14 CSSW Horizontal A, With Opening 30% 85
4.4.15 CSSW Horizontal A, With Opening 40% 87
4.4.16 CSSW Horizontal B, Without Opening..... 89
4.4.17 CSSW Horizontal B, With Opening 10%..... 90
4.4.18 CSSW Horizontal B, With Opening 20%..... 92
4.4.19 CSSW Horizontal B, With Opening 30%..... 93
4.4.20 CSSW Horizontal B, With Opening 40%..... 95
4.5 Rekapitulasi Nilai dan Pembahasan..... 97
Lampiran..... 102
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 113
5.1. Kesimpulan 113
5.2. Saran 114
DAFTAR PUSTAKA 115
BIODATA PENULIS 117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Status tekanan pada dinding geser baja sebelum dan sesudah tekuk 9

Gambar 2.2 Geometri pelat bergelombang 11

Gambar 2.3 Konfigurasi Struktur Portal 11

Gambar 2.4 a. *Tension field action stresses* b. *Projection of the the tension field action stresses*..... 13

Gambar 2.5 Pola Kerut..... 13

Gambar 2.6 *Deflection of the column*..... 14

Gambar 2.7 *Test Result Verification* 15

Gambar 2.8 *Test Result Verification for Driver et al*..... 16

Gambar 2.9 *Typical ABAQUS model* 16

Gambar 2.10 *Deformed shape and Von-Mises Contours at 10% drift* 18

Gambar 2.11 *Deformed shape and Von-Mises Contours at 10% drift* 20

Gambar 2.12 Perbandingan Hasil *Pushover* dan *SSW* 22

Gambar 2.13 Perbandingan antara Hasil Eksperimen dan Pemodelan 24

Gambar 2.14 Grafik Perbandingan Gaya Geser – *Lateral Displacement* (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)..... 25

Gambar 2.15 Gaya Interaksi SPSW (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)..... 26

Gambar 2.16 Perbandingan balok dengan dan tanpa *slotted hole* (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)..... 26

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... 31

Gambar 3.2 Detail *Test Setup* penelitian Penelitian Wei Wang dan Yingzi Ren (2019) 33

Gambar 3.3 Meshing of Corrugated Steel Plate Shear Walls Wei Wang dan Yingzi Ren (2019) 33

Gambar 3.4 Perbandingan Kurva Histeretik antara Hasil Perhitungan Elemen Hingga dan Hasil Eksperimental (*Vertical Corrugated steel plate)* 34

Gambar 3.5 Perbandingan Kurva Histeretik antara Hasil Perhitungan Elemen Hingga dan Hasil Eksperimental (*Horizontal Corrugated steel plate)*..... 34

Gambar 3.6 Detail *Test Setup* Penelitian..... 35

Gambar 3.7 Detail CSSW 36

Gambar 3.8 CSSW Vertikal A Without Opening 37

Gambar 3.9 CSSW Vertikal A With Opening 10% 37
Gambar 3.10 CSSW Vertikal A With Opening 20% 38
Gambar 3.11 CSSW Vertikal A With Opening 30% 38
Gambar 3.12 CSSW Vertikal A With Opening 40% 39
Gambar 3.13 CSSW Vertikal B Without Opening..... 39
Gambar 3.14 CSSW Vertikal B With Opening 10%..... 40
Gambar 3.15 CSSW Vertikal B With Opening 20%..... 40
Gambar 3.16 CSSW Vertikal B With Opening 30%..... 41
Gambar 3.17 CSSW Vertikal B With Opening 40%..... 41
Gambar 3.18 CSSW Horizontal A Without Opening..... 42
Gambar 3.19 CSSW Horizontal A With Opening 10%..... 42
Gambar 3.20 CSSW Horizontal A With Opening 20%..... 43
Gambar 3.21 CSSW Horizontal A With Opening 30% 43
Gambar 3.22 CSSW Horizontal A With Opening 40% 44
Gambar 3.23 CSSW Horizontal B Without Opening..... 44
Gambar 3.24 CSSW Horizontal B With Opening 10% 45
Gambar 3.25 CSSW Horizontal B With Opening 20% 45
Gambar 3.26 CSSW Horizontal B With Opening 30% 46
Gambar 3.27 CSSW Horizontal B With Opening 40% 46
Gambar 3.28 Perletakan *RBS* pada *Frame* 47
Gambar 3.29 Sketsa *Reduced Beam Section* pada *Frame*..... 47
Gambar 3.30 Grafik Pembebanan *Cyclic* pada Spesimen Berdasarkan ATC 24..... 48
Gambar 3.31 Proses Pembebanan pada Spesimen..... 49
Gambar 3.32 Grafik *Hysteresis* 50
Gambar 3.33 Bentuk Akhir dari *Boundary Element* setelah Pembebanan pada Specimen (Liu Wen-Yang dkk, 2017)..... 50
Gambar 4.1 Perbandingan *Solid Element* dan *Shell Element* pada Pemodelan *Finite Element*..... 53
Gambar 4.2 Parts Spesimen CSSW 55
Gambar 4.3 Property Spesimen CSSW 56
Gambar 4.4 Assembly Spesimen CSSW 57
Gambar 4.5 Step Spesimen CSSW 57
Gambar 4.6 Interaction Spesimen CSSW..... 58
Gambar 4.7 Beberapa Tipe Mesh 59

Gambar 4.8 Meshing Corrugated Steel Plate Shear Wall 59
Gambar 4.9 Load Spesimen CSSW 60
Gambar 4.10 Hasil Visualisasi Program Abaqus CAE 6.14 61
Gambar 4.11 Grafik *Force-Displacement* Baja St. 14 (Aboutalebi dkk, 2011).. 62
Gambar 4.12 Grafik *Stess-Strain* Baja St. 37 (Khalifeh dkk, 2018) 62
Gambar 4.13 Grafik *Stress-Strain* Baja St.52 (Khalifeh dkk, 2018)..... 62
Gambar 4.14 Grafik Pembebanan Berdasarkan Penelitian Sabouri Ghomi dan Mamazizi (2015) 63
Gambar 4.15 *Buckling* pada Spesimen..... 64
Gambar 4.16 Grafik Pembebanan Periodic Loading..... 64
Gambar 4.17 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, WithOut Opening 65
Gambar 4.18 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A, WithOut Opening.. 65
Gambar 4.19 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, WithOut Opening 66
Gambar 4.20 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, With Opening 10% 66
Gambar 4.21 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A, With Opening 10% 67
Gambar 4.22 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 10%..... 67
Gambar 4.23 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, With Opening 20% 68
Gambar 4.24 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A, With Opening 20% 68
Gambar 4.25 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 20%..... 69
Gambar 4.26 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, With Opening 30% 69
Gambar 4.27 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A, With Opening 30% 70
Gambar 4.28 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 30%..... 70
Gambar 4.29 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, With Opening 40% 71
Gambar 4.30 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A, With Opening 40% 71
Gambar 4.31 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 40%..... 72
Gambar 4.32 Grafik Gabungan Corrugated Vertikal A (6000 x 4000)..... 72
Gambar 4.33 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, WithOut Opening 73
Gambar 4.34 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B, WithOut Opening .. 73
Gambar 4.35 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, WithOut Opening 74

Gambar 4.36 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, With Opening 10% 74
Gambar 4.37 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B, With Opening 10% 75
Gambar 4.38 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 10% 75
Gambar 4.39 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, With Opening 20% 76
Gambar 4.40 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B, With Opening 20% 76
Gambar 4.41 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 20% 77
Gambar 4.42 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, With Opening 30% 77
Gambar 4.43 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B, With Opening 30% 78
Gambar 4.44 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 30% 78
Gambar 4.45 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, With Opening 40% 79
Gambar 4.46 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B, With Opening 40% 79
Gambar 4.47 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 40% 80
Gambar 4.48 Grafik Gabungan Corrugated Vertikal B (8000 x 4000) 80
Gambar 4.49 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, WithOut Opening..... 81
Gambar 4.50 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A, WithOut Opening 81
Gambar 4.51 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, WithOut Opening 82
Gambar 4.52 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, With Opening 10% 82
Gambar 4.53 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A, With Opening 10% 83
Gambar 4.54 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 10%..... 83
Gambar 4.55 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, With Opening 20% 84
Gambar 4.56 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A, With Opening 20% 84
Gambar 4.57 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 20%..... 85
Gambar 4.58 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, With Opening 30% 85
Gambar 4.59 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A, With Opening 30% 86
Gambar 4.60 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 30%..... 86

Gambar 4.61 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, With Opening 40% 87
Gambar 4.62 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A, With Opening 40% 87
Gambar 4.63 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 40% 88
Gambar 4.64 Grafik Gabungan Corrugated Horizontal A (6000 x 4000) 88
Gambar 4.65 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, WithOut Opening 89
Gambar 4.66 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B, WithOut Opening 89
Gambar 4.67 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, WithOut Opening 90
Gambar 4.68 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, With Opening 10% 90
Gambar 4.69 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B, With Opening 10% 91
Gambar 4.70 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 10% 91
Gambar 4.71 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, With Opening 20% 92
Gambar 4.72 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B, With Opening 20% 92
Gambar 4.73 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 20% 93
Gambar 4.74 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, With Opening 30% 93
Gambar 4.75 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B, With Opening 30% 94
Gambar 4.76 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 30% 94
Gambar 4.77 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, With Opening 40% 95
Gambar 4.78 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B, With Opening 40% 95
Gambar 4.79 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 40% 96
Gambar 4.80 Grafik Gabungan Corrugated Horizontal B (8000 x 4000) 96
Gambar 4.81 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B without Opening 102
Gambar 4.82 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 10% 102
Gambar 4.83 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 20% 103

Gambar 4.84 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 30% . 103
Gambar 4.85 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 40% . 104
Gambar 4.86 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B without Opening 104
Gambar 4.87 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 10%..... 105
Gambar 4.88 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 20%..... 105
Gambar 4.89 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 30%..... 106
Gambar 4.90 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 40%..... 106
Gambar 4.91 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A without Opening..... 107
Gambar 4.92 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 10% 107
Gambar 4.93 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 20% 108
Gambar 4.94 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 30% 108
Gambar 4.95 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 40% 109
Gambar 4.96 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B without Opening..... 109
Gambar 4.97 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 10% 110
Gambar 4.98 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 20% 110
Gambar 4.99 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 30% 111
Gambar 4.100 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 40% 111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Boundary Element Cross-section dimensions* 17
Tabel 2.2 *Corrugated-panel geometry* 17
Tabel 2.3 *Material model behavior* 17
Tabel 2.4 *Comparison of the analytical equation and FE analysis* 19
Tabel 2.5 *Comparison of the RBS-CSSW with the corresponding RBS-SSW*..... 22
Tabel 3.1 Spesifikasi Pemodelan *CSSW*..... 33
Tabel 3.2 Spesifikasi Pemodelan *CSSW* dengan *Opening* 36
Tabel 4.1 Profil Elemen Corrugated Steel Plate Shear Wall..... 53
Tabel 4.2 Profil Elemen pada Spesimen CSSW Vertikal..... 54
Tabel 4.3 Profil Elemen pada Spesimen CSSW Horizontal..... 54
Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Vertikal A..... 97
Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Vertikal B..... 97
Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Horizontal A..... 98
Tabel 4.7 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Horizontal B..... 98
Tabel 4.8 Nilai Energi Terdisipasi pada Setiap Spesimen..... 99
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Daktilitas Setiap Spesimen.....100

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan lahan yang menyempit mengakibatkan kebutuhan akan bangunan menengah dan tinggi semakin meningkat dari masa ke masa. Hanya ada dua cara untuk mengatasi masalah ini, yakni dengan menyediakan bangunan dengan elemen struktur yang besar, atau dengan cara menyediakan sistem yang cukup baik untuk menahan beban lateral pada bangunan (Patel *dkk*¸2017).

Dinding geser pelat baja *Steel Plate Shear Wall* (*SPSW*) adalah sistem penahan beban lateral yang biasanya digunakan di zona seismik tinggi menggunakan aksi medan tegangan yang dikembangkan oleh tekuk geser sebelum menghasilkan geser. Sistem ini mencakup pelat pengisi (kaku atau tidak kaku) yang dibatasi oleh kerangka baja dengan elemen struktural vertikal dan horizontal. Beberapa penelitian menggambarkan bahwa SPSW adalah sistem yang ekonomis dan efisien untuk bangunan bertingkat tinggi (R. Sabelli dan M. Bruneau, 2007) karena mengurangi beban mati dinding dan meningkatkan ruang lantai yang dapat digunakan, tidak hanya untuk konstruksi baru tetapi juga untuk perkuatan bangunan struktur yang ada (J. Berman dan M. Bruneau, 2003).

Penggunaan *SPSW* 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 pengunaan *SPSW*, baik pada bangunan tinggi ataupun menegah yang semakin meningkat, medorong para peneliti untuk memberi inovasi pada proses perancangan *SPSW* sehingga dapat menghasikan performa yang lebih baik dalam penggunaannya.

Sebagian besar penelitian numerik dan eksperimental tentang *SPSW* yang dilakukan dalam dekade terakhir didasarkan pada pelat datar yang digunakan sebagai panel pengisi (P.M Clayton *dkk*, 2015 dan A. Farzampour *dkk*, 2017) Sabouri - Ghomi *dkk*, 2005 menggunakan *Plate-Frame Interaction*

(*PFI*) untuk analisis dan desain dinding geser datar dengan pembatas pada *frame*. Fitur paling penting dari model *PFI* adalah independensinya dari bagian panel. Dapat digunakan dengan pelat tipis atau tebal, pengaku, dan pelat pengisi berlubang. Investigasi telah dilakukan untuk mengembangkan pendekatan potensial untuk menghindari tekuk di luar bidang sebelum menghasilkan geser, dan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan bangunan dengan menggunakan pelat baja yang relatif tebal atau diperkuat dengan pengaku vertikal dan horizontal (A. Farzampour *dkk*, 2017 dan G. Lanhui, 2011).

Corrugated Steel Plate Shear Walls (*CSSW*) adalah konstruksi dinding geser Pelat baja bergelombang yang berfungsi untuk penahan gaya lateral yang diterima secara luas dan efisien. Karena stabilitas geometrik tinggi di dalam dan di luar bidang, pelat baja bergelombang diusulkan sebagai pengganti pelat baja kaku pada balok pada tahun 1980-an. Kekakuan yang lebih tinggi dari pelat bergelombang, bahkan jika mereka lebih tipis dibandingkan dengan yang datar, telah membuatnya berguna untuk konstruksi balok balok ringan (R.B.G. Botros, 2006). Secara umum, pelat bergelombang memiliki kekakuan rendah tegak lurus terhadap arah kerut sementara kekuatannya untuk menahan gaya dalam bidang sepanjang kerut adalah signifikan (W.W. Yu, John Wiley dan Sons, 2000). Mo dan Perng memasang dinding geser baja bergelombang (*CSSW*) dalam rangka beton bertulang *Reinforce Concrete* (*RC*) dan mengevaluasi kinerja gaya gempa secara eksperimental.

Berman dan Bruneau menguji tiga spesimen satu lantai: dua spesimen dengan pelat rata (*SPSW*) dan satu spesimen dengan pelat bergelombang (*CSSW*). Dianalisis bahwa struktur dengan dinding bergelombang secara signifikan dapat membuang energi dan mengurangi permintaan pada elemen batas. Emami dkk mempelajari perilaku siklik dinding bergelombang trapesium melalui tiga tes eksperimental, dan hasil studi mereka menunjukkan bahwa dinding bergelombang memiliki kekakuan awal yang lebih besar, rasio daktilitas, dan kapasitas disipasi energi daripada dinding datar. Emami dan Mofid melaporkan bahwa analisis *Finite Element* (*FE*)

tidak dapat secara tepat menentukan perilaku tekuk dinding bergelombang tetapi dapat menentukan kekuatan geser tekuk. Vigh dkk. menggunakan algoritma genetika (GA) untuk mengkalibrasi perilaku siklik dari dinding bergelombang.

Farzampour dan Yekrangnia melakukan studi parametrik numerik menggunakan analisis *Finite Element* (*FE*) untuk menyelidiki efek bukaan di *CSSW*, dan mengusulkan bentuk bukaan persegi panjang yang dioptimalkan. Yu dan Yu melakukan penelitian pada sepuluh *CSSW* dengan konfigurasi bukaan melingkar yang berbeda dan menyimpulkan bahwa lubang melingkar dapat meningkatkan daktilitas dinding tetapi keberadaan bukaan mengarah pada pengurangan yang signifikan dalam kekakuan dan kekuatan. dari dinding geser. Zhao pada tahun 2017 menerangkan hasil studi parametrik numerik mereka pada *CSSW* dengan konfigurasi yang berbeda serta efek beban gravitasi menggunakan perangkat lunak ABAQUS. Baru-baru ini, Shon dkk 2017, mempelajari perilaku histeresis dinding bergelombang trapesium melalui uji eksperimental dan menyimpulkan bahwa dinding tersebut memiliki disipasi energi yang lebih tinggi, daktilitas, dan kapasitas *ultimate* dibandingkan dengan *open frame*.

Konsep *Reduced Beam Section* (*RBS*) juga telah digunakan akhir-akhir ini dalam berbagai sistem struktural. Selama beberapa dekade terakhir, sejumlah studi mengenai penggunaan *RBS* di *SPSW* dilakukan untuk memastikan bahwa *hinge frame plastic* terjadi di ujung balok dan tidak terjadi pada kolom (M. Hoseinzadeh, M. Safarkhani, 2017). Karena dinding geser baja bergelombang dengan bagian balok tereduksi (*RBS-CSSW*) belum dimasukkan dalam ketentuan desain, oleh karena itu Tesis ini akan membahas dan menyarankan prosedur desain mengenai *CSSW* dengan *RBS*. Perilaku *RBS-CSSW* sebagai sistem penahan beban lateral baru diselidiki, dan solusi analitik yang mempertimbangkan tegangan geser geser interaktif pada panel bergelombang diusulkan untuk memperkirakan kekuatan dinding. Model komputasi kemudian dikembangkan untuk mempelajari dinding serta memvalidasi persamaan analitik yang diusulkan. Pada akhirnya, perilaku

koneksi RBS dengan *SPSW* dan *CSSW* dibandingkan dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitas mereka.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana performa *CSSW* terhadap gaya lateral yang terjadi pada struktur?
2. Bagaimana pengaruh *wall opening* secara umum pada kinerja *CSSW*?
3. Bagaimana pengaruh persentase ukuran *opening* pada performa *CSSW*?
4. Apakah pengaruh *Reduced Beam Section* pada performa *CSSW* dengan *opening*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui performa *CSSW* terhadap gaya lateral yang terjadi pada struktur.
2. Mengetahui pengaruh *wall opening* secara umum pada kinerja *CSSW*.
3. Mengetahui pengaruh persentase ukuran *opening* pada performa *CSSW*.
4. Mengetahui pengaruh *Reduced Beam Section* pada performa C*SSW* dengan *opening*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari Tesis ini adalah:

1. Memberikan wawasan dan mampu menerapkan konsep yang telah dipelajari selama masa perkuliahan.
2. Sebagai bahan pertimbangan untuk perencanaan struktur gedung konstruksi baja dengan menggunakan sistem *CSSW*.
3. Memberi alternatif baru dalam penerapan penggunaan *CSSW*.
4. Mengembangkan penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya dan dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II
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 memliki *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 dikenankan beban horizontal kecil. Guratan Tarik akan Nampak pada sisi diagonal pelat baja. Energi teridisipasi 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 maksroskopis.

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* tehubung sepenuhnya dengan balok dan kolom, interkasi 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. Perilaku dan Desain *CSSW*

Untuk lebih memahami efek dari koneksi *RBS* yang digunakan dengan *CSSW*, kontribusi frame termasuk koneksi *RBS* ke kekuatan dipertimbangkan secara terpisah. Kekuatan total RBSCSSW diwakili oleh Persamaan. (1)

$$F_{su} = F_{pt} + F_{fu} \tag{1}$$

di mana Fsu adalah kekuatan utama RBS-CSSW, Fpt adalah kekuatan pelat, dan Ffu adalah kekuatan bingkai dengan koneksi RBS. Gambar. 1 menunjukkan keadaan tegangan dari pelat baja umum selama tahap postbuckled jika assumed diasumsikan sebagai kecenderungan medan tegangan. Keadaan tegangan ditunjukkan pada Gambar. 1b di dinding baja pada kondisi hasil dalam koordinat x-y mengabaikan tekanan kritis dalam keadaan gesper diberikan oleh persamaan berikut:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{ty} sin^2\,\theta \tag{2}$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_{ty} cos^2\,\theta \tag{3}$$

$$\sigma_{xy} = \quad \sigma_{yx} = 0.5 \quad \sigma_{ty}\sin 2\theta \tag{4}$$

di mana σty adalah tegangan medan tegangan yang sesuai dengan hasil, Keadaan total tegangan pada pelat baja pada hasil mempertimbangkan tegangan tekuk kritis adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{xx} = \sigma_{ty} sin^2\,\theta \tag{5}$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_{ty} cos^2\,\theta \tag{6}$$

$$\sigma_{xy} = \quad \sigma_{yx} = \tau_{cr} + 0.5 \quad \sigma_{ty}\sin 2\theta \tag{7}$$

Menghasilkan pelat baja terjadi ketika tegangan total yang ada mencapai kriteria hasil Von-Mises, yang diwakili oleh Persamaan. (8)

$$(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6\sigma_{xy}^2 + 6\sigma_{yz}^2 + 6\sigma_{zx}^2 - 2\sigma_y^2 = 0 \tag{8}$$

di mana σy adalah tegangan luluh; σxx, σyy, dan σzz adalah tekanan normal masing-masing dalam arah X, Y, dan Z; dan σxy, σyz, dan σzx adalah tegangan geser. Mengganti Persamaan. (5)-(7) ke Persamaan. (8) dan mengingat bahwa σzz = σyz = σzx = 0 akan menghasilkan Persamaan. (9)

$$\sigma_{ty}^2 + (3\tau_{cr,\ in}^{e} sin2\theta)\sigma_{ty} + (3 \quad \tau_{cr,\ in}^{e}{}^2 - \sigma_y^2) = 0 \tag{9}$$

Oleh karena itu, nilai σty dapat dihitung dari Persamaan. (9), menerapkan hasil pelat baja (σy) dan total tegangan geser geser interaktif elastis (τcr dalam e,). Tcr dalam e, dihitung menggunakan Persamaan. (10) [29].

$$\frac{1}{\tau^{e}_{cr,\ in}} = \frac{1}{\tau^{e}_{cr,\ L}} + \frac{1}{\tau^{e}_{cr,\ G}} + \frac{1}{\tau_y} \tag{10}$$

di mana tekanan tekuk geser lokal dan global yang kritis harus diperoleh dari Persamaan. (11) dan (12), masing-masing.

$$\tau^{e}_{cr,\ L} = [5.34 + 4\left(\frac{a}{h}\right)^2]\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t}{a}\right)^2 \tag{11}$$

$$\tau^{e}_{cr,\ G} = \frac{36\varphi E}{[12(1-\nu^2)]^{0.25}}\left[\frac{\left(\frac{d}{t}\right)^2+1}{6\gamma}\right]^{0.75}\left(\frac{t}{h}\right)^2 \tag{12}$$

di mana τy adalah tegangan geser yang menghasilkan; E dan υ adalah modulus elastisitas Young dan rasio Poisson, masing-masing, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2; a adalah panjang panel datar; h adalah tinggi panel; φ adalah faktor kondisi batas, yang bervariasi dari 1,0 hingga 1,9 dan dianggap sebagai 1,0 dalam penelitian ini untuk kondisi dukungan sederhana; d adalah kedalaman gelombang; dan γ adalah faktor geometri bergelombang, seperti ditunjukkan dalam Persamaan. (13)

Gambar. 2 menunjukkan sumbu 1 dan 2 yang mewakili arah tegak lurus dan sejajar dengan arah bergelombang masing-masing. γ adalah parameter geometrik yang dihitung menggunakan Persamaan. (13)

$$\gamma = \frac{a+b}{a+c} \tag{13}$$

di mana b adalah proyeksi horizontal dari lebar panel miring dan c adalah lebar panel miring. Kekuatan geser pelat bergelombang yang ditunjukkan pada sisi kanan Persamaan. (1) diperoleh dengan menggunakan Persamaan. (14)

$$F_{pt} = \sigma_{xy}.\ L.\ t \tag{14}$$

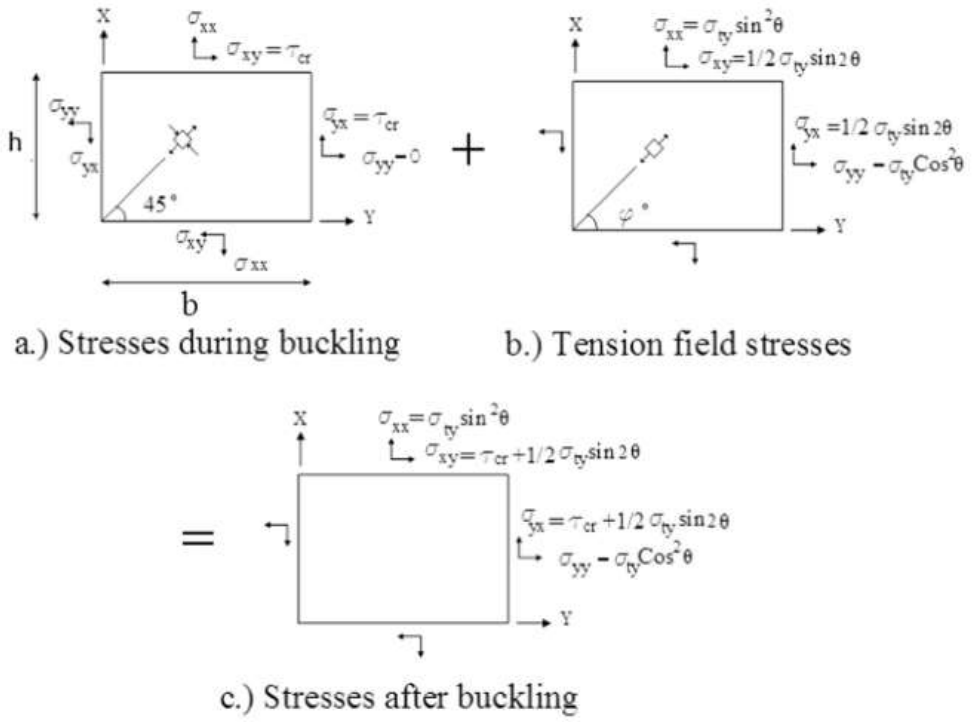
Mengganti Persamaan. (7) ke dalam Persamaan. (14) akan menghasilkan Persamaan. (15)

$$F_{pt} = (\tau^{e}_{cr,in} + 0.5\sigma_{ty} sin2\theta).\ L.\ t \qquad (15)$$

di mana L dan t adalah panjang dan ketebalan panel, masing-masing; dan τcr in e, adalah kapasitas tekuk elastis geser pelat interaktif.

Perpindahan geser pelat baja pada hasil adalah penjumlahan perpindahan geser pelat baja dalam kondisi tekuk (Uw, cr) dan perpindahan geser akibat aksi medan tegangan (Uw, tf). Oleh karena itu, perpindahan total geser diperoleh menggunakan Persamaan. (16)

$$U_w = U_{w,cr} + U_{w,tf}, \qquad (16)$$



Gambar. 2.1 Status tekanan pada dinding geser baja sebelum dan sesudah tekuk.

di mana Uw, cr diperoleh menggunakan Persamaan. (17)

$$U_{w,cr} = h.\ \gamma_{cr} = h.\ \frac{\tau^{e}_{cr,\ \ in}}{G} \qquad (17)$$

Uh, tf diperoleh dengan konsep kesetaraan pekerjaan yang dilakukan oleh energi regangan dan pekerjaan yang disebabkan oleh tegangan geser, yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$\frac{1}{2}[(0.5\sigma_{ty}sin2\theta)L.\ t].\ U_{w,tf} = \iiint F\,dx\,dy\,dz \tag{18}$$

di mana F dinyatakan sebagai berikut:

$$F = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2G}(\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2) - \left(\frac{1}{2G} - \frac{1}{E}\right)(\sigma_{xx} + \sigma_{xx} + \sigma_{zz})^2 + \frac{1}{G}\left(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2\right)\right] \tag{19}$$

Mengganti Persamaan. (2)-(4) ke Persamaan. (19) dan hanya mempertimbangkan kondisi hasil dengan σzz = σyz = σzx = 0, maka:

$$F = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2G}(\sigma_{ty}^2 sin^4\,\theta + \sigma_{ty}^2 cos^4\,\theta) - \left(\frac{1}{2G} - \frac{1}{E}\right)(\sigma_{ty}sin^2\,\theta + \sigma_{ty}cos^2\,\theta)^2 + \frac{1}{G}\left(\frac{1}{4}\sigma_{ty}^2 sin^2\,2\theta + \frac{1}{4}\sigma_{ty}^2 sin^2\,2\theta)\right)\right] \tag{20}$$

Akhirnya, menyederhanakan Persamaan. (20) akan menghasilkan Persamaan. (21)

$$F = \frac{\sigma_{ty}^2}{2E} \tag{21}$$

Mengganti Persamaan. (21) ke Persamaan. (18), Persamaan. (22) atau (23) diperoleh.

$$\frac{1}{2}[(0.5\sigma_{ty}sin2\theta)L.\ t].\ U_{w,tf} = \iiint \frac{\sigma_{ty}^2}{2E}dx\,dy\,dz \tag{22}$$

$$\frac{1}{4}(\sigma_{ty}sin2\theta)L.\ t.\ U_{w,tf} = \frac{\sigma_{ty}^2}{2E}h.\ L.\ t \tag{23}$$

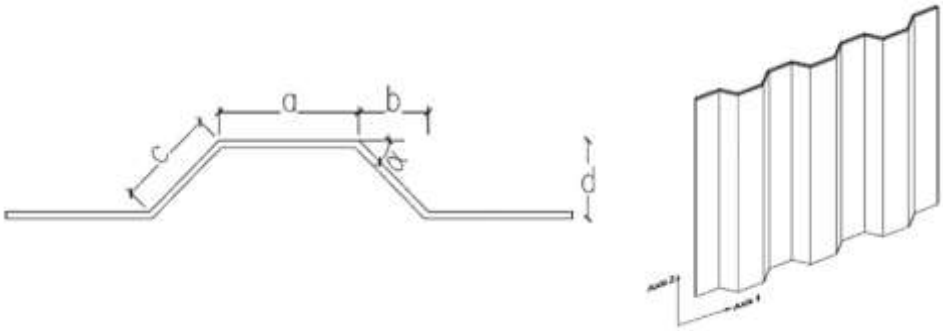
Karena itu, Persamaan. (24) dapat diperoleh dengan menyederhanakan Persamaan. (23)

$$U_{w,tf} = \frac{2\sigma_{ty}h}{Esin2\theta} \tag{24}$$

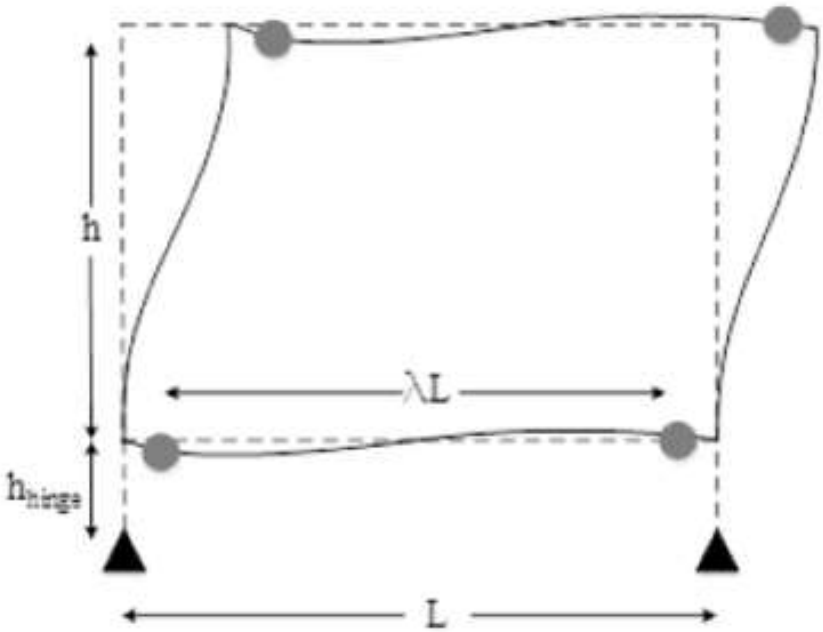
Gambar 3 menunjukkan konsep koneksi RBS. Dari analisis plastis sederhana, ditentukan bahwa kekuatan bare frame konvensional (tanpa RBS) sama dengan 4 Mp / jam (Mp adalah kapasitas momen plastik balok, dan h adalah tinggi cerita), yang dapat dimodifikasi untuk negara RBS sebagai berikut:

$$F_{fu} = \frac{4\beta M_p}{\lambda(h + h_{hinge})} \tag{25}$$

di mana Ffu adalah kekuatan bingkai tanpa pelat pengisi; λ adalah rasio jarak antara garis tengah koneksi RBS dan garis tengah kolom; h adalah tinggi bingkai antara garis tengah balok; dan engsel adalah jarak dari engsel berpusat pada kolom ke garis tengah balok bawah Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Geometri pelat bergelombang.



Gambar 2.3 Konfigurasi Struktur Portal.

Sambungan RBS digunakan dalam penelitian ini, yang memastikan bahwa engsel plastik terjadi di balok dan bukan di kolom. Pengurangan kekuatan momen-ujung momen target (β) diimplementasikan dalam desain spesimen

RBS. β dan λ dihitung berdasarkan lokasi engsel yang dikembangkan dalam model komputasi FE.

Untuk memastikan bahwa kerangka batas pelat baja akan mampu menahan tekanan normal yang disebabkan oleh aksi medan tegangan, kapasitas momen elemen batas harus lebih dari permintaan momen. Menurut Gambar. 4 (a), dengan menerapkan konsep lingkaran Mohr, aksi medan tegangan dapat dijelaskan berdasarkan konfigurasi sumbu lain, yang ditunjukkan pada Gambar. 4 (b).

Asumsi konsep elemen batas yang didukung secara sederhana di bawah pemuatan yang seragam akan menginduksi momen permintaan pada panjang tengah, yang dapat dirumuskan sebagai Persamaan. (26)

$$M_{demand} = \frac{wl^2}{8} \tag{26}$$

Oleh karena itu, momen yang diinduksi pada panjang tengah mengingat aksi medan tegangan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan. (27) dan (28). Implementasi persamaan momen permintaan medan tegangan dalam desain CSSW akan dijelaskan di bagian selanjutnya.

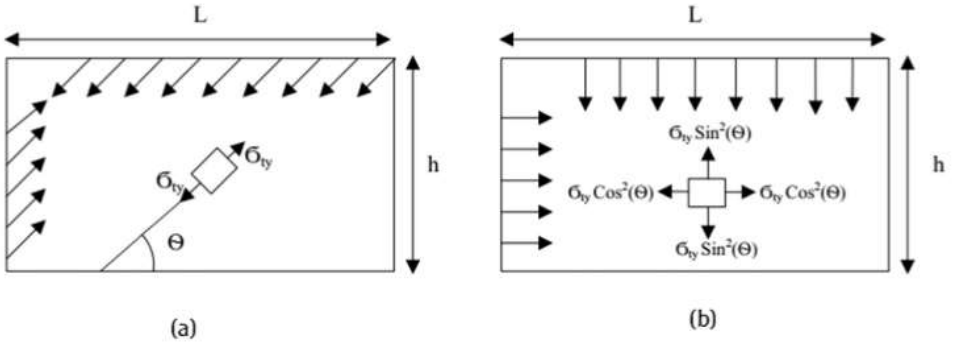
$$M_{demand}^{beam} = \frac{\sigma_{ty} tL^2}{8} sin^2\,\theta \tag{27}$$

$$M_{demand}^{column} = \frac{\sigma_{ty} th^2}{8} cos^2\,\theta \tag{28}$$

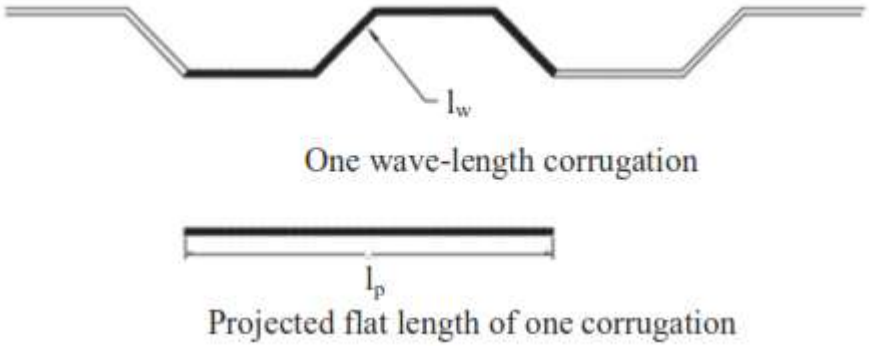
2.3. Prosedur Desain Untuk Interaksi Struktur Pelat Bergelombang

Pada bagian ini, prosedur langkah demi langkah diusulkan untuk analisis geser dan desain dinding geser pelat bergelombang dengan konsep *Corrugated Plat-Frame Interaction* (*CPFI*).

1. Periksa ketebalan pelat yang diperlukan sesuai dengan Persamaan. (29)



Gambar 2.4 (a) Tension field action stresses. (b) Projection of the tension field action stresses.



Gambar 2.5 Pola kerut.

$$t \geq \frac{V}{R_c(\tau^e_{cr,in}+0.5\sigma_{ty}sin2\theta)L} \qquad (29)$$

di mana V adalah gaya geser cerita dan Rc = lw / lp (Gbr. 5). Rc dapat dianggap 1,0, secara konservatif.

2. Hitung tegangan geser kritis (τcr dalam e,) menggunakan Persamaan. (10)
3. Perkirakan sudut aksi medan tegangan berdasarkan sudut kerut. Sudut aksi medan tegangan untuk dinding geser pelat sederhana memiliki perkiraan, persamaan sangat nonlinier untuk memprediksi aksi medan tegangan. Konsep pelat bergelombang membuat sudut aksi medan tegangan fungsi yang sangat nonlinear dan kompleks dari geometri, tetapi menurut [13,30], analisis komputasi menunjukkan bahwa interpolasi linier dapat memberikan nilai perkiraan untuk aksi medan tegangan untuk pelat bergelombang.
4. Hitung tegangan medan tegangan yang sesuai dengan hasil (σty) menggunakan Persamaan. (9)

5. Menurut analisis struktural sederhana (Gbr. 6), hitung perpindahan geser elastis ultimate ultimate dari bingkai (Ufe) menggunakan Persamaan. (30)

$$U_{fe} = \frac{M_{yc} h^2}{6EI_c} \tag{30}$$

di mana Myc adalah momen menghasilkan untuk kolom dan Ic adalah momen inersia kolom.

6. Mengganti Persamaan. (17) dan (24) ke Persamaan. (16), hitung perpindahan geser elastis batas pelat (Uwe) menggunakan Persamaan. (31)

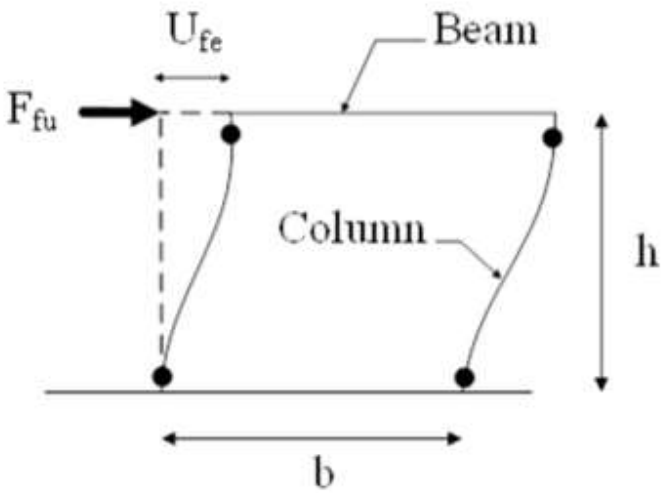
$$U_{we} = \left(\frac{\tau^{e}_{cr,in}}{G} + \frac{2\sigma_{ty}}{E} \right) \times h \tag{31}$$

7. Periksa Persamaan. (32) untuk memastikan bahwa pelat baja masuk ke plastisitas sebelum bingkai.

$$U_{fe} > U_{we} \tag{32}$$

Persyaratan yang disebutkan di atas akan memastikan bahwa pelat akan bertindak sebagai sekering dan bahwa pemborosan energi akan dilakukan terutama oleh pelat pengisi [6].

8. Momen kapasitas untuk kolom dan balok diperoleh dengan menggunakan Persamaan. (27) dan (28) harus lebih dari momen permintaan aktual;



Gambar 2.6 Deflection of the column.

Oleh karena itu, persyaratan yang ditunjukkan dalam Persamaan. (33) dan (34) harus dipenuhi untuk memastikan bahwa elemen rangka panel

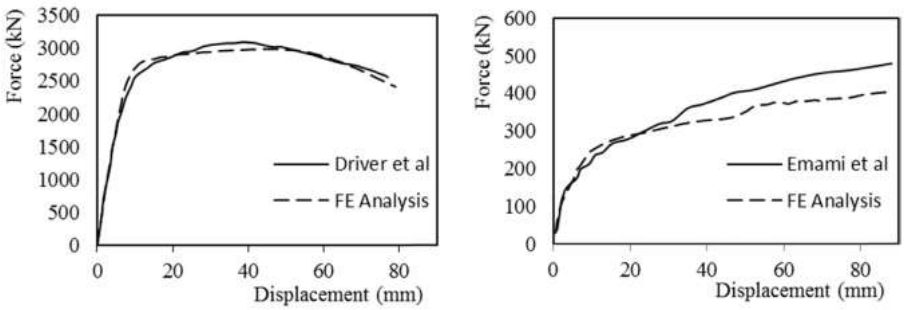
pelat akan mampu mempertahankan gaya batas normal yang sesuai dengan medan tegangan.

$$M_{pc} \geq \frac{\sigma_{ty} t h^2}{8} \cos^2 \theta \text{for columns} \tag{33}$$

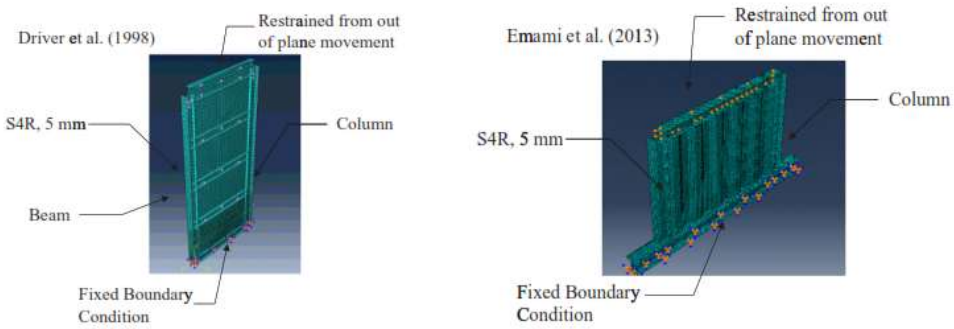
$$M_{p,RBS} \geq \frac{\sigma_{ty} t L^2}{8} \sin^2 \theta \text{for beams} \tag{34}$$

9. Periksa momen inersia kolom yang diperlukan menggunakan Persamaan. (35) Ini untuk memastikan bahwa tekuk prematur kolom tidak akan terjadi di bawah aksi tarikan pelat [2].

$$I_c \geq \frac{0.00307 t h^4}{L} \tag{35}$$

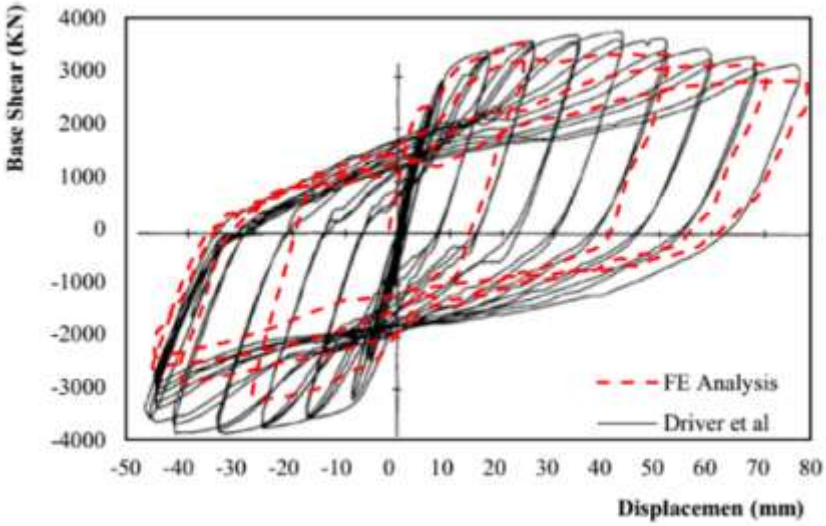


a) Verification of FE methodology with laboratory tests for the monotonic loading condition

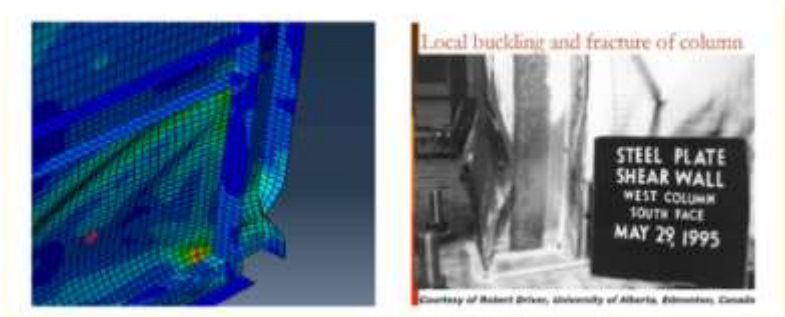


b) The FE models details

Gambar 2.7 Test result verification.

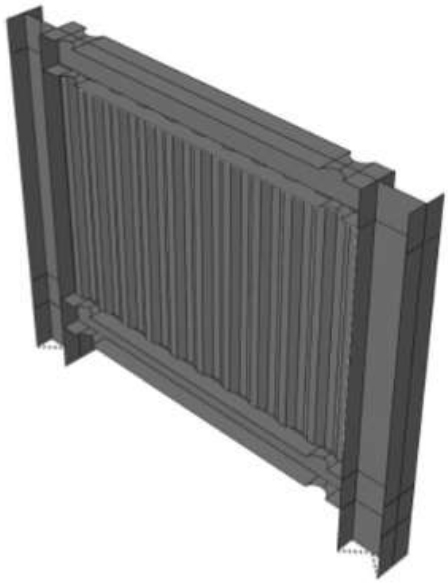


a) Captured hysteric behavior for the cyclic loading condition from FE analysis



b) The captured limit state from FE analysis

Gambar 2.8 Test result verification for Driver dkk.



Gambar 2.9 Typical ABAQUS model.

Tabel 2.1

Boundary element cross-section dimensions (all dimensions in mm).

	Specimen	1	2
Beam	Flange width	300	398
	Depth	792	394
	Web thickness	14	11
	Flange thickness	22	18
Cut dimensions of the beam flanges (RBS)	Location of cut	150	199
	Length of cut	514	256.1
	Depth of cut	75	99.5
	Radius of cut	479	132
Column	Flange width	417	432
	Depth	458	498
	Web thickness	30	45
	Flange thickness	50	70

Tabel 2.2

Corrugated-panel geometry (see Fig. 2).

Specimen	t (mm)	a (mm)	d (mm)	α (deg.)
1	1.5	100	50	30
2	1.5	100	50	30

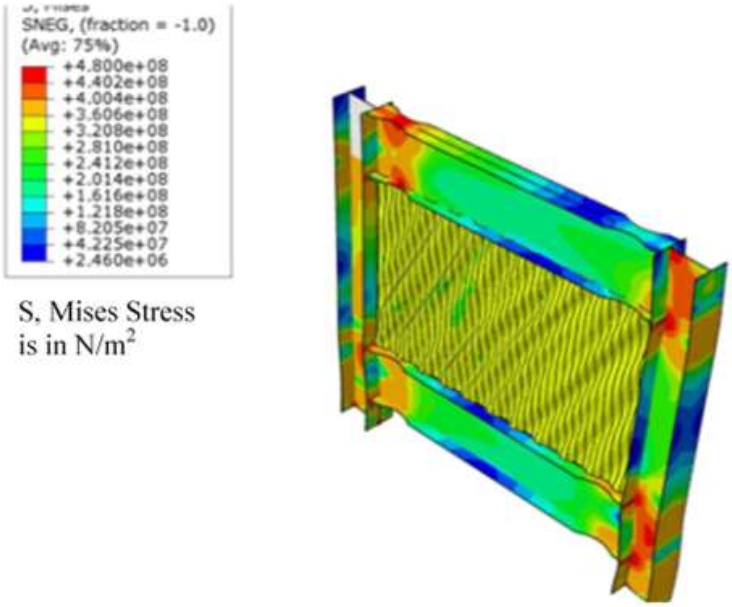
Tabel 2.3

Material model behavior.

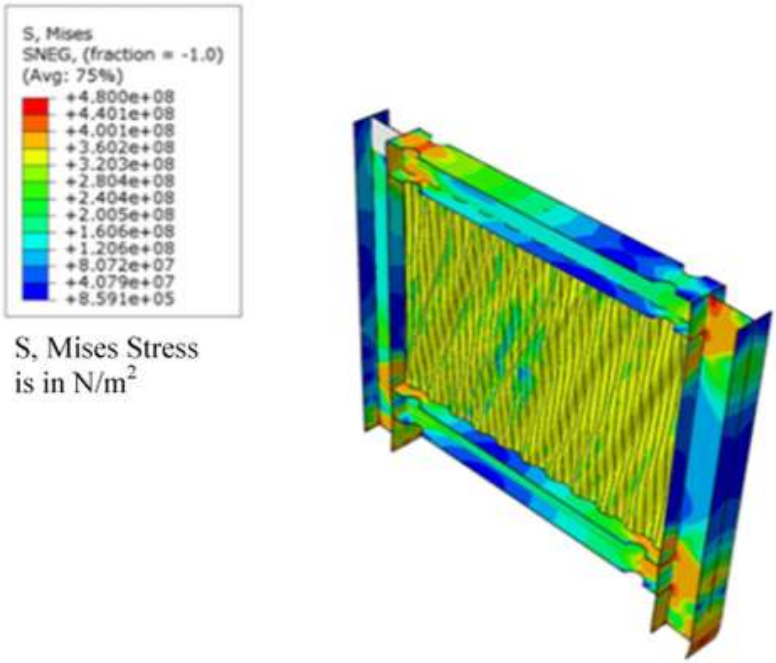
Type	Elastic modulus (MPa)	Yield stress, F_y (MPa)	Ultimate stress, F_u (MPa)	F_u/F_y
Panel	209000	341	341	1
Beams and columns	209000	390	480	1.23

2.4. Studi Verifikasi

Keakuratan metodologi pemodelan telah ditetapkan melalui dua tes laboratorium; hasilnya kemudian diverifikasi dan dibandingkan. Kurva pushover, mode kegagalan, dan perilaku umum model diverifikasi terhadap hasil uji eksperimental yang sesuai (Gambar 2.6). SPSW empat lantai yang diuji oleh Driver dkk telah dimodelkan dalam paket perangkat lunak FE, ABAQUS. Untuk tujuan pemodelan, empat elemen shell mengangguk (S4R) digunakan untuk mencegah penguncian geser dan waktu efek glassing.



a) RBS-CSSW specimen 1



b) RBS-CSSW specimen 2

Gambar 2.10 Deformed shape and Von-Mises contours at 10% drift (a) RBS-CSSW specimen 1, (b) RBS-CSSW specimen 2.

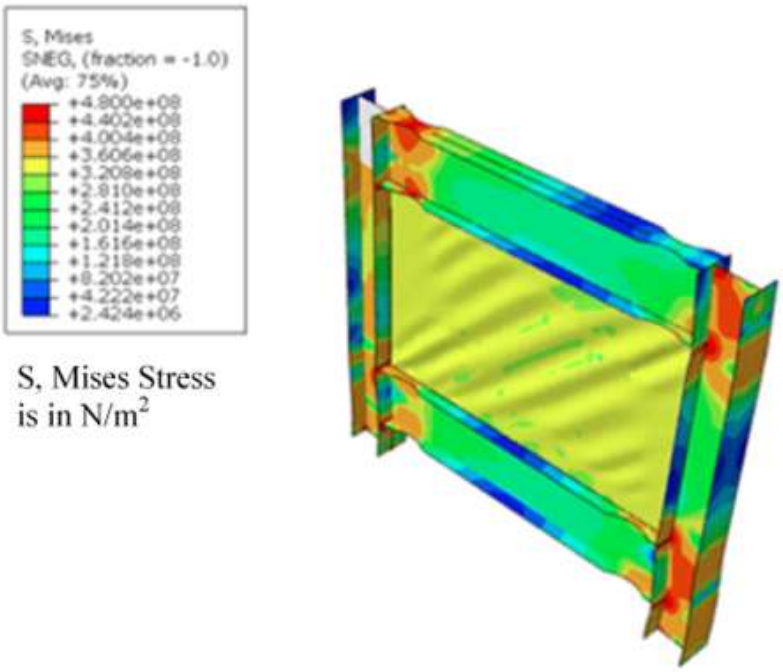
Elemen S4R mampu secara akurat menangkap perpindahan besar dan perilaku nonlinier. Pemuatan monotonik dan siklik menurut uji eksperimental

yang sebenarnya diterapkan, dan kurva backover dan kurva histeris tercapai. Sejalan dengan itu, CSSW satu lantai diuji oleh Emami dkk. diselidiki dalam kondisi pemuatan monotonik dengan paket perangkat lunak FE, ABAQUS, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6b. Untuk uji laboratorium yang disebutkan, analisis sensitivitas mesh dilakukan, dan ukuran mesh 5mm diimplementasikan sebagai hasilnya. Model material yang digunakan untuk spesimen uji dilakukan oleh Driver dkk, dan Emami dkk. didasarkan pada tes kupon. Hasilnya, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.7a, menunjukkan perjanjian yang memuaskan antara hasil tes laboratorium dan model numerik yang disajikan dalam penelitian ini. Hasil menunjukkan bahwa metodologi pemodelan untuk memvalidasi tes yang dikembangkan oleh Driver dkk. (1998) masing-masing memiliki akurasi 98% dan 95% untuk kondisi pemuatan monotonik dan siklik, sementara itu memiliki akurasi lebih dari 85% untuk uji eksperimental yang dikembangkan oleh Emami dkk. Gambar 2.8a. menunjukkan verifikasi hasil tes siklik umum menggunakan metodologi pemodelan FE. Selain itu, Driver dkk melaporkan bahwa tekukan lokal pada flensa bawah kolom sebagai batas yang diamati terkait dengan uji laboratorium, yang ditangkap oleh model FE seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8b. Tercatat bahwa Emami dkk menyebutkan bahwa perkembangan inelastisitas pada lokasi balok ke kolom sebagai keadaan batas yang terjadi diperoleh dari model FE.

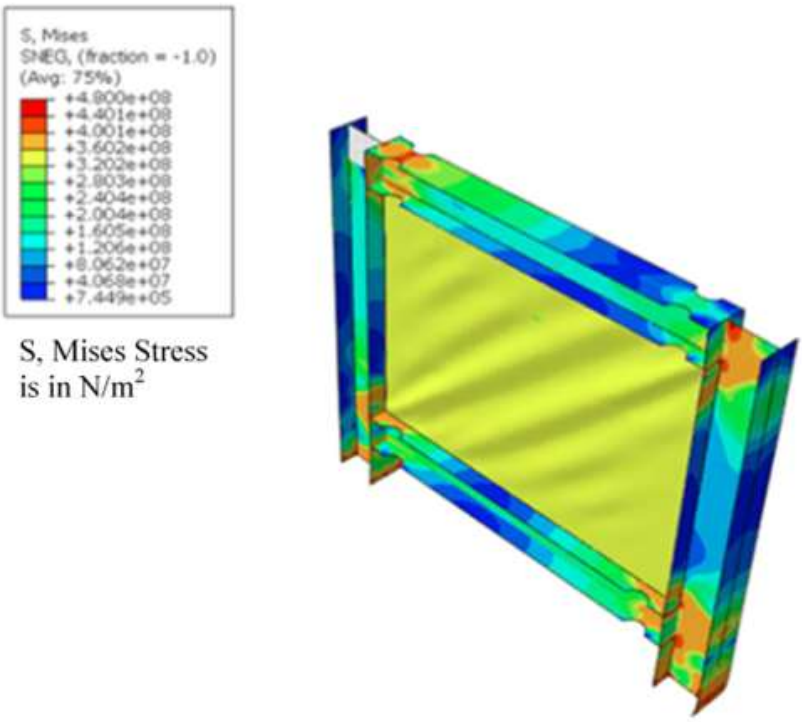
Tabel 2.4

Comparison of the analytical equation and FE analysis.

Specimen	Proposed equation strength estimation (kN)	Strength at 2.5% drift (kN)	Error (%)
1	4021.47	4329.0	7.10
2	1862.35	1730.0	7.86



a) RBS-SSW specimen 1

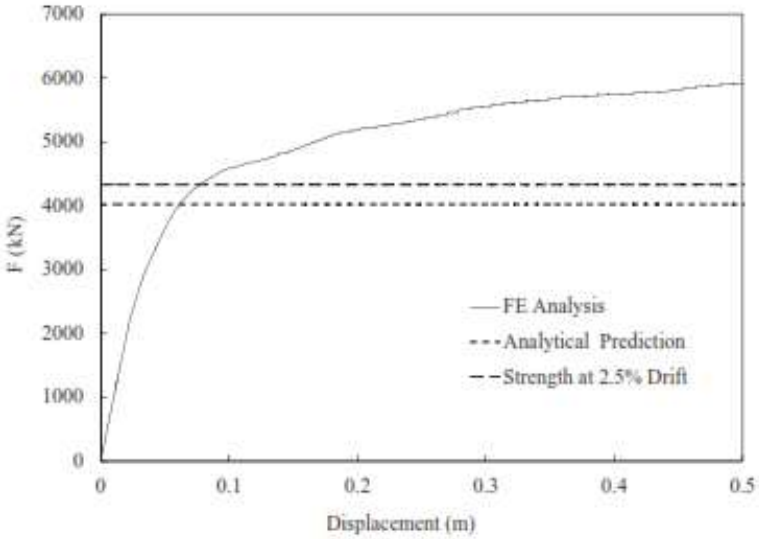


b) RBS-SSW specimen 2

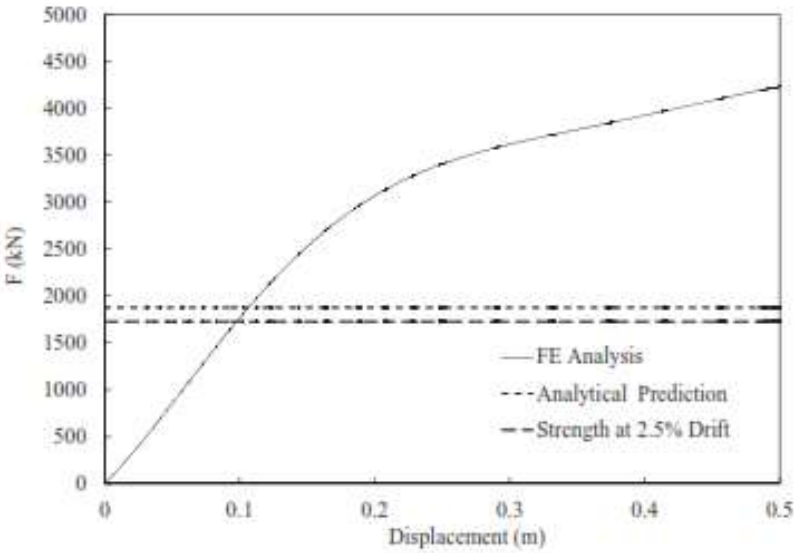
Gambar 2.11 Deformed shape and Von-Mises contours at 10% drift (a) RBS-CSSW specimen 1, (b) RBS-SSW specimen 2.

2.5. Pemodelan Finite Element

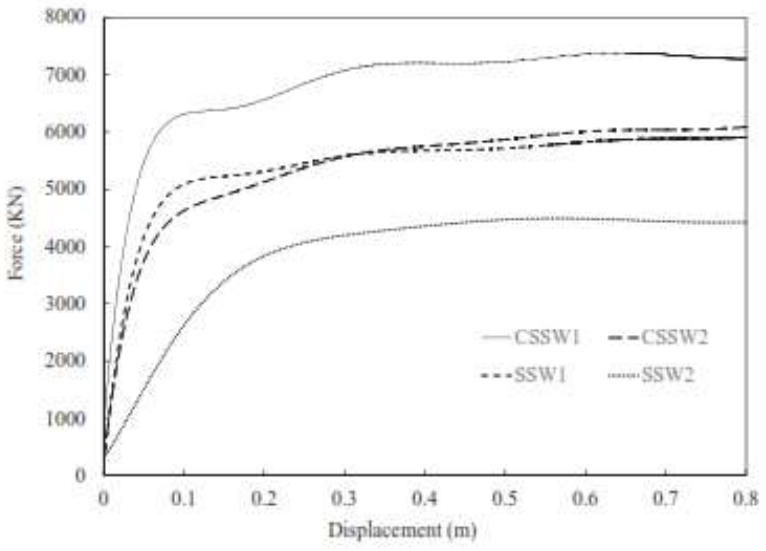
Orientasi anggota yang diterapkan pada beban, dan kondisi ukuran elemen batas ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan Tabel 2.1. Dimensi potongan flensa balok adalah faktor penting yang mempengaruhi kapasitas dan disipasi energi dinding geser, yang termasuk dalam Tabel 2.1.



(a)



(b)



Gambar 2.12. Perbandingan hasil pushover CSSW dan SSW.

Perlu dicatat bahwa pemotongan untuk sistem RBS untuk semua kasus dirancang berdasarkan prosedur yang direkomendasikan oleh manual AISC 341 dan KDS 2017. Prosedur desain berfokus pada inelastisitas balok bukannya kolom, dan mencegah mekanisme cerita di bawah permintaan yang signifikan. Elemen batas diadopsi dari profil Standar Korea (KS). Geometri panel bergelombang tercantum pada Tabel 2.2.

Table 2.5 *Comparrison of RBS-CSSW with the Corresponding RBS-SSW*

Drift Ratio	Model Properties	CSSW		SSW		Difference for Specimen 1	Difference for Specimen 2
		1	2	1	2		
2.50%	Strength (KN)	5860.5	3835	5076	1667	15.46	130.05
	K0 (KN/M)	171939.8	46386.5	120536.7	33236.72	42.05	39.56
	Energy Index	518.9	335.8	361.0	83.1	43.76	304.09
15%	Ductility (dimensionless)	11.9	4.0	10.5	3.7	13.82	9.96

Untuk bangunan perumahan yang khas, dinding geser bergelombang satu lantai dengan ketinggian 3,1 m dan panjang 4,5 m dari garis tengah ke garis tengah dipertimbangkan. Koneksi RBS dipertimbangkan, dan metode CPFI yang diusulkan dalam bab-bab sebelumnya digunakan untuk membangun RBS-CSSWs model FE. Tercatat bahwa kontribusi utama RBS-CSSW adalah karena menolak beban lateral. Secara umum, dinding geser baja dirancang berdasarkan kapasitas resistannya terhadap beban lateral, karena permintaan beban vertikal pada dinding geser baja yang terletak di lantai tengah gedung-gedung bertingkat tinggi kira-kira akan saling meniadakan. Oleh karena itu, cerita pertama atau terakhir dari kenaikan

tinggi tunduk pada permintaan beban vertikal yang tidak signifikan. Untuk alasan ini, penelitian sebelumnya umumnya mengabaikan efek beban vertikal atau mengasumsikan beban vertikal kecil pada elemen batas. Resistansi terhadap beban vertikal dalam studi tersebut dianggap dikembangkan oleh kontribusi elemen struktural lainnya.

Untuk mensimulasikan bangunan konvensional, gerakan out-of-plane dari girder ditahan. Untuk mengekstrak kurva pushover dan menghitung parameter yang terkait dengan dinding geser bergelombang untuk semua model, program FE komersial ABAQUS digunakan.

Untuk keperluan penilaian prediksi perilaku nonlinier dan estimasi perpindahan pasca-hasil yang signifikan, elemen shell integrasi umum empat-nodered dipertimbangkan. Terjadinya penguncian geser dan kemungkinan hourglassing dihilangkan dari model FE. Elemen shell diimplementasikan untuk bagian digulung kolom dan gelagar. Batas hasil bahan untuk panel dan elemen batas diambil dari uji laboratorium yang dilakukan oleh Habashi dan Alinia dkk, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

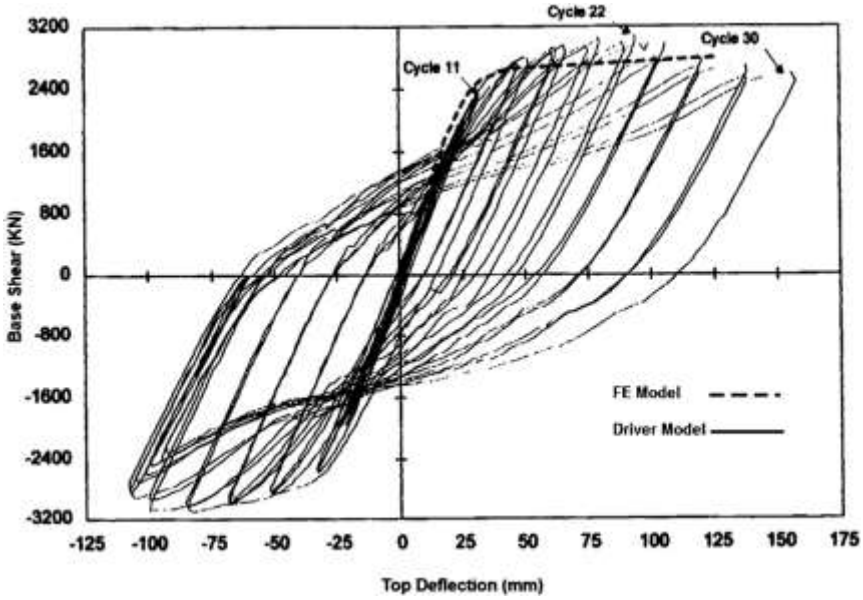
Elemen shell di persimpangan dihubungkan satu sama lain di semua sambungan yang menolak momen beam-to-kolom. Interaksi yang dilas dimodelkan dengan secara terus-menerus mengikat dinding geser ke kolom dan balok, seperti yang direkomendasikan oleh literatur sebelumnya. Selain itu, dua engsel didefinisikan dengan bantuan kendala multiguna untuk penyangga Gambar. 2.3. Pemuatan terkontrol monotonik penempatan-statis semu dilakukan dengan bantuan prosedur numerik eksplisit yang dinamis. Untuk menangkap perilaku push backbone dari RBS-CSSWs, pemuatan diterapkan ke gelagar atas, dan itu ditingkatkan secara monoton hingga 10% drift, seperti yang disarankan oleh kode sebelumnya (FEMA 450).

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*. Peneltian ini berdasar pada analisa statis non-linier pada program elemen hingga ANSYS versi 15.0, dimana beban

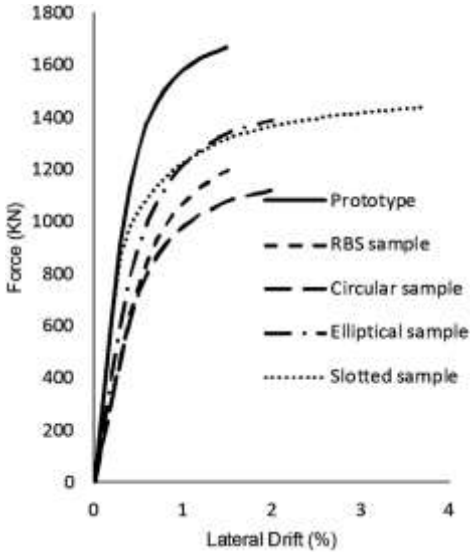
ditrapkan sebagai beban deformasi lateral, sebagai contoh, *displacement control*, untuk mempermudah kontrol mningkatkan konvergensi dari solusi numerik.

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 megurangi kekuatan elemen balok.



Gambar 2.13 Perbandingan antara Hasil Eksperimen dan Pemodelan (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

Penelitian ini dimodelkan dalam *frame* 4 tingkat, dibagi dalam 3 ekperimen, dimana setiap eksperimen menggunaakn 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 2.13.



Gambar 2.14 Grafik Perbandingan Gaya Geser – *Lateral Displacement*

(Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

Adapun hasil analisa dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.14, dengan penguraian sebagai berikut:

1. Kekakuan

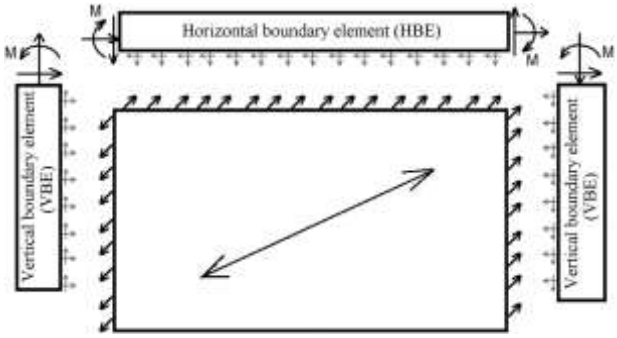
   Penguranagan bagian pada *boundary element* dapat menyebabkan pengurangan pada kekakuan geser dan *flexural* pada balok, mengakibatkan pengurangan pada pengaku lateral. Pada model RBS, bagian sayap balok dikurangi, sehingga mengakibatkan pengurangan momen inersia dari balok dan juga mengurangi kekakuan 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 2.15. 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

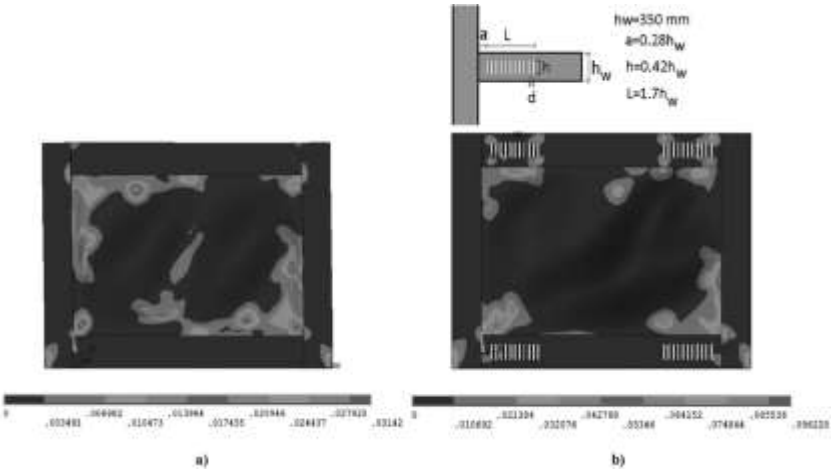
Setelah beberapa pengamatan dan olah data dilaukan, didapatkan kesimpulan bahwa pendistribusian plastisitas sepanjang daerah berlubang dapat membantu menghindari kegagalan *brittle* pada model, yang menyebabkan peningkatan daktilitas



Gambar 2.15 Gaya Interaksi *SPSW* (Hoseinzadeh dan Safarkhani, 2017)

3. Perilaku hysteresis

Perilaku h*ysteresis* dari *slotted beam* dibandingkan dengan yang tidak memiliki slot sama sekali Dapat telihat pada Gambar 2.16 Model *slotted beam* lebih baik perihal ukuran balok dan kolom.



Gambar 2.16 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:

$$tan^4\alpha = \frac{1+\frac{t_w\ L}{2\ A_c}}{1+t_w.h.\left(\frac{1}{A_b}+\frac{h^3}{360.I_c.L}\right)} \quad (36)$$

dan

$$\phi V_n = 0.90(0.42) f_y t_w L_{cf} \cos 2\alpha \quad (37)$$

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:

$$w_u = R_y f_y (t_w - t_{w1}) \cos^2 \alpha \quad (38)$$

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:

$$M_u = \frac{w_u L_h^2}{8} + P_u^* \left[\frac{L}{3} - \frac{d_c}{2} - \frac{d_b}{2}\right] \quad (39)$$

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

$$L_h = L - 2S_h \tag{40}$$

dan

$$S_h = \frac{1}{2}(d_c + d_b) \tag{41}$$

Tegangan axial pada balok adalah:

$$P_u = P_{HBE} = P_{HBE(VBE)} \pm \frac{1}{2} P_{HBE(web)} \tag{42}$$

$$P_{HBE(VBE)} = \sum \frac{1}{2} R_y f_y \sin^2(\alpha)\, t_w h_c \tag{43}$$

$$P_{HBE(web)} = \frac{1}{2} R_y f_y [t_i \sin(2\alpha_i) - t_{i+1} \sin(2\alpha_{i+1})] L_{cf} \tag{43}$$

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:

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + P_u^* + \frac{w_g + w_u}{2} L_{cf} \tag{44}$$

$$M_{pr} = 1.1 R_y f_y Z_x \tag{45}$$

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

$$I_c = 0.00307 t_w h^4 \cos^2 \alpha \tag{46}$$

Gaya tekan pada kolom adalah:

$$E_m = \sum \frac{1}{2} R_y f_y \sin(2\alpha)\, t_w h + \sum V_u \tag{47}$$

atau

$$E_m = \sum \frac{1}{2} R_y f_y \sin(2\alpha)\, t_w h + \sum \left[\frac{2M_{pr\,HBE}}{L_{h\,HBE}} + P_u^* + \frac{w_g + w_u}{2} L_{cf}\right] - \sum \left[\frac{2M_{pr\,Adj}}{L_{h\,Adj}}\right] \quad (48)$$

Dalam persamaan ini, $M_{pr\ Adj}$ 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:

$$M_{VBE(web)} = R_y f_y \sin^2(\alpha)\, t_w \left[\frac{h_c^2}{12}\right] \quad (49)$$

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

$$M_{VBE(web)} = \frac{1}{2} \sum M_{pb} \quad (50)$$

$$M_{pb} = \frac{M_{pr}}{1.1 R_y} + V_u S_h \quad (51)$$

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*

$$V_u = V_{VBE(web)} + V_{VBE(HBE)} \quad (52)$$

$$V_{VBE(web)} = \frac{1}{2} R_y f_y \sin^2(\alpha)\, t_w h_c \quad (53)$$

$$V_{VBE(web)} = \sum \frac{1}{2} \left[\frac{M_{pc}}{h_c}\right] \quad (54)$$

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

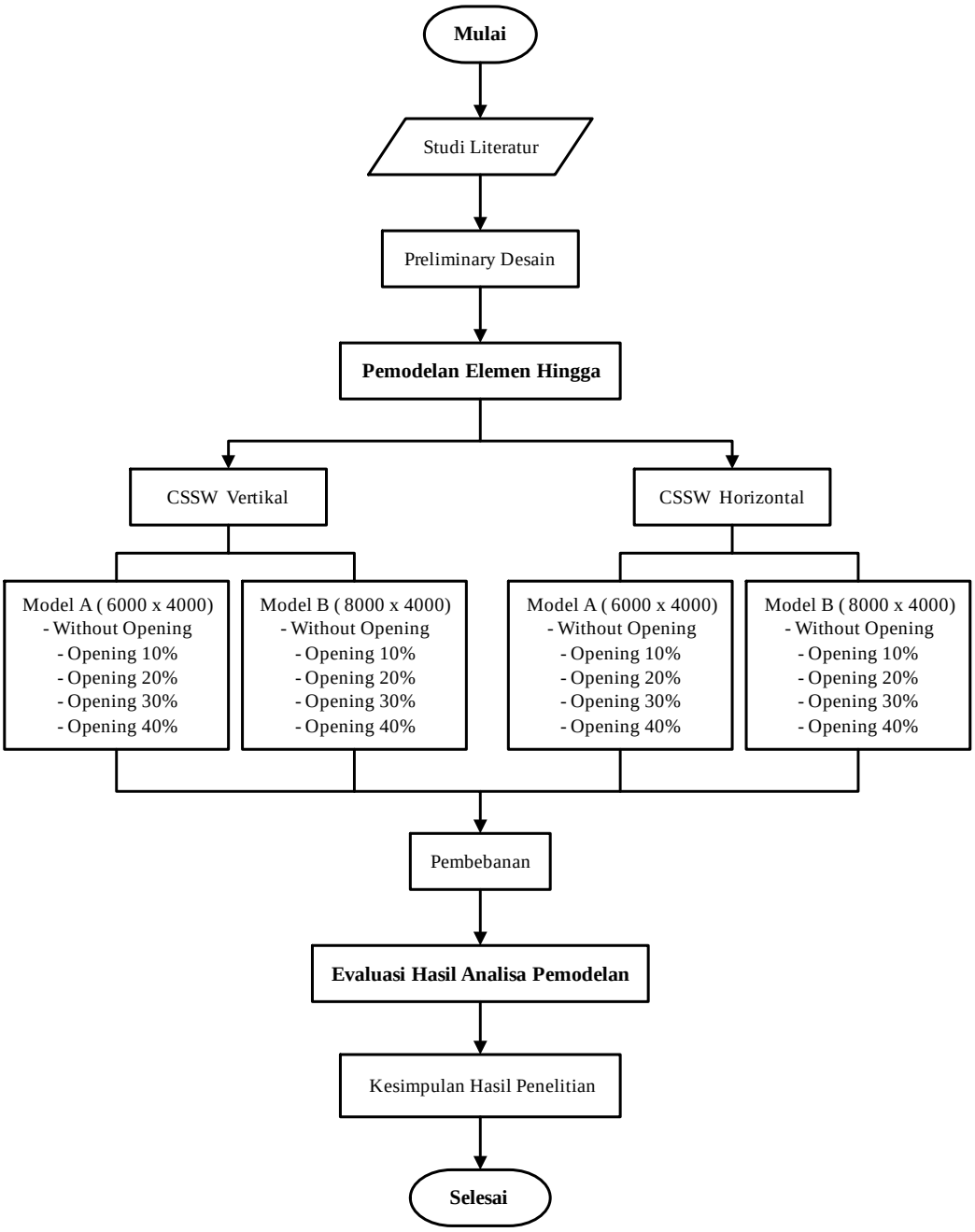
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

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



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Studi Literatur

Pada tahap studi literatur, beberapa sumber perlu dipelajari untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang penelitian ini, baik dalam rupa buku maupun jurnal-jurnal penelitian 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).

Hasil dari studi literatur dapat dijadikan sebagai acuan terhadap detail permasalahan penelitian yang akan dibahas. Hal tersebut menjadi penting, dikarenakan batasan penelitian yang diambil didasarkan pada penelitian-penelitian terdahulu, sehingga hasil yang diperoleh valid, dapat diverifikasi dan juga dapat meningkatkan prilaku struktur dinding geser secara signifikan.

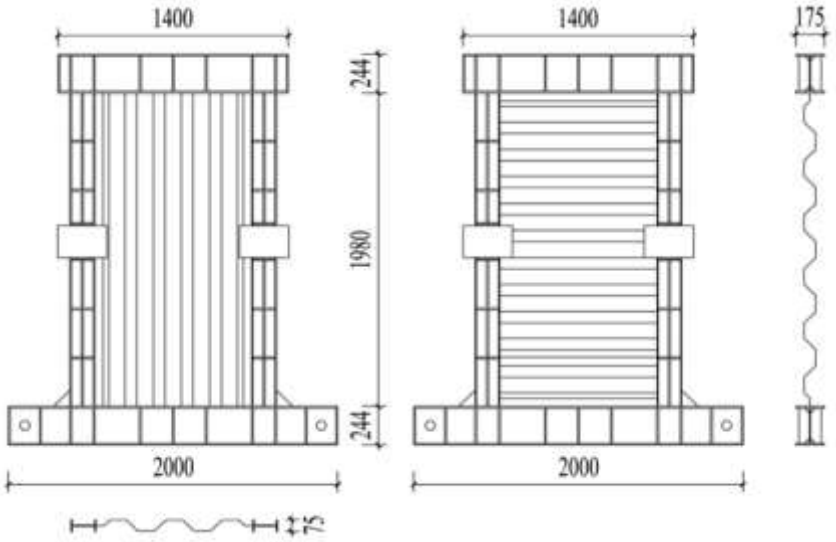
3.3. Pemodelan *CSSW* Utama dalam Program *Finite Element*

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 Wei Wang dan Yingzi Ren di tahun 2019. Adapun set-up test yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.2. Set-

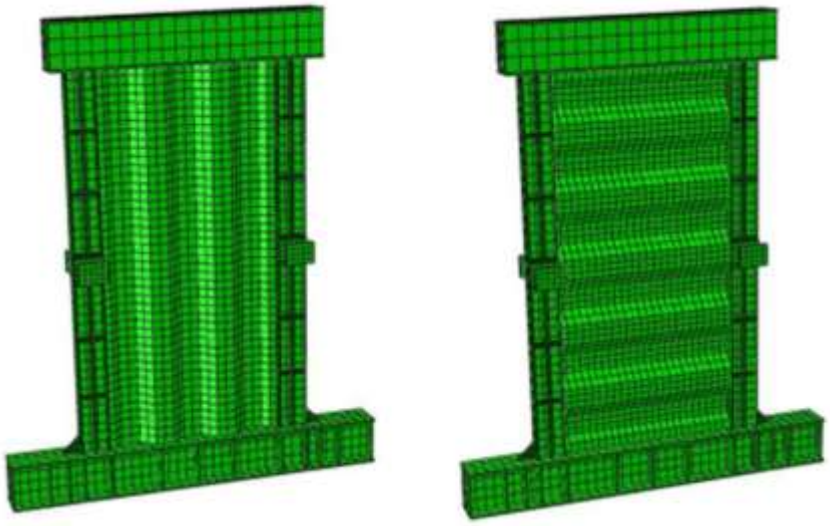
up test ini akan kembali dimodelkan dalam penelitian ini sebagai dasar untuk pemodelan-pemodelan berikutnya.

Tabel 3.1 Spesifikasi Pemodelan CSSW

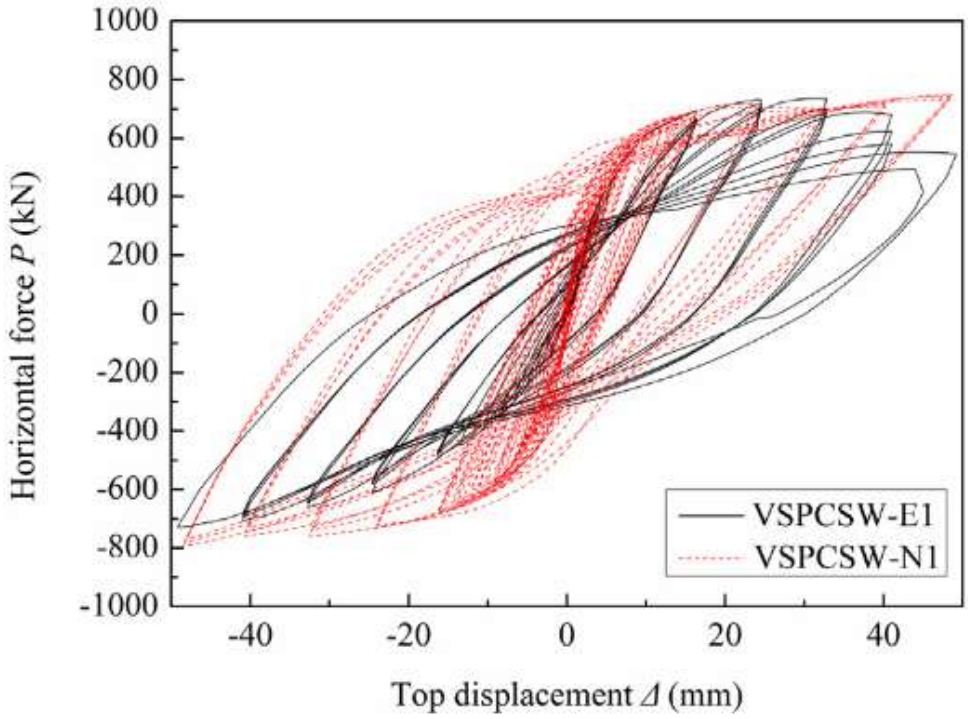
Category	*Specimen*	*Characteristics of the Steel Plate*	*Thickness (mm)*	*Waveangle (°)*
Steel Plat Shear Wall	*SPSW-1*	*Flat Steel Plate*	*3,00*	-
	CSSW-2	*Vertical Corrugated steel plate*	*3,00*	*135 °*
	CSSW-3	*Horizontal Corrugated steel plate*	*3,00*	*135 °*



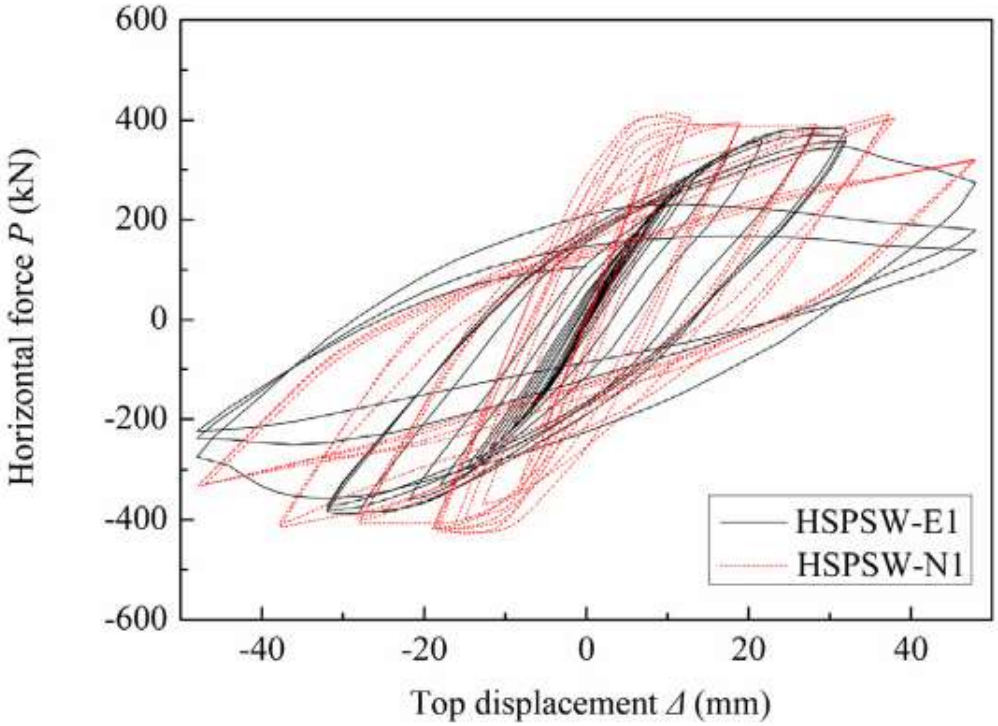
Gambar 3.2 Detail *Test Setup* Penelitian Wei Wang dan Yingzi Ren (2019).



Gambar 3.3 Meshing of Corrugated Steel Plate Shear Walls Wei Wang dan Yingzi Ren (2019).



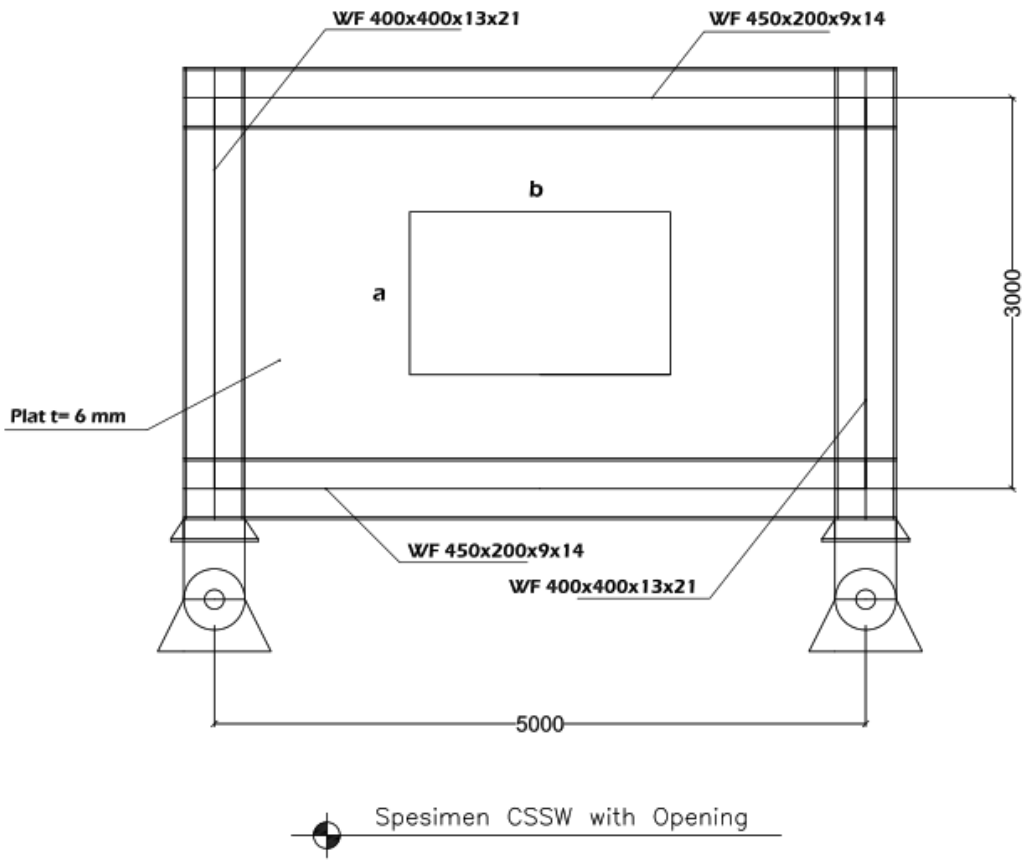
Gambar 3.4 Perbandingan Kurva Histeretik antara Hasil Perhitungan Elemen Hingga dan Hasil Eksperimental (*Vertical Corrugated steel plate)*



Gambar 3.5 Perbandingan Kurva Histeretik antara Hasil Perhitungan Elemen Hingga dan Hasil Eksperimental (*Horizontal Corrugated steel plate)*

3.4. **Pemodelan C*SSW* dengan Modifikasi**

Pemodelan serupa dengan Subbab 3.3 dilakukan kembali dengan beberapa perubahan dan modifikasi, sehingga menjadi langkah selanjutnya dalam pengerjaan keseluruhan Tesis ini. Tabel 3.2 dan Gambar 3.7 sampai Gambar 3.8 adalah rencana pemodelan *CSSW* dengan modifikasi *opening*.

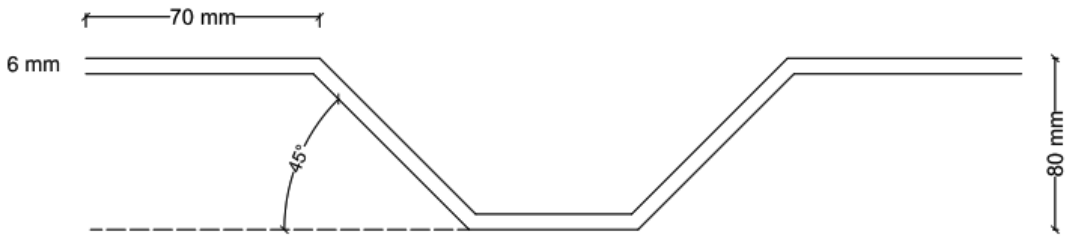


Gambar 3.6 Detail *Test Setup* Penelitian

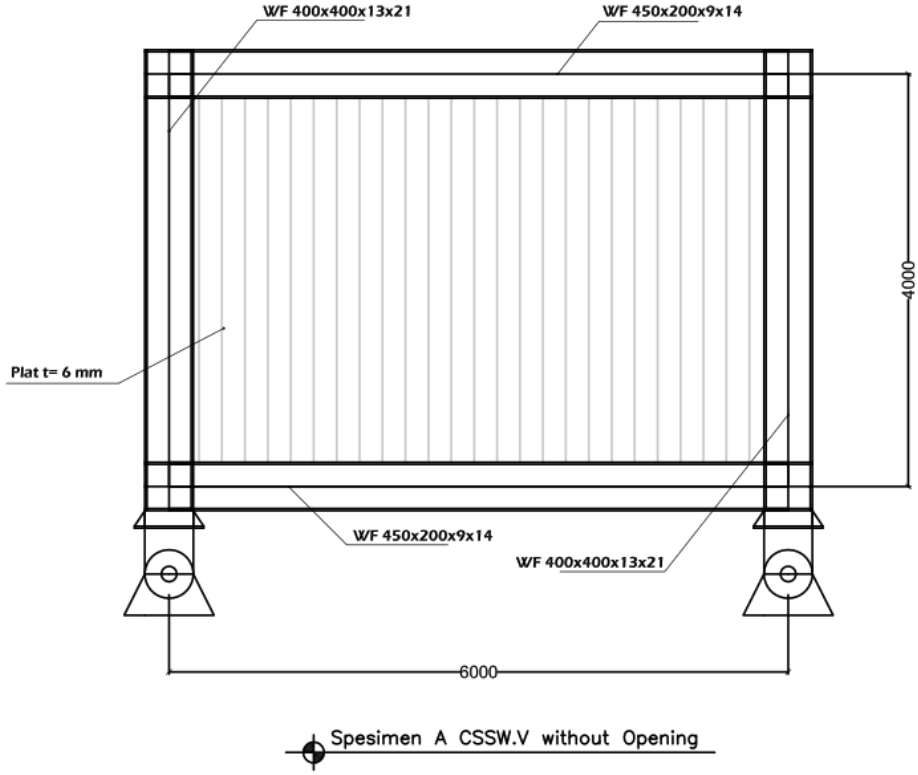
Gambar 3.6 akan menjelaskan spesifikasi dari model yang akan digambarkan pada program Abaqus, yang kemudian akan digunakan sebagai dasar perbandingan dengan penelitian yang telah ada sebelumnya. Pemilihan posisi opening yang berada di area tengah *CSSW* diambil berdasarkan penelitian dari Alireza Farzampour dan Jeffrey A. Laman, 2015 yang berjudul "*Behavior prediction of corrugated steel plate shear walls with openings*" . Berdasakan dari penelitian tersebut posisi opening yang berada di area tengah *shear wall* lebih efektif dibandingkan apabila posisi *opening* berada disisi samping *shear wall*.

Tabel 3.2 Spesifikasi Pemodelan C*SSW* dengan *Opening*

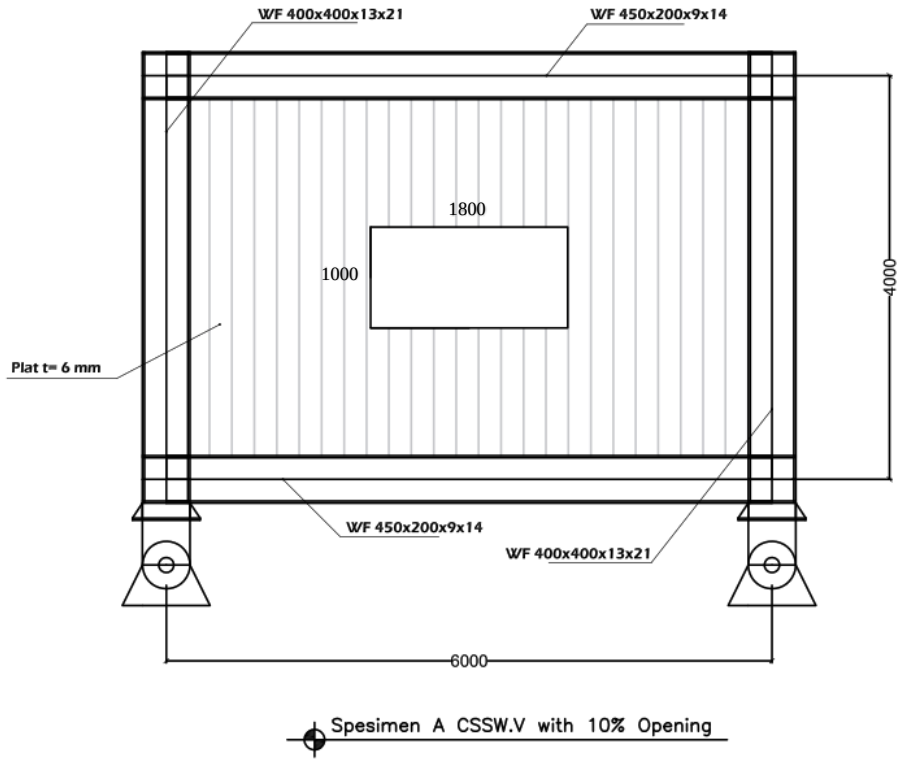
CSSW	Spesimen	Jenis Elemen	*Fy (MPa)*	*Fu (MPa)*	Dimensi
Vertikal	A (6000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	6000 x 4000 , 6 mm
	B (8000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	8000 x 4000 , 6 mm
CSSW	Spesimen	Jenis Elemen	*Fy (MPa)*	*Fu (MPa)*	Dimensi
Horizontal	A (6000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	6000 x 4000 , 6 mm
	B (8000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	8000 x 4000 , 6 mm



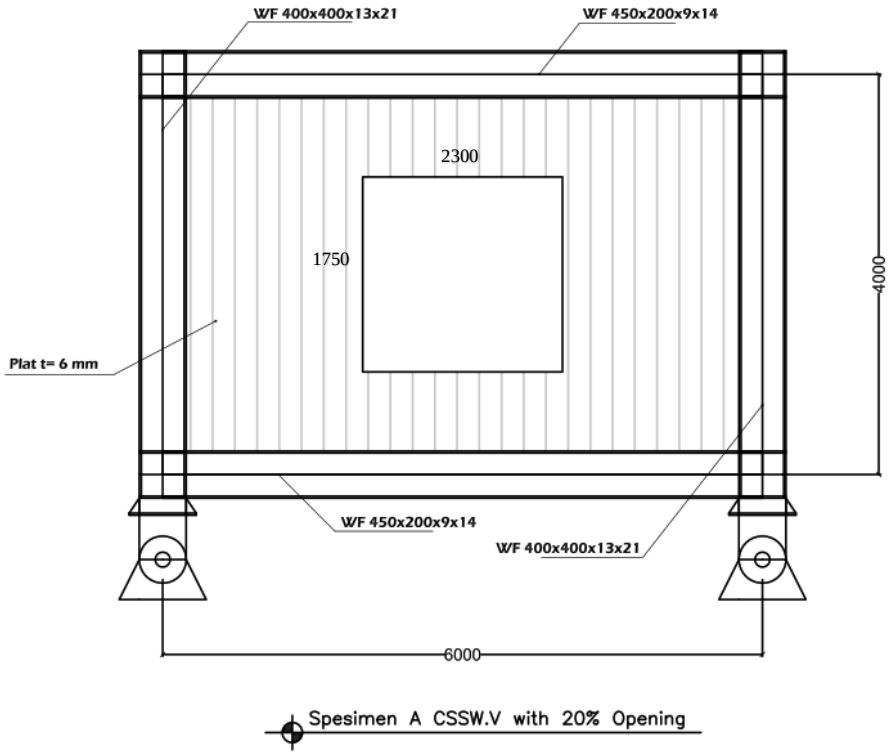
Gambar 3.7 Detail CSSW



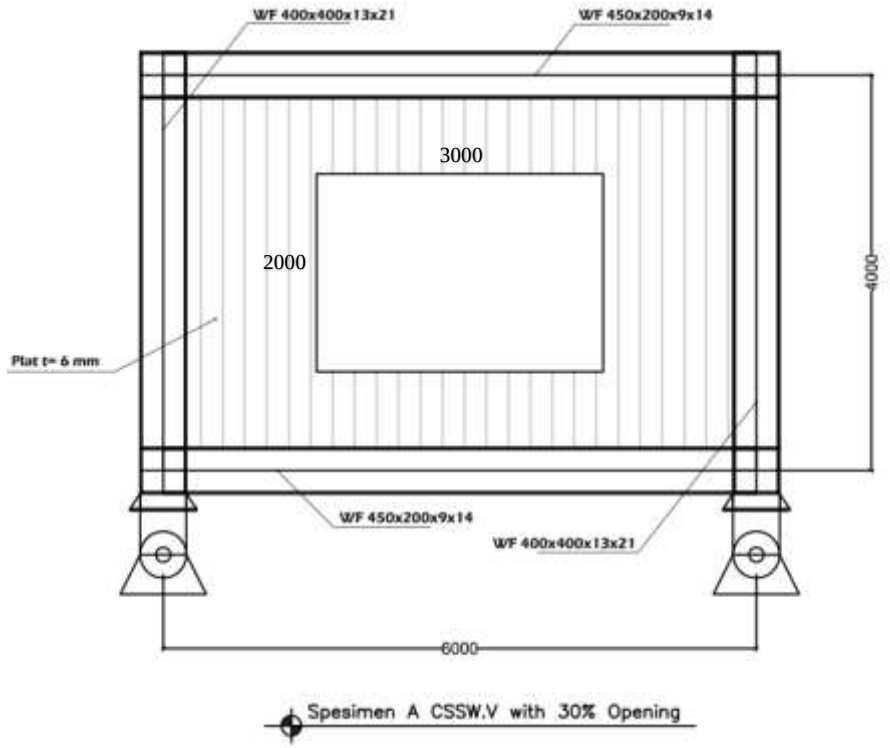
Gambar 3.8 CSSW Vertikal A Without Opening



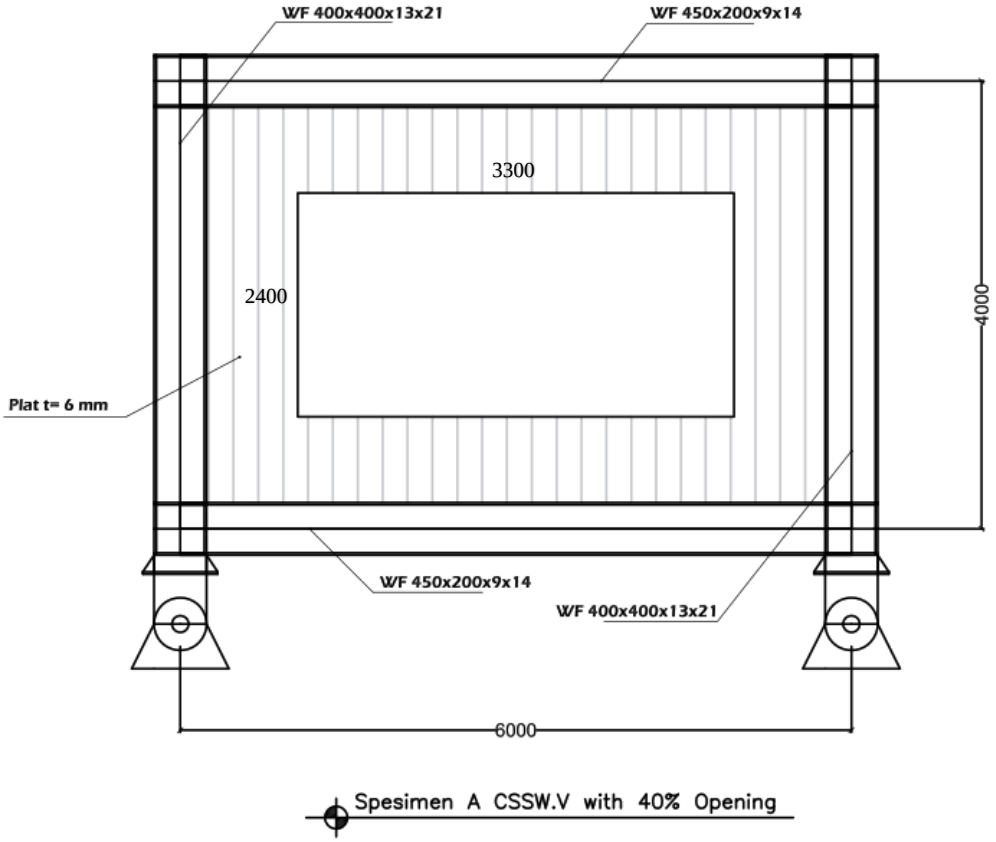
Gambar 3.9 CSSW Vertikal A With Opening 10%



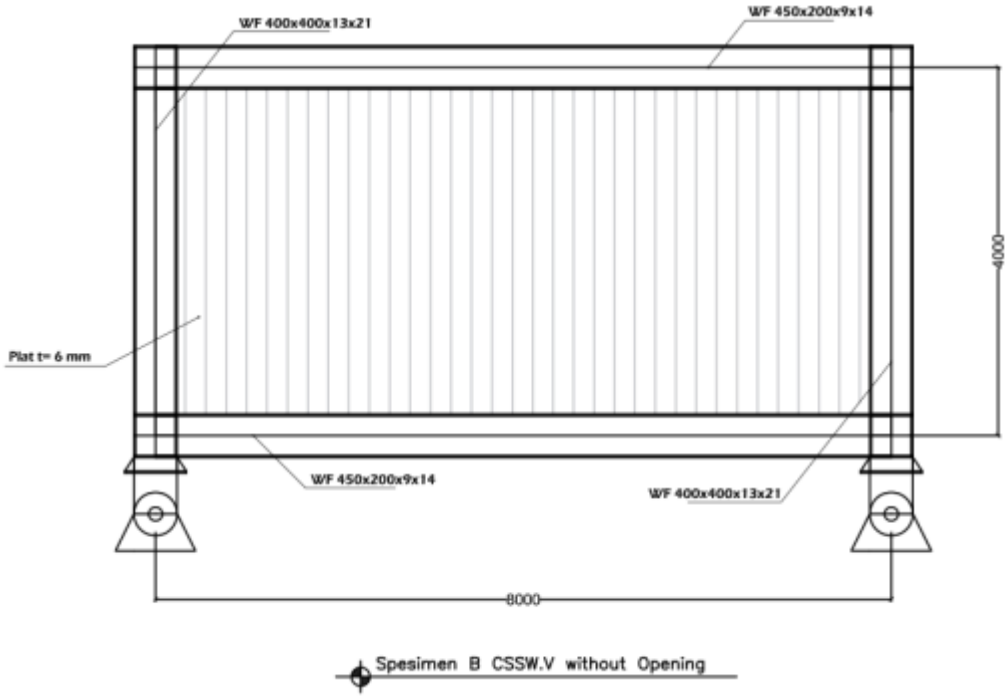
Gambar 3.10 CSSW Vertikal A With Opening 20%



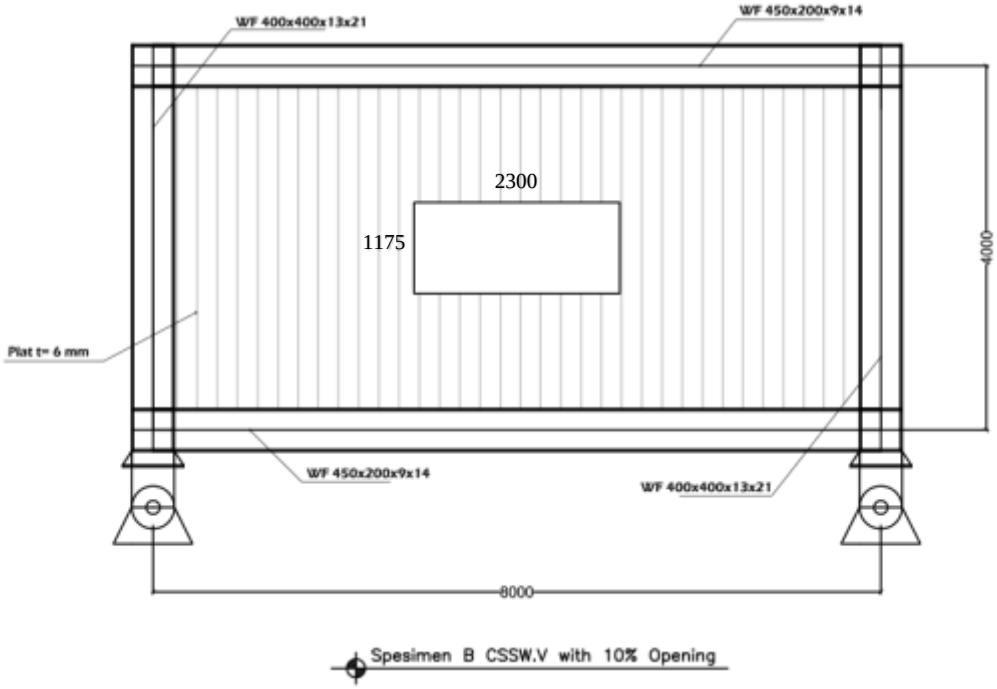
Gambar 3.11 CSSW Vertikal A With Opening 30%



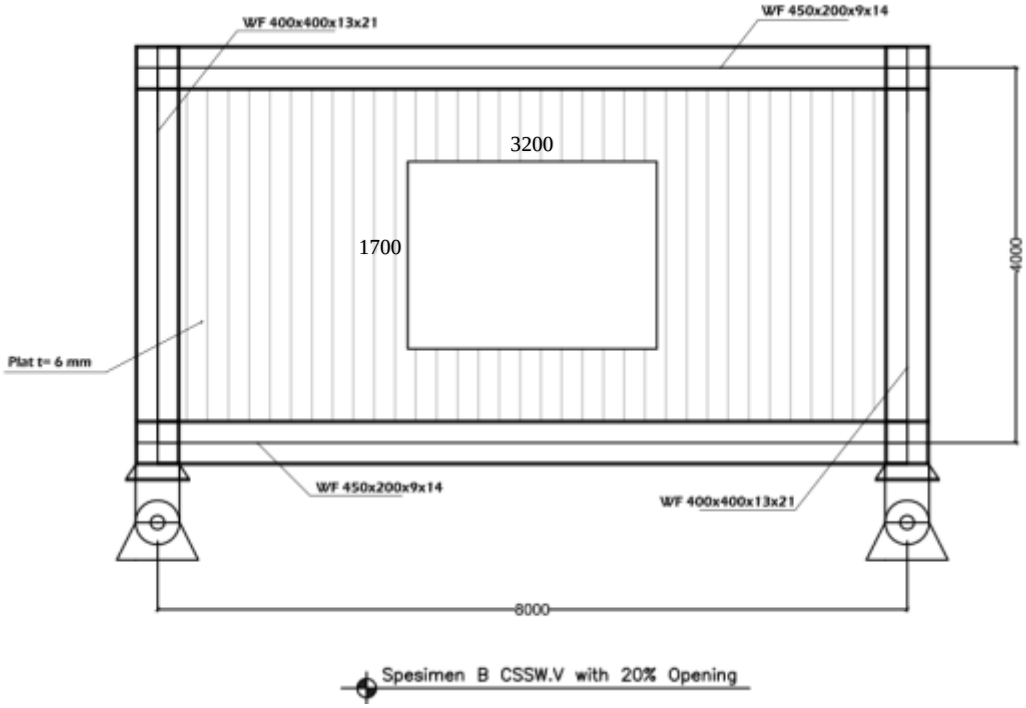
Gambar 3.12 CSSW Vertikal A With Opening 40%



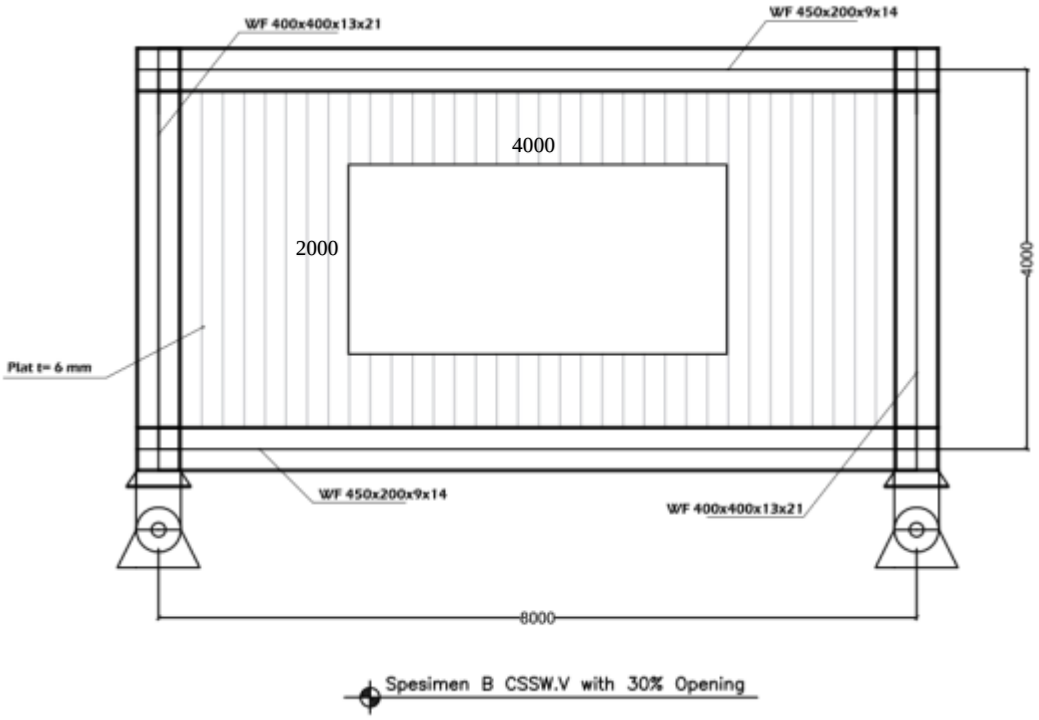
Gambar 3.13 CSSW Vertikal B Without Opening



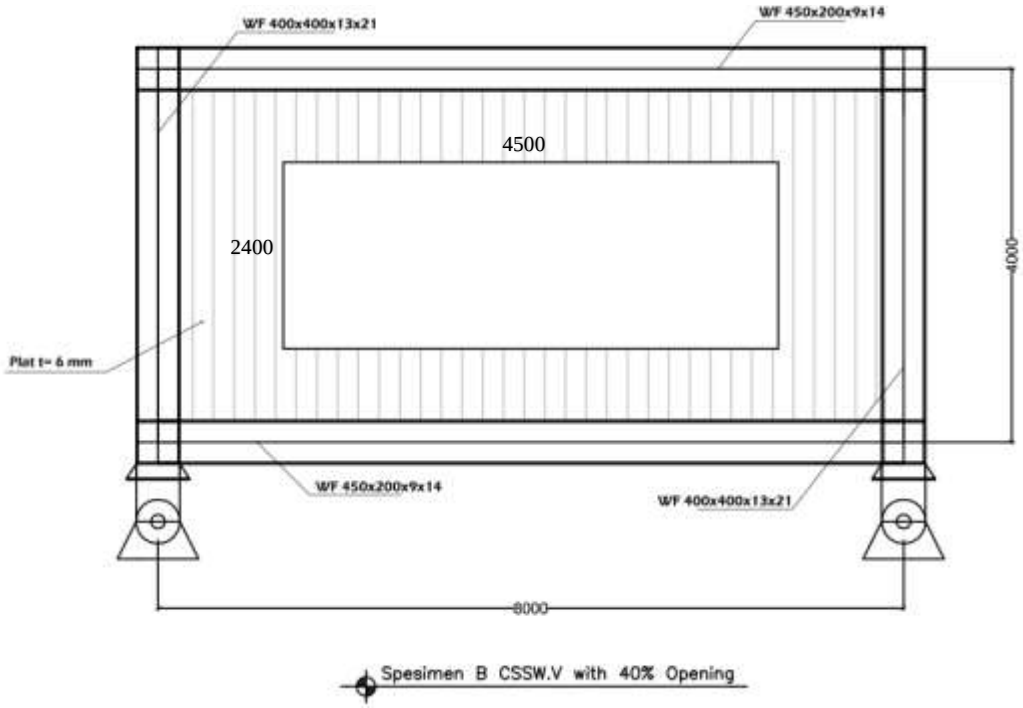
Gambar 3.14 CSSW Vertikal B With Opening 10%



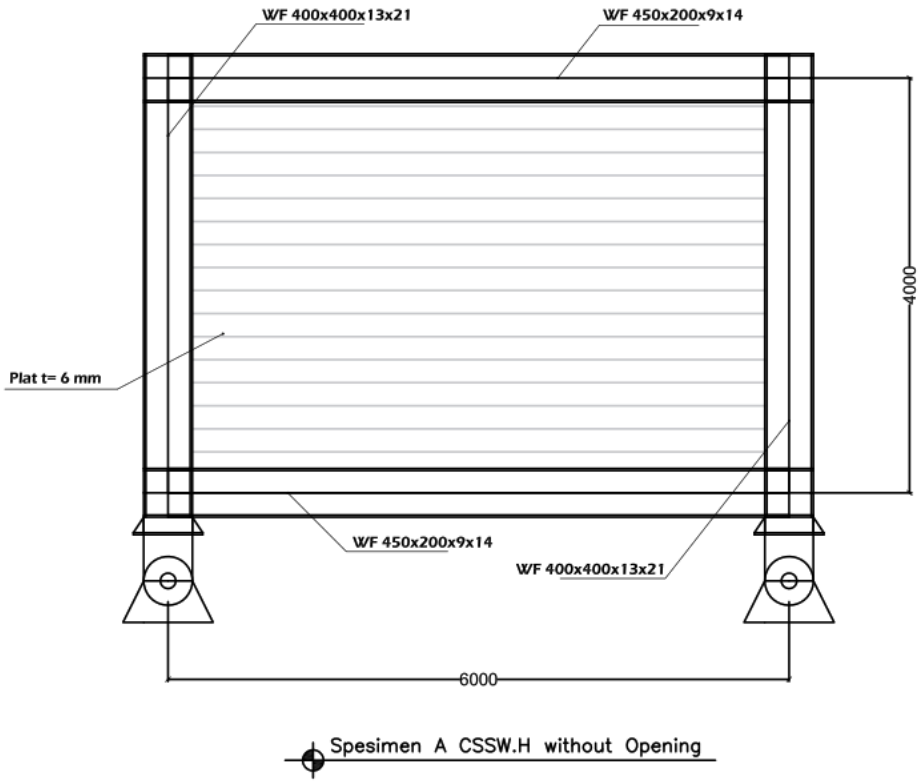
Gambar 3.15 CSSW Vertikal B With Opening 20%



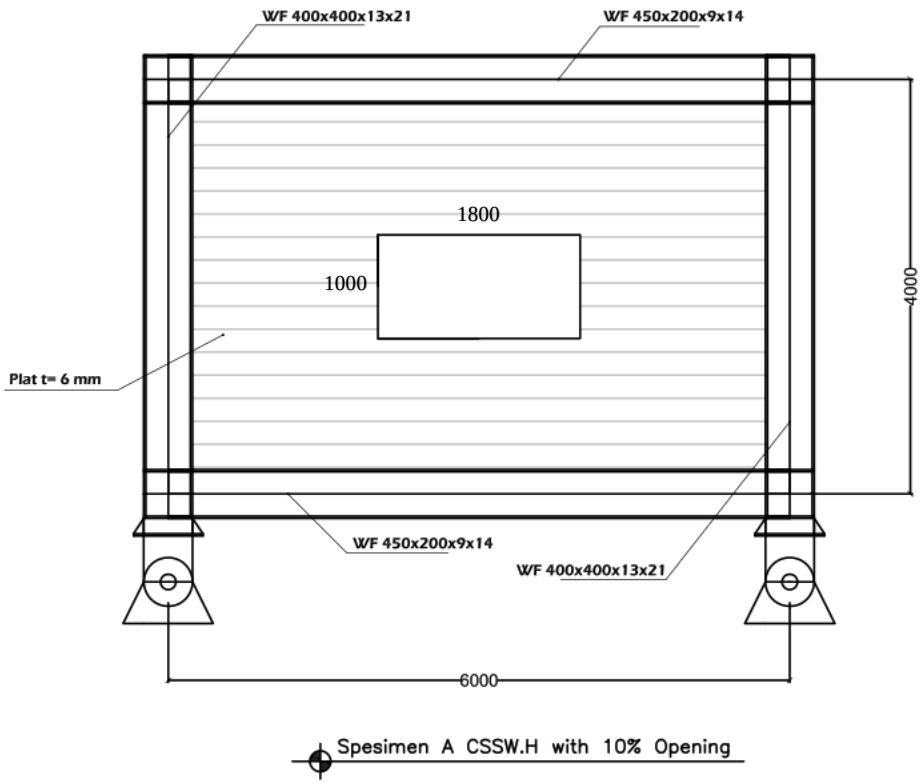
Gambar 3.16 CSSW Vertikal B With Opening 30%



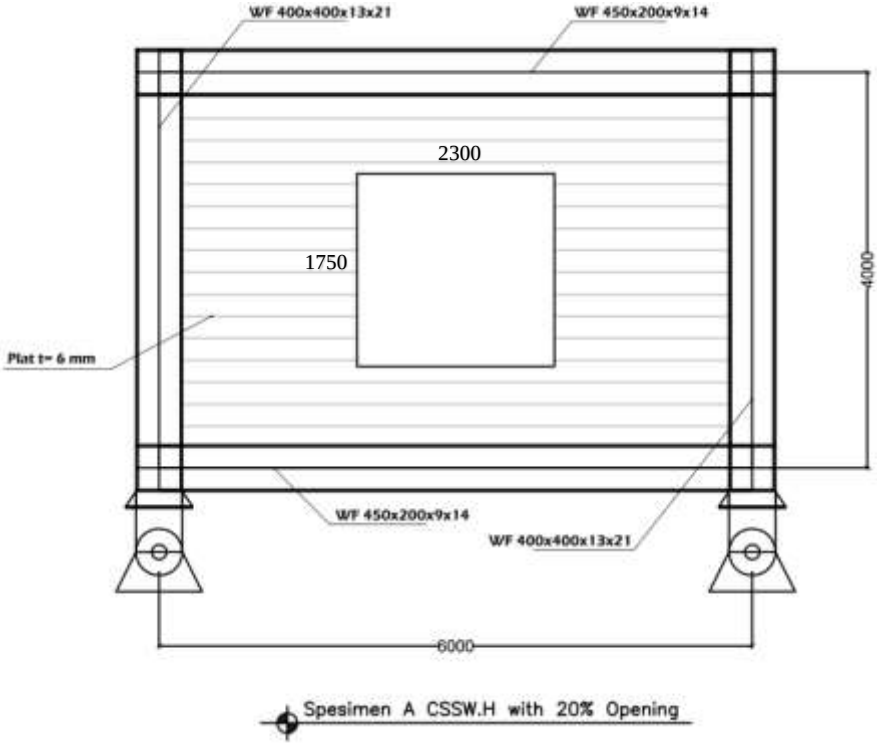
Gambar 3.17 CSSW Vertikal B With Opening 40%



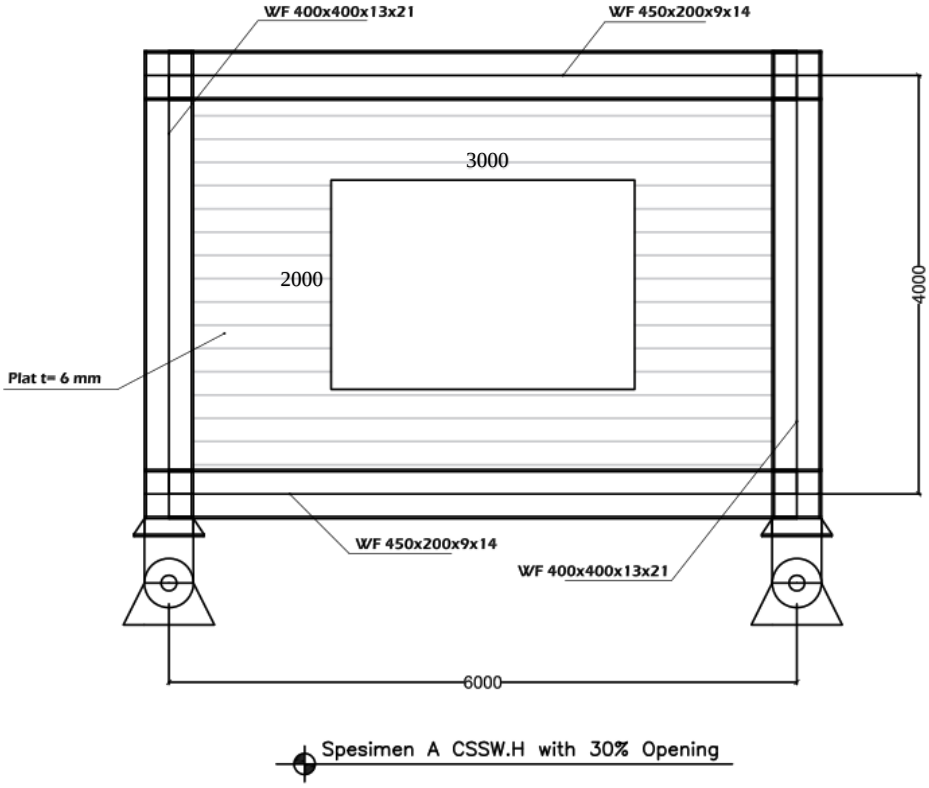
Gambar 3.18 CSSW Horizontal A Without Opening



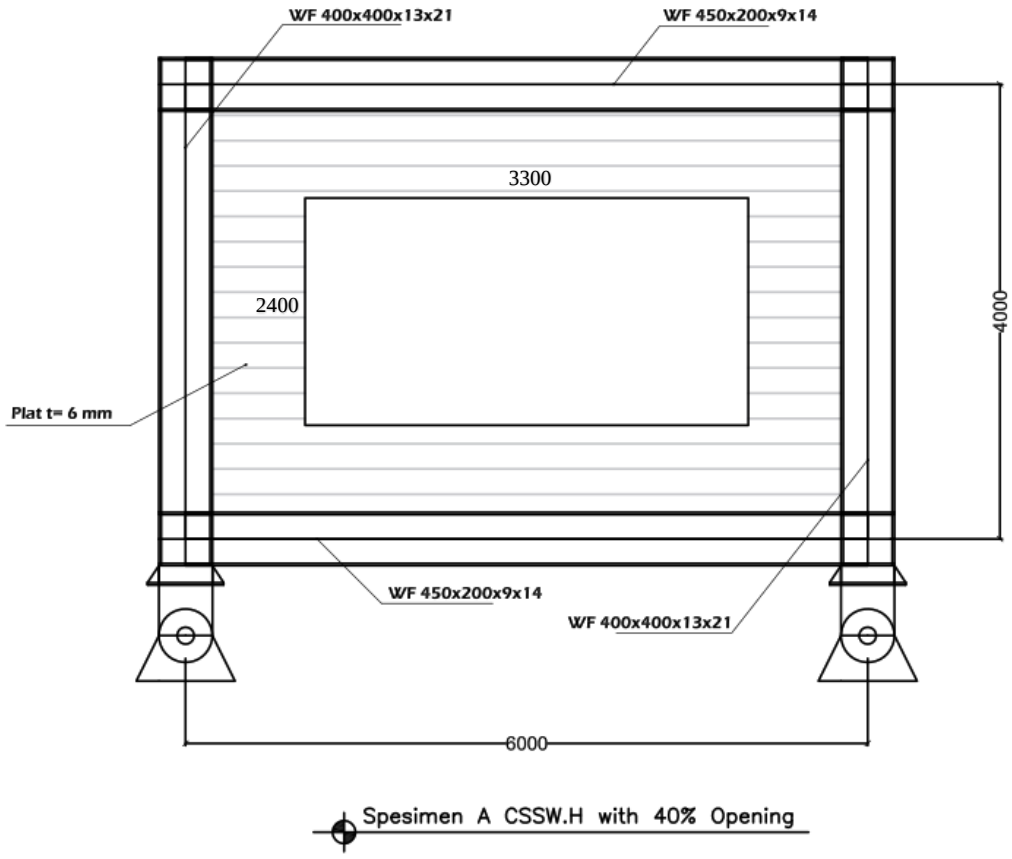
Gambar 3.19 CSSW Horizontal A With Opening 10%



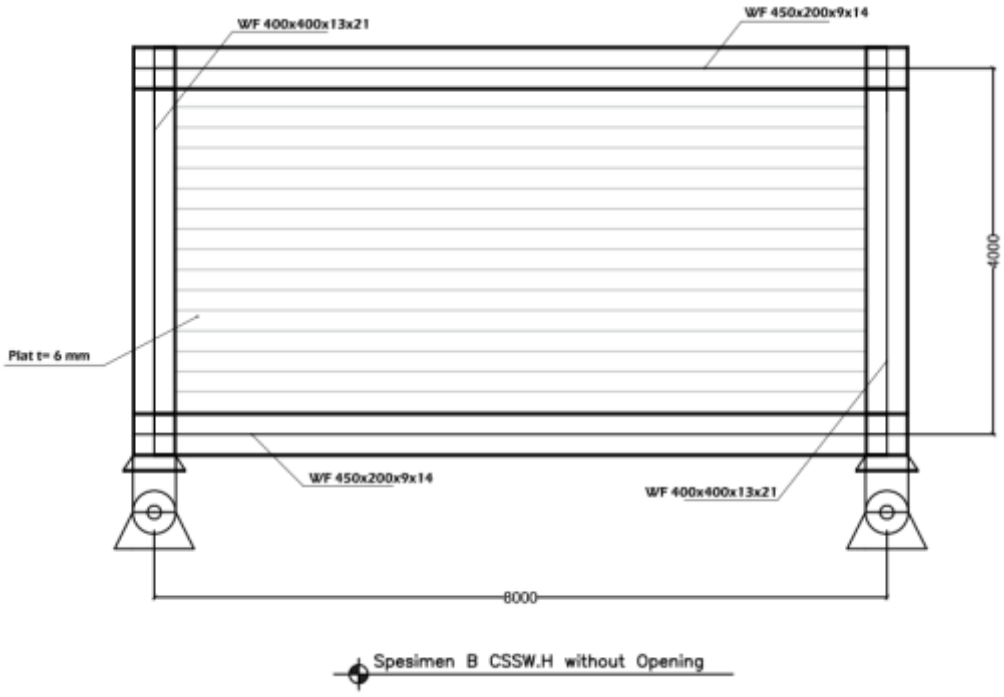
Gambar 3.20 CSSW Horizontal A With Opening 20%



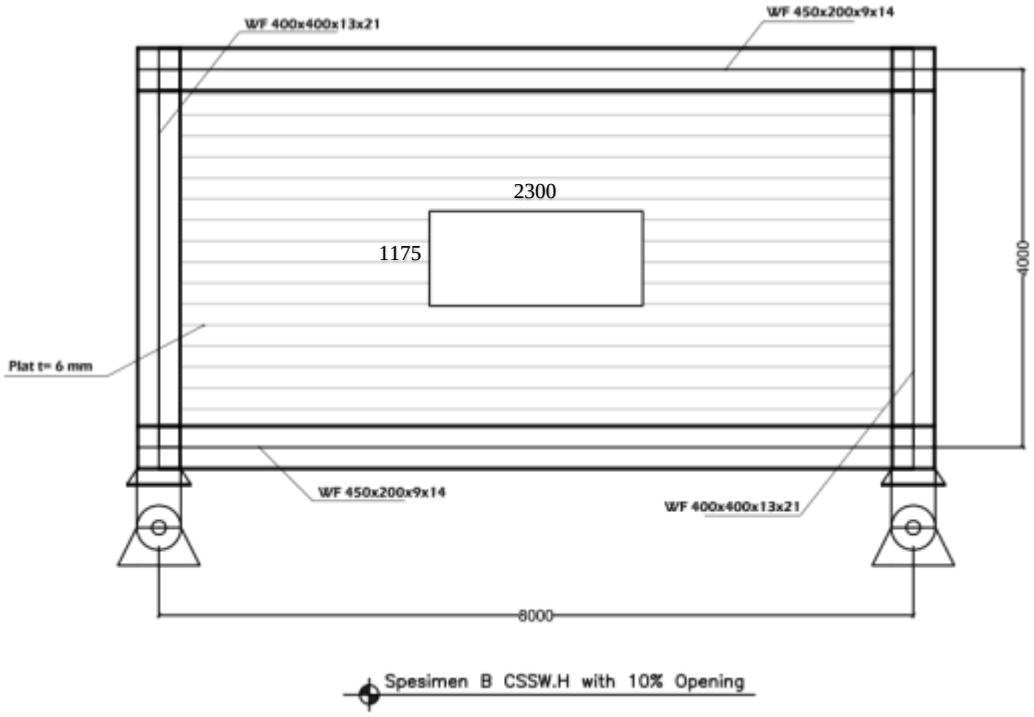
Gambar 3.21 CSSW Horizontal A With Opening 30%



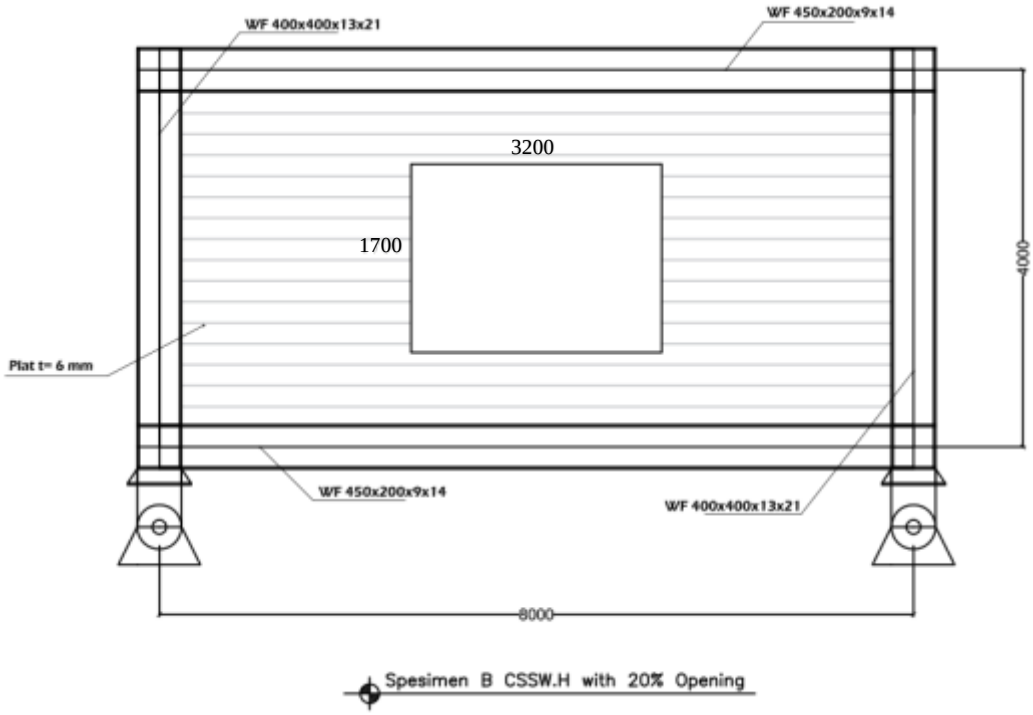
Gambar 3.22 CSSW Horizontal A With Opening 40%



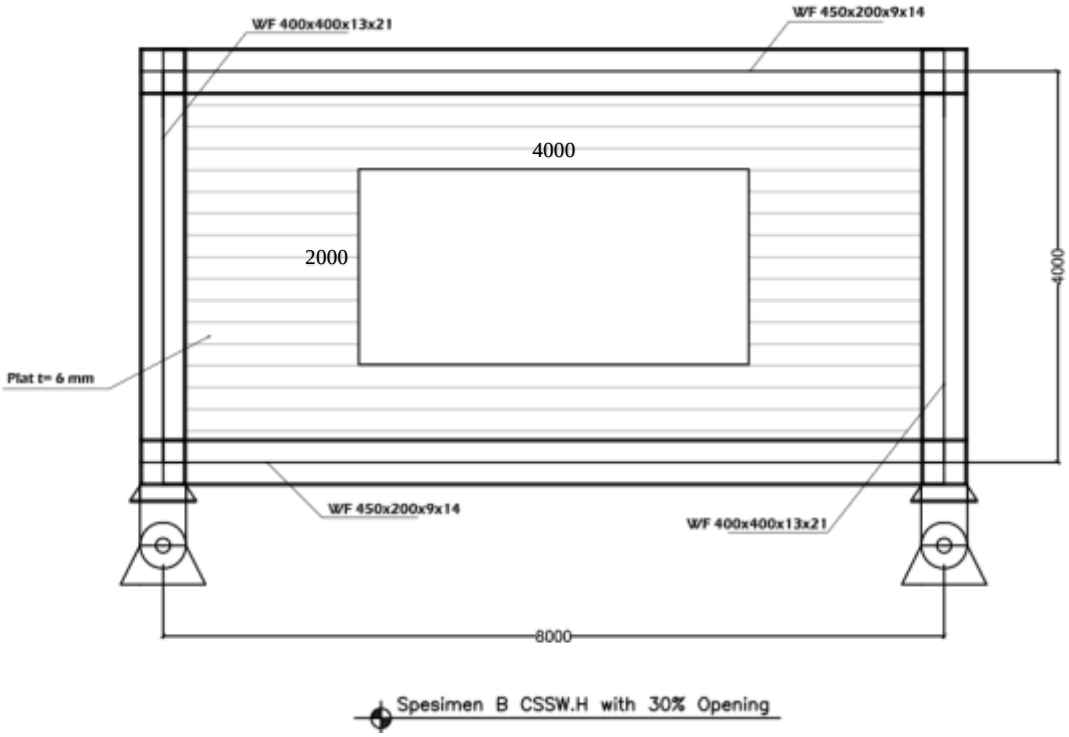
Gambar 3.23 CSSW Horizontal B Without Opening



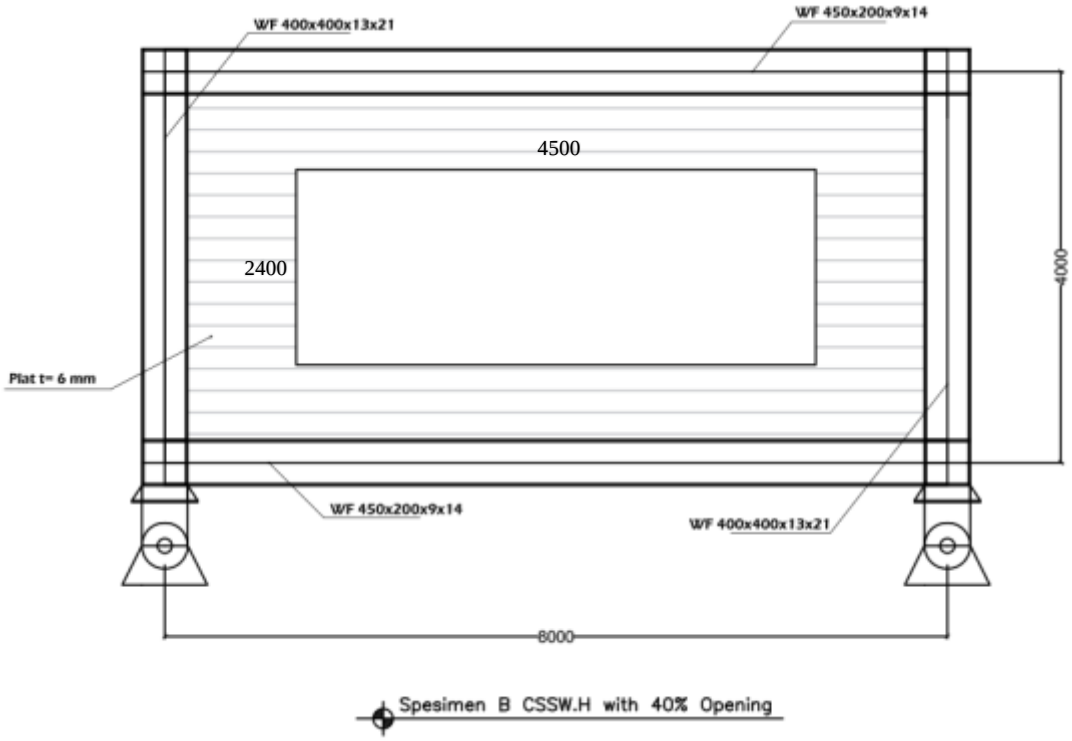
Gambar 3.24 CSSW Horizontal B With Opening 10%



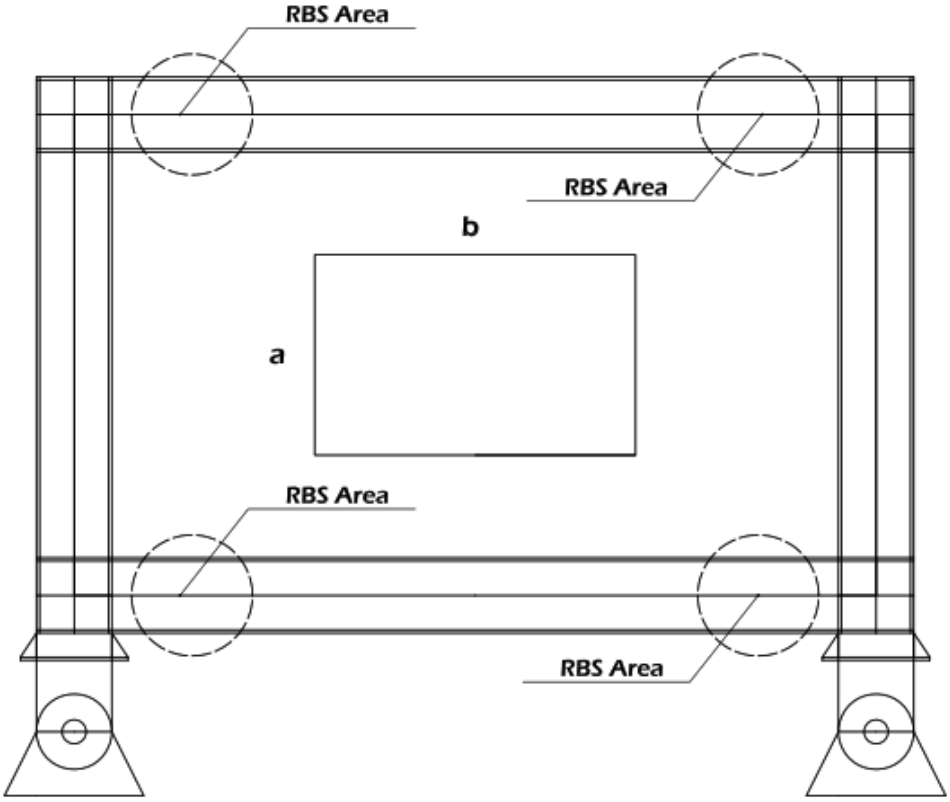
Gambar 3.25 CSSW Horizontal B With Opening 20%



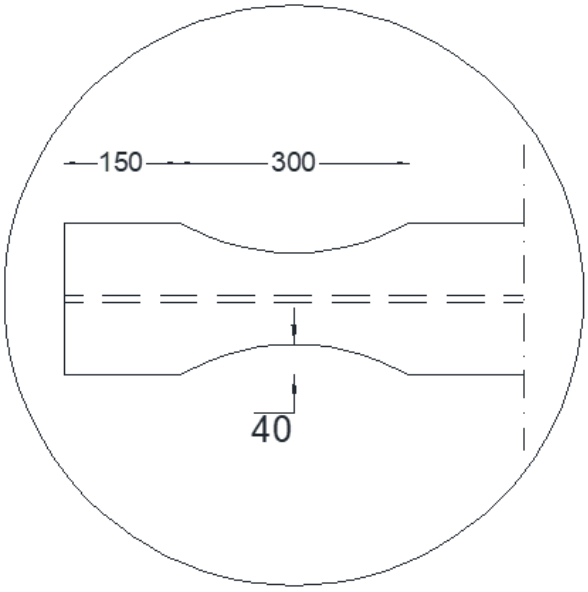
Gambar 3.26 CSSW Horizontal B With Opening 30%



Gambar 3.27 CSSW Horizontal B With Opening 40%



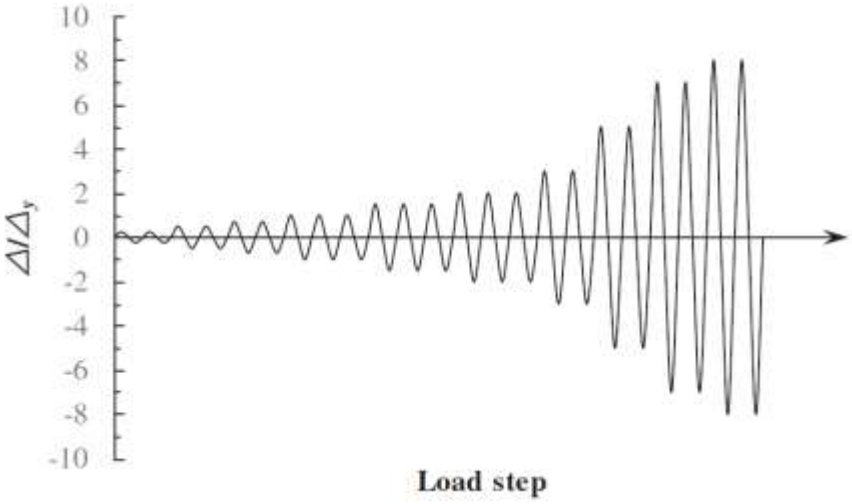
Gambar 3.28 Perletakan RBS pada *frame*



Gambar 3.29 Sketsa *Reduced Beam Section* pada *Frame*

3.5. Proses Pembebanan

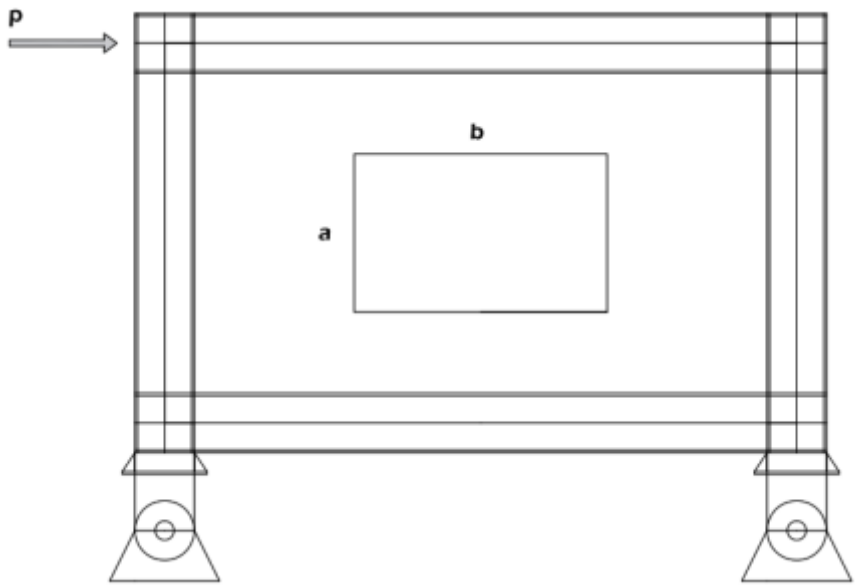
Pembebanan dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sabouri Ghomi dan Mamazizi, dalam jurnal *Experimental Investigation on Stiffened Steel Plate Shear Walls with Two Rectangular Openings* di tahun 2015. Adapun cara pembebanannya ialah dengan menggunakan kuasi statis beban siklik sesuai terapan direkomendasikan oleh ATC (American Technology Council) dalam protokol ATC 24 (ATC,1992), seperti yang terlihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3.30 Grafik Pembebanan *Cyclic* pada Spesimen Berdasarkan ATC 24

Adapun pembebanan elastis tersebut dilakukan dengan metode *displacement control*. Berdasarkan protokol tersebut, setidak-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.

Pada tahap pembebanan ini adalah untuk memberikan beban displacement dan initial / perletakan. Pada perletakannya akan didesain perletakan Pin sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Berman dan Bruneau (2005).



Gambar 3.31 Proses Pembebanan pada Spesimen

3.6. Analisa Hasil Pemodelan *Corrugated Steel Plate Shear Wall*

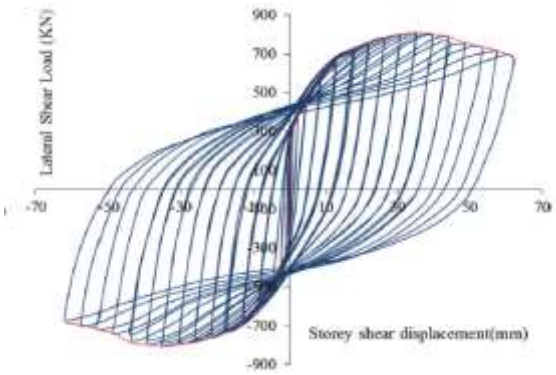
Perbandingan hasil dari berbagai varian metode dilakukan dari berbagai jenis hasil penelitian, yaitu kapasitas *CSSW*, kurva beban *cyclic CSSW*, perilaku *boundary element*, daktilitas struktur.

1. Kapasitas *CSSW*

   Kemampuan *CSSW* 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 dalan kurva beban-*displacement*. Dalam kurva ini akan ditampilkan data yang didapatkan selama proses pembebanan, khususnya pembebanan siklik, seperti yang telihat pada Gambar 3.32. Kurva ini akan memperlihatkan kenaikan atau penurunan *displacement* seiring dengan pembebanan yang dikenakan pada *SPSW* dengan berbagai metode yang digunakan.



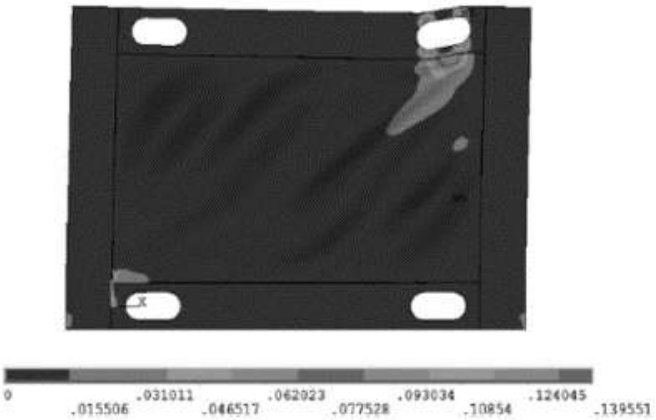
Gambar 3.32 Grafik Hysteresis

3. Perilaku *Boundary Element*

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

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

BAB IV
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 penerapanya. Penelitian-penelitian tersebut membentuk suatu specimen berupa portal yang terdiri dari dua balok dengan RBS dan kolom serta dinding geser pelat baja bergelombang itu sendiri.

Berdasarkan jurnal "*Experimental study of the hysteretic behaviour of corrugated steel plate shear walls and steel plate reinforced concrete composite shear walls*" oleh Wei Wang dan Yingzi Ren (2019), *"Behavior prediction of corrugated steel plate shear walls with openings"* oleh Alireza Farzampour dan Jeffrey A. Laman (2015) serta "*Analysis and design recommendations for corrugated steel plate shear walls with a reduced beam section*" oleh Alireza Farzampour dan Iman Mansouri (2018), sebagai acuan dasar dari pengerjaan penelitian ini.

Pada dasarnya, elemen-elemen dalam *Finite Element Analysis* (FEA) bisa dibedakan menjadi 3, yaitu 1D (disebut juga *line elements* atau *beam element*), 2D (disebut juga *plane elements*), dan 3D. Adapun pada elemen-elemen 3D, respon pada ketiga arah (x, y, z) memiliki besar yang signifikan. Secara umum elemen-elemen 3D bisa dibedakan menjadi *Solid Elements* dan *Shell Elements*. Semua elemen 3D memiliki dof translasi pada arah x, y, dan z pada setiap nodenya, tanpa dof rotasi.

Shell Elements umumnya mempunyai empat titik nodal untuk persegi dan tiga titik nodal untuk segitiga. Pada persegi, *Shell Elements* mempunyai enam permukaan dan untuk segitiga mempunyai lima permukaan dan tiap-tiap permukaan dihubungkan dengan titik nodal. Tegangan dan regangan didefinisikan sebagai gaya yang bekerja terhadap area permukaan benda tersebut, dimana arah tegangan bekerja sesuai dengan sumbu koordinat dari benda tersebut. Tegangan S11, S22, dan S33 mengakibatkan tegangan langsung dan mengalami perubahan terhadap panjang benda, sedangkan S12,

S13, S23 akan mengakibatkan tegangan geser dan menyebabkan terjadinya perubahan sudut. Hubungan tegangan dan regangan material yang digunakan dan yang diwakili dalam bentuk modulus elastisitas.

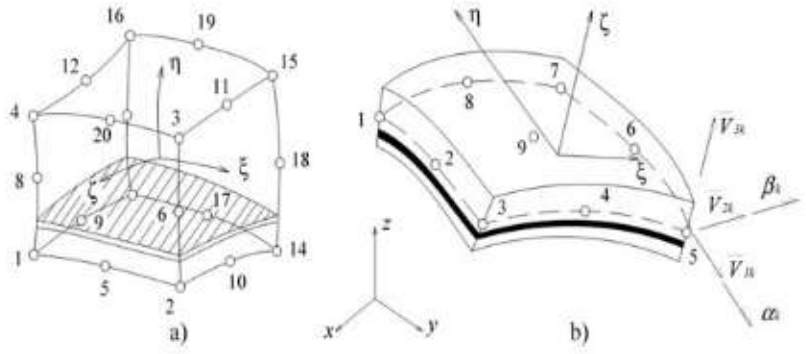
Solid Elements umumnya mempunyai delapan titik nodal, model *Solid Elements* merupakan element tiga dimensi dan silinder. Silinder mempunyai enam titik nodal dimana titik nodal bertemu di pusat silinder, dimana kondisi ini merupakan isoparametric. Elemen solid mempunyai enam permukaan, dimana tiap–tiap permukaan dihubungkan dengan titik nodal. Setiap bagian solid elemen mempunyai sumbu lokal, dimana jika diberikan beban akan mengalami deformasi terhadap tegangan pada setiap join.

Tegangan dan regangan di dalam *software*, didefinisikan menjadi gaya yang bekerja terhadap area permukaan benda tersebut, dimana arah tegangan bekerja sesuai dengan sumbu koordinat dari benda tersebut. Tegangan S11, S22, dan S33 mengakibatkan tegangan langsung dan mengalami perubahan terhadap panjang benda, sedangkan S12, S13, S23 akan mengakibatkan tegangan geser dan menyebabkan terjadinya perubahan sudut. Hubungan tegangan dan regangan material yang digunakan dan yang diwakili dalam bentuk modulus elastisitas.

Bentuk elemen 3D yang umum dipakai adalah tetrahedral element (limas segitiga) dan hexahedral element (balok, dan batu bata). Jika order elemennya adalah 1 maka edge dan surface elemen tersebut berupa garis yang rata dan bidang yang rata. Namun jika ordernya lebih dari satu, maka dimungkinkan edge dan surface elemen tersebut berupa garis dan bidang yang melengkung. Terdapat pula elemen 3D yang memiliki node ditengah-tengah titik berat (centroid)-nya.

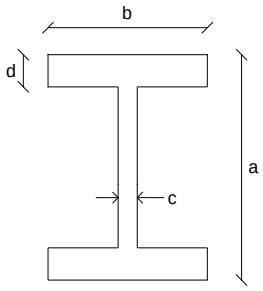
Penelitian ini menggunakan elemen-elemen dengan profil yang dijelaskan dalam Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3. Adapun pemodelan pada setiap elemen dimodelkan sebagai *solid element* yang diilustrasikan dalam Gambar 4.1. Penggunaan *solid element* (yang memiliki delapan *degree of freedom* di setiap node) dimaksudkan agar lebih akurat dalam menggambarkan pemodelan yang akan dilakukan sebagai acuan dasar penelitian yang telah

dilakukan sebelumnya, bila dibandingkan dengan *shell element* yang memiliki empat *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 Corrugated Steel Plate Shear Wall

Jenis Profil	**Jenis Elemen**	**Dimensi (mm)**			
		a	**b**	**c**	**d**
Profil H 	Kolom	400	400	13	21
	Balok Atas	450	200	9	14
	Balok Bawah	450	200	9	14

	Corrugated Steel Plate	Sudut (<)	45°
		Panjang (l)	70 mm
		Tinggi (h)	80 mm
		Tebal (t)	6 mm

Tabel 4.2 Profil Elemen pada Spesimen CSSW Vertikal

CSSW	Spesimen	Jenis Elemen	*Fy (MPa)*	*Fu (MPa)*	Dimensi
Vertikal	A (6000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	6000 x 4000 , 6 mm
	B (8000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	8000 x 4000 , 6 mm

Tabel 4.3 Profil Elemen pada Spesimen CSSW Horizontal

CSSW	Spesimen	Jenis Elemen	*Fy (MPa)*	*Fu (MPa)*	Dimensi
Horizontal	A (6000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	6000 x 4000 , 6 mm
	B (8000 x 4000)	Kolom	414,9	551,8	400 x 400 x 13 x 21
		Balok	414,9	551,8	450 x 200 x 9 x 14
		CSSW	192,4	277,2	8000 000 , 6 mm

4.2 Pemodelan Spesimen CSSW

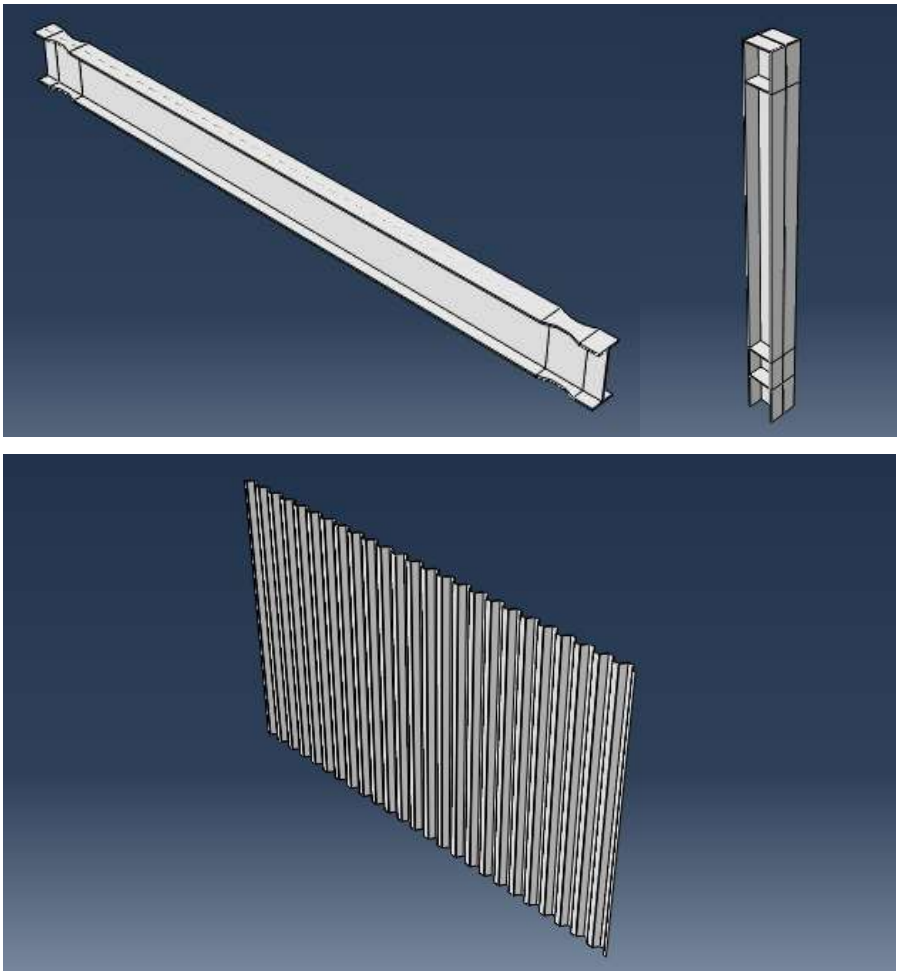
Pemodelan Spesimen CSSW menggunakan program bantu Abaqus CAE 6.14 dengan memasukan geometri yang telah kita lakukan sebelumnya atau dari file yang telah kita import. Karena Abaqus juga menyediakan menu yang bisa digunakan untuk import sketch, part dan model dari perangkat lunak yang lain diantaranya adalah Catia, Pro Enginering, Patran, Marc dan SolidWorks. Dalam menggambarkan model yang akan kita analisis, kita bisa menentukan koordinat sistem yang akan kita buat. Sebelum kita melakukan simulasi kita memasukkan data ke dalam modul Abaqus CAE 6.14 sehingga semua keyword dan parameter yang kita masukkan ke dalam input file bisa kita periksa kebenarannya sebelum kita melakukan proses running. Urutan

dalam memasukkan data harus kita perhatikan dengan benar karena antara satu modul dengan modul lain saling berhubungan. Masing-masing modul memiliki fungsi yang spesifik untuk mendefinisikan data.

Secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan untuk pemodelan spesimen CSSW adalah sebagai berikut :

1. ***Parts***

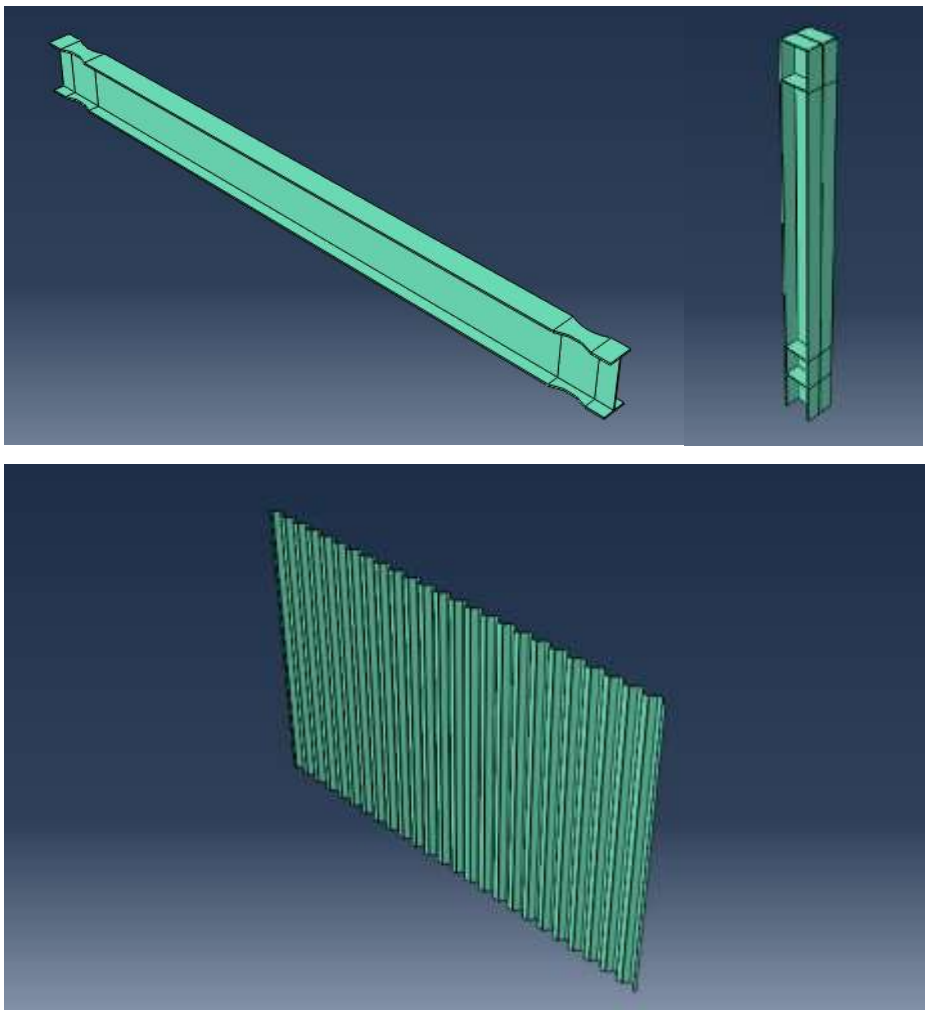
   Pada tahap ini elemen-elemen yang akan digunakan dalam penelitian seperti Balok RBS, Kolom serta CSSW dibentuk mengunakan program bantu Solid Works. Adapun tahapannya dimulai dengan membuat sketsa *section cut* dan panjang elemen tersebut. Elemen-elemen yang akan digunakan dalam penelitian ini dapat terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Parts Spesimen CSSW

2. ***Property***

Property berfungsi untuk memasukkan sifat mekanis bahan, jenis material, kekuatan bahan dan spesifikasi teknis dari material yang akan dianalisa. Modul property ini sangat penting sebelum kita masuk kelangkah berikutnya, karena property dari material harus diberikan sebelum kita melakukan proses assembly.

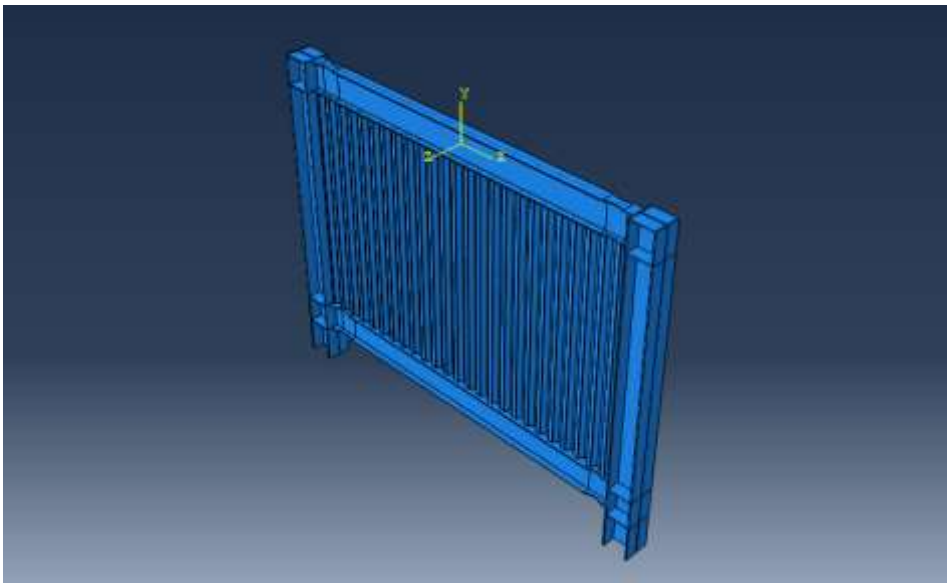


Gambar 4.3 Property Spesimen CSSW

3. ***Assembly***

Assembly adalah menyusun bagian-bagian komponen (instance part) yang kita buat menjadi satu kesatuan model sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisa numerik. Modul assembly menyediakan sistem penggabungan komponen secara manual dan otomatis. Ketika menyusun

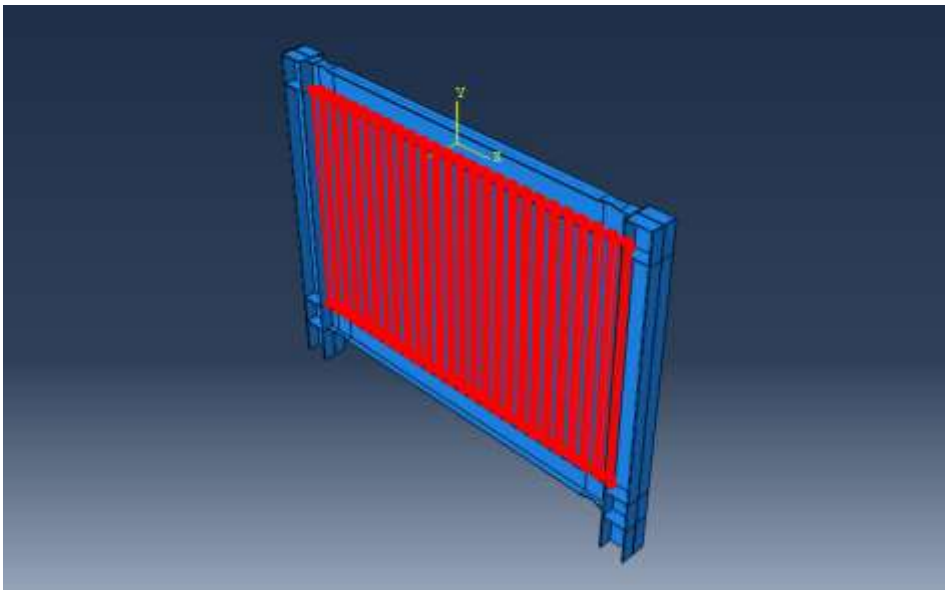
komponen menjadi satu kesatuan model kita harus memperhitungkan letak benda yang akan ditampilkan selama proses simulasi.



Gambar 4.4 Assembly Spesimen CSSW

4. *Step*

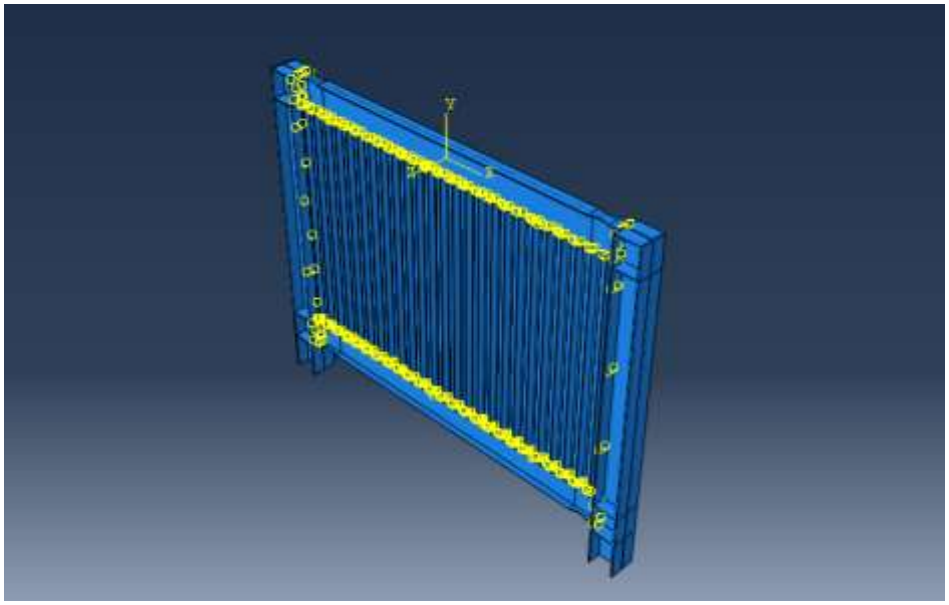
Step berfungsi untuk menentukan bagian mana yang akan didefinisikan sebagai letak pemberian beban atau kecepatan. Modul step menyediakan menu Set dan Surface untuk meletakkan beban yang akan dikerjakan pada benda.



Gambar 4.5 Step Spesimen CSSW

5. ***Interaction***

Interaction berfungsi untuk menentukan bagian material yang akan mengalami kontak atau bagaimana kita akan mendefinisikan tumpuan. Interaction juga berguna untuk memberikan constraint pada benda yang dianalisa untuk mencegah bergesernya benda dari kedudukan awalnya.



Gambar 4.6 Interaction Spesimen CSSW

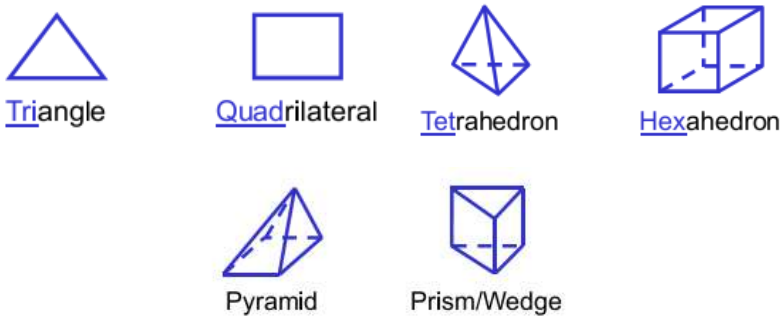
6. ***Mesh***

Pembuatan mesh atau yg lebih dikenal dengan istilah *meshing*, merupakan salah satu langkah dalam *pre-proccessing* sebuah simulasi. Baik untuk simulasi struktural yg menggunakan *Finite Element Method* (FEM), maupun simulasi CFD yg umumnya menggunakan Finite Volume Method (FVM). Mesh ini sendiri berguna untuk membagi geometry dari model menjadi banyak elemen yg nantinya digunakan oleh solver untuk membangun volume kontrol.

Pada beberapa software FEA (*Finite Element Analysis*), dalam pengaturan pembuatan mesh, dijumpai opsi fine (halus) dan coarse (kasar). Fine mesh akan mengandung lebih banyak cell sehinga membentuk model yg halus. Bagaimana menentukan pilihan tsb? Fine mesh tentunya akan menghasilkan hasil perhitungan yang lebih akurat, karena persamaan dihitung pada jarak cell yang lebih rapat. Namun dengan membuat mesh semakin rapat (yg artinya akan semakin banyak jumlah cell yang dihitung)

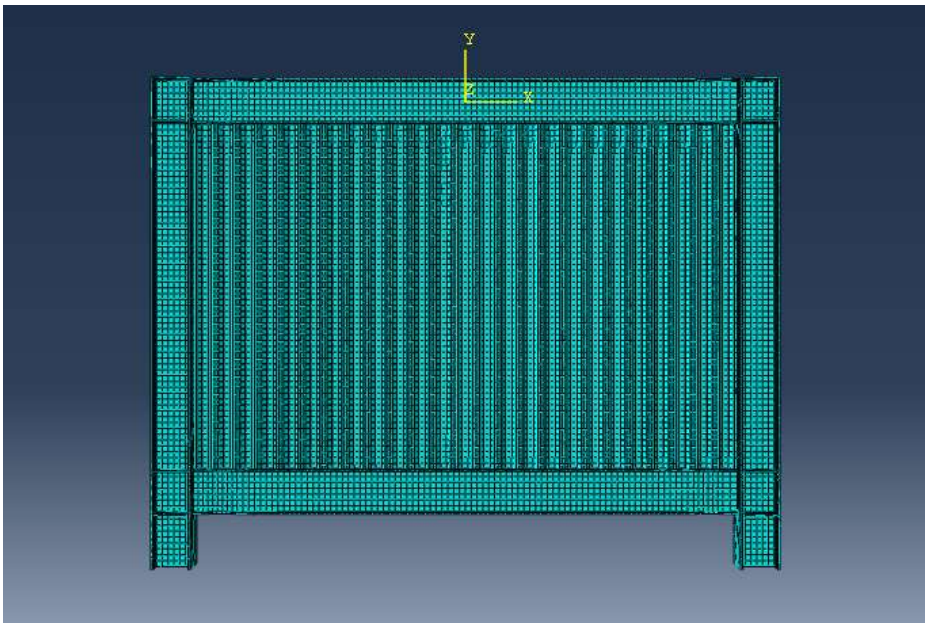
maka komputasi solvernya pun akan semakin lama. Pada penggunaan software yang lebih advance, meshing dilakukan pada software khusus. Ini berguna untuk menghasilkan mesh yang baik dan proporsional (disesuaikan dengan gradient parameter yang bekerja pada cell/noda tersebut. misal untuk CFD: gradien kecepatan, densitas, tekanan,dll)

Ada beberapa tipe mesh yang umumnya dipakai: **Tri**angle (2D), **Quad**rilateral (2D), **Tet**rahedron **Hex**ahedron, Pyramid, Prism / Wedge.



Gambar 4.7 Beberapa Tipe Mesh

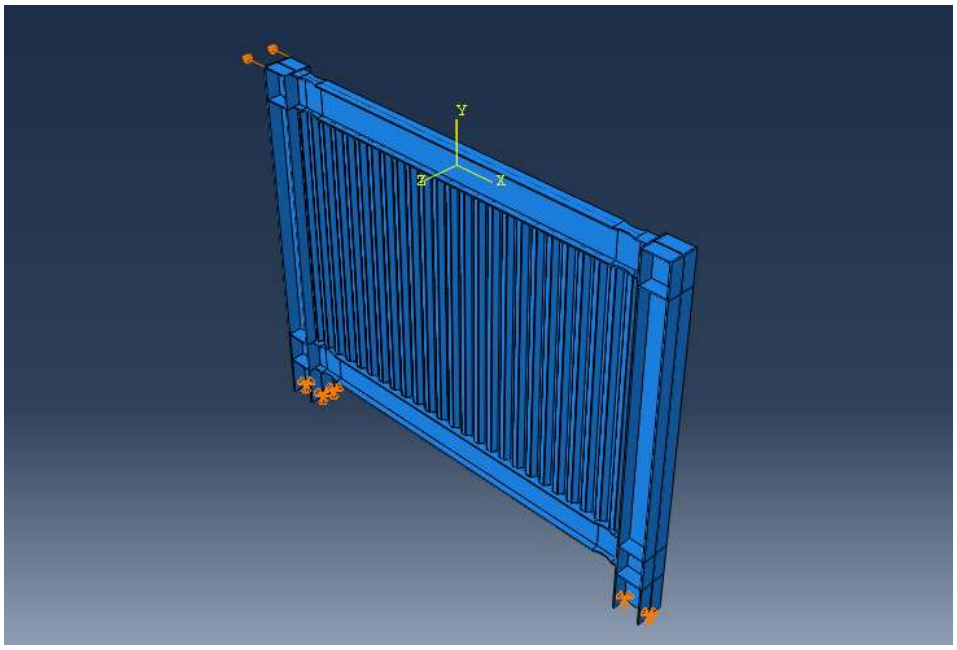
Mesh berfungsi membagi geometri yang kita buat menjadi node dan elemen. Kita bisa menentukan jenis mesh yang akan kita gunakan serta mengontrol jenis mesh yang kita berikan pada benda.



Gambar 4.8 Meshing Corrugated Steel Plate Shear Wall

7. ***Load***

Load digunakan untuk memberikan beban, kecepatan, boundary pada benda uji. Modul load juga digunakan sebagai sarana untuk memasukkan tipe kondisi batas (boundary conditions) yang akan kita buat.



Gambar 4.9 Load Spesimen CSSW

8. ***Data Cek***

Setelah semua langkah diatas dilakukan, sebaiknya kita melakukan data cek terlebih dahulu sebelum melakukan Running Program. Data Cek berfungsi untuk mengecek setiap data dan elemen yang kita input kedalam program. Apabila terjadi kesalahan selama memasukkan data atau jenis elemen yang dipilih, maka kita akan mendapatkan peringatan bahwa data atau elemen yang dipilih adalah salah.

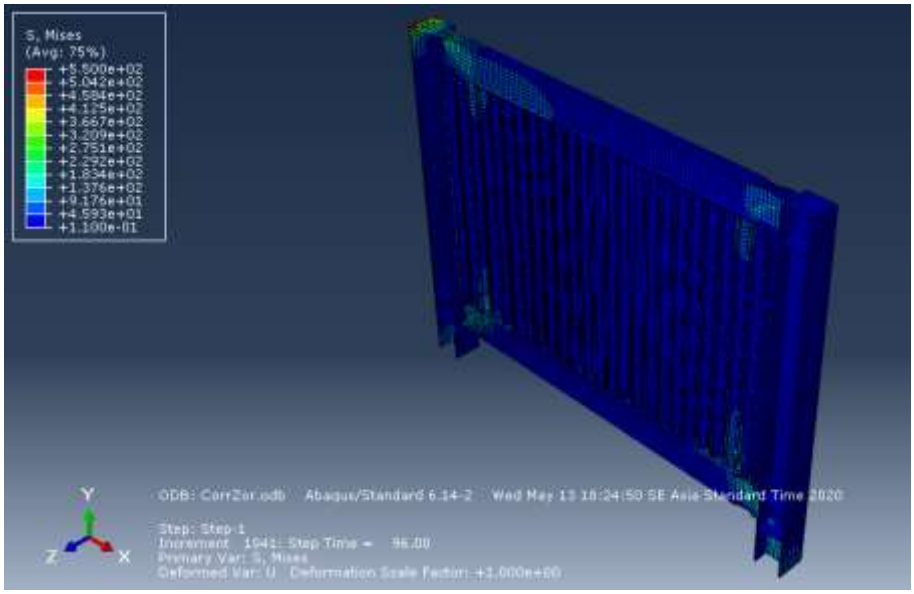
9. ***Running Program***

Modul Job berfungsi untuk melakukan proses running terhadap model yang telah kita buat. Setelah program yang kita masukkan selesai kita serahkan pada job module untuk melakukan proses penyelesaian secara numerik. Jika terjadi kesalahan atau data yang kurang lengkap maka akan ada peringatan (warning) untuk melengkapi kekurangan data yang belum

dimasukkan. Selama proses numerik di dalam software kita bisa memonitor dari message area yang berada di bawah view port apakah submit job berhasil atau tidak, apabila terjadi error message kita kembali kepada modul untuk melakukan modifikasi terhadap bagian–bagian yang masih terdapat kesalahan.

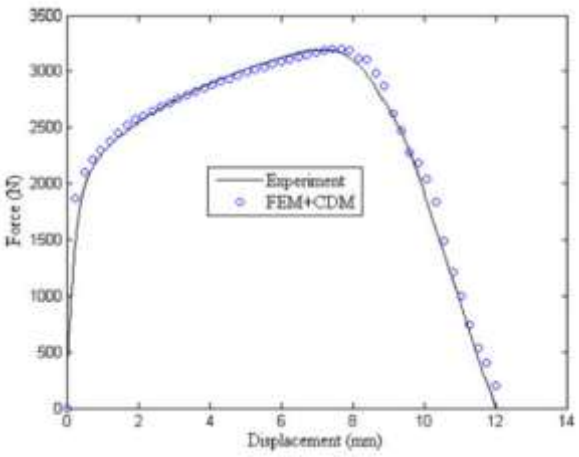
10. *Visualization*

Visualisasi berfungsi untuk menampilkan hasil numerik Abaqus Standard /Abaqus Explicit yang dinyatakan lengkap oleh program Abaqus. Hasil dari simulasi bisa dilihat pada viewport dan bisa juga menampilkan grafik output yang diinginkan.

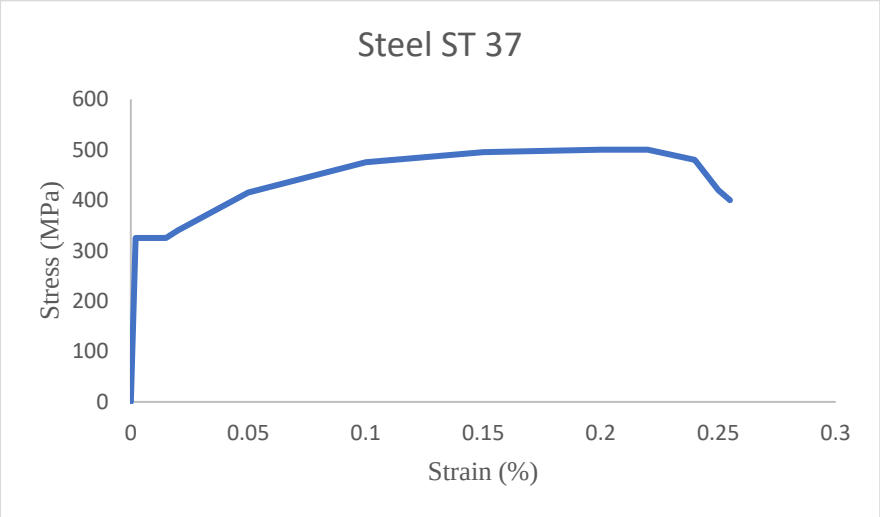


Gambar 4.10 Hasil Visualisasi Program Abaqus CAE 6.14

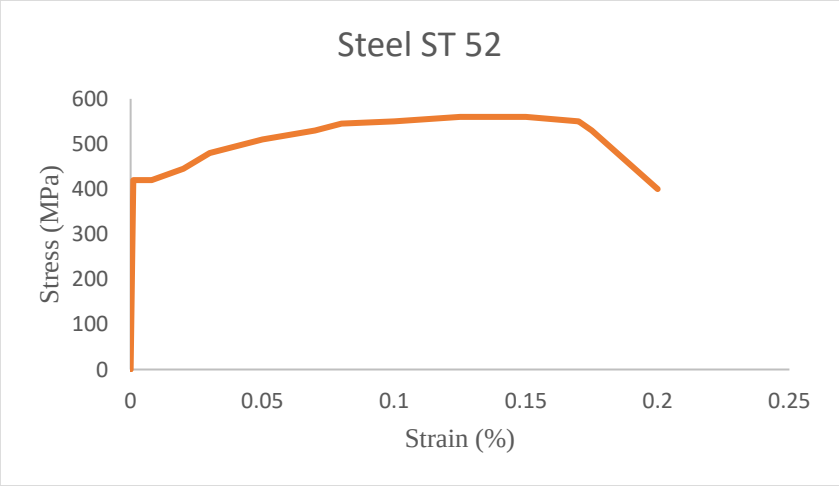
Dari beberapa bahan atau material yang akan digunakan dalam penelitian ini, kita harus mengetahui dan merincikan perilaku material yang akan digunakan seperti nilai tegangan leleh (*yield*) dan maksimum (*ultimate*), tegangan beserta regangannya. Prilaku material tersebut kami dapatkan dari beberapa jurnal penelitian berikut grafik gaya-perpindahan dan/atau grafik *stress-strain* setiap material seperti yang terlihat pada Gambar 4.10 sampai Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Grafik *Force-Displacement* Baja St. 14 (Aboutalebi dkk, 2011)



Gambar 4.12 Grafik *Stess-Strain* Baja St. 37 (Khalifeh dkk, 2018)

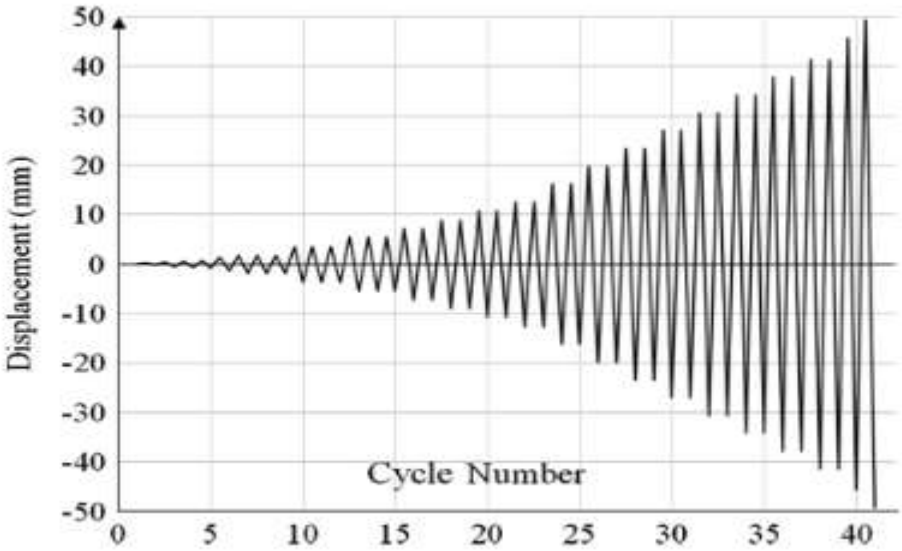


Gambar 4.13 Grafik *Stress-Strain* Baja St.52 (Khalifeh dkk, 2018)

4.3 Pembebanan Pada Spesimen

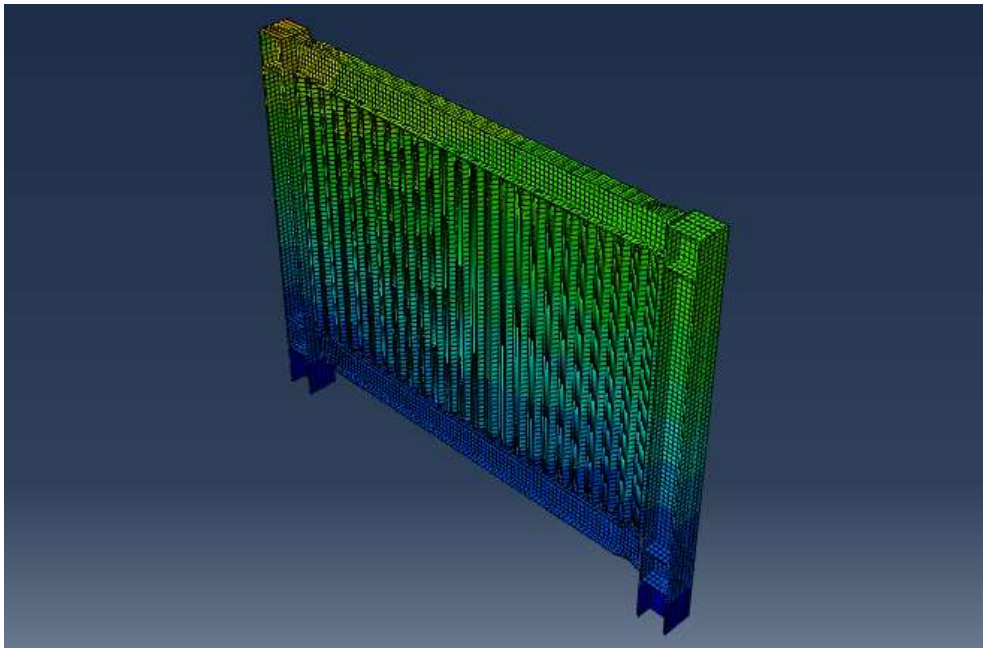
Beban siklik atau cyclic load adalah pembebanan berulang, seperti tekanan berulang yang teratur pada suatu bagian, yang kadang-kadang menyebabkan fraktur kelelahan (fatigue). Pembebanan dilakukan dengan menggunakan kuasi statis beban siklik sesuai dengan yang direkomendasikan oleh Teknologi Council (ATC) memuat protokol ATC 24 (ATC, 1992). Beban yang digunakan sebagai input adalah Displacement controll, nilai yang diambil adalah nilai displacement dari Penelitian Sabouri Ghomi dan Mamazizi (2015).

Pembebanan pada elemen didasarkan pada Gambar 4.13. Dengan menggunakan *loading period* yang ada pada penelitian sebelumnya, nilai beban yang akan digunakan dapat dihitung dan disesuiakan dengan eksperimen ini.



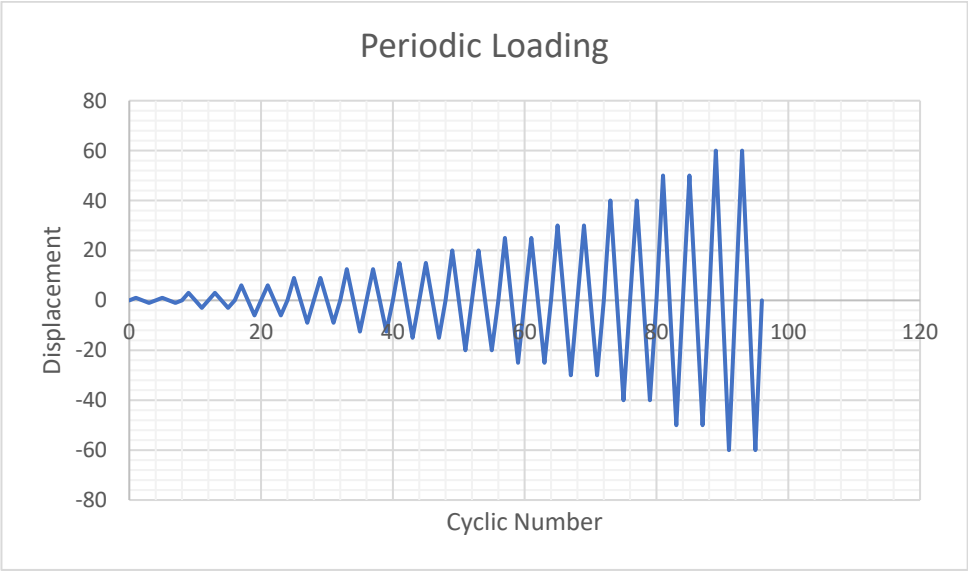
Gambar 4.14 Grafik Pembebanan Berdasarkan Penelitian Sabouri Ghomi dan Mamazizi (2015)

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



Gambar 4.15 *Buckling* pada Spesimen

Perhitungan nilai pembebanan berdasarkan penelitian yang telah ada sebelumnya dimodelkan kembali dalam bentuk yang lebih sederhana. Gambar 4.15 memperlihatkan nilai pembebanan yang telah disesuiakan dengan analisa yang akan dilakukan selanjutnya.

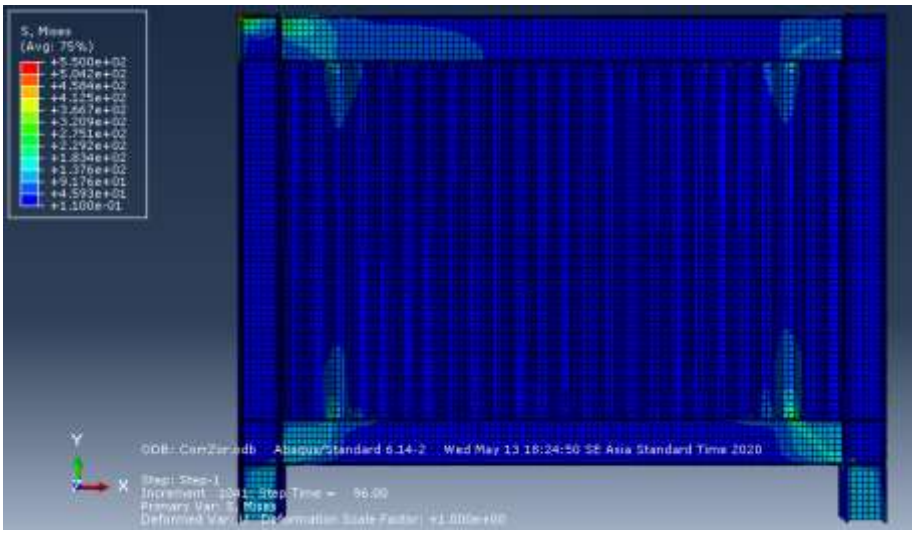


Gambar 4.16 Grafik Pembebanan Periodic Loading

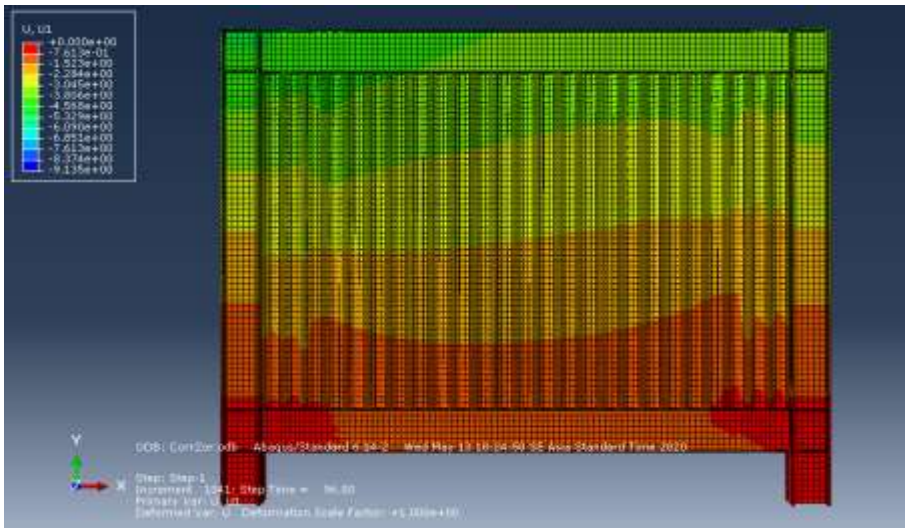
4.4. Hasil Analisis Penelitian

Hasil analisa yang diperoleh dari program Finite Element Analysis digunakan untuk mengetahui kapasitas CSSW, Pengaruh opening, persentase ukuran opening yang maksimal, kurva hysteretis, prilaku boundari element, daktilitas dan secara economic performance, pada masing-masing specimen.

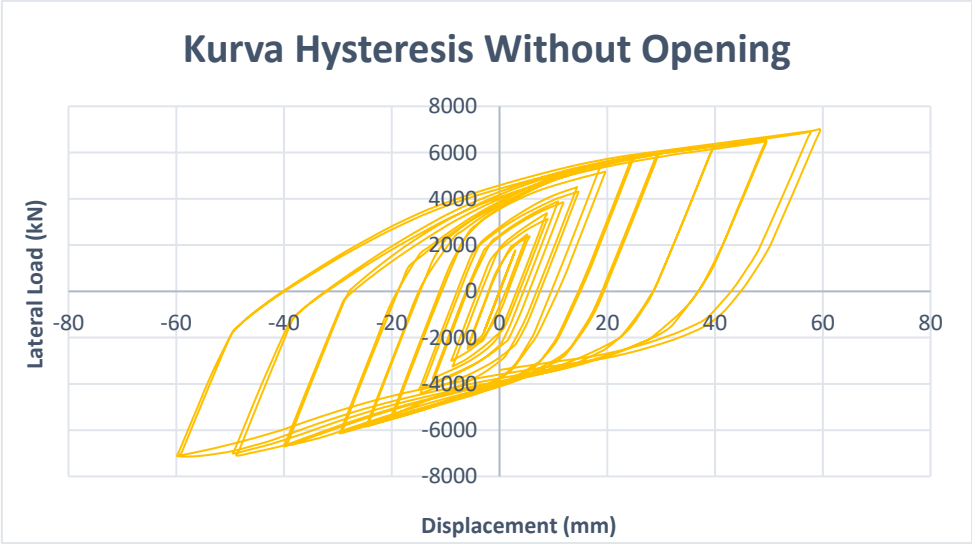
4.4.1 CSSW Vertical A, Without Opening



Gambar 4.17 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, WithOut Opening



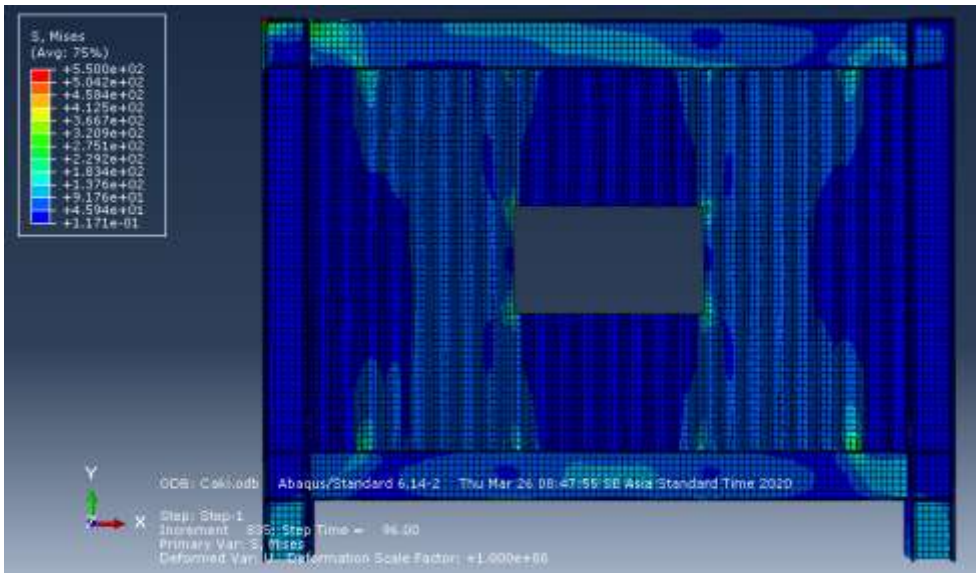
Gambar 4.18 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A, WithOut Opening



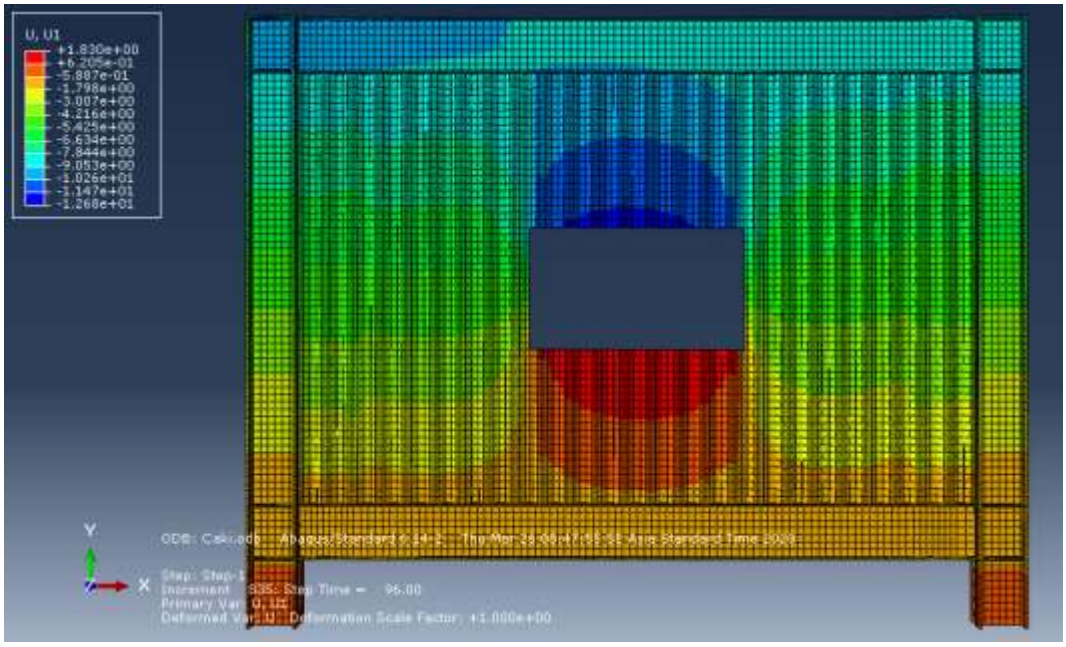
Gambar 4.19 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, WithOut Opening

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical A tanpa Opening adalah 6987.62 kN dan -7315.48 kN saat displacement mencapai 56.25 mm dan -58.85 mm.

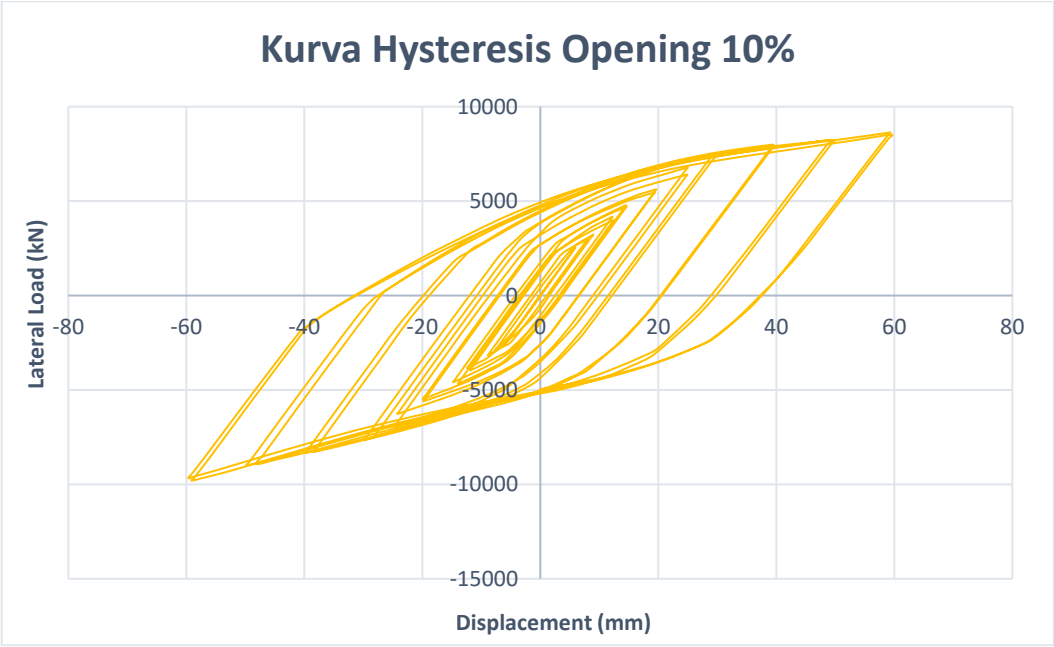
4.4.2 CSSW Vertical A, With Opening 10%



Gambar 4.20 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, With Opening 10%



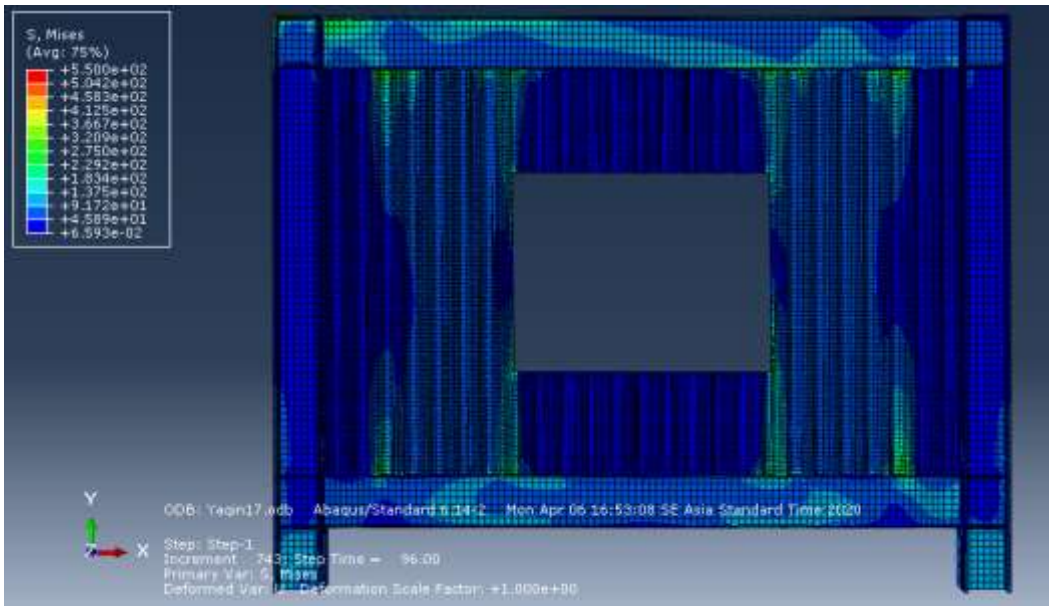
Gambar 4.21 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A,
With Opening 10%



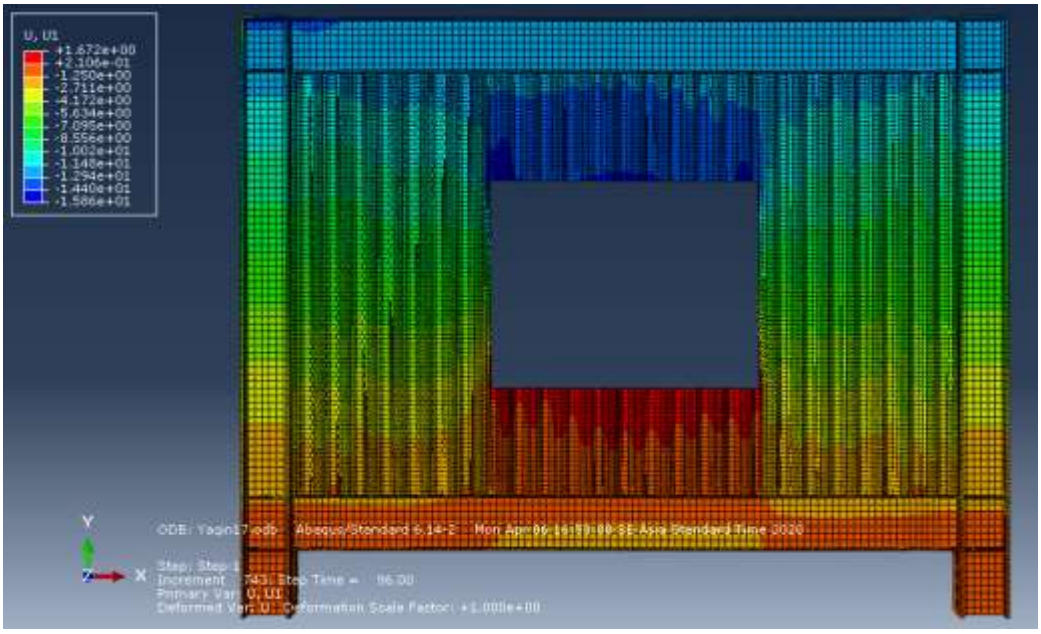
Gambar 4.22 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 10%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical A dengan Opening 10% adalah 8519.93 kN dan -9797.09 kN saat displacement mencapai 55.82 mm dan -48.46 mm.

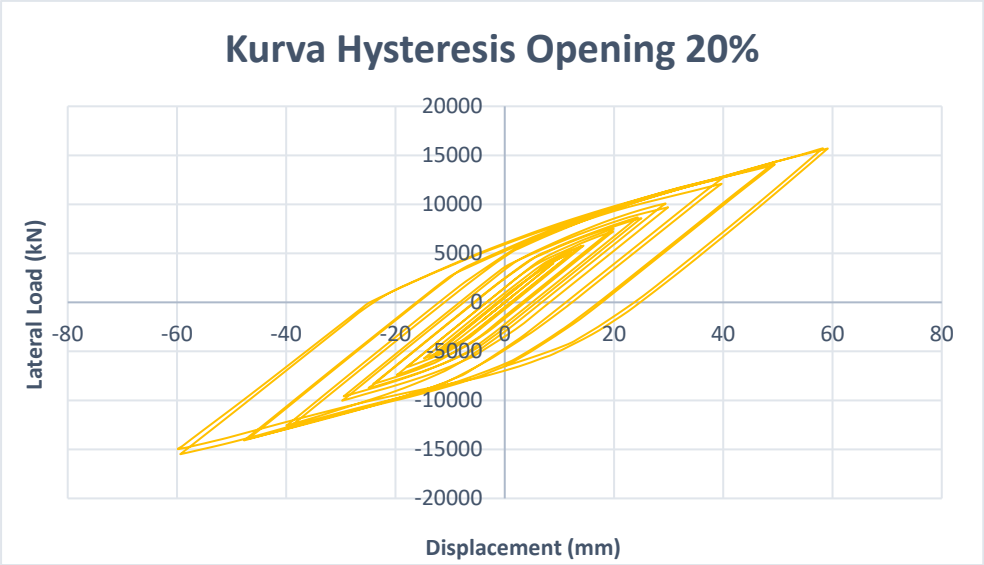
4.4.3 CSSW Vertical A, With Opening 20%



Gambar 4.23 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A,
With Opening 20%



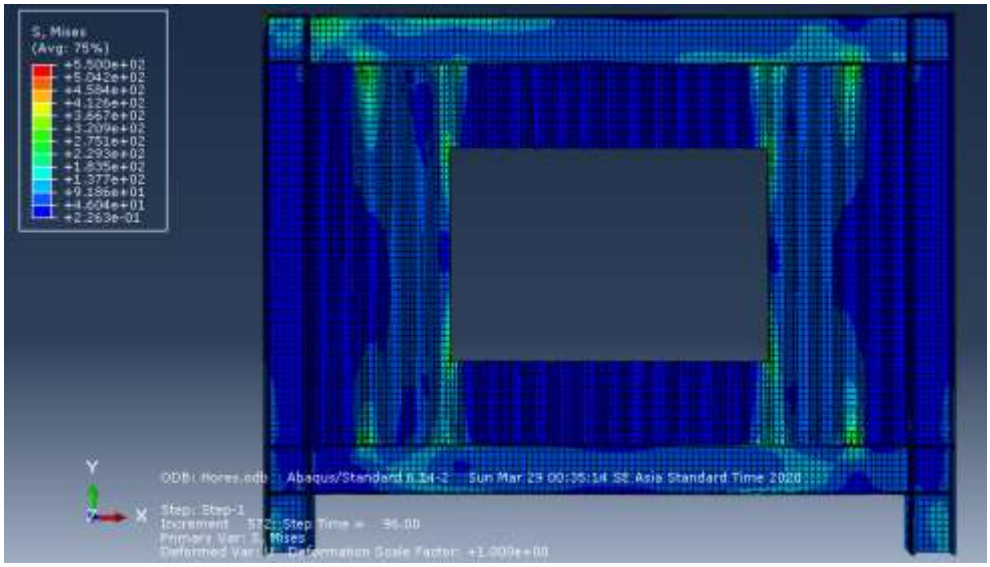
Gambar 4.24 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A,
With Opening 20%

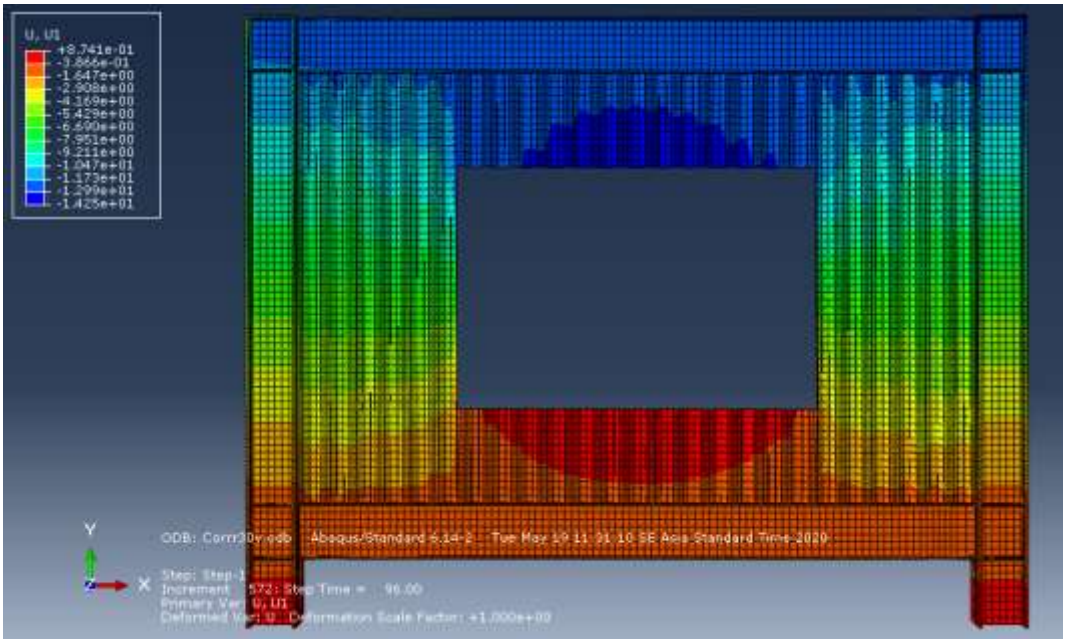


Gambar 4.25 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 20%

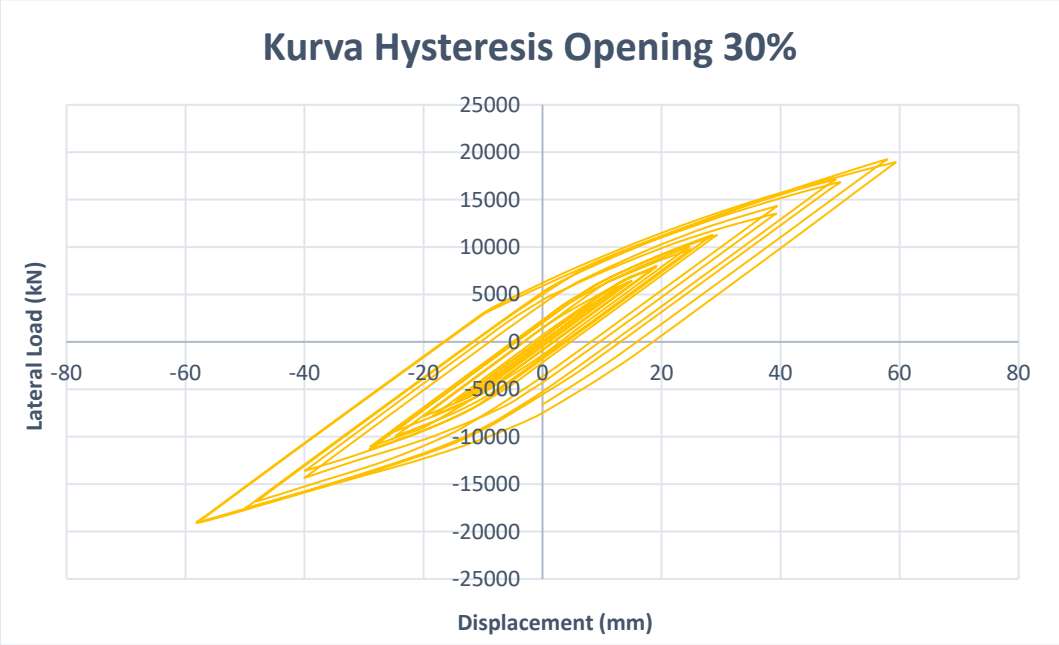
Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical A dengan Opening 20% adalah 15697.60 kN dan -15491.20 kN saat displacement mencapai 53.14 mm dan -47.79 mm.

4.4.4 CSSW Vertical A, With Opening 30%


Gambar 4.26 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A, With Opening 30%



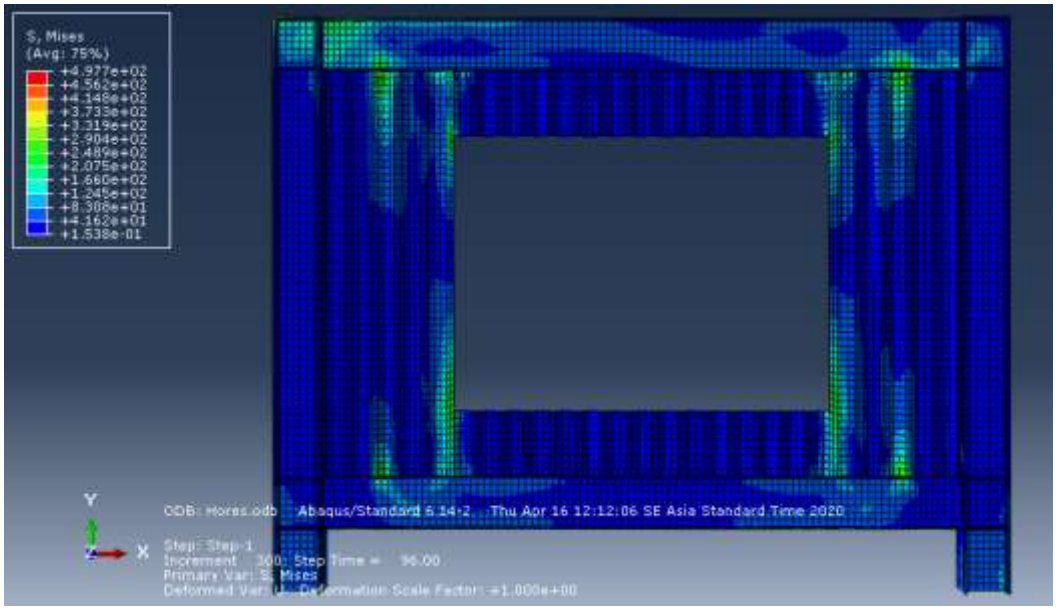
Gambar 4.27 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A,
With Opening 30%



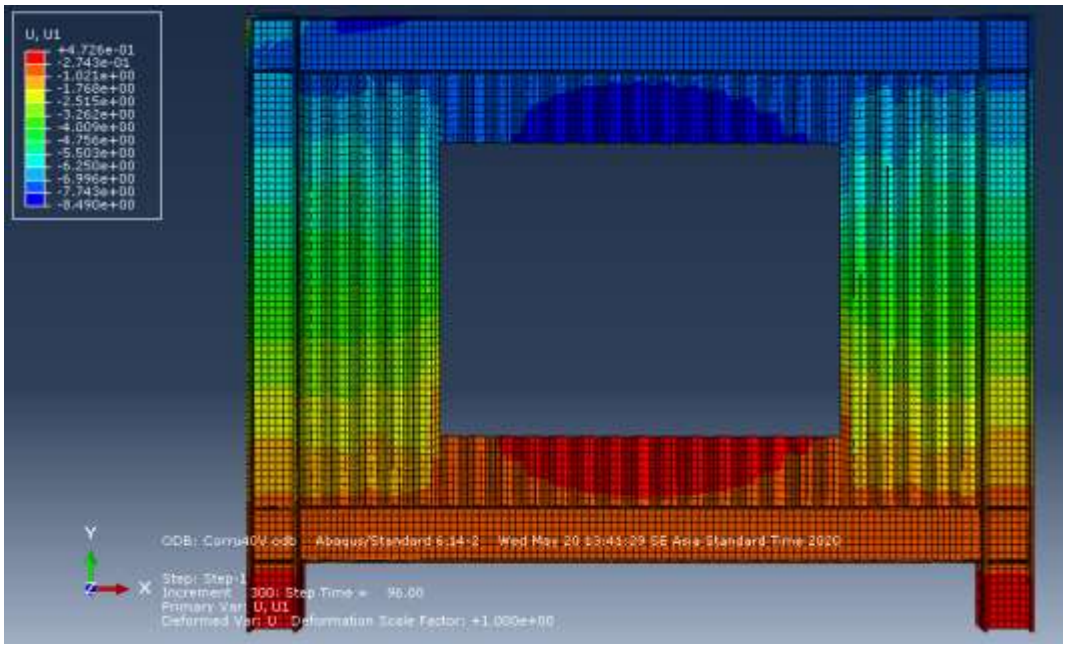
Gambar 4.28 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 30%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical A dengan Opening 30% adalah 18944.20 kN dan -19089.10 kN saat displacement mencapai 52.53 mm dan -49.35 mm.

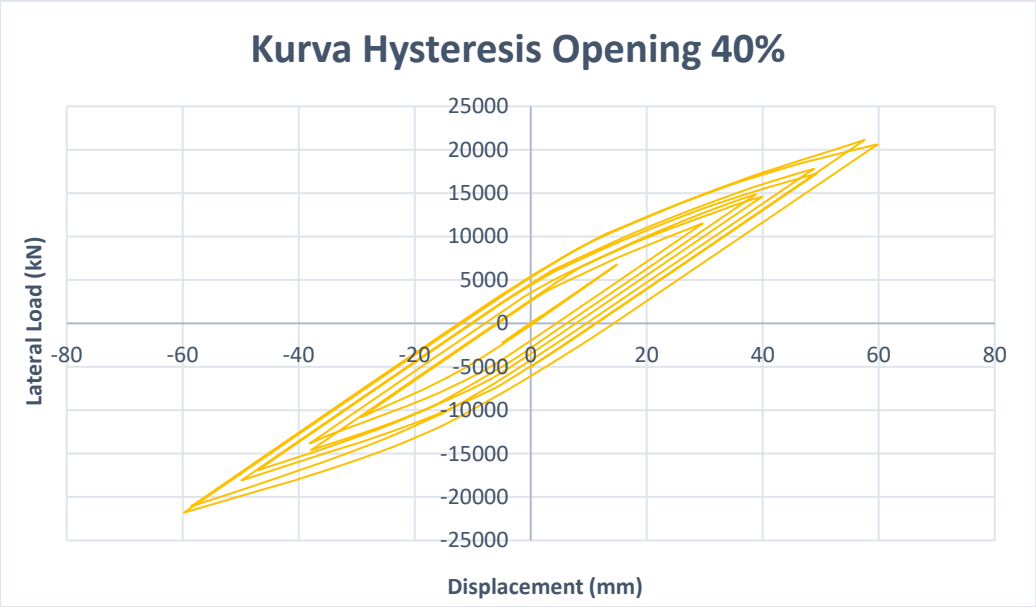
4.4.5 CSSW Vertical A, With Opening 40%



Gambar 4.29 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical A,
With Opening 40%

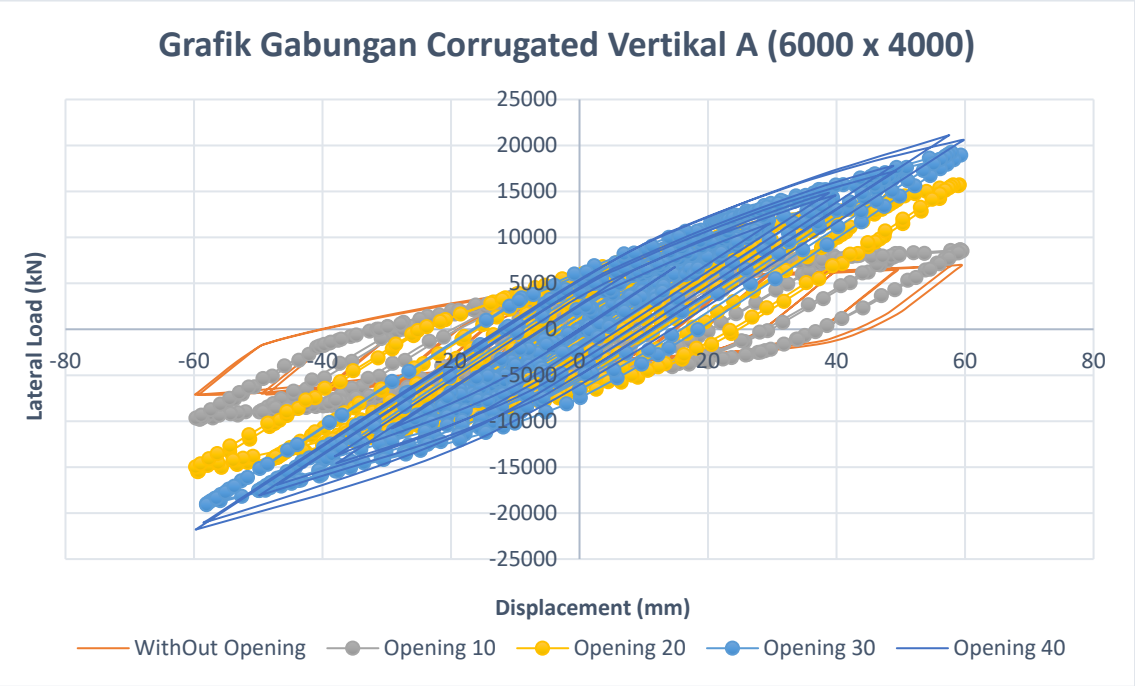


Gambar 4.30 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical A,
With Opening 40%



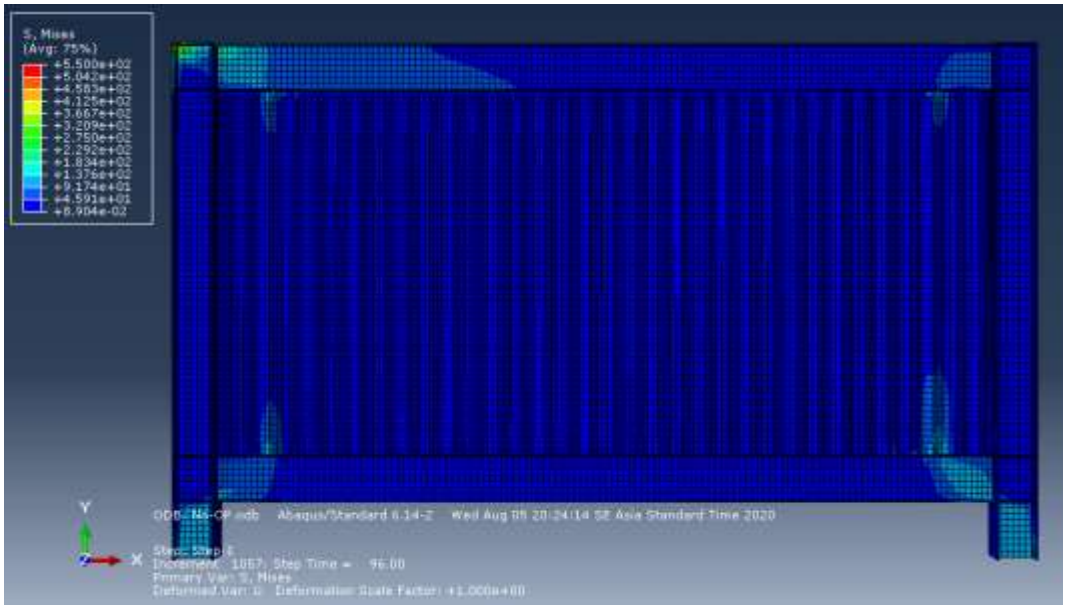
Gambar 4.31 Kurva Hysteresis CSSW Vertical A, With Opening 40%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical A dengan Opening 40% adalah 20087.40 kN dan -21738.10 kN saat displacement mencapai 48.29 mm dan -34.65 mm.

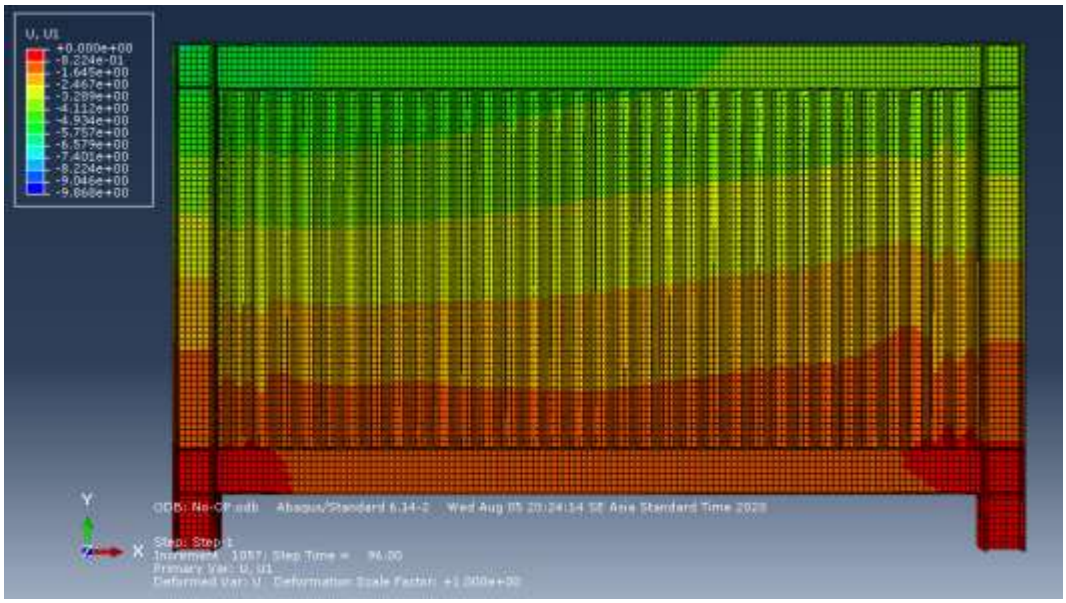


Gambar 4.32 Grafik Gabungan Corrugated Vertikal A (6000 x 4000)

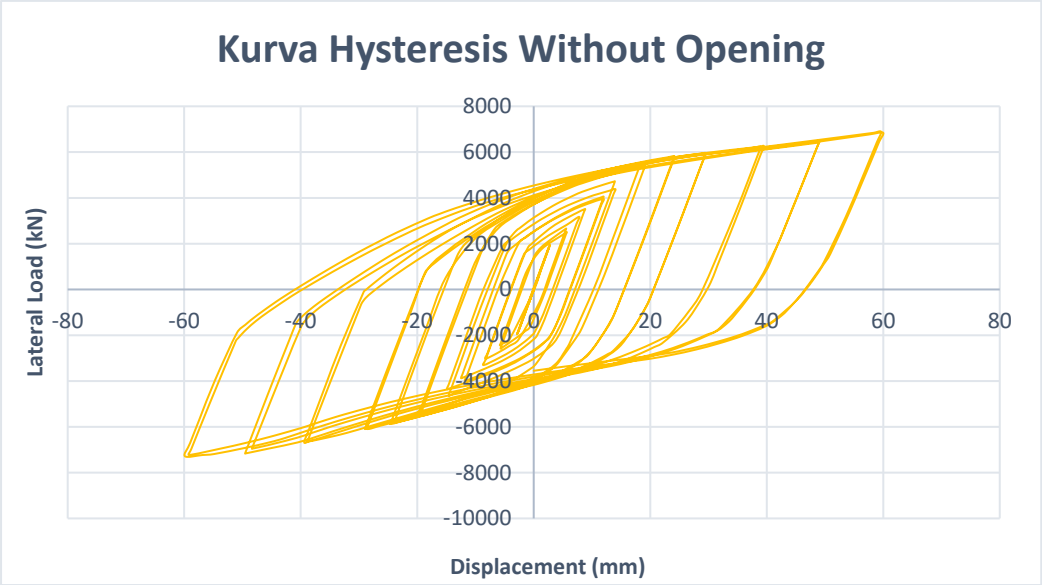
4.4.6 CSSW Vertical B, Without Opening



Gambar 4.33 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, WithOut Opening



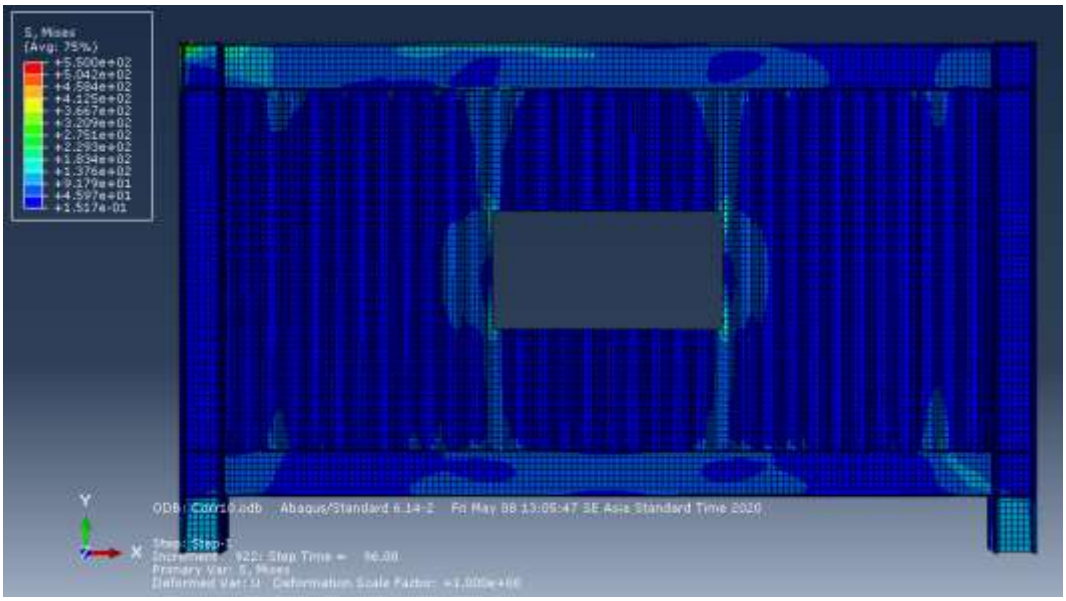
Gambar 4.34 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B, WithOut Opening



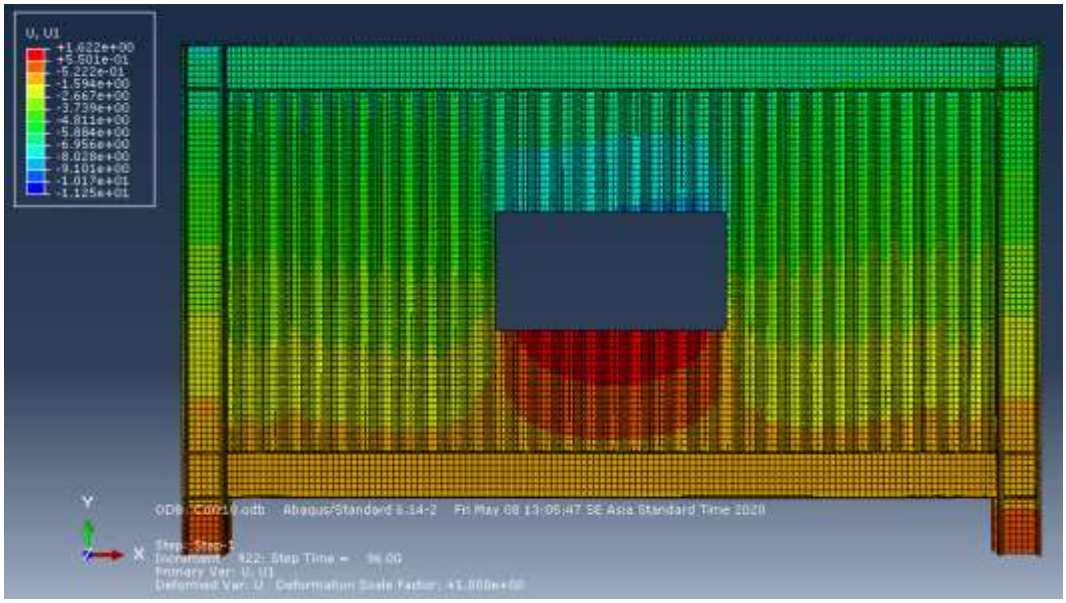
Gambar 4.35 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, WithOut Opening

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical B tanpa Opening adalah 6852.62 kN dan -7283.89 kN saat displacement mencapai 42.22 mm dan -48.53 mm.

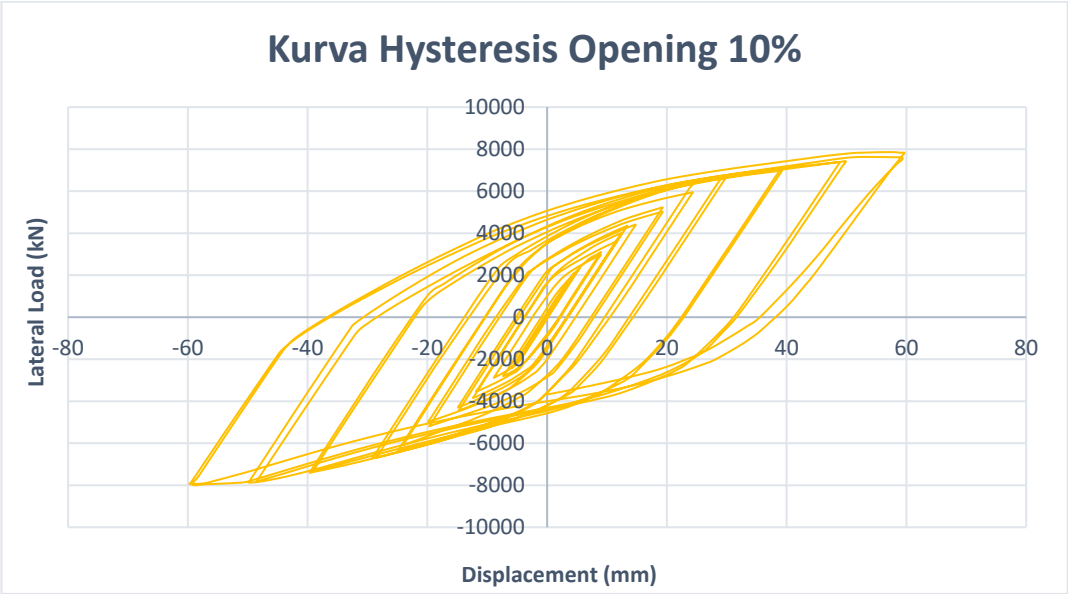
4.4.7 CSSW Vertical B, With Opening 10%



Gambar 4.36 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, With Opening 10%



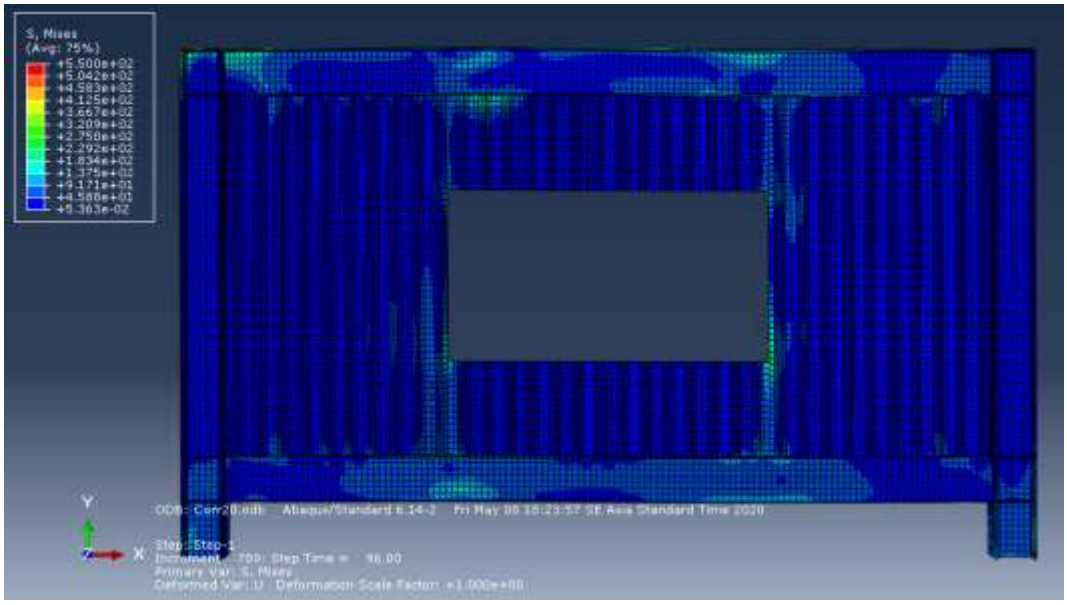
Gambar 4.37 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B,
With Opening 10%



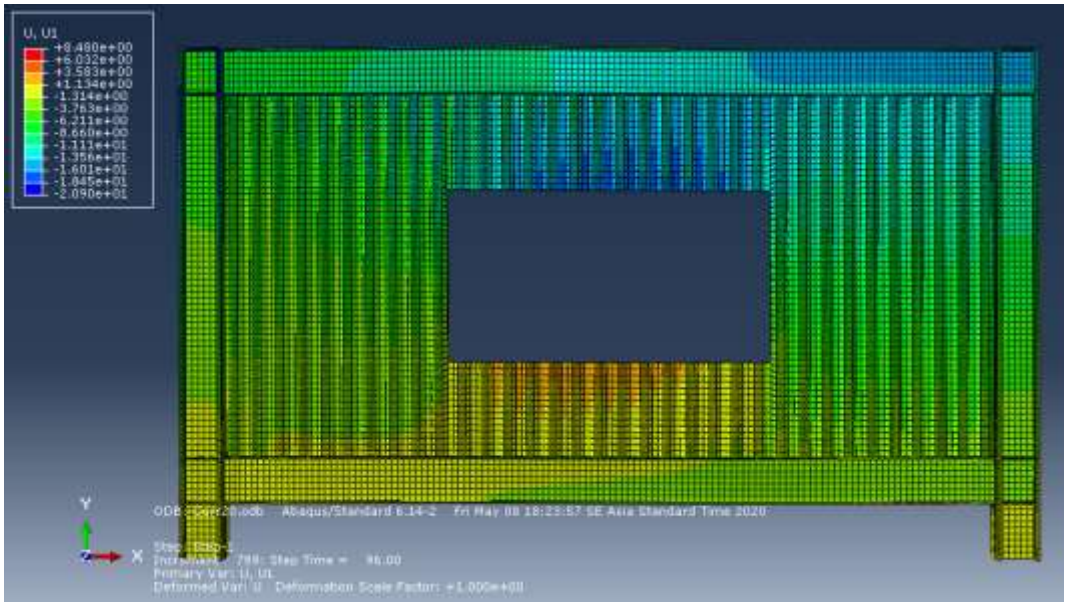
Gambar 4.38 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 10%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical B dengan Opening 10% adalah 7815.27 kN dan -7848.97 kN saat displacement mencapai 47.86 mm dan -48.29 mm.

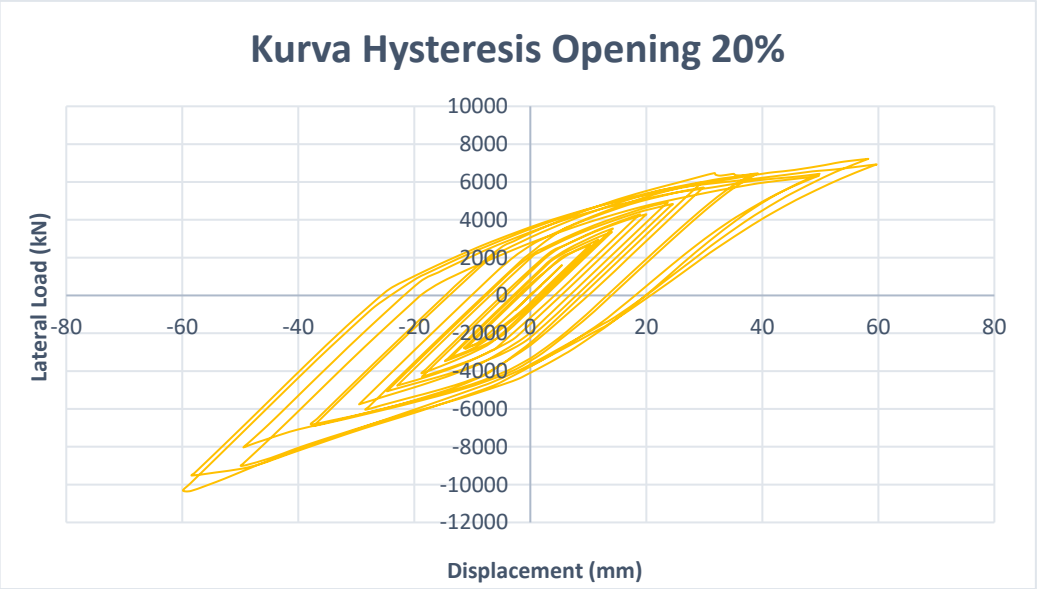
4.4.8 CSSW Vertical B, With Opening 20%



Gambar 4.39 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B,
With Opening 20%



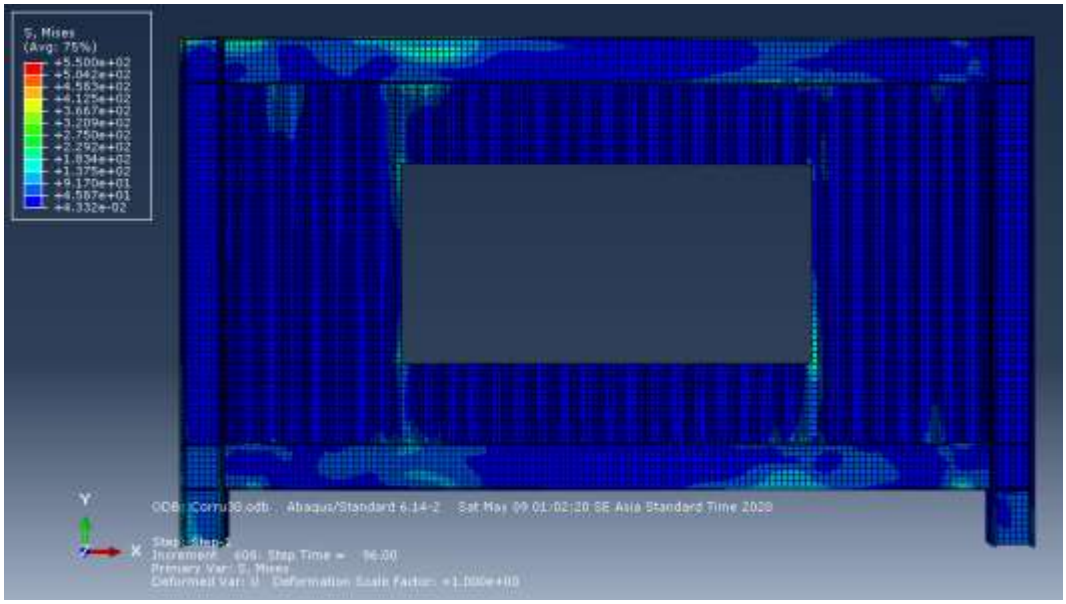
Gambar 4.40 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B,
With Opening 20%



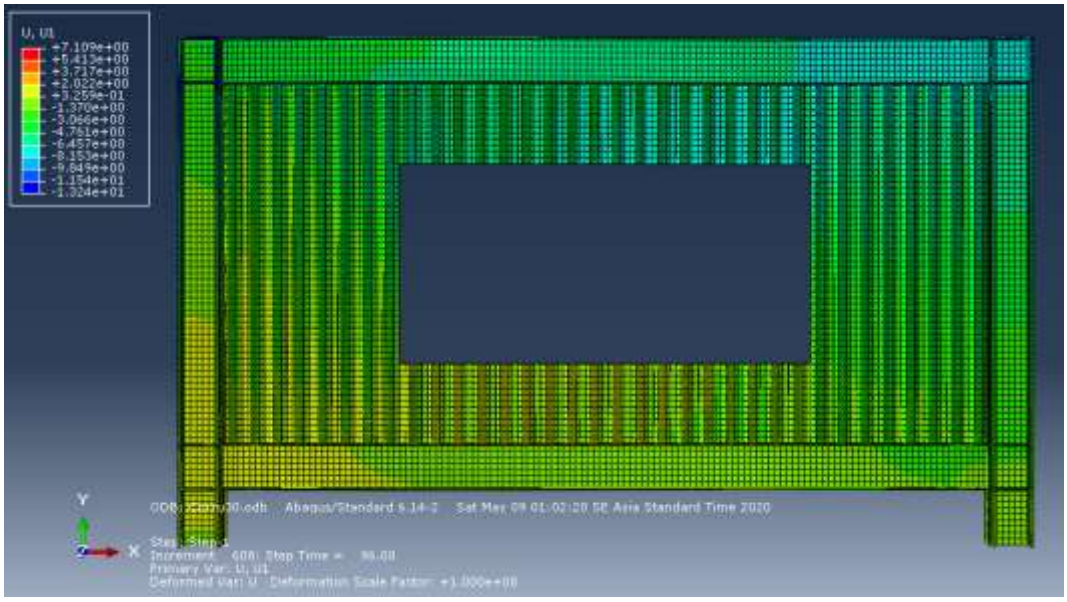
Gambar 4.41 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 20%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical B dengan Opening 20% adalah 6928.95 kN dan -10331.30 kN saat displacement mencapai 47.06 mm dan -46.51 mm.

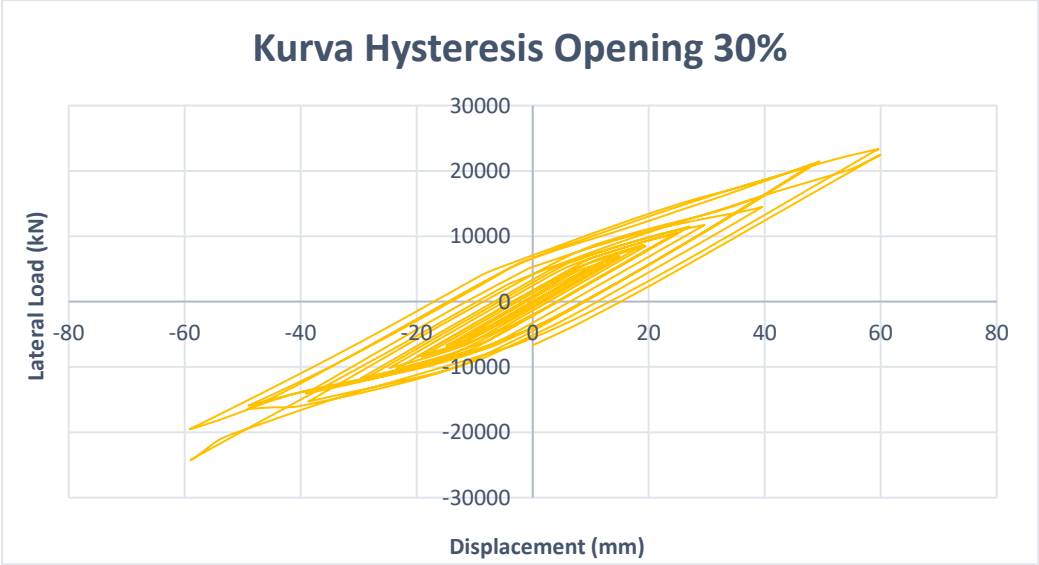
4.4.9 CSSW Vertical B, With Opening 30%



Gambar 4.42 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B, With Opening 30%



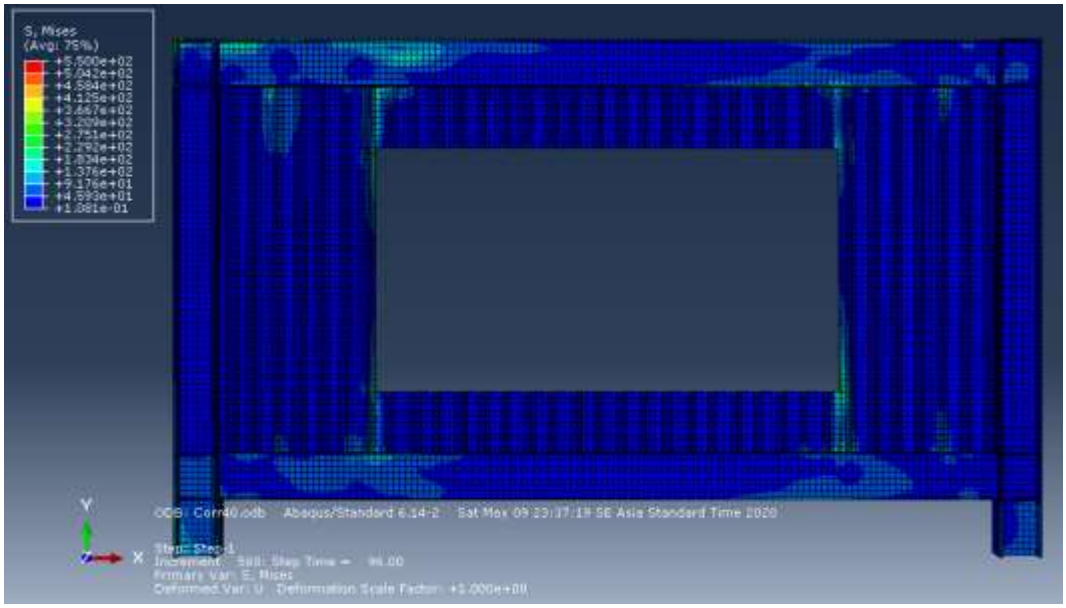
Gambar 4.43 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B,
With Opening 30%



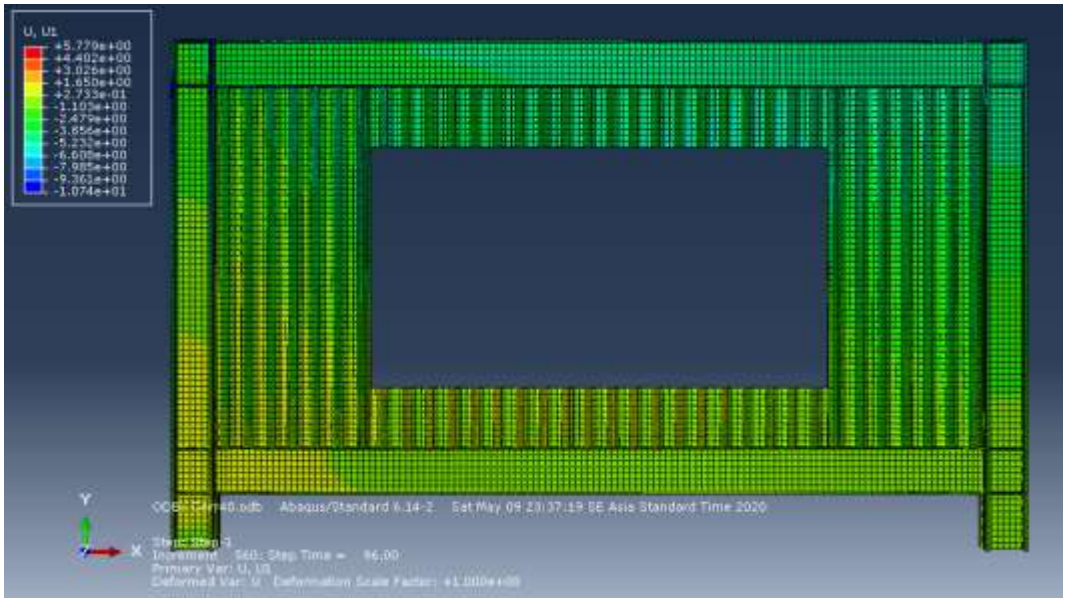
Gambar 4.44 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 30%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical B dengan Opening 30% adalah 22463.30 kN dan -23973.60 kN saat displacement mencapai 48.71 mm dan -35.59 mm.

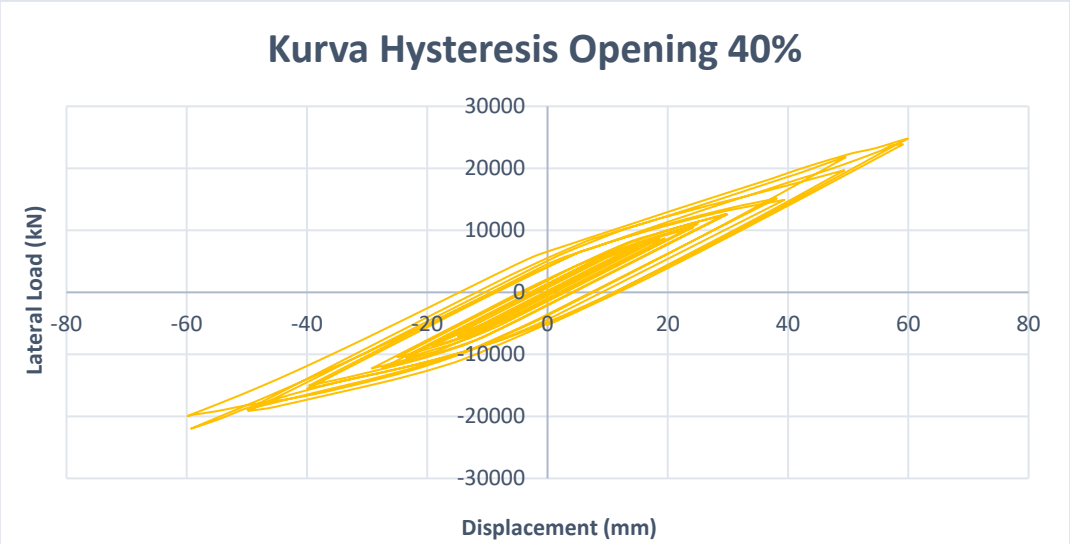
4.4.10 CSSW Vertical B, With Opening 40%



Gambar 4.45 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Vertical B,
With Opening 40%

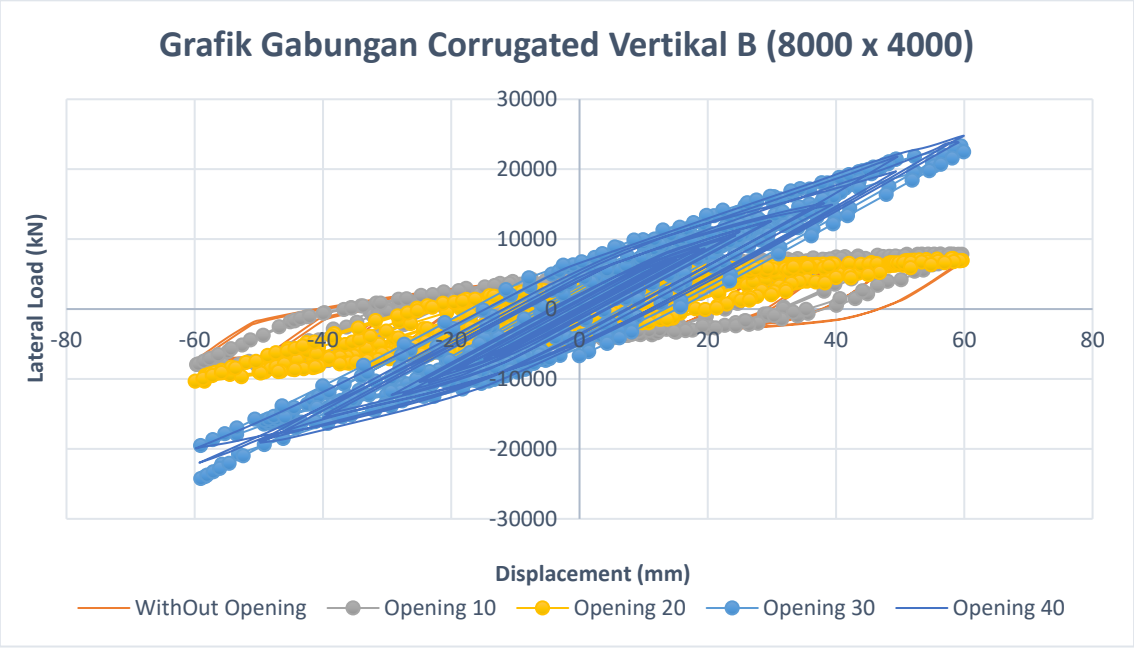


Gambar 4.46 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Vertical B,
With Opening 40%



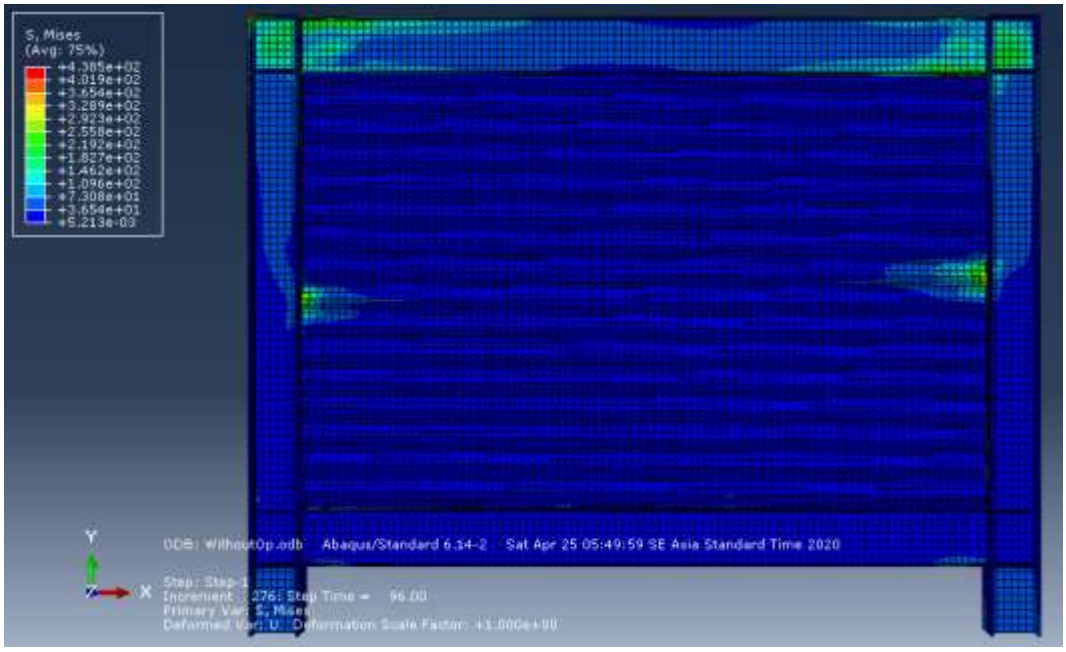
Gambar 4.47 Kurva Hysteresis CSSW Vertical B, With Opening 40%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Vertical B dengan Opening 40% adalah 24773.90 kN dan -21975.30 kN saat displacement mencapai 47.65 mm dan -38.57 mm.

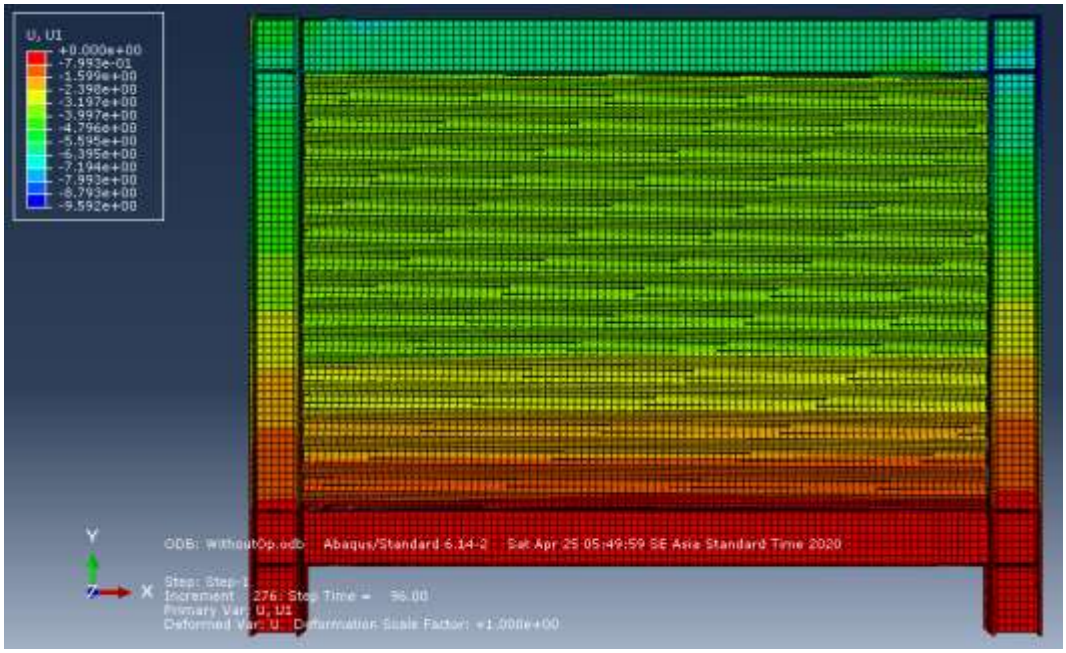


Gambar 4.48 Grafik Gabungan Corrugated Vertikal B (8000 x 4000)

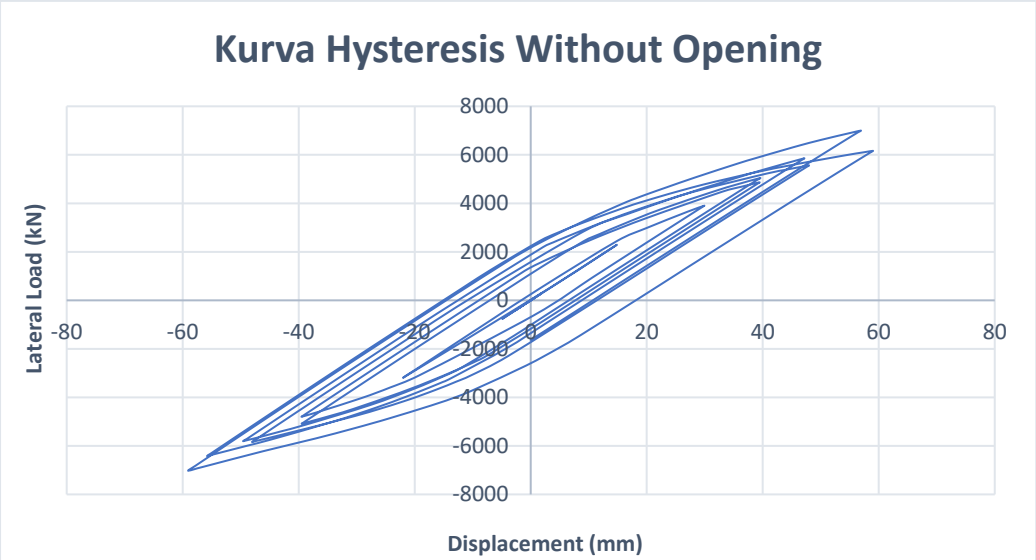
4.4.11 CSSW Horizontal A, Without Opening



Gambar 4.49 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, WithOut Opening



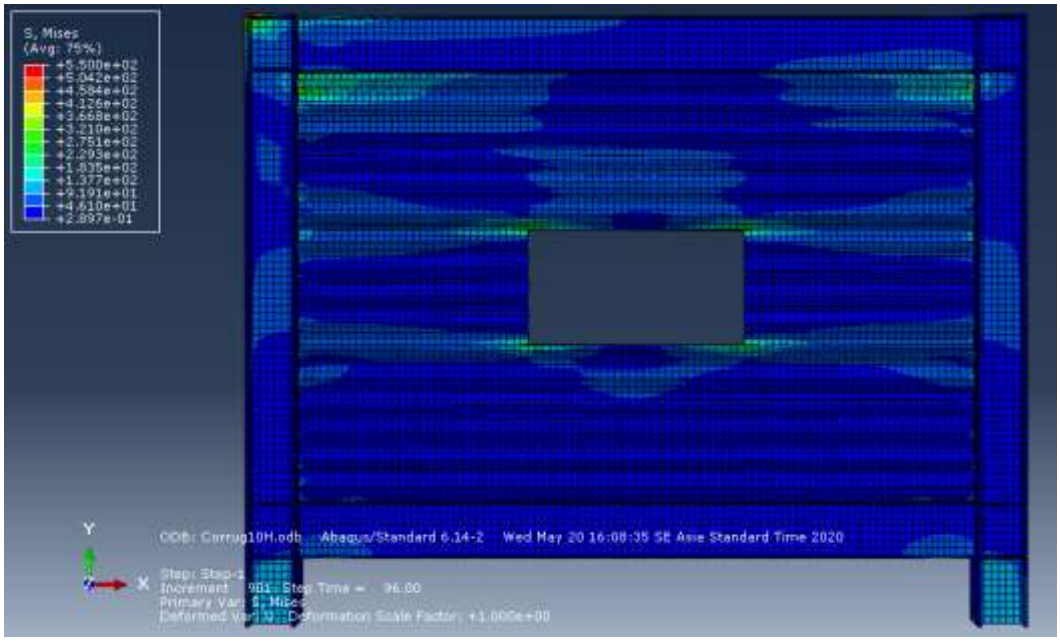
Gambar 4.50 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A, WithOut Opening



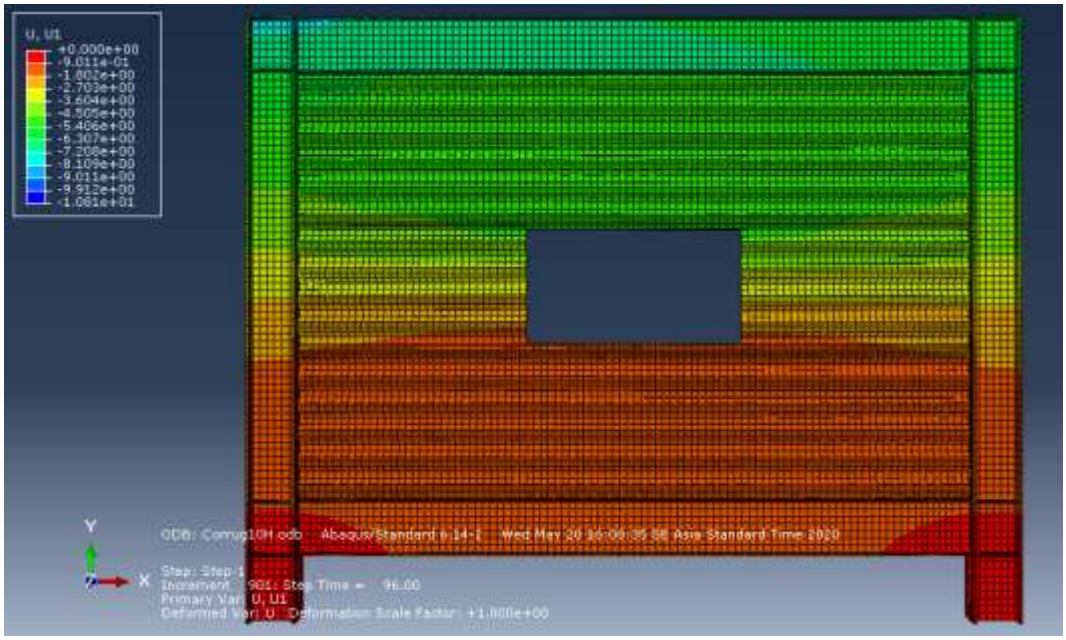
Gambar 4.51 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, WithOut Opening

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal A tanpa Opening adalah 6997.91 kN dan -7023.74 kN saat displacement mencapai 51.59 mm dan -50.89 mm.

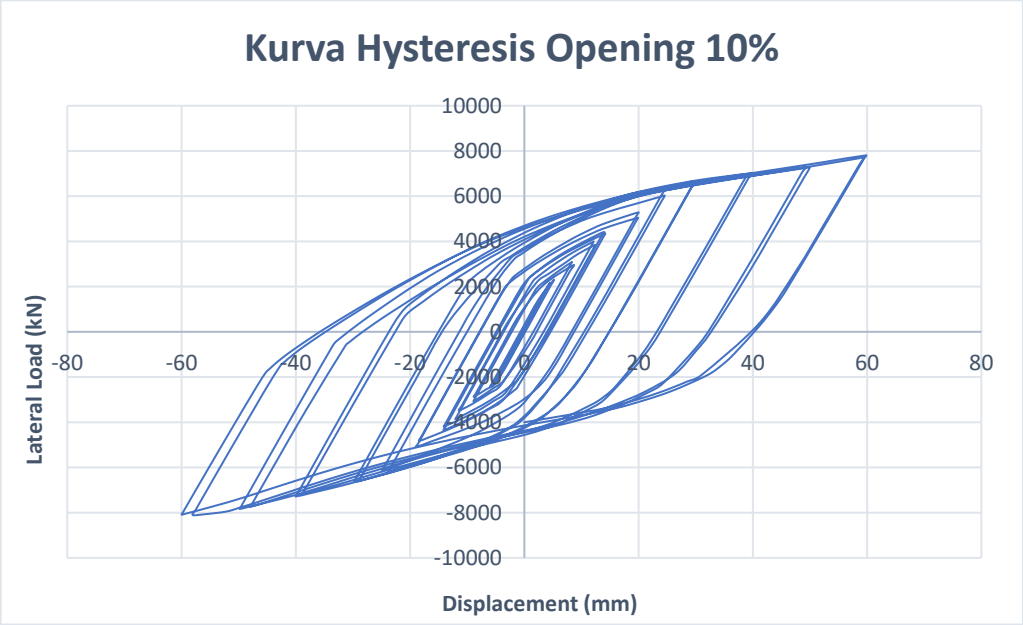
4.4.12 CSSW Horizontal A, With Opening 10%



Gambar 4.52 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, With Opening 10%



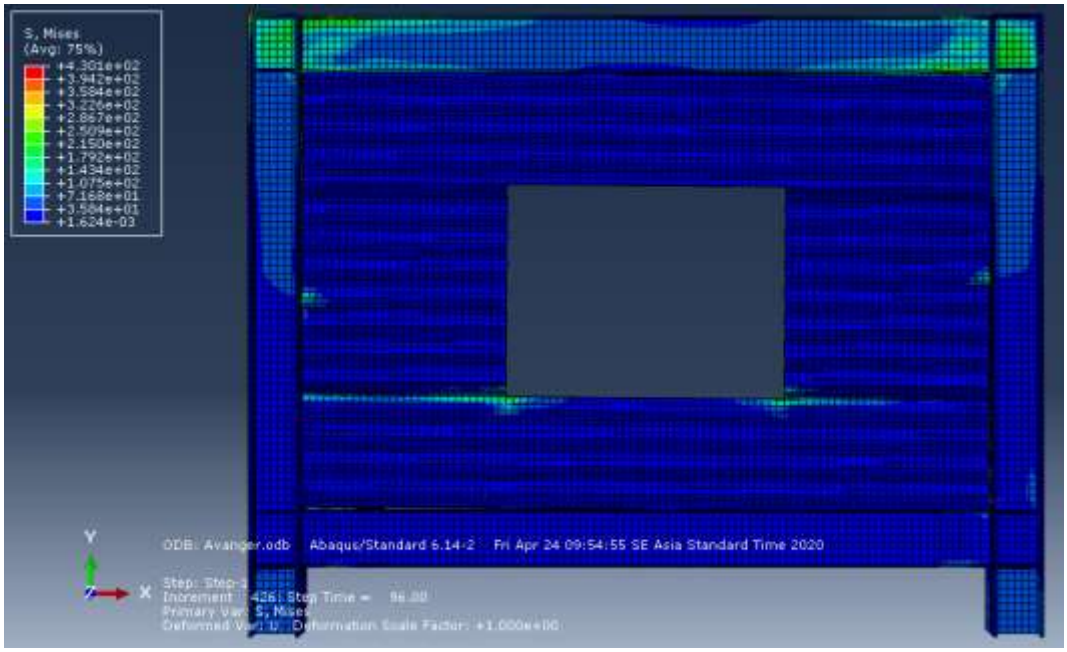
Gambar 4.53 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A,
With Opening 10%



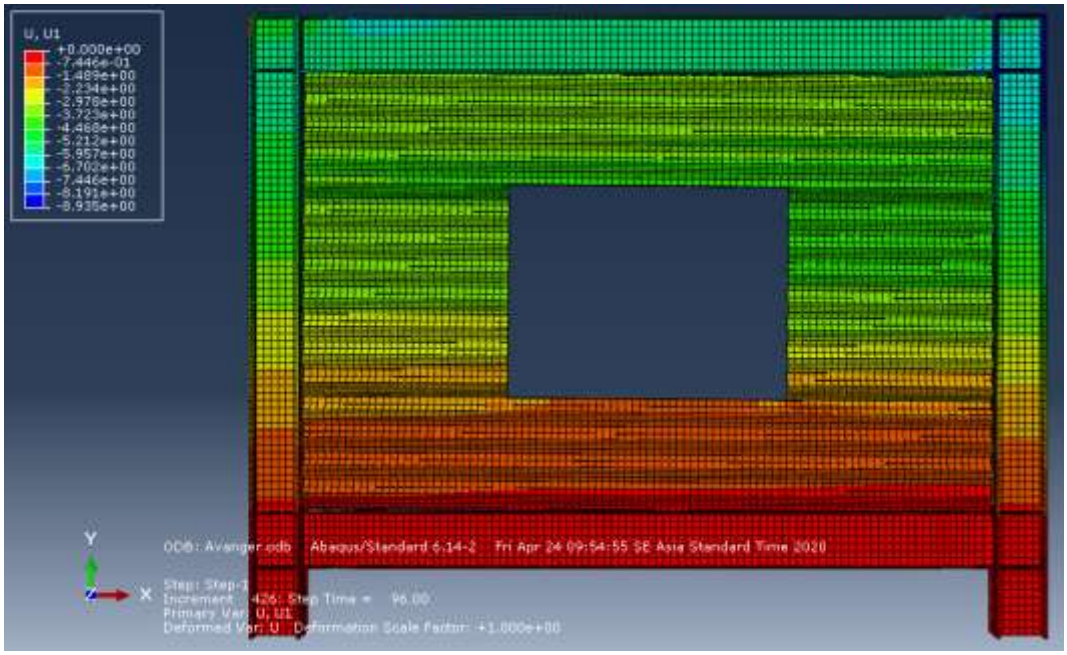
Gambar 4.54 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 10%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal A dengan Opening 10% adalah 7805.60 kN dan -8105.81 kN saat displacement mencapai 50.46 mm dan -48.94 mm.

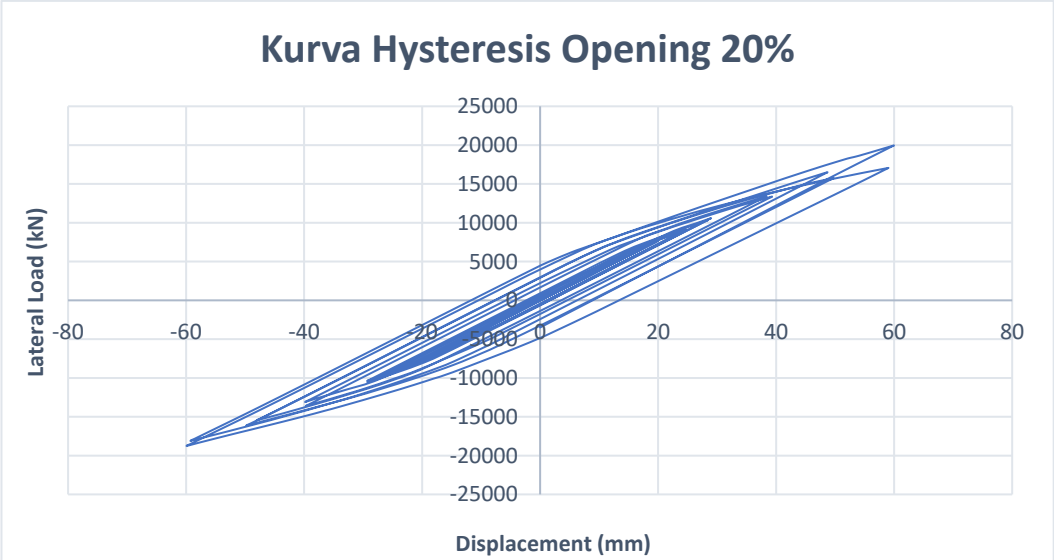
4.4.13 CSSW Horizontal A, With Opening 20%



Gambar 4.55 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A,
With Opening 20%



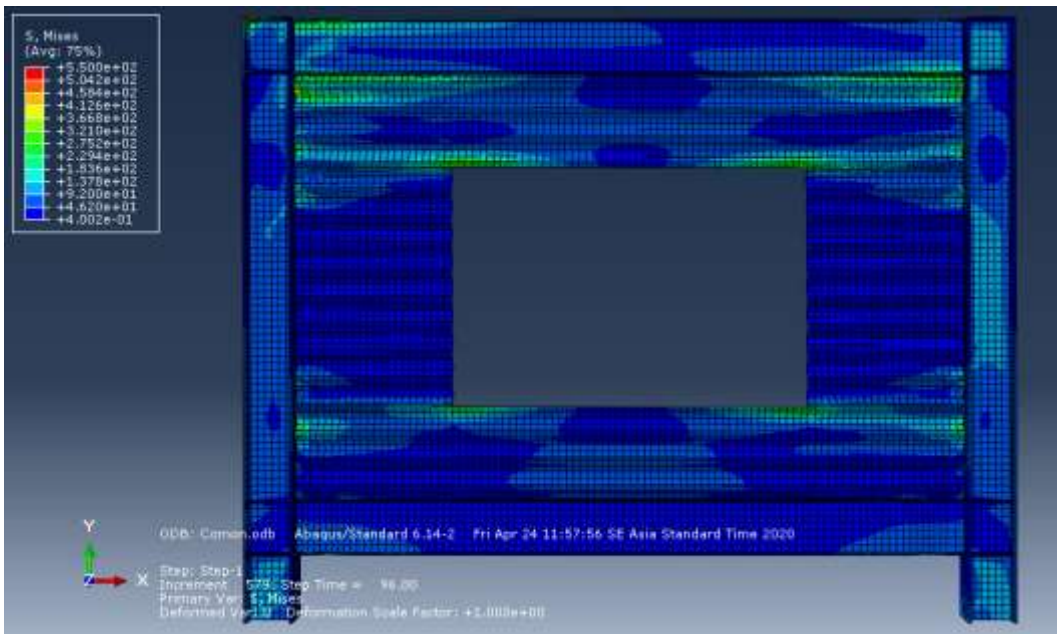
Gambar 4.56 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A,
With Opening 20%



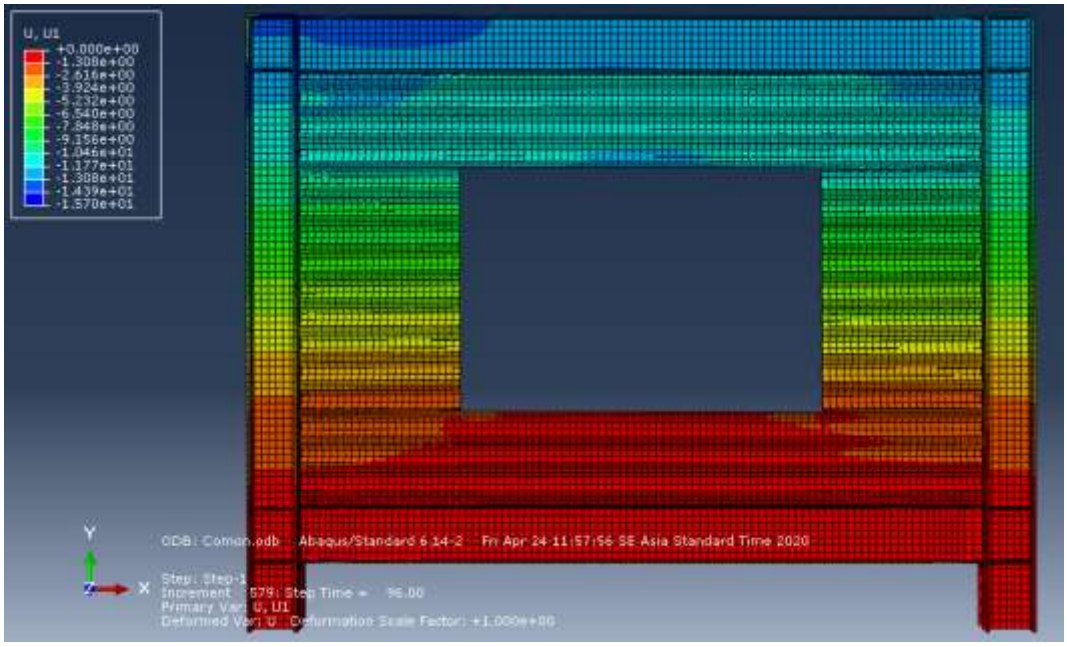
Gambar 4.57 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 20%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal A dengan Opening 20% adalah 19963.30 kN dan -18528.90 kN saat displacement mencapai 47.74 mm dan -48.16 mm.

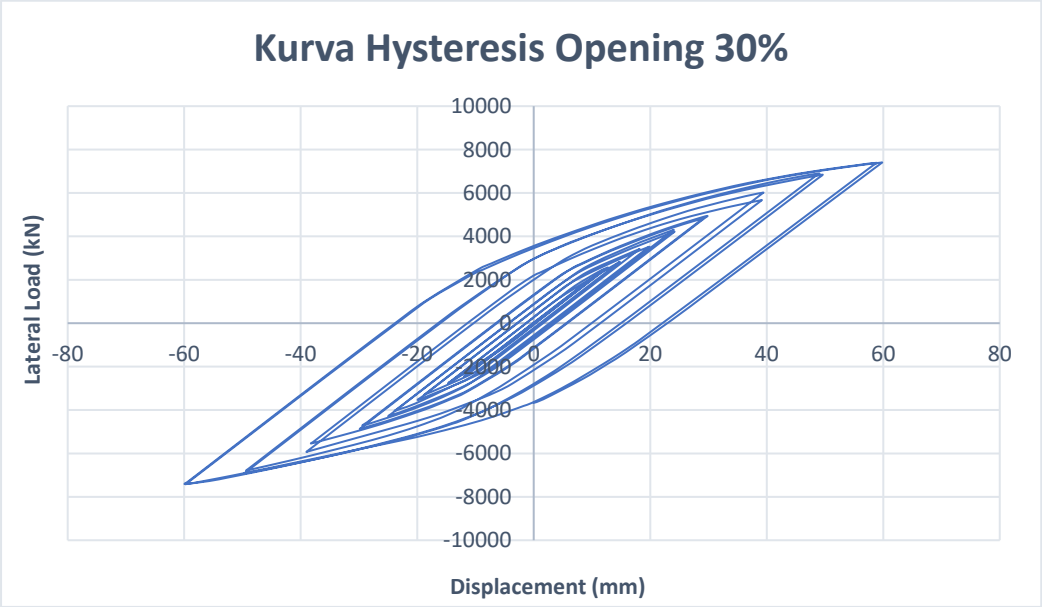
4.4.14 CSSW Horizontal A, With Opening 30%



Gambar 4.58 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A, With Opening 30%



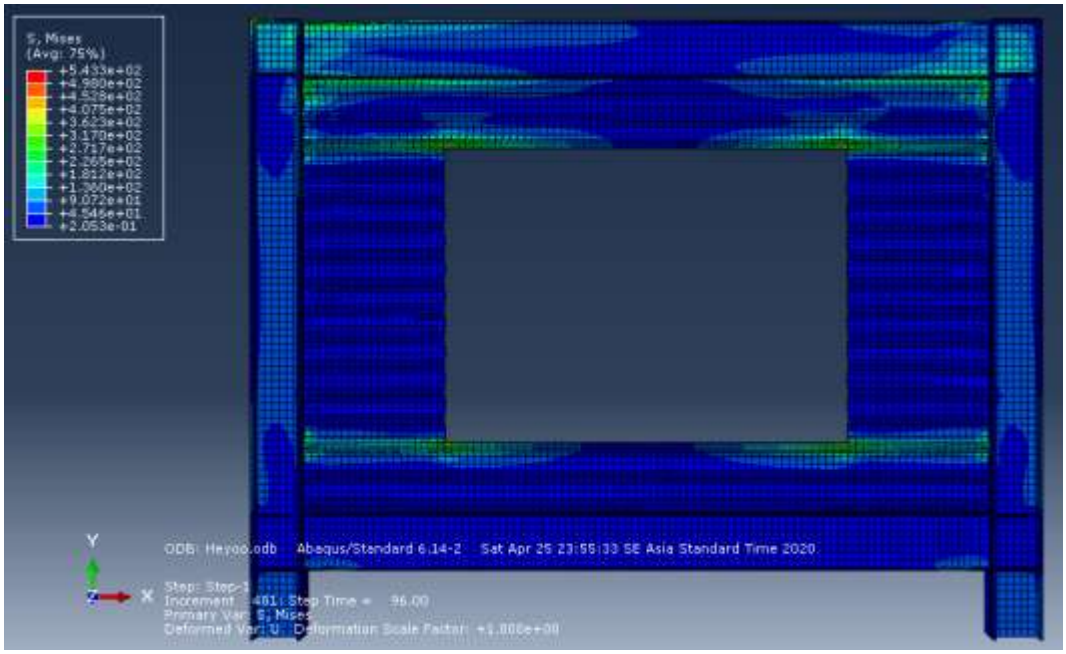
Gambar 4.59 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A,
With Opening 30%



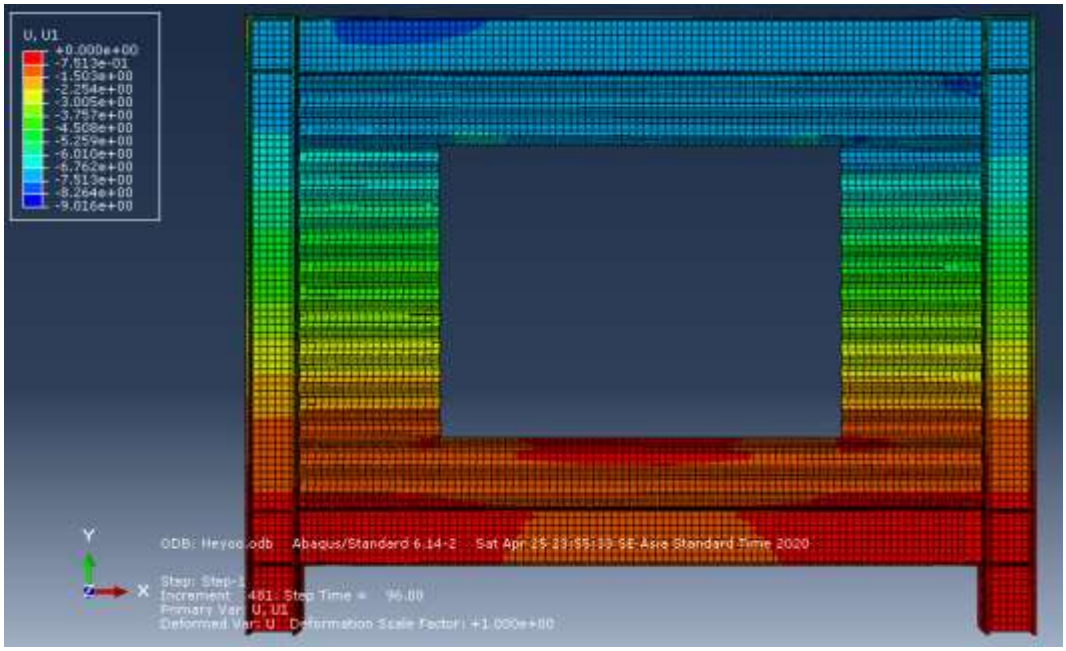
Gambar 4.60 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 30%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal A dengan Opening 30% adalah 7406.03 kN dan -7408.21 kN saat displacement mencapai 48.59 mm dan -47.44 mm.

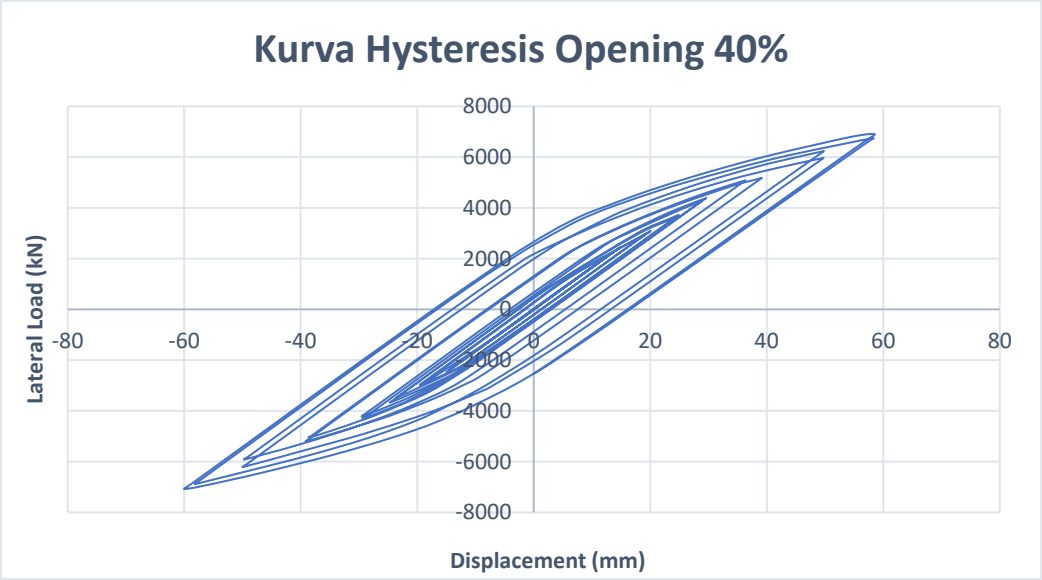
4.4.15 CSSW Horizontal A, With Opening 40%



Gambar 4.61 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal A,
With Opening 40%

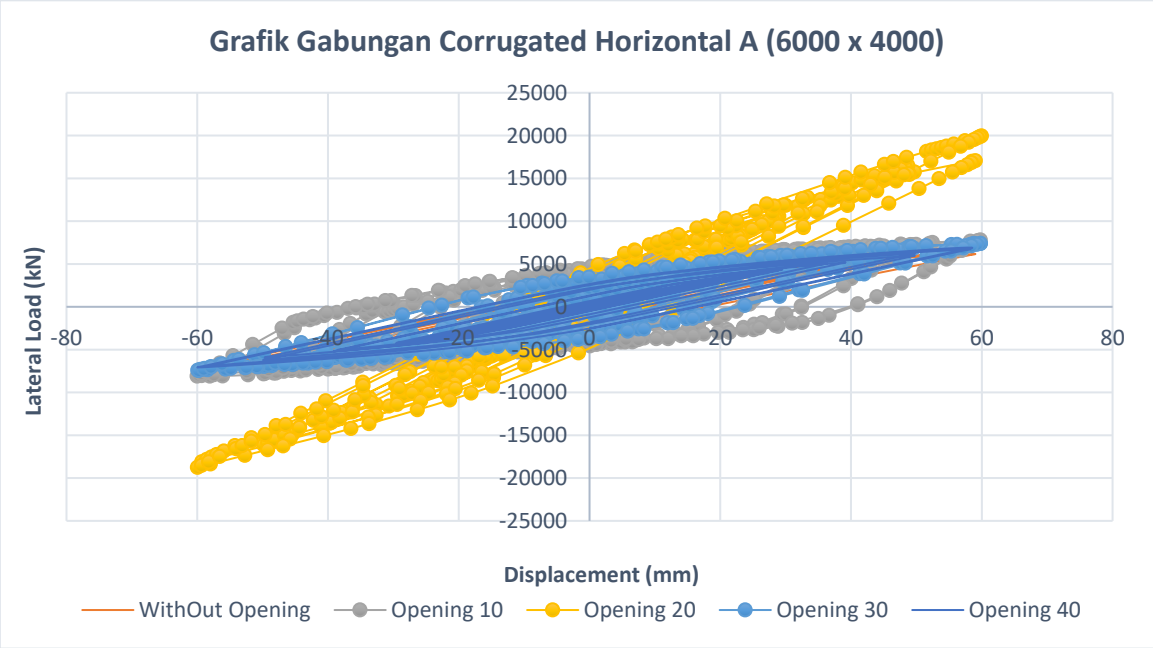


Gambar 4.62 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal A,
With Opening 40%



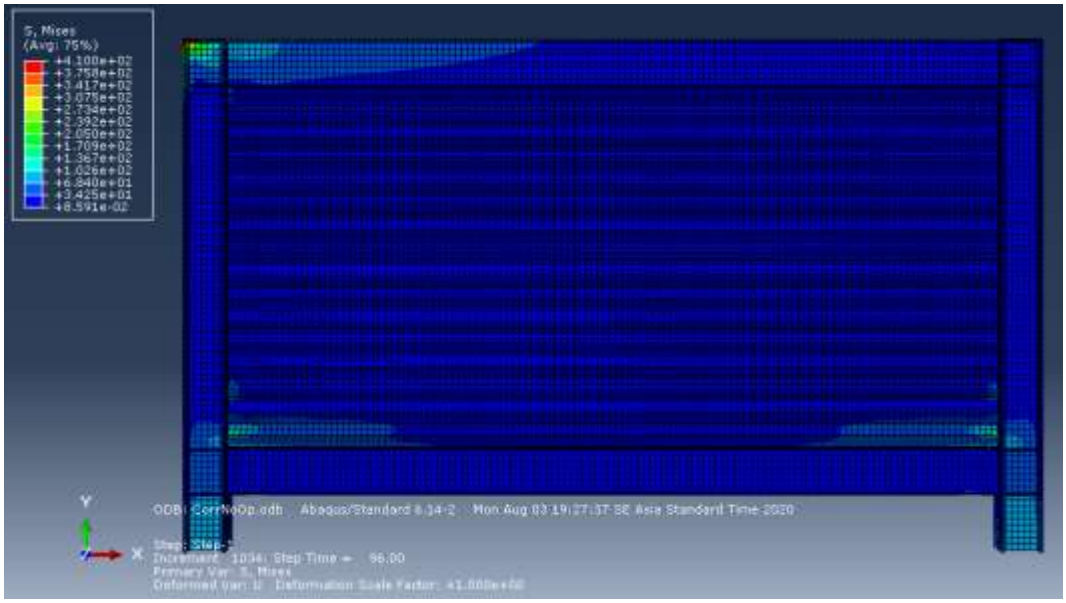
Gambar 4.63 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal A, With Opening 40%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal A dengan Opening 40% adalah 6899.37 kN dan -7078.02 kN saat displacement mencapai 46.88 mm dan -46.70 mm.

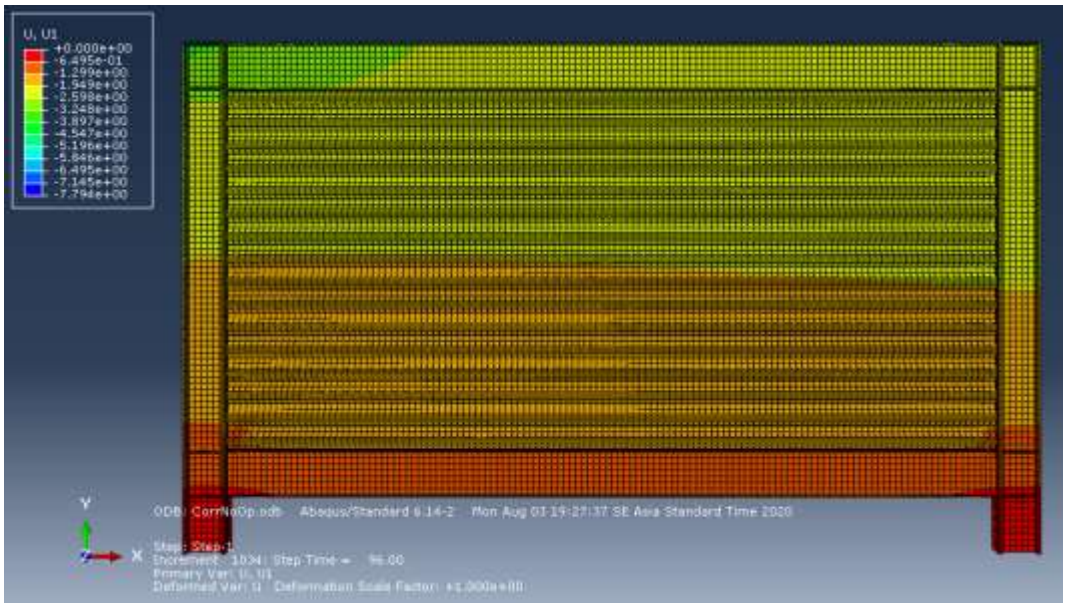


Gambar 4.64 Grafik Gabungan Corrugated Horizontal A (6000 x 4000)

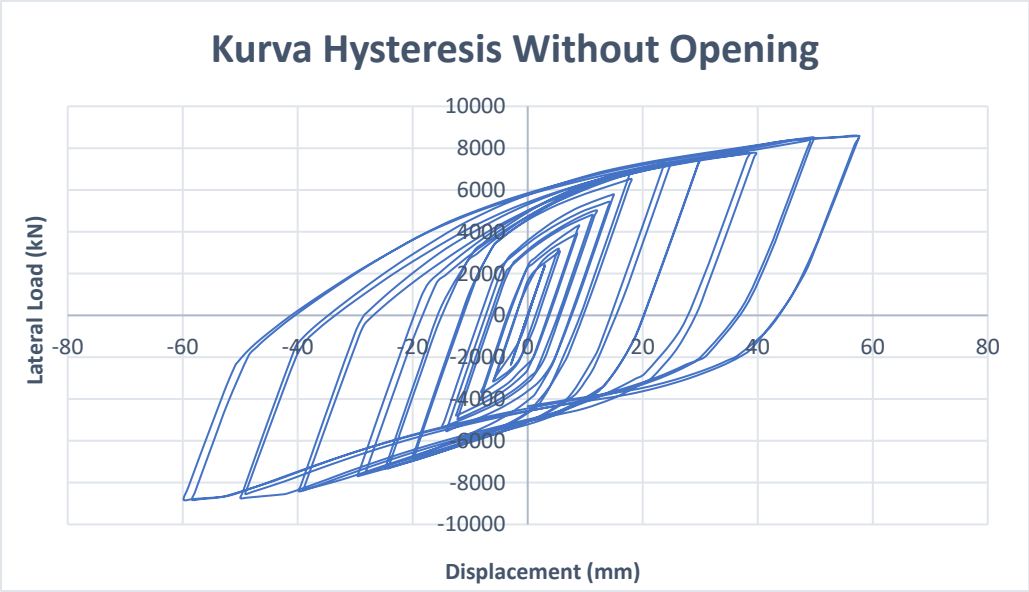
4.4.16 CSSW Horizontal B, Without Opening



Gambar 4.65 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, WithOut Opening



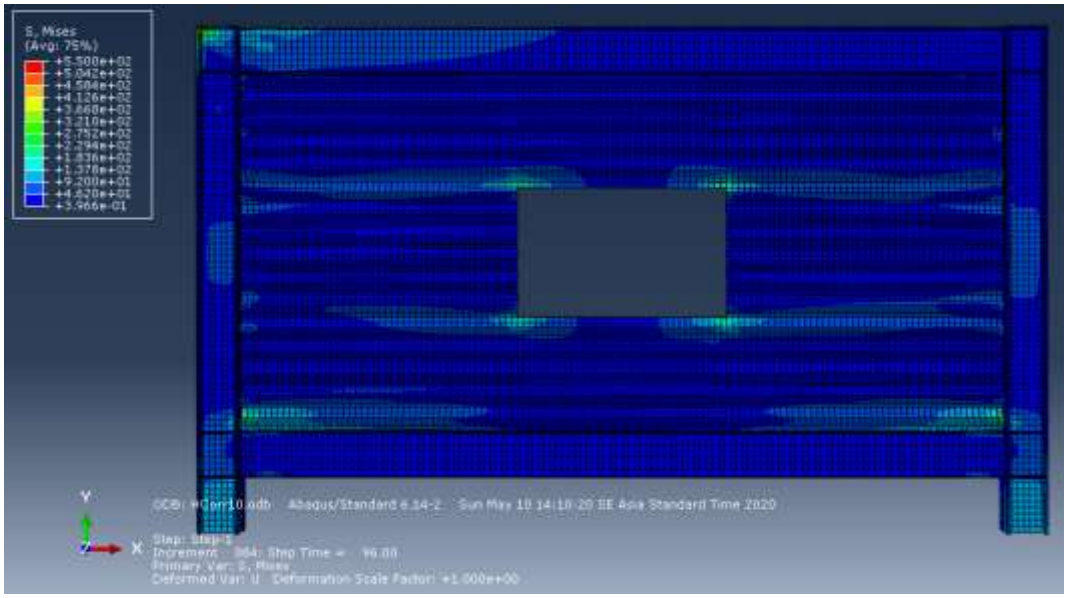
Gambar 4.66 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B, WithOut Opening



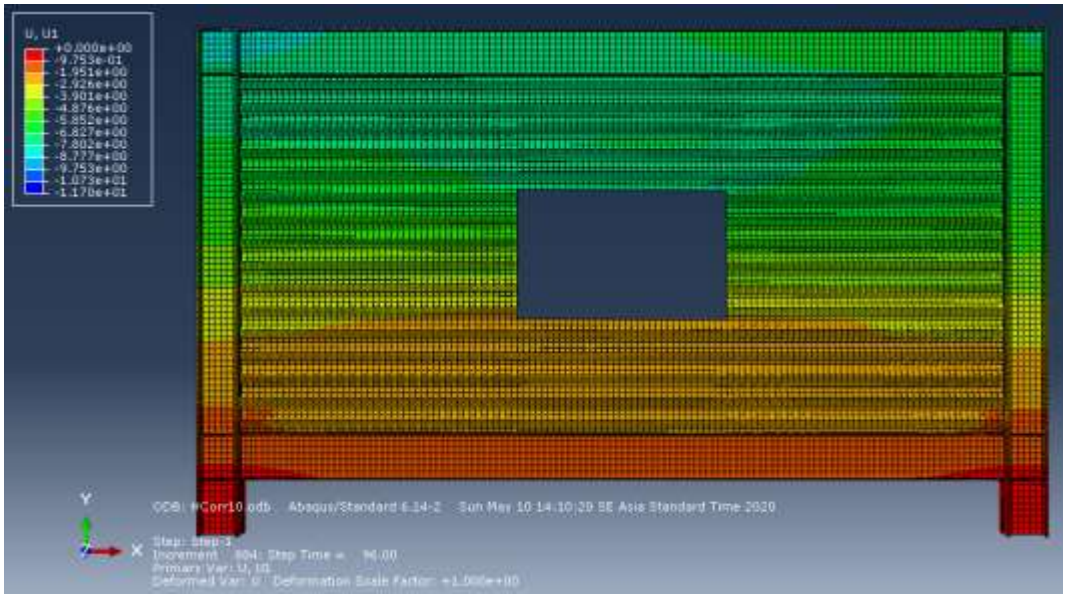
Gambar 4.67 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, WithOut Opening

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal B tanpa Opening adalah 8580.74 kN dan -8821.33 kN saat displacement mencapai 40.08 mm dan -39.02 mm.

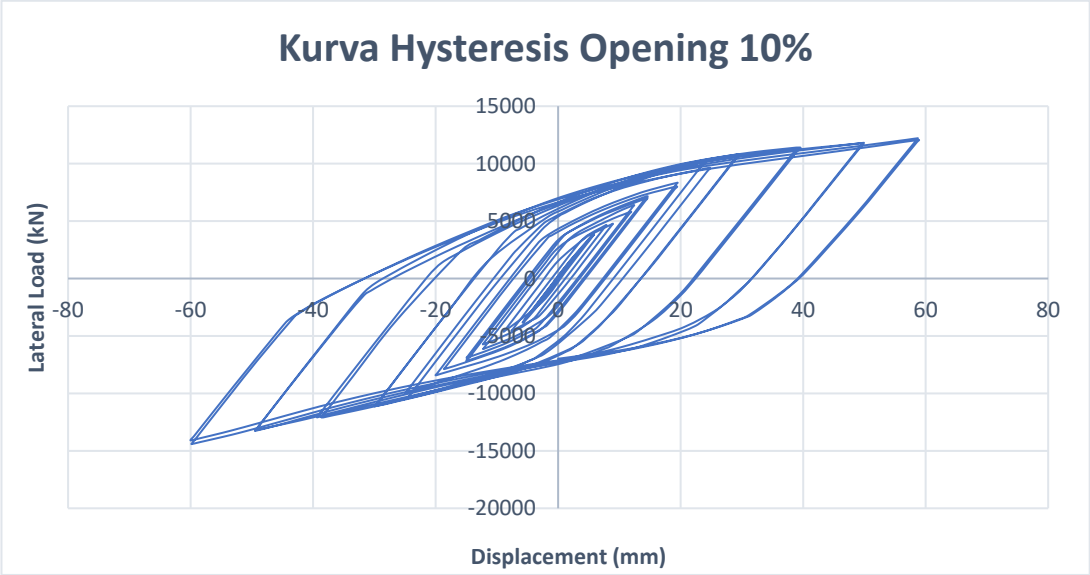
4.4.17 CSSW Horizontal B, With Opening 10%



Gambar 4.68 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, With Opening 10%



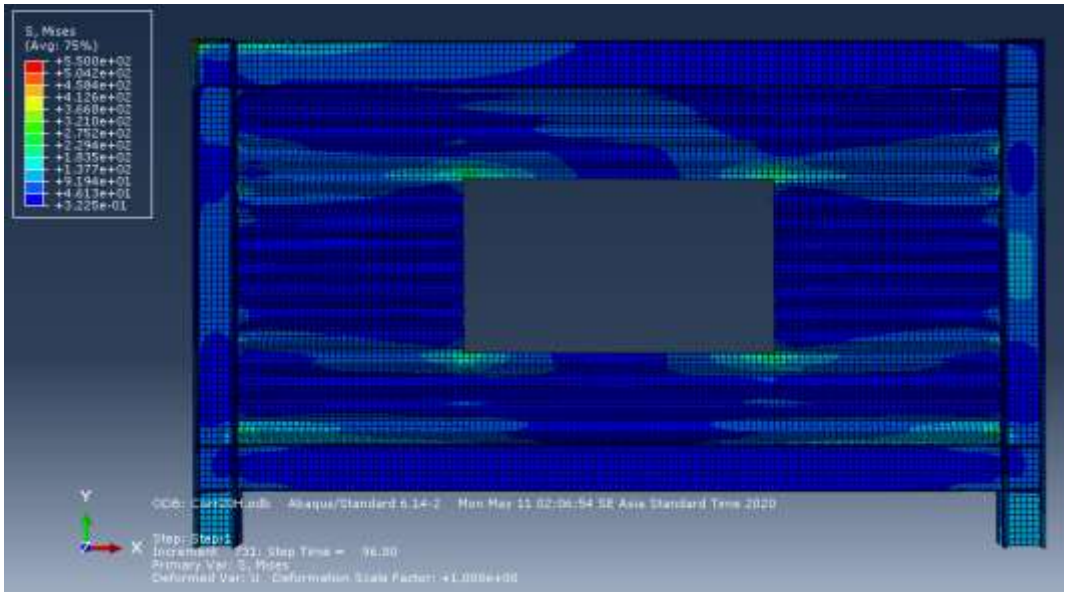
Gambar 4.69 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B,
With Opening 10%



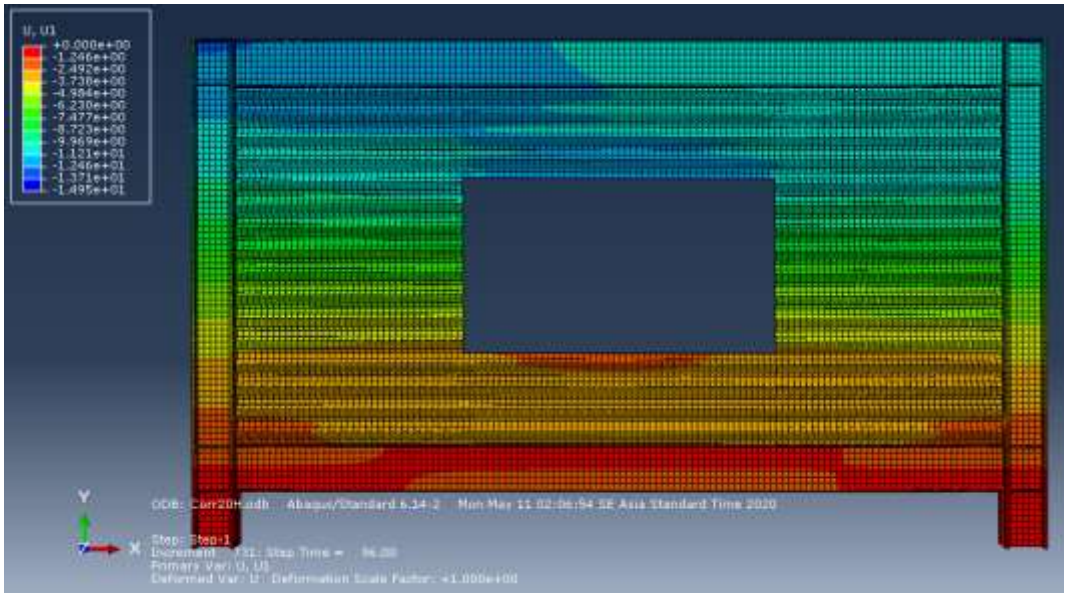
Gambar 4.70 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 10%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal B dengan Opening 10% adalah 12065.50 kN dan -14405.70 kN saat displacement mencapai 43.71 mm dan -43.09 mm.

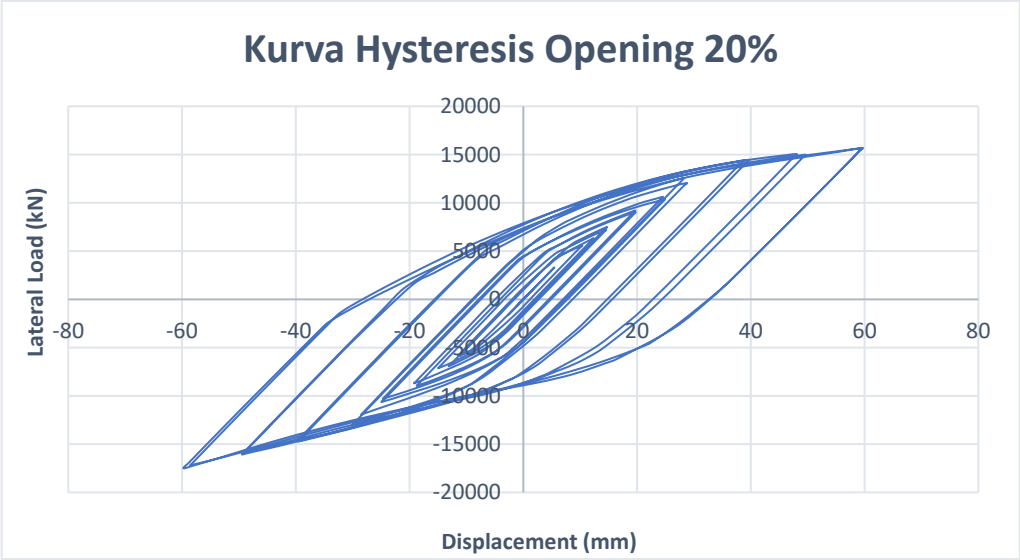
4.4.18 CSSW Horizontal B, With Opening 20%



Gambar 4.71 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B,
With Opening 20%



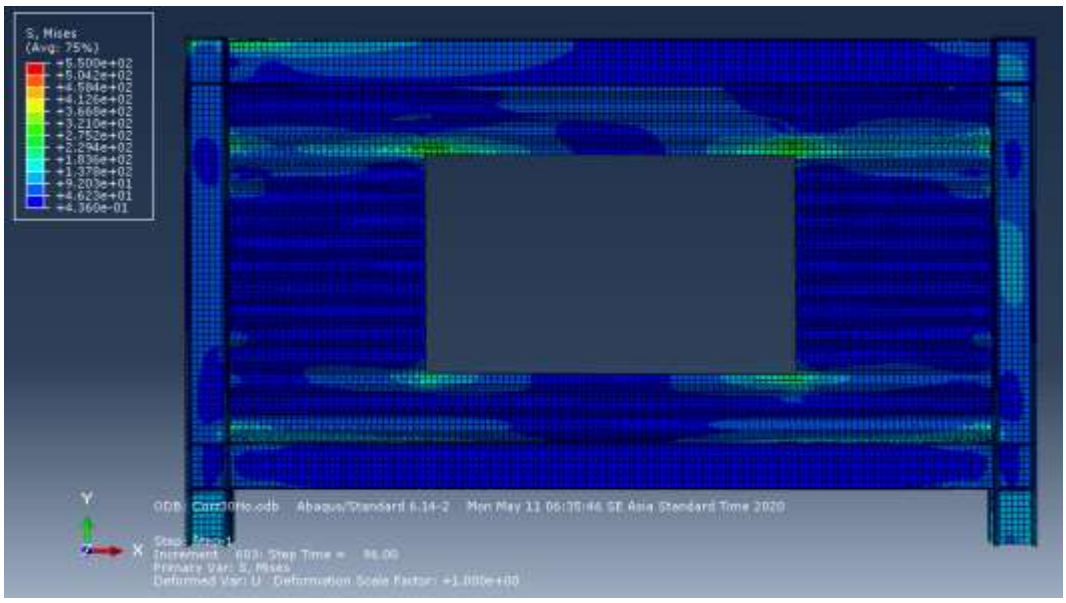
Gambar 4.72 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B,
With Opening 20%



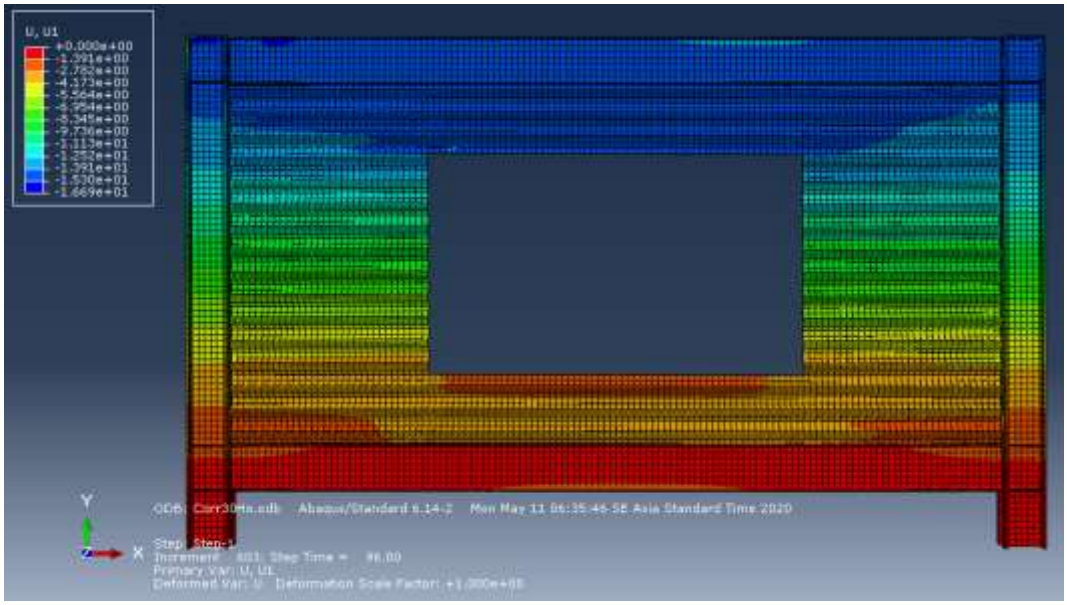
Gambar 4.73 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 20%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal B dengan Opening 20% adalah 15685.60 kN dan -17504.60 kN saat displacement mencapai 42.07 mm dan -41.65 mm.

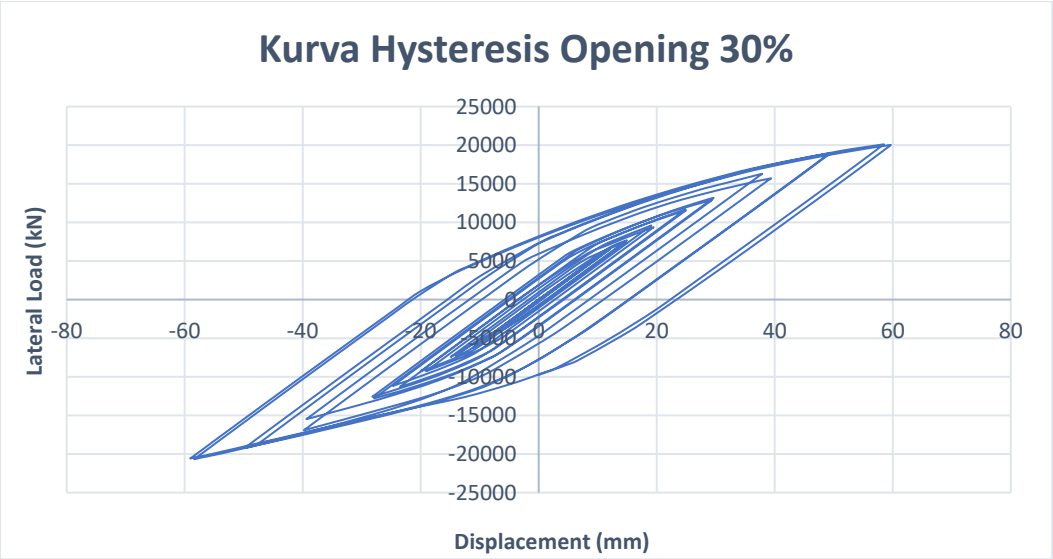
4.4.19 CSSW Horizontal B, With Opening 30%



Gambar 4.74 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B, With Opening 30%



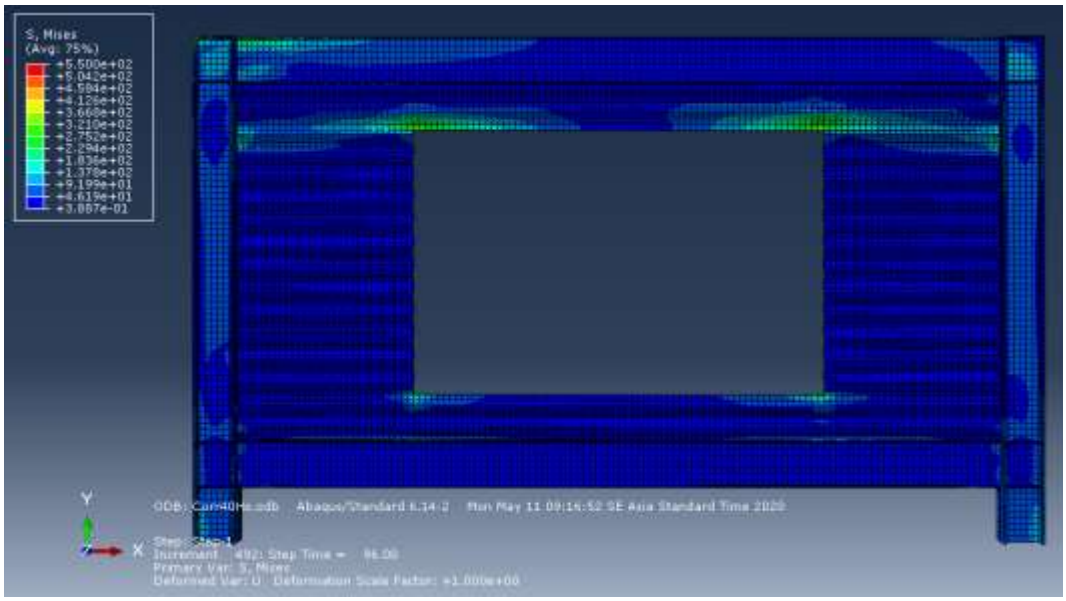
Gambar 4.75 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B,
With Opening 30%



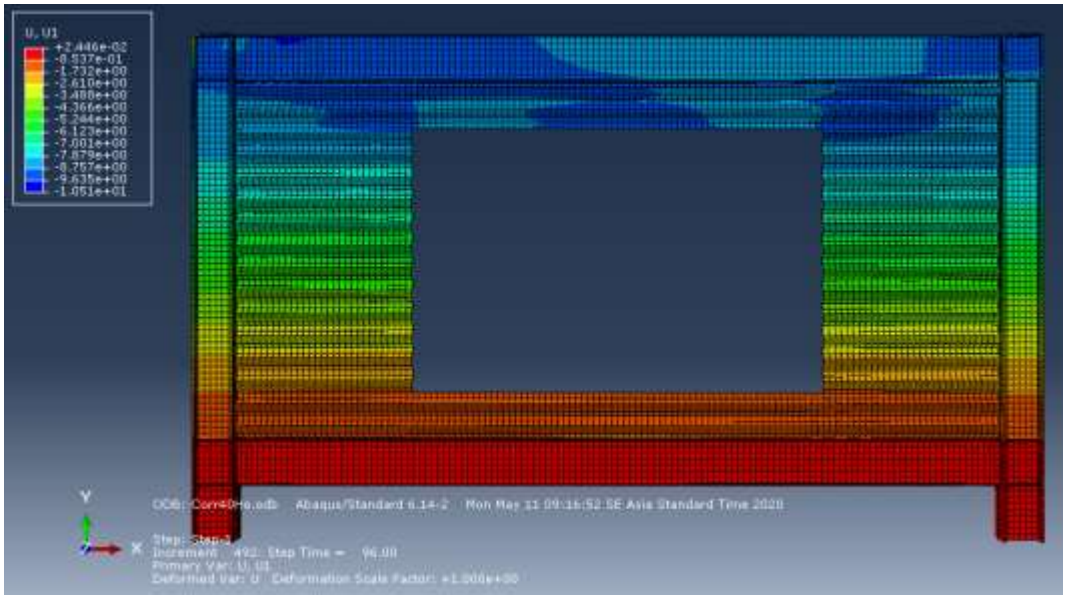
Gambar 4.76 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 30%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal B dengan Opening 30% adalah 20025.90 kN dan -20665.80 kN saat displacement mencapai 46.45 mm dan -48.47 mm.

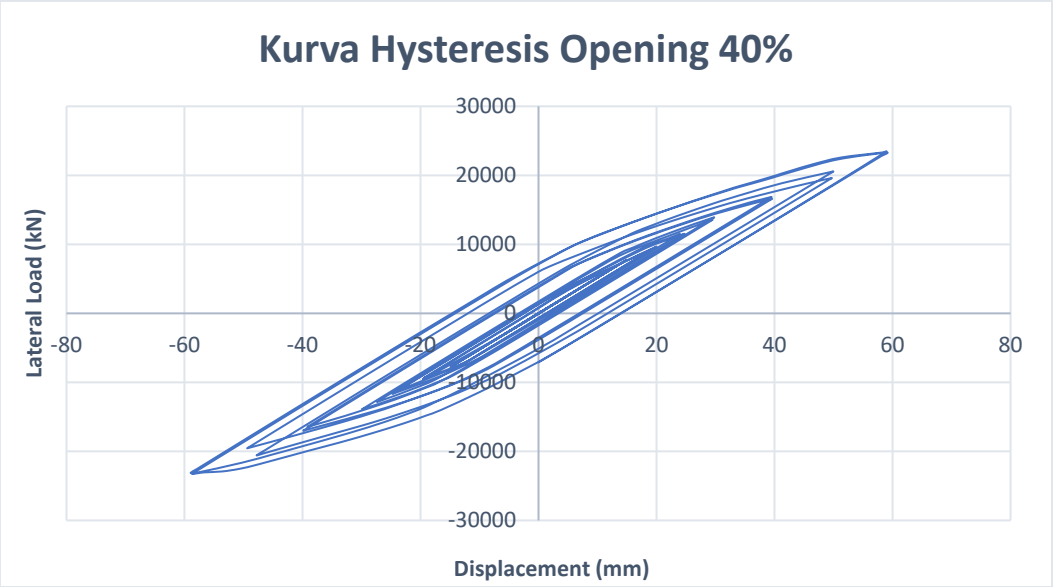
4.4.20 CSSW Horizontal B, With Opening 40%



Gambar 4.77 Pola Penyebaran Tegangan pada CSSW Horizontal B,
With Opening 40%

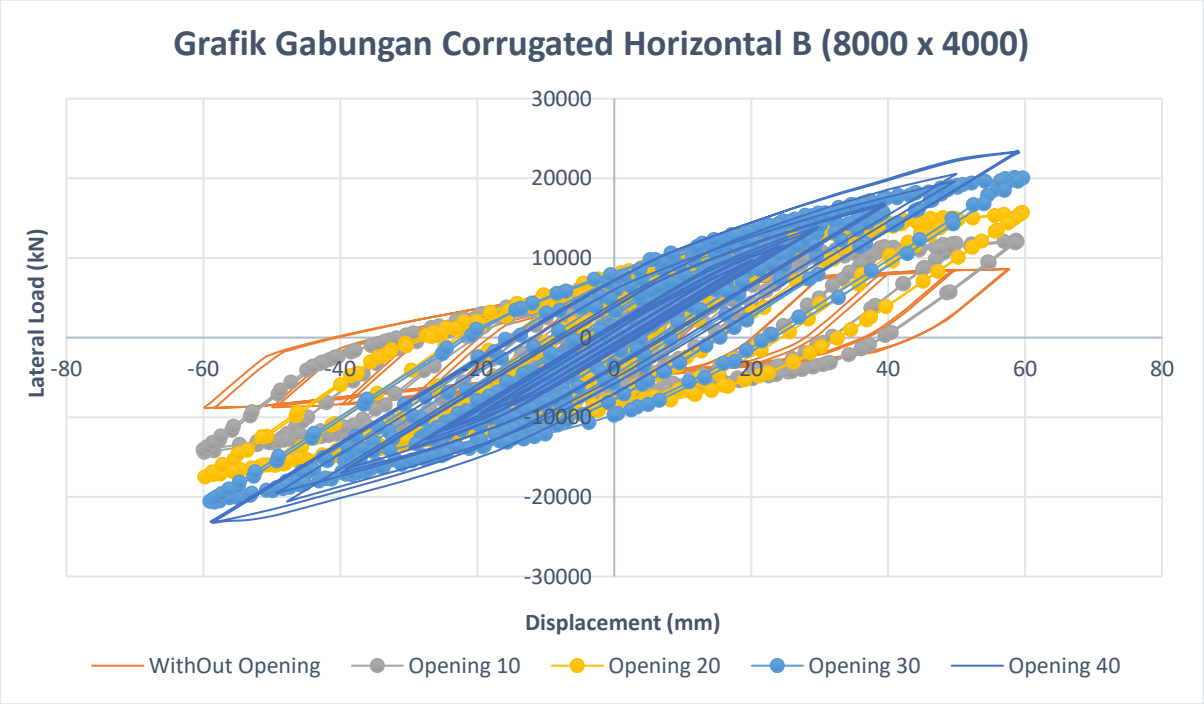


Gambar 4.78 Reaksi yang Terjadi pada CSSW Horizontal B,
With Opening 40%



Gambar 4.79 Kurva Hysteresis CSSW Horizontal B, With Opening 40%

Dari hasil analisis Finite Element dengan program bantu Abaqus 6.14, nilai gaya lateral maksimum yang diperoleh pada spesimen CSSW Horizontal B dengan Opening 40% adalah 23294.20 kN dan -23116.70 kN saat displacement mencapai 39.11 mm dan -39.52 mm.



Gambar 4.80 Grafik Gabungan Corrugated Horizontal B (8000 x 4000)

4.5 Rekapitulasi Nilai dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari setiap spesimen, berupa nilai gaya lateral, simpangan, nilai energi terdisipasi, dan nilai daktilitas dari *CSSW (Corrugated Steel Plate Shear Wall)*. Nilai gaya lateral dan simpangan dirangkum dalam Tabel 4.4 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Vertikal A

	Gaya Lateral (kN)	Vertikal A				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
Vertikal A	Nilai Leleh Pertama (+)	4149.54	2244.99	3929.39	5853.12	5527.51
	Nilai Leleh Pertama (-)	4300.55	2994.92	7228.04	7139.78	8164.33
	Gaya Lateral Maksimum (+)	6987.62	8519.93	15697.6	18944.2	20087.4
	Gaya Lateral Maksimum (-)	7315.48	9797.09	15491.2	19089.1	21738.1
	Nilai Tegangan Akhir (+)	6663.31	7658.87	11099.2	11874.3	13229.1
	Nilai Tegangan Akhir (-)	7132.62	8287.12	12581.6	14051.3	11628.2
	Simpangan (mm)	Vertikal A				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
	Simpangan saat Leleh Pertama (+)	3.91	3.62	3.66	4.13	4.38
	Simpangan saat Leleh Pertama (-)	5.84	5.15	7.05	8.43	8.41
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (+)	56.25	55.82	53.14	52.53	48.29
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (-)	58.85	48.46	47.79	49.35	34.65
	Simpangan Maksimum (+)	60.51	59.55	59.13	59.35	58.61
	Simpangan Maksimum (-)	60.83	59.05	59.38	58.35	59.45

Dari tabel diatas dapat diketahui, spesimen *CSSW* vertikal A dengan *opening* 40% menunjukkan nilai gaya lateral tertinggi sebesar 20087.4 kN dan -21738.1 kN, sedangkan spesimen *CSSW* vertikal A tanpa *opening* memiliki nilai gaya lateral paling rendah sebesar 6987.62 kN dan -7315.48 kN, tetapi memiliki nilai simpangan maksimum tertinggi sebesar 60.51 mm dan -60.83 mm.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Vertikal B

	Gaya Lateral (kN)	Vertikal B				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
Vertikal B	Nilai Leleh Pertama (+)	1769.43	1646.34	1186.59	5744.84	4516.68
	Nilai Leleh Pertama (-)	2579.38	3099.06	2923.88	6466.25	7602.25
	Gaya Lateral Maksimum (+)	6852.62	7815.27	6928.95	22463.3	24773.9
	Gaya Lateral Maksimum (-)	7283.89	7848.97	10331.3	23973.6	21975.3
	Nilai Tegangan Akhir (+)	5886.29	7568.64	6370.29	14286.5	14062.3
	Nilai Tegangan Akhir (-)	6633.94	7146.23	8912.31	15155.2	16380.4
	Simpangan (mm)	Vertikal B				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
	Simpangan saat Leleh Pertama (+)	3.6	3.4	4.2	4.8	5.04
	Simpangan saat Leleh Pertama (-)	5.6	6.7	6.7	6.8	7.31
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (+)	42.22	47.86	47.06	48.71	47.65
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (-)	48.53	48.29	46.51	35.59	38.57
	Simpangan Maksimum (+)	59.95	59.38	59.71	59.93	59.78
	Simpangan Maksimum (-)	59.87	59.16	58.44	58.36	59.28

Dari tabel diatas dapat diketahui, spesimen *CSSW* vertikal B dengan *opening* 40% menunjukkan nilai gaya lateral tertinggi sebesar 24773.9 kN dan -21975.3 kN, sedangkan spesimen *CSSW* vertikal B tanpa *opening* memiliki nilai gaya lateral

paling rendah sebesar 6852.62 kN dan -7283.89 kN, tetapi memiliki nilai simpangan maksimum tertinggi sebesar 59.95 mm dan -59.87 mm.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Horizontal A

	Gaya Lateral (kN)	Horizontal A				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
Horizontal A	Nilai Leleh Pertama (+)	552.95	2036.61	3278.22	2225.65	1282.26
	Nilai Leleh Pertama (-)	763.07	2542.11	5603.01	2650.76	2235.6
	Gaya Lateral Maksimum (+)	6997.91	7805.6	19963.3	7406.03	6899.37
	Gaya Lateral Maksimum (-)	7023.74	8105.81	18528.9	7408.21	7078.02
	Nilai Tegangan Akhir (+)	6764.99	7677.13	13166.1	7043.83	6734.62
	Nilai Tegangan Akhir (-)	6570.79	7953.84	13016	6967.82	6697.61
	Simpangan (mm)	Horizontal A				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
	Simpangan saat Leleh Pertama (+)	3.58	3.15	3.21	3.82	3.37
	Simpangan saat Leleh Pertama (-)	4.91	3.17	4.26	4.17	4.49
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (+)	51.59	50.46	47.74	48.59	46.88
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (-)	50.89	48.94	48.16	47.44	46.7
	Simpangan Maksimum (+)	59.02	59.79	59.97	59.83	58.54
	Simpangan Maksimum (-)	59.07	58.04	59.32	59.89	59.98

Dari tabel diatas dapat diketahui, spesimen *CSSW* horizontal A dengan *opening* 20% menunjukkan nilai gaya lateral tertinggi sebesar 19963.3 kN dan -18528.9 kN, dan memiliki nilai simpangan maksimum tertinggi sebesar 59.97 mm dan -59.32 mm. Sedangkan spesimen *CSSW* horizontal A dengan *opening* 40% memiliki nilai gaya lateral paling rendah sebesar 6899.37 kN dan -7078.02 kN.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Nilai Gaya Lateral dan Simpangan Horizontal B

	Gaya Lateral (kN)	Horizontal B				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
Horizontal B	Nilai Leleh Pertama (+)	3027.24	3071.07	4584.37	5821.88	3950.08
	Nilai Leleh Pertama (-)	2833.69	3986.96	6143.84	6237.81	4825.85
	Gaya Lateral Maksimum (+)	8580.74	12065.5	15685.6	20025.9	23294.2
	Gaya Lateral Maksimum (-)	8821.33	14405.7	17504.6	20665.8	23116.7
	Nilai Tegangan Akhir (+)	7574.68	10538.7	14097.4	15508.8	16305.3
	Nilai Tegangan Akhir (-)	7653.39	10233.2	12859.8	15302.5	16916.9
	Simpangan (mm)	Horizontal B				
		Without Opening	Opening 10%	Opening 20%	Opening 30%	Opening 40%
	Simpangan saat Leleh Pertama (+)	3.41	3.21	3.27	3.58	4.05
	Simpangan saat Leleh Pertama (-)	5.45	3.66	4.31	5.22	5.98
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (+)	40.08	43.71	42.07	46.45	39.11
	Simpangan saat Gaya Lateral Maks (-)	39.02	43.09	41.65	48.47	39.52
	Simpangan Maksimum (+)	57.58	58.86	59.57	59.68	59.04
	Simpangan Maksimum (-)	58.34	59.84	59.75	58.38	58.12

Dari tabel diatas dapat diketahui, spesimen *CSSW* horizontal B dengan *opening* 40% menunjukkan nilai gaya lateral tertinggi sebesar 23294.2 kN dan -23116.7 kN, sedangkan spesimen *CSSW* horizontal B tanpa *opening* memiliki nilai gaya lateral paling rendah sebesar 8580.74 kN dan -8821.33 kN, tetapi memiliki nilai simpangan maksimum tertinggi sebesar 59.95 mm dan -59.87 mm.

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		Energi Terdisipasi (kNm)	Rata-Rata Energi Terdisipasi (kNm)
CSSW Vertikal A	Without Opening	6842.015062	10345.36176
	Opening 10%	7857.082385	
	Opening 20%	11371.35862	
	Opening 30%	12169.40316	
	Opening 40%	13486.94959	
CSSW Vertikal B	Without Opening	6056.817882	9875.25766
	Opening 10%	7748.147423	
	Opening 20%	6577.989923	
	Opening 30%	14597.7417	
	Opening 40%	14395.59138	
CSSW Horizontal A	Without Opening	6935.391583	8475.048835
	Opening 10%	7868.199604	
	Opening 20%	13442.46185	
	Opening 30%	7220.180304	
	Opening 40%	6909.01083	
CSSW Horizontal B	Without Opening	7765.937506	13076.98066
	Opening 10%	10772.39661	
	Opening 20%	14373.02712	
	Opening 30%	15823.58918	
	Opening 40%	16649.95286	

Dari Tabel 4.8 diperoleh nilai energi terdisipasi rata-rata dari setiap spesimen sebagai berikut, spesimen *CSSW* Vertikal A memiliki nilai energi terdisipasi rata-rata sebesar 10345.36176 kNm, spesimen *CSSW* Vertikal B memiliki nilai energi terdisipasi rata-rata sebesar 9875.25766 kNm, spesimen *CSSW* Horizontal A memiliki nilai energi terdisipasi rata-rata sebesar 8475.048835 kNm dan *CSSW* Horizontal B memiliki nilai terdisipasi sebesar 13076.98066 kNm.

Dapat terlihat bahwa spesimen *CSSW* Horizontal B memiliki nilai energi terdisipasi rata-rata yang paling tinggi sebesar 13076.98066 kNm. Spesimen *CSSW* Horizontal B memiliki nilai terdisipasi lebih banyak daripada spesimen *CSSW* Vertikal A, sedangkan spesimen *CSSW* Vertikal A memiliki nilai energi terdisipasi lebih besar daripada spesimen *CSSW* Vertikal B. Juga dapat terlihat bahwa spesimen *CSSW* Vertikal B memiliki energi terdisipasi lebih besar daripada spesimen *CSSW* Horizontal A.

Sehingga dapat disimpulkan, *CSSW* Vertikal A memiliki nilai energi disipasi lebih besar dari *CSSW* Horizontal A dan *CSSW* Horizontal B memiliki nilai energi disipasi lebih besar dari *CSSW* Vertikal B.

Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Daktilitas Setiap Spesimen

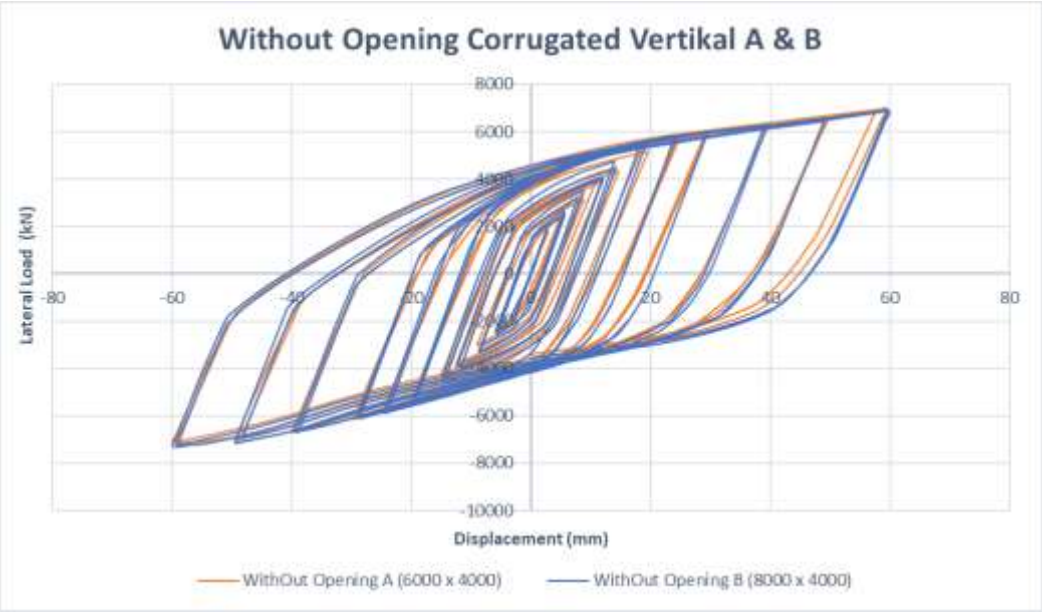
Spesimen		Simpangan Saat		Daktilitas
		Leleh Pertama (+)	Ultimate (+)	
CSSW Vertikal A	Without Opening	3.91	56.25	14.38618926
	Opening 10%	3.62	55.82	15.4198895
	Opening 20%	3.66	53.14	14.51912568
	Opening 30%	4.13	52.53	12.71912833
	Opening 40%	4.38	48.29	11.02511416
CSSW Vertikal B	Without Opening	3.6	42.22	11.72777778
	Opening 10%	3.4	47.86	14.07647059
	Opening 20%	4.2	47.06	11.2047619
	Opening 30%	4.8	48.71	10.14791667
	Opening 40%	5.04	47.65	9.454365079
CSSW Horizontal A	Without Opening	3.58	51.59	14.41061453
	Opening 10%	3.15	50.46	16.01904762
	Opening 20%	3.21	47.74	14.87227414
	Opening 30%	3.82	48.59	12.71989529
	Opening 40%	3.37	46.88	13.91097923
CSSW Horizontal B	Without Opening	3.41	40.08	11.75366569
	Opening 10%	3.21	43.71	13.61682243
	Opening 20%	3.27	42.07	12.86544343
	Opening 30%	3.58	46.45	12.97486034
	Opening 40%	4.05	39.11	9.656790123

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.

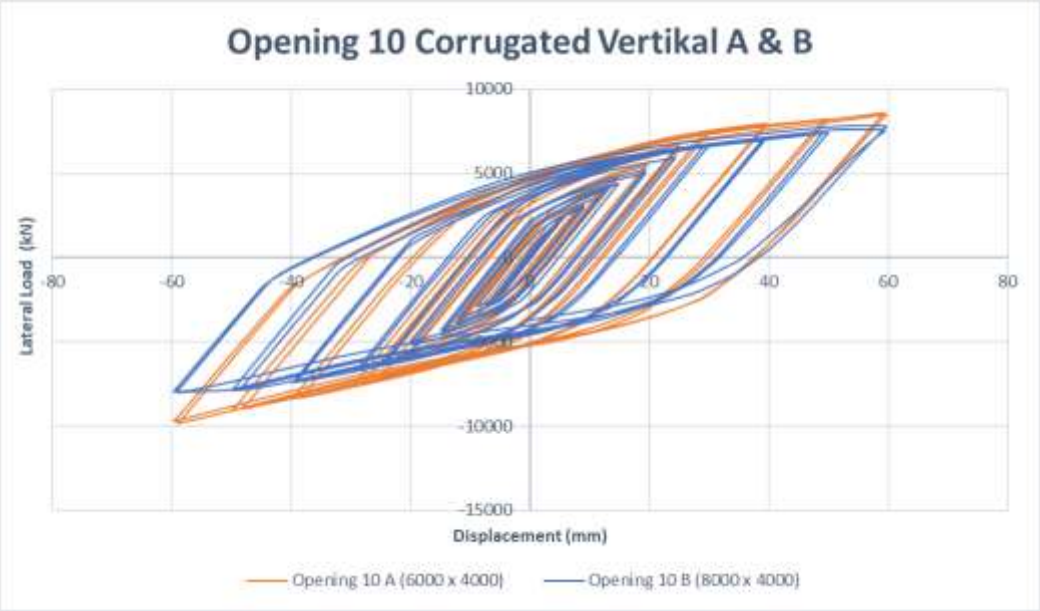
Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa spesimen *CSSW* Vertikal A memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 15.4198895 dan untuk spesimen *CSSW* Vertikal B memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 14.07647059. Sedangkan untuk *CSSW* Horizontal A memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 16.01904762 dan untuk spesimen *CSSW* Horizontal B memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 13.61682243. Sehingga dapat disimpulkan nilai daktilitas tertinggi untuk setiap spesimen berada pada *CSSW* dengan opening 10%.

Beberapa hal lain yang dapat menjadi perhatian utama dalam penerapan metode dari setiap spesimen ini, yang dapat digunakan sebagai pembanding adalah perilaku *boundary element* dan pola kegagalan dari spesimen itu sendiri.. Setiap spesimen menggunakan *redced beam section* (*RBS*) pada balok di sisi atas dan bawah spesimen, sehingga akan sangat mempengaruhi pola kegagalan dari *CSSW* itu sendiri. Adapun penggunaan *RBS* dimaksudkan agar *steel plate* tidak dengan segera mengalami proses *buckling* dan *tearing*, terutama di sudut *opening* pada tahap-tahap pembebanan awal. Adanya *RBS* memungkinkan penyebaran tegangan secara lebih merata terhadap seluruh bagian *corrugated steel plate shear wall*, sehingga setiap bagian pada *corrugated steel plate shear wall* mengalami *buckling* pada saat yang hampir bersamaan, namun tidak dalam tahap pembebanan dengan nilai yang kecil. Tegangan umumnya terkonsentrasi tepat di sisi-sisi *opening*. Namun, dengan adanya *RBS*, konsentrasi tegangan tidak terpusat pada sisi *opening* saja, melainkan juga pada *RBS* pada *VBE*-nya.

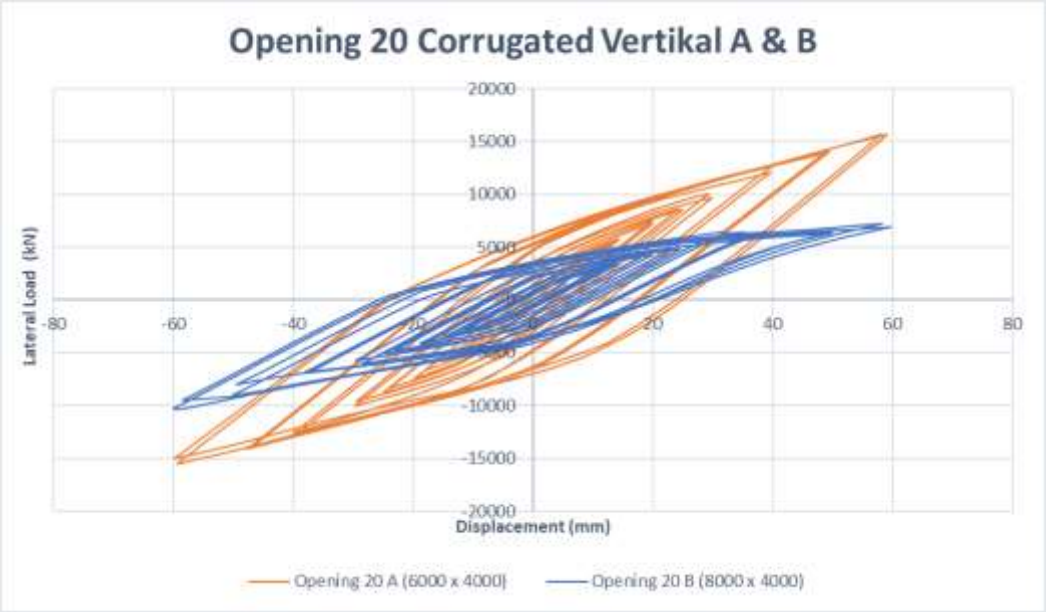
Lampiran



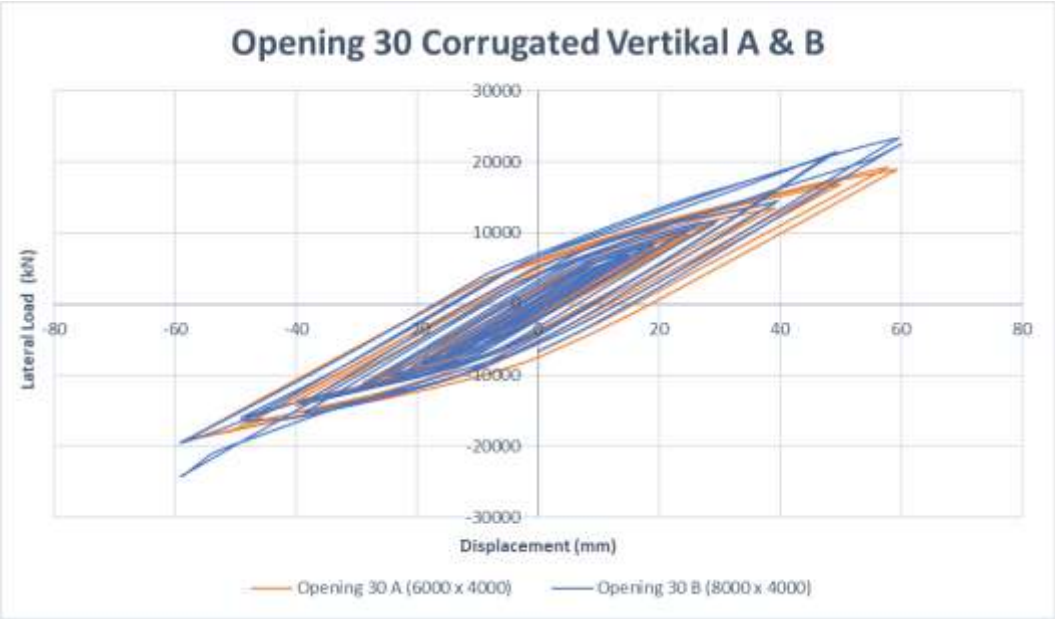
Gambar 4.81 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B without Opening



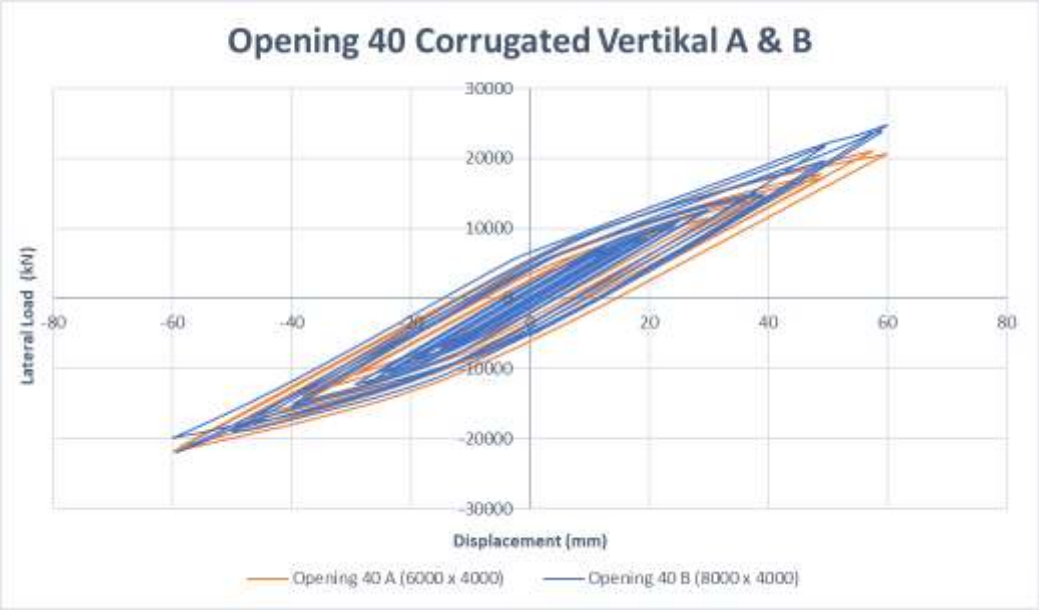
Gambar 4.82 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 10%



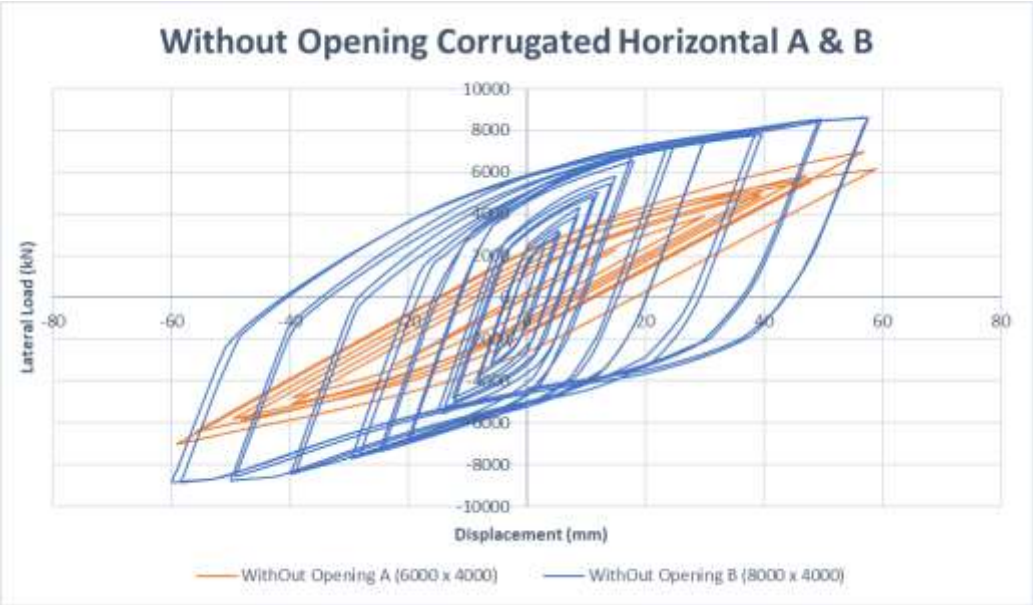
Gambar 4.83 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 20%



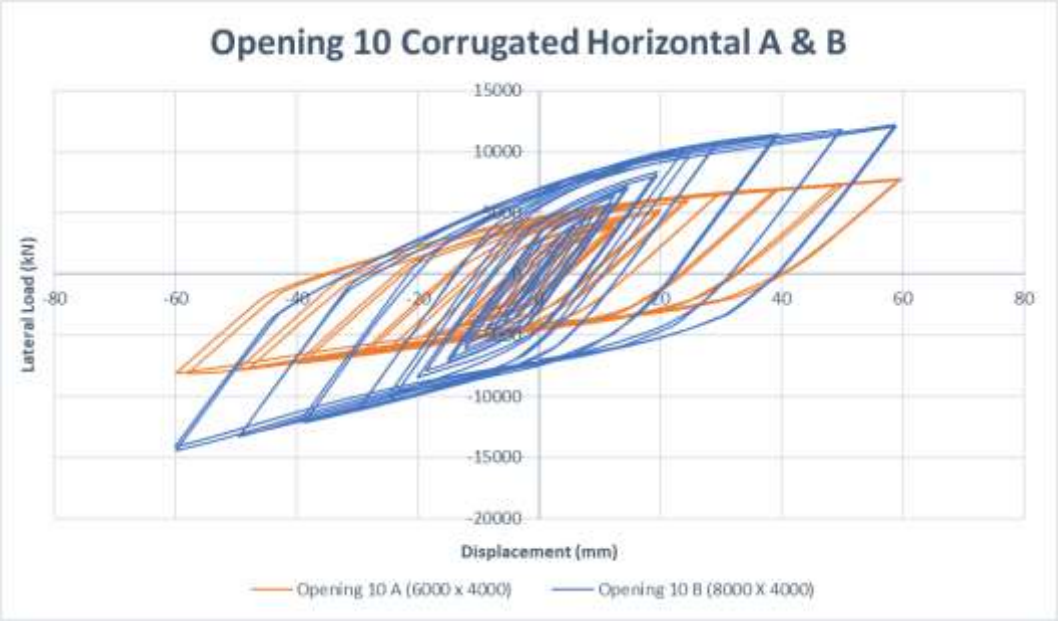
Gambar 4.84 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 30%



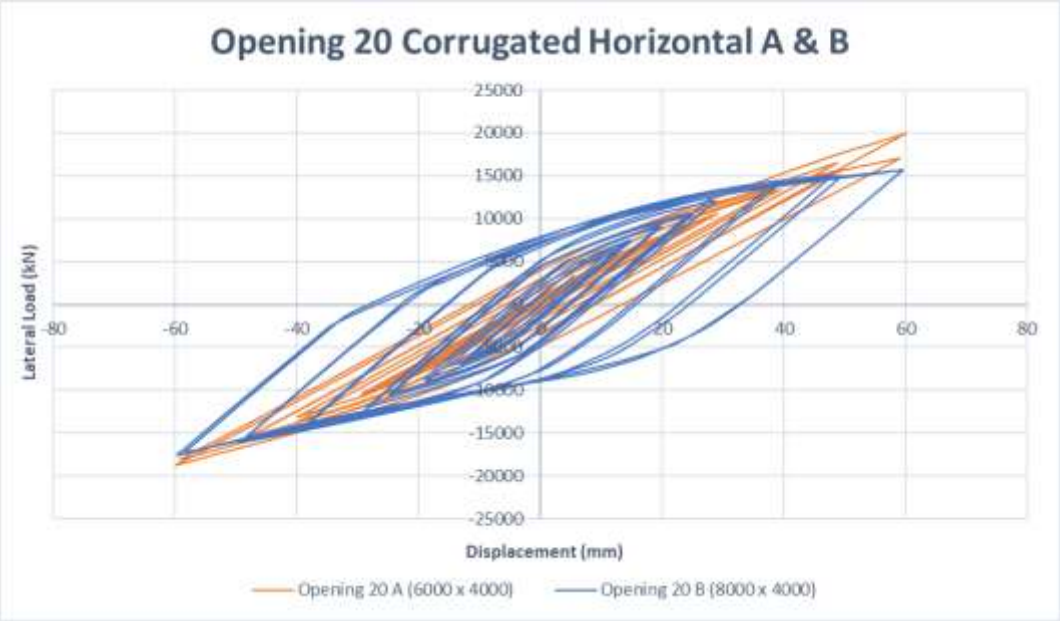
Gambar 4.85 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan B with Opening 40%



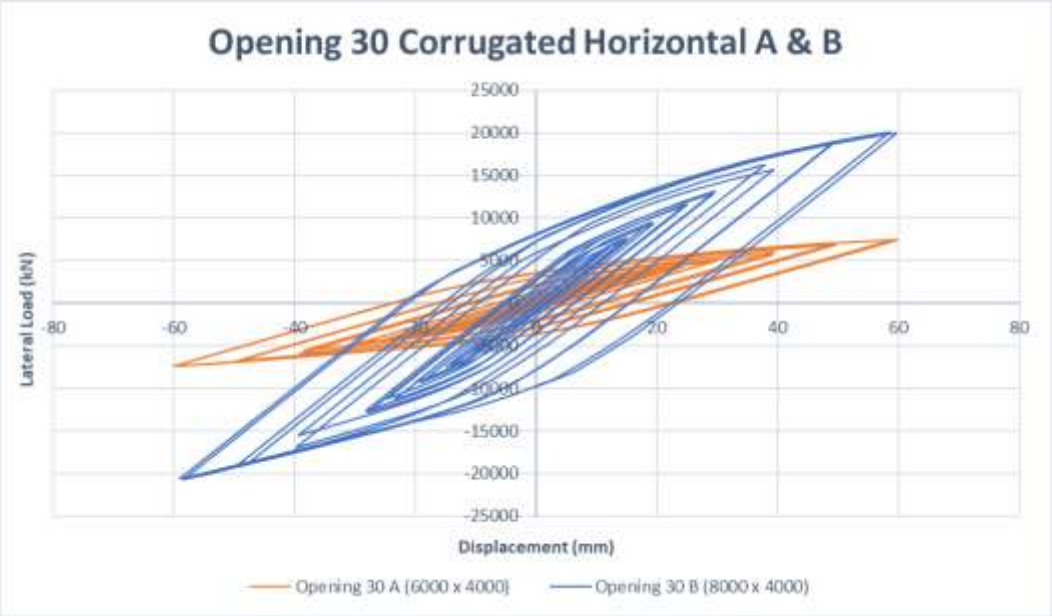
Gambar 4.86 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B without Opening



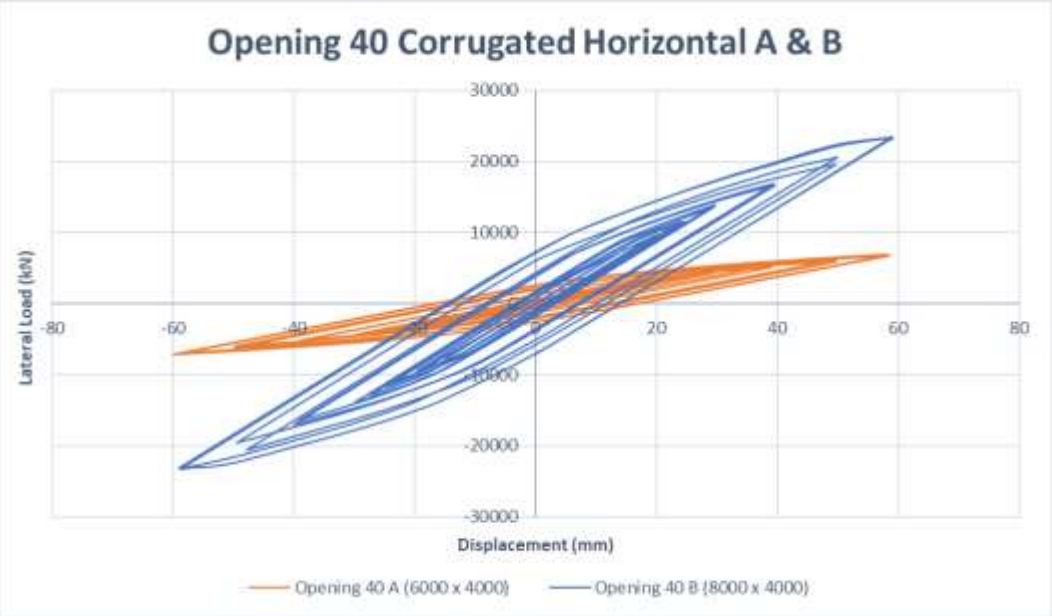
Gambar 4.87 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 10%



Gambar 4.88 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 20%

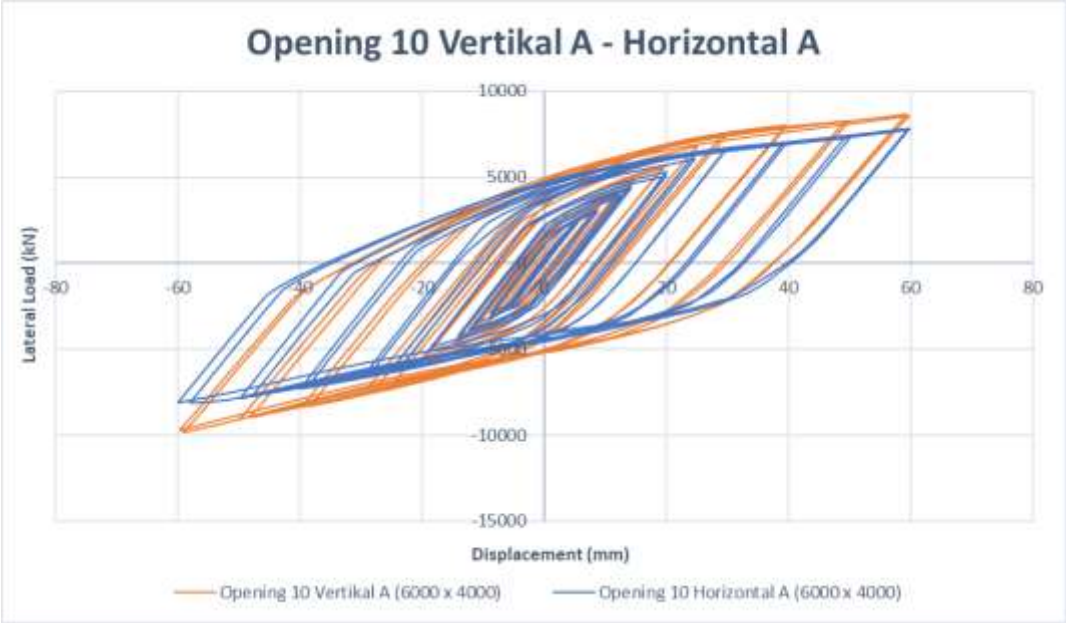


Gambar 4.89 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 30%

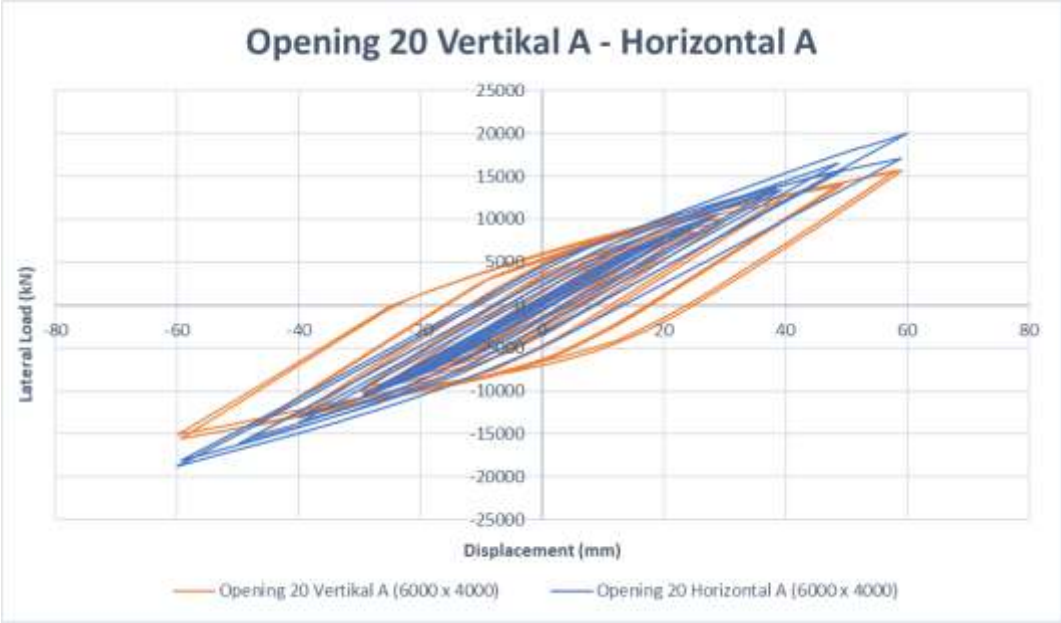


Gambar 4.90 Grafik Gabungan CSSW Horizontal A dan B with Opening 40%

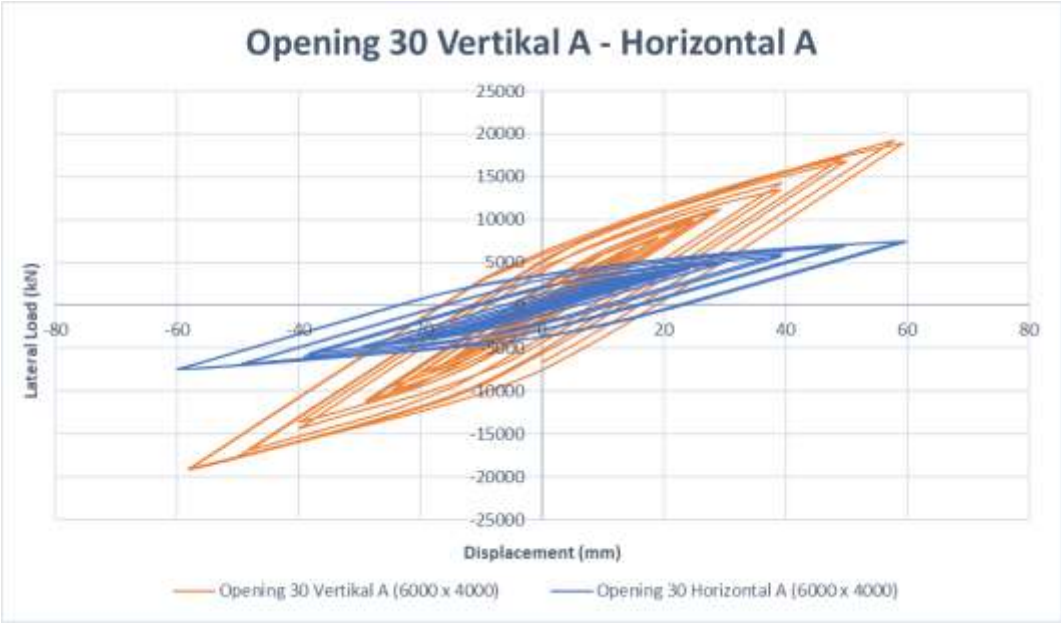
Gambar 4.91 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A without Opening



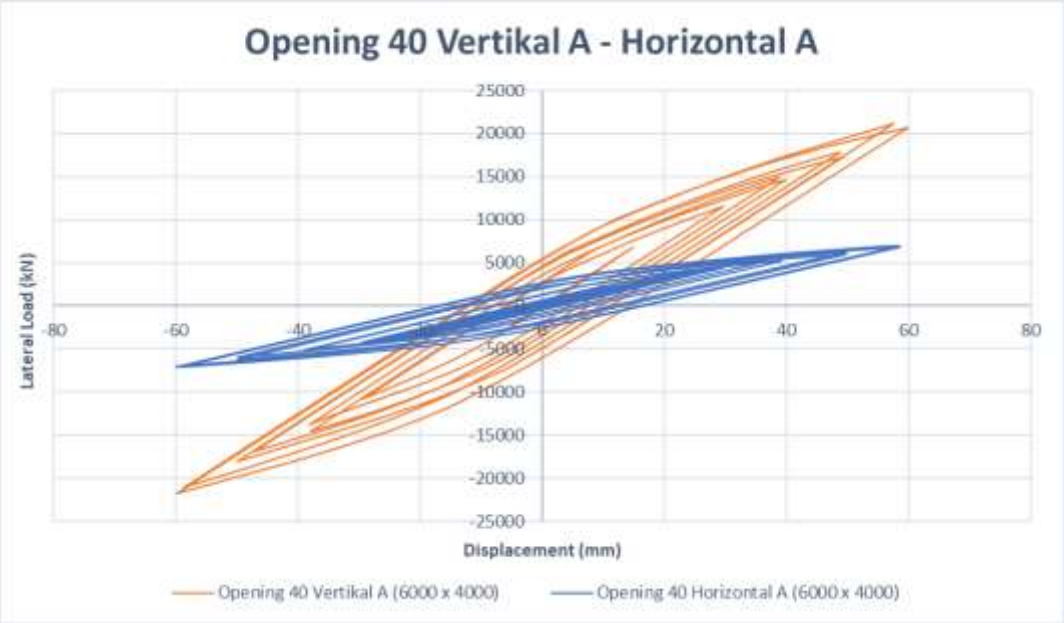
Gambar 4.92 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 10%



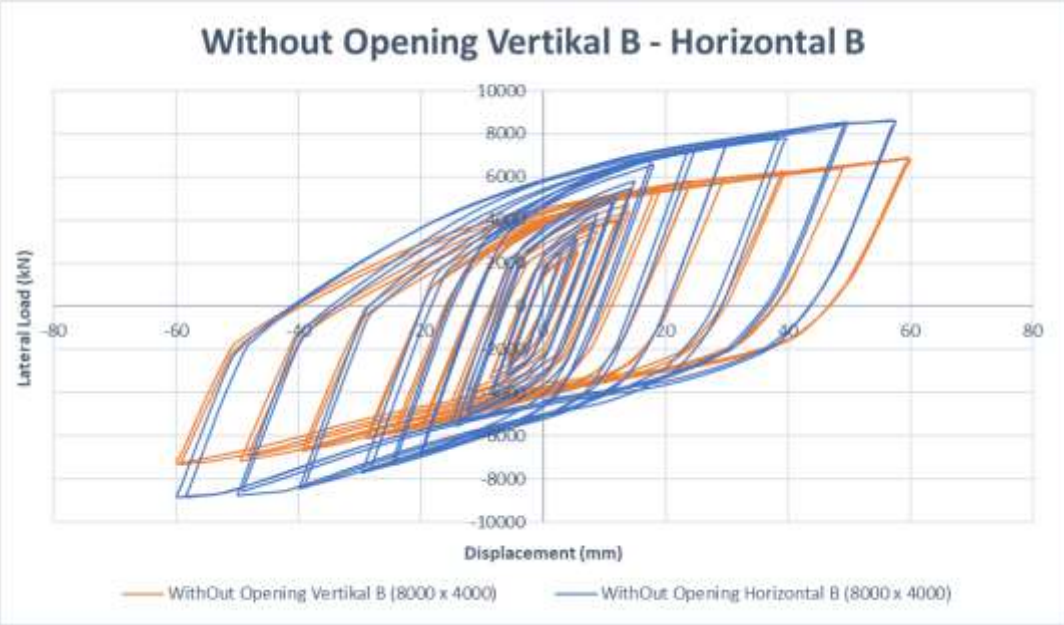
Gambar 4.93 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 20%



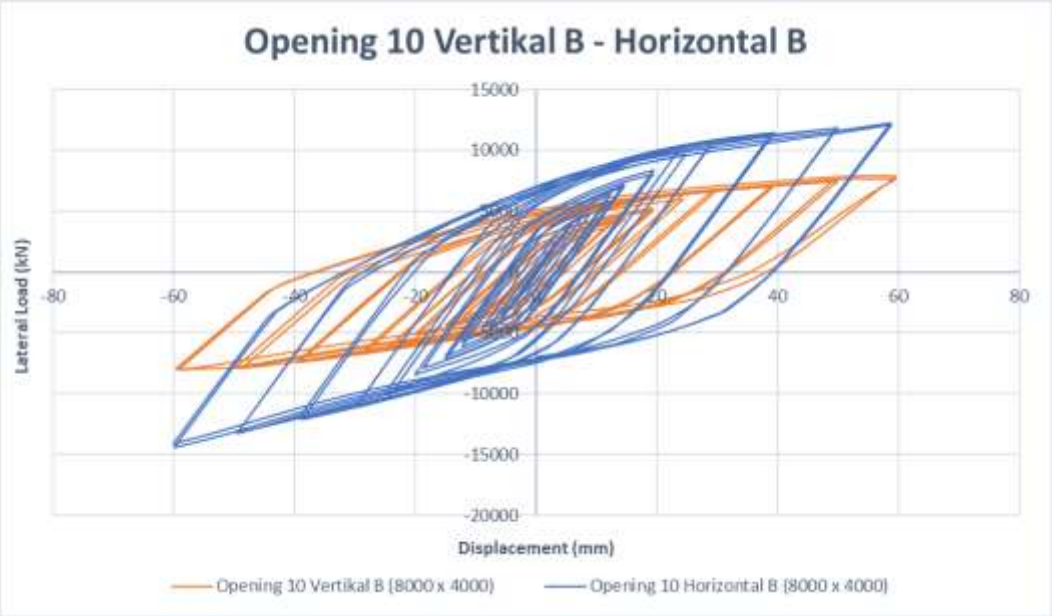
Gambar 4.94 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 30%



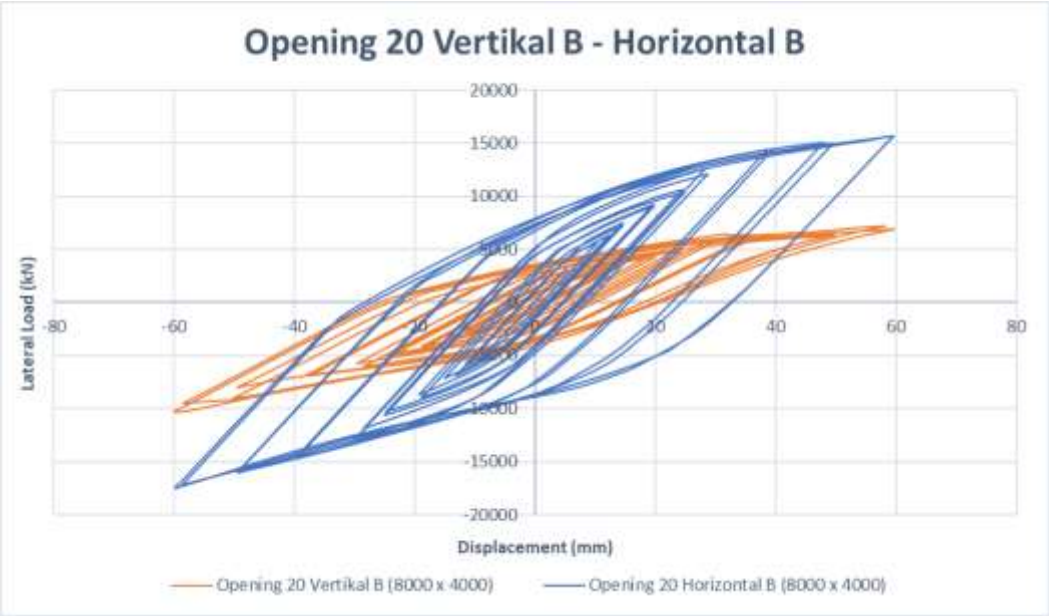
Gambar 4.95 Grafik Gabungan CSSW Vertikal A dan Horizontal A with Opening 40%



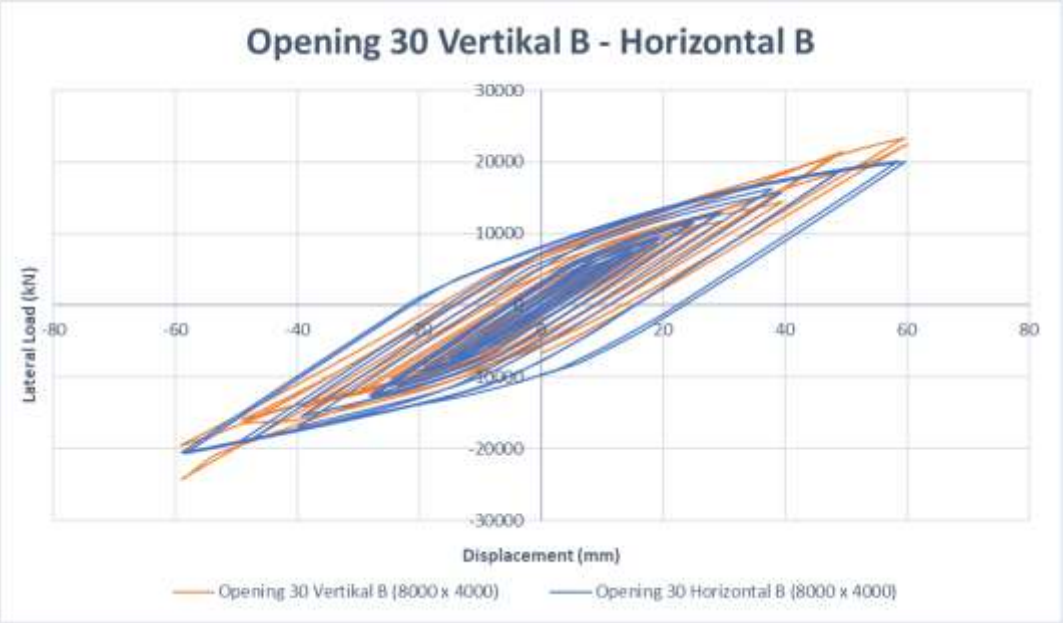
Gambar 4.96 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B without Opening



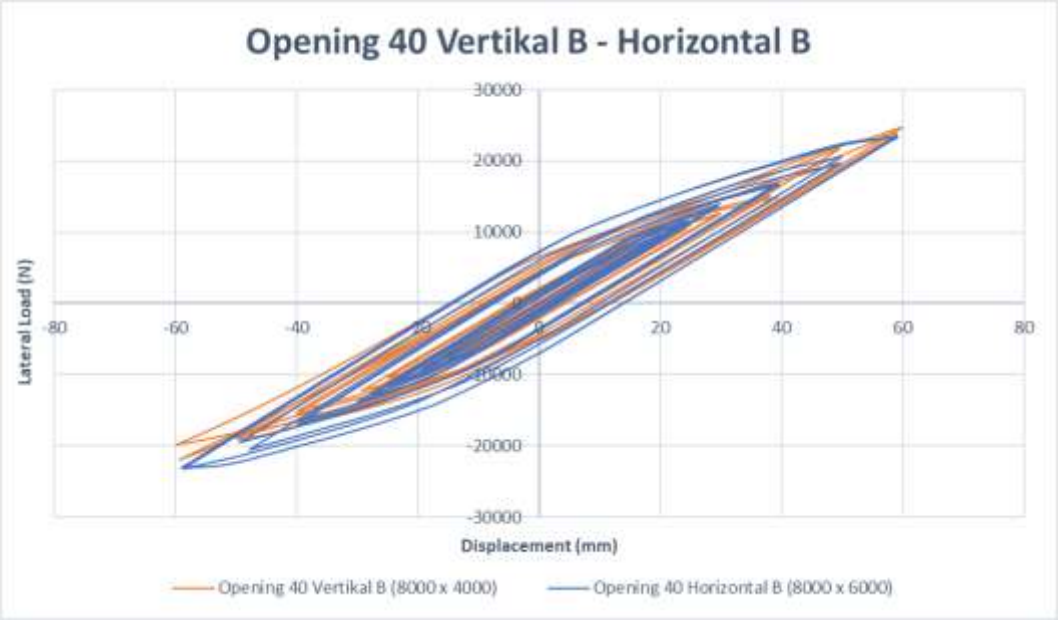
Gambar 4.97 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 10%



Gambar 4.98 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 20%



Gambar 4.99 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 30%



Gambar 4.100 Grafik Gabungan CSSW Vertikal B dan Horizontal B with Opening 40%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil analisa menunjukkan, performa *CSSW* terhadap gaya lateral mampu meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur.
2. *Wall Opening* pada *CSSW* sangat berpengaruh untuk meningkatkan kapasitas struktur, seperti penyebaran tegangan dan daktilitas struktur. Spesimen *CSSW* Horizontal B memiliki nilai disipasi energi rata-rata tertinggi, sebesar 13076.9 kNm. *CSSW* Vertikal A memiliki nilai energi disipasi lebih besar dari *CSSW* Horizontal A dan *CSSW* Horizontal B memiliki nilai energi disipasi lebih besar dari *CSSW* Vertikal B. Spesimen *CSSW* Vertikal A memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 15.4 dan untuk spesimen *CSSW* Vertikal B memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 14.1. Sedangkan untuk *CSSW* Horizontal A memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 16.0 dan untuk spesimen *CSSW* Horizontal B memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 13.6. Sehingga dapat disimpulkan nilai daktilitas tertinggi untuk setiap spesimen berada pada *CSSW* dengan opening 10%.
3. Persentase ukuran *opening* pada *CSSW* akan menghasilkan perbedaan yang bervariatif pada performa *CSSW* itu sendiri secara keseluruhan. Persentase *opening* yang semakin besar dan dimensi *CSSW* yang beragam bukan merupakan faktor utama dari performa *CSSW* itu sendiri, selama rasio dari persentase *opening* tersebut dipertahankan. Persentase opening yang di rekomendasikan untuk *CSSW* adalah 10% dari dimensi *CSSW* itu sendiri karena memiliki nilai daktilitas dan disipasi energi yang besar untuk menahan gaya lateral.
4. *CSSW* Vertikal dan *CSSW* Horizontal masing-masing mampu meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur. Untuk dimensi *CSSW* yang lebih kecil direkomendasikan menggunakan *CSSW* dengan arah Vertikal, sedangkan untuk dimensi *CSSW* yang lebih besar, lebih direkomendasikan menggunakan *CSSW* dengan Horizontal karena lebih

efektif dalam penyebaran tegangan, daktilitas serta memiliki nilai disipasi energi yang besar sehingga mampu meningkatkan kapasitas struktur.

5. *Reduced beam section (RBS)* memungkinkan penyebaran tegangan secara lebih merata terhadap seluruh bagian *corrugated steel plate shear wall (CSSW)*, sehingga setiap bagian pada *CSSW* mengalami *buckling* pada saat yang hampir bersamaan. Oleh sebab itu dengan menggunakan *RBS* pada setiap balok akan sangat mempengaruhi pola penyebaran tegangan dan *failure mode* pada *steel plate* itu sendiri.

5.2 Saran

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

1. Sebagai validasi dari pemodelan pada program bantu Finite Element ini sebaiknya dilakukan penelitian eksperimental dan pengujian pada laboratorium.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kombinasi *CSSW* dan *opening* yang lebih bervariasi pada *shear wall* di kemudian hari, mengingat penelitian ini hanya sebatas analisa program elemen hingga.

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

Alireza Farzampour, Iman Mansouri, Chang-Hwan Lee, Hyoung-Bo Sim, Jong Wan Hu. (2018) "Analysis and Desain Recommendation for Corrugated Steel Plate Shear Walls". *ELSEVIER Thin-Walled Structures* no. 132 pp. 658-666.

Alireza Farzampour, Jeffrey A. Laman. (2015). "Behavior Prediction of Corrugated Steel Plate Shear Walls with Openings". *ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research* 114 pp. 258-268.

American Institute of Steel Construction (AISC) 360. (2016). "Spesification 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 propertiesof structuralsteels 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 Ivestigation". *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.

Wei Wang, Yingzi Ren, Zheng Lu, Jiangliang Song, Bin Han, Ying Zhou. (2019). "Experimental Study of the Hysteretic Behaviour of Corrugated Steel Plate Shear Walls and Steel Plate Reinforced Concrete Composite Shear Walls". *ELSEVIER Thin-Walled Structures* no. 160 pp. 136-152.

BIODATA PENULIS

Ezra Pasereng Rambak, penulis dilahirkan di Kendari, 12 April 1993, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK-Kuncup Pertiwi Kendari (1999), SD Negeri 16 Baruga (2005), SMP Negeri 1 Kendari (2008), dan SMA Negeri 1 Kendari (2010). Setelah lulus dari pendidikan SMA tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan jenjang sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil Universitas Halu Oleo Kendari. Penulis mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) setelah menyelesaikan pendidikan sarjana di tahun 2014 dengan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "*Analisis Peningkatan Temperatur (Pasca Kebakaran) Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Studi Kasus Mall Makassar*". Pada tahun 2017, penulis melanjutkan Pendidikan jenjang Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya program studi teknik sipil, bidang keahlian struktur.

Email : rambakpasereng@yahoo.com / 085693283388 / @ezra_pasereng