

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* KELANGSINGAN MENENGAH MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN
EXPERIMENTAL STUDY OF SQUARE HOLLOW SECTION MEDIUM SLENDERNESS ROOF TRUSS WITH VARIATIONS NUMBER OF CONNECTION BOLTS

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

**Andra Rifaldi Oktavianur
18511196**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2022

TUGAS AKHIR

**STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* KELANGSINGAN SEDANG
MENGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA
DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN
*EXPERIMENTAL STUDY OF SQUARE HOLLOW
SECTION MEDIUM SLENDERNESS ROOF TRUSS
WITH VARIATIONS NUMBER OF CONNECTION
BOLTS***



**ANDRA RIFALDI OKTAVIANUR
18511196**

**Menyetujui:
Dosen Pembimbing**

**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
Tanggal :**

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* KELANGSINGAN TINGGI MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN ***EXPERIMENTAL STUDY OF SQUARE HOLLOW SECTION HIGH SLENDERNESS ROOF TRUSS WITH VARIATIONS NUMBER OF CONNECTION BOLTS***

Disusun oleh

Andra Rifaldi Oktavianur
18511196

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana
Teknik sipil

Diuji pada tanggal
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Penguji I

Penguji II

Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
NIK: 155111305

Sarwidi, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.
NIK: 845110101

Helmy Akbar Bale, Ir., M.T.
NIK: 885110105

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 24 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Andra Rifaldi Oktavianur

(18511196)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *STUDI EKSPERIMENTAL RANGKA ATAP SQUARE HOLLOW SECTION KELANGSINGAN MENENGAH MENGGUNAKAN PELAT SAMBUNG GANDA DENGAN VARIASI JUMLAH BAUT SAMBUNGAN*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
2. Bapak dan ibu penulis yang telah banyak berkorban materi serta selalu memberikan motivasi dan doa hingga selesainya Tugas Akhir ini.
3. Sahabat-sahabat yang selalu memberikan masukan dan dukungan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
4. Rekan-rekan Teknik Sipil yang selalu memberikan saran dan bantuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Akhir kata Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 24 Agustus 2022
Penulis,



Andra Rifaldi Oktavianur

18511196

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures</i>	4
2.2 Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan <i>Direct Analysis Method</i> dengan <i>Advanced Analysis</i> dalam Analisis Efek Orde Kedua	4
2.3 Kajian <i>Stress ratio</i> Pada <i>Direct Analysis Method</i> dan <i>Effective Length Method</i> Sesuai dengan AISC 2010	5

2.4 Studi Perbandingan Stress Ratio Dengan ELM (<i>Effective Length Method</i>) dan DAM (<i>Direct Analysis Method</i>) Bangunan <i>Workshop</i> Pada Proyek Di Cirebon	6
2.5 Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Pada Portal Baja Menggunakan <i>Bracing</i> Dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM) Dan <i>Direct Analisis Method</i> (DAM)	6
2.6 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu	7
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Struktur Rangka Atap	14
3.2 Sifat Mekanik Baja	14
3.3 <i>Direct Analysis Method</i>	17
3.3.1 Efek Orde Ke- 2 ($P\Delta$ & $P-\delta$)	18
3.3.2 Pengaruh Cacat Bawan (<i>Initial Imperfection</i>)	18
3.3.3 Penyesuaian Kekakuan	19
3.3.4 Kemampuan SAP2000 Melakukan Analisis P-Delta	20
3.4 Batang Tekan	21
3.4.1 Kelangsingan	21
3.4.2 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui	22
3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk	23
3.5 Kuat nominal penampang	26
3.6 Kuat Lentur Profil	27
3.7 Kapasitas Sambungan Struktur Baja	28
3.7.2 Kuat Tumpu Baut	29
3.7.3 Kuat Geser Baut	30
BAB IV METODE PENELITIAN	31
4.1 Gambaran Umum	31

4.2	Variabel Penelitian	31
4.3	Jenis Data Penelitian	31
4.4	Uji Tarik Material Baja	32
4.4.1	Bahan Uji	32
4.4.2	Alat Uji	32
4.4.3	<i>Set Up</i> Pengujian	33
4.5	Uji Geser Baut	34
4.5.1	Bahan Uji	34
4.5.2	Peralatan Pengujian	34
4.5.3	<i>Set Up</i> Pengujian	35
4.6	Perhitungan Desain Rangka Atap	36
4.6.1	Trial Perhitungan Dimensi Rencana Rangka Atap	37
4.6.2	Gambar Desain Rencana Rangka Atap Menggunakan AutoCad	37
4.6.3	Gambar Profil Yang Akan Digunakan	38
4.7	Pembuatan Benda Uji Rangka Atap	38
4.8	Uji Tekan Rangka Atap	39
4.8.1	Benda Pengujian	39
4.8.2	Peralatan Pengujian	39
4.8.3	<i>Set Up</i> Pengujian	41
4.9	<i>Direct Analysis Method</i> Menggunakan SAP2000	42
4.10	Tahap Pembahasan dan Penarikan Kesimpulan	43
4.11	<i>Flowchart</i> Penelitian	44
BAB V PEMBAHASAN		46
5.1	Uji Kuat Tarik Material Baja	46
5.2	Uji Geser Baut	49

5.3	Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap	51
5.3.1	Grafik P-Delta pada pengujian rangka atap dengan variasi jumlah sambungan 1 & 3 baut serta SAP2000	52
5.3.2	Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut	53
5.3.3	Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut	58
5.4	Analisis Kapasitas Rangka Atap dengan Metode DAM SAP2000	62
5.4.1	Analisis Kapasitas Rangka Atap Variasi 1 Baut dengan Metode DAM SAP2000	62
5.4.2	Analisis Kapasitas Rangka Atap Variasi 3 Baut dengan Metode DAM SAP2000	74
5.4.3	Pembahasan Perbandingan Hasil DAM SAP200 dengan Hasil Uji Lab	86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		88
6.1	Kesimpulan	88
6.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		89
LAMPIRAN		91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan	8
Tabel 3.1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial	24
Tabel 3.2 Prosedur desain balok lentur profil kotak	27
Tabel 5.1 Nilai Kuat Tarik Pelat Baja Hasil Pengujian	49
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Baut	51
Tabel 5.3 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 94 sampai 100 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	72
Tabel 5.4 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	73
Tabel 5.5 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 95 sampai 100 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	84
Tabel 5.6 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	85
Tabel 5.7 Perbandingan Kapasitas Tekan Rangka Atap Hasil Uji Lab Terhadap Metode DAM dan ELM	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Komponen Penyusun Rangka Atap Tipe <i>Doublefink</i>	14
Gambar 3.2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan	16
Gambar 3.3 Pengaruh Orde ke-2	18
Gambar 3.4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta	20
Gambar 3.5 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai KL/r	22
Gambar 3.6 Batang Tekuk	25
Gambar 3.7 Sambungan Baut Dengan Pelat Baja	29
Gambar 4.1 Benda Uji Pelat Baja	32
Gambar 4.2 Jangka Sorong	33
Gambar 4.3 Universal Testing Material	33
Gambar 4.4 <i>Set Up</i> Pengujian Tarik Material	34
Gambar 4.5 Jangka Sorong Pengujian Geser Baut	35
Gambar 4.6 Alat Bantu Uji Geser Baut	35
Gambar 4.7 <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Depan	36
Gambar 4.8 <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Atas	36
Gambar 4.9 Dimensi Rangka Atap Hasil Trial Perhitungan Manual	37
Gambar 4.10 Dimensi Akhir Setelah Pemodelan AutoCad	38
Gambar 4.11 Gambar Profil Rangka Atap	38
Gambar 4.12 Sampel Uji Rangka Atap	39
Gambar 4.13 <i>Strain Gauge</i>	40
Gambar 4.14 Load Cell	40
Gambar 4.15 LVDT	41
Gambar 4.16 <i>Loading Frame</i>	41

Gambar 4.17 <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap Tampak Samping	42
Gambar 4.18 Tampak Depan <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap	42
Gambar 4.19 <i>Flowchart</i> Metode DAM dengan SAP2000	43
Gambar 4.20 <i>Flowchart</i> Penelitian	45
Gambar 5.1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja	46
Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1	47
Gambar 5.3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2	47
Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3	48
Gambar 5.5 Offset 0,2%	48
Gambar 5.6 Kondisi Baut Sampel 1 Setelah Pengujian	49
Gambar 5.7 Kondisi Baut Sampel 2 Setelah Pengujian	50
Gambar 5.8 Kondisi Baut Sampel 3 Setelah Pengujian	50
Gambar 5.9 Grafik P-Delta Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 dan 3 Baut serta SAP2000	52
Gambar 5.10 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 1 Semua <i>Strain Gauge</i>	53
Gambar 5.11 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 1 <i>Strain Gauge</i> 1, 2, 3 & 4	54
Gambar 5.12 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 2 Semua <i>Strain Gauge</i>	55
Gambar 5.13 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 2 <i>Strain Gauge</i> 1, 2, 5 & 7	56
Gambar 5.14 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 1	57
Gambar 5.15 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 2	57

Gambar 5.16 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 3 Baut Sampel 1 Semua <i>Strain Gauge</i>	58
Gambar 5.17 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 3 Baut Sampel 1 <i>Strain Gauge</i> 1 & 4	59
Gambar 5.18 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 3 Baut Sampel 2 Semua <i>Strain Gauge</i>	60
Gambar 5.19 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 1	61
Gambar 5.20 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 2	61
Gambar 5.21 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pada SAP2000	62
Gambar 5.22 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	63
Gambar 5.23 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pembebanan 1 KN	64
Gambar 5.24 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	65
Gambar 5.25 Memasukan Nilai τ_b pada Menu Property Modifiers	66
Gambar 5.26 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	67
Gambar 5.27 <i>Bending Momen Diagram Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	68
Gambar 5.28 Gambar 5.27 <i>Deform Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	68
Gambar 5.29 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut <i>Sambungan</i>	69
Gambar 5.30 Grafik Hubungan P-Momen Rangka Atap Pada Batang Tekan 4	70

Gambar 5.31 <i>Grouping</i> Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	72
Gambar 5.32 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	73
Gambar 5.33 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pada SAP2000	74
Gambar 5.34 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	75
Gambar 5.35 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pembebanan 1 KN	75
Gambar 5.36 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	77
Gambar 5.37 Memasukan Nilai τ_b pada Menu Property Modifiers	78
Gambar 5.38 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	79
Gambar 5.39 <i>Bending Momen Diagram Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	80
Gambar 5.40 <i>Deform Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	80
Gambar 5.41 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	81
Gambar 5.42 Grafik Hubungan P-Momen Rangka Atap Pada Batang Tekan	82
Gambar 5.43 <i>Grouping</i> Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	84
Gambar 5.44 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium	92
Lampiran A.2 Lanjutan Surat Izin Pemakaian Laboratorium	93
Lampiran A.3 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja	94
Lampiran A.4 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik	94
Lampiran A.5 Persiapan Pengujian Geser Baut	95
Lampiran A.6 Set up Uji Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut	95
Lampiran A.7 Set up Pengujian Rangka Atap Variasi 3 Baut	95
Lampiran A.8 Kondisi Rangka Atap Setelah Pengujian Tekan	96
Lampiran B.1 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut	98
Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 1	99
Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 2	100
Lampiran B.4 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut	101
Lampiran B.5 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 1	102
Lampiran B.6 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 2	103

ABSTRAK

Pada perencanaan struktur rangka baja terdapat SNI 1729:2020 yang menjadi acuan utama untuk melakukan suatu perencanaan di dalamnya terdapat sebuah metode yang terbaru yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) yang menggantikan *Effective Length Method* (ELM). Metode DAM memodelkan kondisi *imperfection* (non linier geometri) dengan kondisi elastik material yang dilakukan menggunakan analisis orde ke-2. Hal ini yang tidak diperhitungkan pada metode ELM. Dengan adanya metode yang baru tersebut (DAM), maka diperlukan penelitian untuk mengevaluasi tingkat akurasi metode DAM jika diaplikasikan pada struktur rangka atap dengan kelangsingan menengah. Studi eksperimental tekan struktur rangka atap *square hollow section* dengan pelat sambung ganda dan variasi jumlah baut sambungan dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi Metode DAM dan ELM. Rangka atap dengan pelat sambung ganda menggunakan variasi 1 baut sambungan mewakili kondisi sambungan sendi-sendi, dan 3 baut sambungan untuk mewakili kondisi sambungan yang ada di lapangan. Hasilnya, didapatkan nilai error pada metode DAM sebesar 46,33 % dan ELM sebesar 31,19 %. Maka dapat disimpulkan metode DAM dan ELM tidak akurat dalam memodelkan kuat tekan rangka atap dengan kelangsingan menengah.

Kata kunci : Rangka Atap, *Direct Analysis Method*, *Effective Length Method*, Kapasitas tekan

ABSTRACT

In planning the steel frame structure there is SNI 1729:2020 which is the main reference for planning in which there is a new method, namely the Direct Analysis Method (DAM) which replaces the Effective Length Method (ELM). The DAM method modeling imperfection conditions (non-linear geometry) with the elastic condition of the material is carried out using an analysis of order 2. This is not taken into account in the ELM method. With the new method (DAM), research is needed to evaluate the accuracy of the DAM method when applied to roof truss structures with medium slenderness. Experimental study of compression of the roof truss structure of a square hollow cross section with double connection plates and variations in the number of connection bolts was carried out to determine the level of accuracy of the DAM and ELM methods. The roof truss with double connection plates uses variations of 1 connecting bolt that represents the connection conditions, and 3 connecting bolts that represent the connection conditions in the field. As a result, the error rate for the DAM method is 46.33% and ELM is 31.19%. So it can be concluded that the DAM and ELM methods are not accurate in modeling the compressive strength of roof trusses with medium slenderness.

Keywords : *Roof Frame, Direct Analysis Method, Effective Length Method, Compressive Capacity*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada bidang Teknik sipil terjadi perkembangan teknologi yang cukup signifikan, saat ini banyak teknologi yang memudahkan pekerjaan khususnya pada sektor konstruksi sehingga pekerjaan dapat dilakukan lebih cepat dan mudah. Dengan berkembangnya teknologi saat ini terciptanya metode atau aplikasi berbasis komputer yang dapat melakukan analisis struktur untuk suatu perencanaan konstruksi.

Pada perencanaan struktur rangka baja terdapat SNI 1729:2020 yang menjadi acuan utama untuk melakukan suatu perencanaan di dalamnya terdapat sebuah metode yang terbaru yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) yang menggantikan *Effective Length Method* (ELM). DAM memiliki keunggulan pada perencanaan stabilitas rangka baja karena mampu menganalisis kondisi *imperfection* (non geometri), kondisi elastik (linier material) serta analisis orde 2 (pengaruh deformasi) yang tidak diperhitungkan pada metode ELM. DAM dianggap lebih efisien dikarenakan nilai K ditetapkan $K=1$ dengan tetap memperhitungkan efek P-delta. Metode ini memiliki kelebihan bagi perencana sebab mampu mengatasi keterbatasan waktu serta analisa struktur yang tidak dapat memperhitungkan stabilitas. Penelitian ini menggunakan rangka atap bukan struktur portal karena penelitian mengenai struktur portal sudah banyak dilakukan penelitian sebelumnya sedangkan rangka atap masih jarang ditemui.

Demikian pada Tugas Akhir ini penulis akan melakukan pengujian eksperimental perbandingan antara DAM yang terdapat pada SNI 1729:2020 dengan hasil pengujian secara langsung di laboratorium. Adapun pengujian ini menggunakan bahan uji yang digunakan yaitu rangka atap *square hollow section* (SHS) kelangsingan menengah dengan variasi jumlah baut sambungan. Pada penelitian ini menggunakan baja dengan kelangsingan menengah ($KL/r = 90$). Hal ini karena pada penelitian Dewobroto dan Ruser E (Dewobroto, 2013)

mengungkapkan bahwa struktur portal langsing dimana pengaruh orde ke 2 signifikan, bahkan untuk struktur portal langsing, bergoyang, dimana pengaruh orde ke-2 signifikan, maka DAM (AISC 2010) memberikan hasil yang lebih teliti sebesar $\pm 20\%$ dibandingkan cara lama. Itu terjadi karena cara lama memakai pendekatan dalam memperhitungkan pengaruh stabilitas. Namun, belum diketahui bagaimana ketelitian metode DAM jika diaplikasikan pada struktur rangka baja dengan batang tekan kelangsingan menengah, oleh karena itu penulis melakukan studi eksperimental rangka atap *square hollow section* kelangsingan menengah menggunakan pelat sambung ganda dengan variasi jumlah baut sambungan guna mengetahui ketelitian metode DAM dibandingkan ELM pada sistem rangka baja.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas diperoleh rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat akurasi metode DAM dan ELM pada rangka atap SHS kelangsingan sedang dengan sambungan sendi-sendi pelat ganda dengan sambungan sendi dan sambungan penahan momen terhadap hasil uji laboratorium ?
2. Bagaimana pengaruh jenis sambungan terhadap akurasi metode DAM pada rangka atap SHS kelangsingan sedang ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui tingkat akurasi metode DAM dan ELM pada rangka atap SHS kelangsingan sedang dengan sambungan sendi-sendi pelat ganda dengan sambungan sendi dan sambungan penahan momen terhadap hasil uji laboratorium.
2. Untuk mengetahui pengaruh jenis sambungan terhadap akurasi metode DAM pada rangka atap SHS kelangsingan sedang.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diperoleh nilai akurasi antara hasil DAM yang terdapat

pada SNI 1729:2020 dengan hasil pengujian di laboratorium. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai struktur rangka baja dan mejadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan pada penelitian ini bertujuan agar tidak menyimpang dari tujuan penelitian yaitu sebagai berikut.

1. SAP2000 digunakan untuk analisis struktur dan aplikasi Microsoft Excel pada perhitungan manual.
2. Benda uji pada penelitian perbandingan ini berupa struktur rangka atap baja kotak dengan dimensi 2x4 cm dengan ketebalan 1,8 mm.
3. Jumlah baut sambungan bervariasi 1 dan 3 baut dengan diameter 12 mm.
4. Pelat sambung benda uji berupa pelat ganda.
5. Pengujian benda uji rangka atap baja *square hollow section* (SHS) kelangsingan menengah terdiri dari 2 pengujian yaitu, pengujian kuat tarik pelat dan pengujian kuat geser baut.
6. Hasil nilai *stress ratio* menjadi pembanding pada kedua metode yang digunakan.
7. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Kekuatan dan Ketahanan (DFBK)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures*

Prajzner, J. (2006) melakukan sebuah penelitian yang berjudul “*Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures*”. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan kapasitas masing-masing kolom baja antara *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method* (DAM). Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa FPA dapat digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur kapasitas rangka baja individual. Selain itu, secara umum DAM jika dibandingkan dengan ELM sama akuratnya atau lebih baik. Perhitungan DAM juga lebih mudah dan lebih sedikit. DAM, meskipun tidak sempurna, merupakan langkah menuju pendekatan analisis yang lebih akurat yang akan memungkinkan perancang untuk lebih percaya pada desainnya.

2.2 *Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan Direct Analysis Method dengan Advanced Analysis dalam Analisis Efek Orde Kedua*

Setiady, F. (2012) melakukan penelitian yang berjudul “*Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan Direct Analysis Method dengan Advanced Analysis dalam Analisis Efek Orde Kedua*”. Yang bertujuan untuk membandingkan hasil *stress ratio* pada metode SNI-2002, *Direct Analysis Method* dan *Advanced Analysis* pada struktur *regular* maupun *irregular*. Dari tiga metode yang berbeda digunakan analisis orde kedua, yaitu metode SNI-2002, DAM dan *Advanced Analysis*. Dari ketiga metode tersebut, kinerja masing-masing metode dibandingkan. Penelitian ini menggunakan *Advanced Analysis* sebagai benchmark untuk dua metode lainnya. Dengan itu, tingkat keakuratan dari masing-masing metode dapat dinilai relatif terhadap *Advanced Analysis*. Dari hasil studi yang telah dilakukan didapatkan

bahwa ketiga metode menghasilkan stress ratio yang relatif sama pada struktur regular. Sedangkan untuk struktur irregular, metode SNI-2002 semakin menghasilkan perbedaan yang signifikan relatif terhadap *Advanced Analysis*. Dari penggunaan DAM didapatkan hasil dan perilaku yang sama dengan *Advanced Analysis*.

2.3 Kajian Stress ratio Pada Direct Analysis Method dan Effective Length Method Sesuai dengan AISC 2010

Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016) melakukan sebuah penelitian yang berjudul "Kajian Stress ratio Pada Direct Analysis Method dan Effective Length Method Sesuai dengan AISC 2010" untuk studi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran kepada pembaca mengenai *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method* (DAM), dari kedua metode tersebut dipilih yang lebih efektif dan efisien untuk pembangunan ruko dengan profil baja di kota Medan. Pada penelitian ini, perhitungan nilai *stress ratio* dilakukan pada struktur 2 dimensi portal 4 lantai *unbraced frame* dengan mutu baja yang dipakai adalah BJ41. Analisis struktural untuk ELM menggunakan metode matriks kekakuan. Analisis yang menggunakan metode DAM menggunakan persyaratan yang dikeluarkan oleh AISC 2010. Hasil dari penelitian ini yaitu diketahui bahwa metode DAM adalah metode yang lebih ekonomis dalam hal ukuran profil dibandingkan dengan metode ELM. Hal ini disebabkan oleh nilai *stress ratio* dari metode DAM lebih kecil dari metode ELM. Perbedaan rasio tegangan dari dua metode bervariasi antara 0,5-28%. Untuk portal 4 lantai ini tidak menunjukkan keadaan kolom atau balok berbeda, namun jika dilakukan desain ulang untuk mencapai nilai *stress ratio* mendekati 1, maka ada kemungkinan profil yang dinyatakan aman oleh *Direct Analysis Method* (DAM), dinyatakan tidak aman oleh *Effective Length Method* (ELM) sehingga pada *Effective Length Method* (ELM), perlu diperbesar profilnya. Hal ini berarti bahwa struktur untuk *Effective Length Method* mempunyai penampang yang lebih besar.

2.4 Studi Perbandingan Stress Ratio Dengan ELM (*Effective Length Method*) dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan Workshop Pada Proyek Di Cirebon

Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Perbandingan *Stress Ratio* Dengan ELM (*Effective Length Method*) dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan *Workshop* Pada Proyek di Cirebon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana cara membandingkan nilai rasio tegangan metode ELM dan DAM yang dijelaskan dalam Peraturan SNI 1729:2015 dan cara menghasilkan profil baja yang lebih kecil. Pada penelitian ini diterapkan pada bangunan *workshop* satu lantai berukuran 18 m x 36 m, baja grade ASTM A-36, BJ 41 dan $f_y = 250$ MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *stress ratio* balok metode ELM dan DAM adalah sama, sedangkan nilai *stress ratio* kolom metode ELM lebih besar dari pada metode DAM *stress ratio* 9.60% meningkat. Nilai *stress ratio* *rafter* ELM lebih kecil dibandingkan dengan metode DAM sebesar 0,90%. Hasil penelitian ini tidak terlalu menunjukkan perbedaan nilai rasio, sehingga tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi pemanfaatan profil baja bila menggunakan kedua metode tersebut.

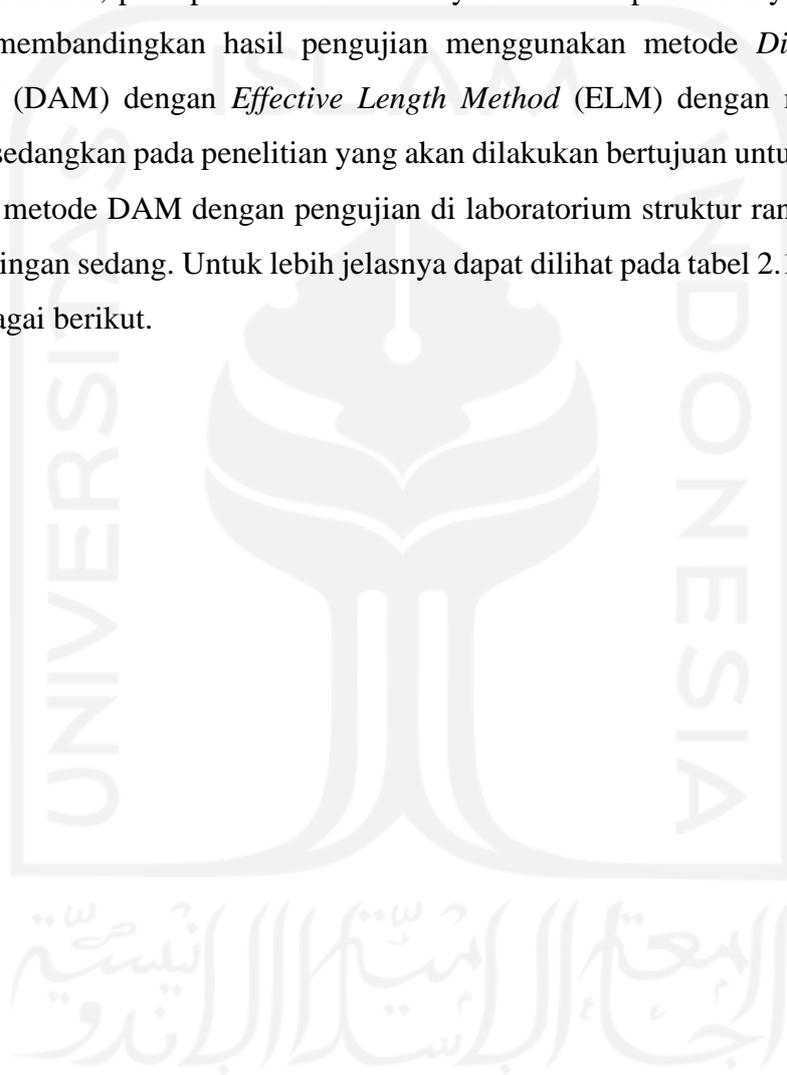
2.5 Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan *Effective Length Method* (ELM) Dan *Direct Analysis Method* (DAM)

Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Perbandingan *Stress Ratio* Pada Portal Baja Menggunakan *Bracing* Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method* (DAM)”. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui perbandingan *stress ratio* portal baja antara Metode ELM dan Metode DAM. Pada penelitian ini diperoleh perbandingan nilai *stress ratio* yang diperoleh dengan dua metode yang berbeda. Hasil dari metode ELM memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode DAM, dan proporsinya bervariasi dari 0,1% hingga 8,9%. Hasil ini menunjukkan bahwa profil yang digunakan mungkin lebih efisien karena metode

DAM lebih efisien, sederhana, dan menghasilkan kapasitas profil yang lebih efisien daripada ELM.

2.6 Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Terdapat perbedaan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan, pada penelitian sebelumnya dilakukan penelitian yang bertujuan untuk membandingkan hasil pengujian menggunakan metode *Direct Analysis Method* (DAM) dengan *Effective Length Method* (ELM) dengan menggunakan portal, sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui akurasi metode DAM dengan pengujian di laboratorium struktur rangka atap baja kelangsingan sedang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.1 sampai tabel 2.5 sebagai berikut.



Tabel 2.1 Rincian Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Justin Prajzner (2006)	Setiady, F. (2012)	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Andra Rifaldi Oktavianur (2021)
Judul Penelitian	<i>Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures</i>	Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan <i>Direct Analysis Method</i> dengan <i>Advanced Analysis</i> dalam Analisis Efek Orde Kedua	Kajian <i>Stress ratio</i> Pada <i>Direct Analysis Method</i> dan <i>Effective Length Method</i> Sesuai dengan AISC 2010	Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Dengan ELM (<i>Effective Length Method</i>) dan DAM (<i>Direct Analysis Method</i>) Bangunan <i>Workshop</i> Pada Proyek Di Cirebon	Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Pada Portal Baja Menggunakan <i>Bracing</i> Dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM) Dan <i>Direct Analisis Method</i> (DAM)	Studi Eksperimental Rangka Atap <i>Square Hollow Section</i> Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan

Penelitian Terdahulu						Penelitian yang Akan Dilakukan
Peneliti	Justin Prajzner (2006)	Setiady, F. (2012)	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Andra Rifaldi Oktavianur (2021)
Judul Penelitian	<i>Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures</i>	Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan <i>Direct Analysis Method</i> dengan <i>Advanced Analysis</i> dalam Analisis Efek Orde Kedua	Kajian <i>Stress ratio</i> Pada <i>Direct Analysis Method</i> dan <i>Effective Length Method</i> Sesuai dengan AISC 2010.	. Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Dengan ELM (<i>Effective Length Method</i>) dan DAM (<i>Direct Analysis Method</i>) Bangunan <i>Workshop</i> Pada Proyek Di Cirebon	Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Pada Portal Baja Menggunakan <i>Bracing</i> Dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM) Dan <i>Direct Analisis Method</i> (DAM)	Studi Eksperimental Rangka Atap <i>Square Hollow Section</i> Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan

Peneliti	Justin Prajzner (2006)	Setiady, F. (2012)	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Rafflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Andra Rifaldi Oktavianur (2021)
Tujuan	Untuk mengetahui perbandingan kapasitas masing-masing kolom baja antara <i>Effective Length Method</i> (ELM) dan <i>Direct Analisis Method</i> (DAM)	Untuk membandingkan hasil <i>stress ratio</i> pada metode SNI-2002, <i>Direct Analisis Method</i> dan <i>Advanced Analisis</i> pada struktur <i>regular</i> maupun <i>irregular</i>	Memberikan gambaran kepada pembaca mengenai <i>Effective Length Method</i> (ELM) dan <i>Direct Analisis Method</i> (DAM), dari kedua metode tersebut dipilih yang lebih efektif dan efisien untuk pembangunan ruko dengan profil baja di kota Medan	Untuk mengetahui bagaimana cara membandingkan nilai rasio tegangan metode ELM dan DAM yang dijelaskan dalam Peraturan SNI 1729:2015 dan cara menghasilkan profil baja yang lebih kecil	Untuk mengetahui perbandingan <i>stress ratio</i> portal baja antara Metode ELM dan Metode DAM	Untuk mengetahui perbandingan hasil pengujian pada struktur rangka atap baja dengan kelangsingan sedang menggunakan DAM pada SNI 1729:2020 dengan pengujian di laboratorium.

Parameter Penelitian	<i>Effective Length Method (ELM), Direct Analysis Method (DAM), FPA</i>	<i>Effective Length Method , Direct Analysis Method , Metode SNI-2002.</i>	<i>Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress ratio.</i>	<i>Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress Ratio</i>	<i>Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress ratio.</i>	<i>Direct Analysis Method, Jumlah Pelat Sambung, Ratio kelangsingan sedang, hasil laboratorium</i>
----------------------	---	--	---	--	---	--

Peneliti	Justin Prajzner (2006)	Setiady, F. (2012)	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Andra Rifaldi Oktavianur (2021)
Metode Penelitian	Terdiri dari tahapan desain dan proses analisa. Mendesain kolom baja menggunakan <i>Effective Length Method</i> (ELM) dan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM). Lalu membandingkan antara hasil keduanya hingga diperoleh kesimpulan	Terdiri dari tahapan desain dan proses analisa. Proses Analisa dilakukan dengan metode DAM, metode ELM, dan Metode SNI-2002. Kemudian dilakukan perbandingan hasil nilai <i>stress ratio</i> yang didapatkan.	Dalam perhitungan nilai <i>stress ratio</i> dilakukan pada struktur 2 dimensi portal 4 lantai <i>unbraced frame</i> dengan mutu baja yang dipakai adalah BJ41. Analisa struktur untuk ELM menggunakan metode matriks kekakuan. Pada analisa struktur dengan metode DAM dimasukkan persyaratan yang dikeluarkan oleh AISC 2010.	Melakukan desain dan analisis rangka bangunan profil balok IWF menggunakan aplikasi SAP2000 dengan metode ELM dan metode DAM. Kemudian dilakukan perbandingan nilai <i>stress ratio</i> yang didapatkan antara kedua metode tersebut.	Terdiri dari tahapan desain dan proses analisa. Proses Analisa dilakukan dengan metode DAM dan metode ELM. Kemudian dilakukan perbandingan hasil nilai <i>stress ratio</i> yang didapatkan	Melakukan analisis perbandingan antara hasil pengujian di laboratorium dengan metode <i>Direct Analysis Method</i> SNI 1729:2020 pada rangka atap baja dengan kelangsingan sedang dengan variasi pelat sambung ganda

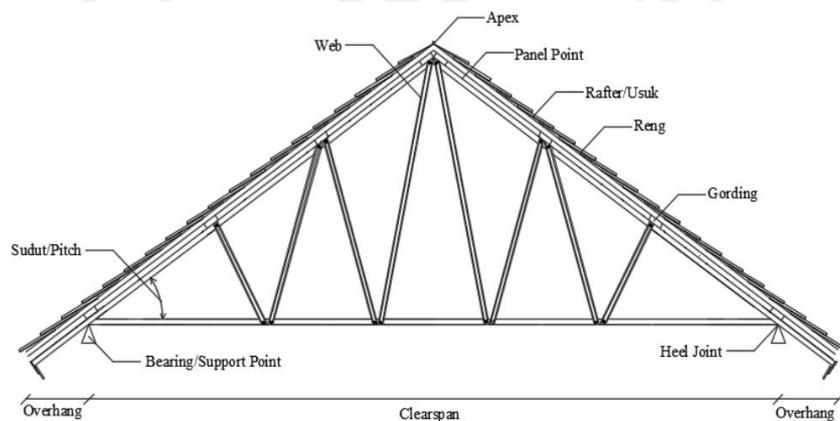
Peneliti	Justin Prajzner (2006)	Setiady, F. (2012)	Ivanfebraja & Daniel Rumbi Teruma (2016)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Andra Rifaldi Oktavianur (2021)
Hasil	Studi ini menunjukkan bahwa FPA dapat digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur kapasitas rangka baja individual. Selain itu, secara umum DAM jika dibandingkan dengan ELM sama akuratnya atau lebih baik. Perhitungan DAM juga lebih mudah dan lebih sedikit. DAM, meskipun tidak sempurna, merupakan langkah menuju pendekatan analisis yang lebih akurat yang akan memungkinkan perancang untuk lebih percaya pada desainnya.	Ketiga metode menghasilkan <i>stress ratio</i> yang relatif sama pada struktur regular. Sedangkan untuk struktur irregular, metode SNI-2002 semakin menghasilkan perbedaan yang signifikan relatif terhadap <i>Advanced Analysis</i> . Dari penggunaan DAM didapatkan hasil dan perilaku yang sama dengan <i>Advanced Analysis</i> .	Metode DAM adalah metode yang lebih ekonomis dalam hal ukuran profil dibandingkan dengan metode ELM. Hal ini disebabkan oleh nilai <i>stress ratio</i> dari metode DAM lebih kecil dari metode ELM. Perbedaan rasio tegangan dari dua metode bervariasi antara 0,5-28%.	Nilai <i>stress ratio</i> balok metode ELM dan DAM adalah sama, sedangkan nilai <i>stress ratio</i> kolom metode ELM lebih besar dari pada metode DAM <i>stress ratio</i> 9.60% meningkat. Nilai <i>stress ratio rafter</i> ELM lebih kecil dibandingkan dengan metode DAM sebesar 0,90%.	Metode ELM memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode DAM, dan proporsinya bervariasi dari 0,1% hingga 8,9%. Hasil ini menunjukkan bahwa profil yang digunakan mungkin lebih efisien karena metode DAM lebih efisien, sederhana, dan menghasilkan kapasitas profil yang lebih efisien daripada ELM.	-

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Struktur Rangka Atap

Struktur rangka merupakan bagian bangunan yang menahan dan mengalirkan beban-beban dari atap. Dalam menerima beban aksial struktur rangka memiliki 2 jenis batang yaitu batang tarik dan batang tekan. Wujud aplikasi dari sistem rangka adalah struktur rangka atap yang terdiri dari susunan batang-batang yang disambungkan menjadi satu kesatuan sehingga membentuk suatu struktur yang kuat. Komponen rangka atap juga terdiri dari elemen lain yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3.1 Komponen Penyusun Rangka Atap Tipe *Doublefink*

3.2 Sifat Mekanik Baja

Baja merupakan logam murni dengan unsur paduan Ferro (Besi) dan sedikit zat arang(C), Silisium (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Belerang (S), dan lain-lain. Baja mempunyai keteguhan yang keras dan keliatannya, memiliki titik leleh sebesar

1460°C - 1520° C, berat jenis 7,85 serta angka pemuaiannya sampai 0,000012 tiap 1 ° C (Daryanto, 1998). Beberapa kelebihan dari baja adalah sebagai berikut :

1. Mempunyai kekuatan yang besar
2. Mempunyai kuat tarik yang baik
3. Mempunyai daya tahan yang lama
4. Mempunyai massa yang ringan
5. Digunakan pada bentang panjang

Selain memiliki banyak kelebihan namun juga memiliki kekurangan. Berikut ini adalah kekurangan material baja.

1. Biaya yang besar
2. Mempunyai kuat ekan yang kurang baik
3. Mempunyai kerentanan terhadap tekuk

Dalam rangka mengetahui sifat mekanik baja maka dilakukan pengujian tarik, sehingga didapatkan tegangan dan juga regangan.

Tegangan didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja setiap satuan luas penampang. Untuk memperoleh tegangan digunakan persamaan 3.1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Keterangan

σ = Tegangan (MPa)

P = Beban/Gaya aksial (N)

A = Luas penampang (mm²)

Regangan adalah perubahan ukuran setelah terjadinya tegangan dibandingkan dengan ukuran sebelumnya. Regangan dapat diperoleh dengan persamaan 3.2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L-L_o}{L_o} \quad (3.2)$$

Keterangan :

ε = Regangan

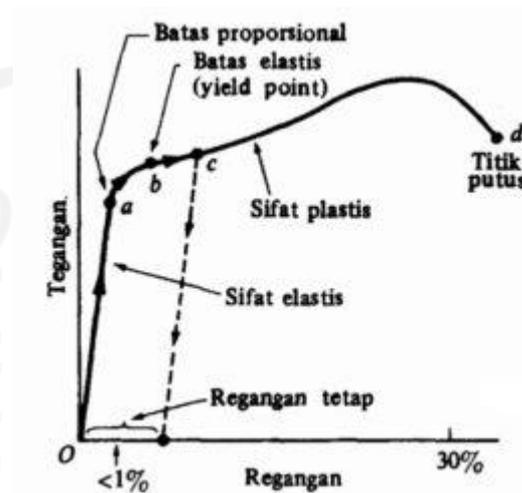
ΔL = Pertambahan Panjang

L = Panjang akhir (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

Hubungan tegangan dan regangan digambarkan menjadi suatu grafik diagram

untuk memberikan informasi mengenai sifat atau karakteristik dari suatu bahan. Grafik hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan

Dari gambar di atas, kita dapat melihat bahwa ada hubungan tegangan-regangan yang membentuk garis lurus yang dimulai dari titik 0 dan berakhir di titik A. Garis ini disebut daerah proporsional. Artinya, daerah di mana tegangan meningkat secara proporsional dan linier mengikuti penambahan tegangan. Titik A adalah batas proporsional dengan tegangan maksimum dan tidak ada deformasi ketika beban diterapkan. Karena titik A juga merupakan tempat di mana terdapat batas elastis, maka daerah OA adalah daerah elastis, daerah di mana baja kembali ke bentuk semula ketika tegangan dihilangkan. Jika tegangan pada beban terus meningkat melampaui batas elastis, regangan akan mulai meningkat dengan cepat dengan setiap peningkatan tegangan dan material tidak akan kembali ke bentuk semula. Titik A adalah batas di mana material terus berubah bentuk tanpa tegangan tambahan. Kurva tersebut kemudian mengalami penurunan gradien secara bertahap hingga mencapai titik B.

Dari titik B ke titik C, kurva membentuk garis lurus yang cukup panjang. Garis-garis yang membentuk pola horizontal menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki regangan yang panjang dan tidak ada gaya tarik tambahan yang

dihasilkan. Karena titik B adalah titik luluh, wilayah BC adalah wilayah luluh atau plastis sepenuhnya, yaitu wilayah di mana material terus berubah bentuk tanpa tegangan tambahan.

Ketika beban yang cukup panjang diterapkan di daerah BC, baja mulai mengalami pengerasan regangan atau bertambahnya kekuatan baja. Pada daerah ini, untuk mencapai titik maksimum di titik D, beban tarik harus dinaikkan mulai dari titik C sehingga terbentuk kurva dengan gradien positif. Titik D adalah tegangan patah, tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh baja. Setelah baja mencapai titik kritis, tegangan terus berkurang dan terjadi proses necking atau penyusutan pada suatu penampang baja hingga terjadi patah di titik E.

3.3 *Direct Analysis Method*

Metode analisis langsung (DAM) adalah analisis stabilitas yang dapat diterapkan terutama pada struktur baja yang diterapkan komputer. Stabilitas struktur dipengaruhi oleh gaya dalam batang dan deformasi yang terjadi, sehingga harus diprediksi dengan analisis struktur. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi analisis stabilitas struktural harus dimasukkan.

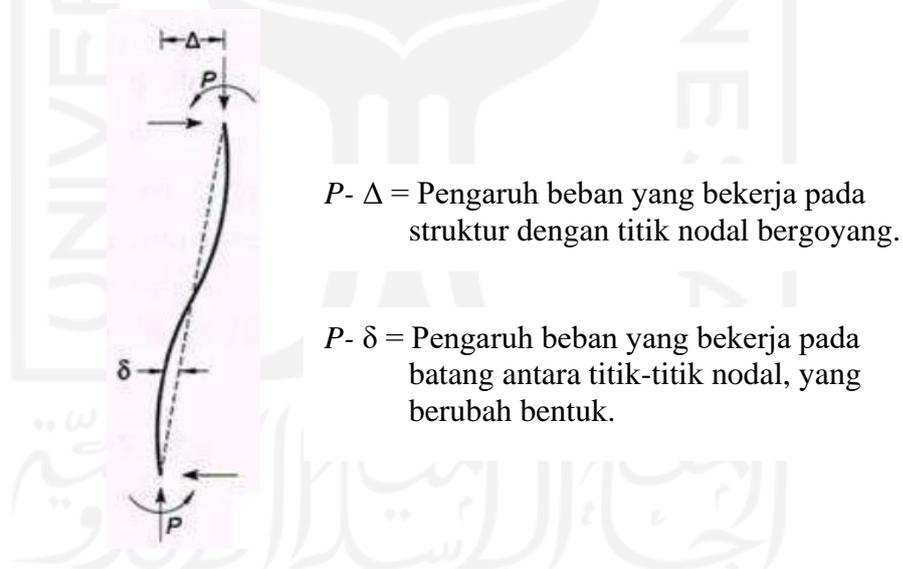
1. Deformasi elemen akibat gaya-gaya internal yang bekerja serta deformasi lain yang dapat mempengaruhi perilaku struktur
2. Pengaruh orde-2 atau non-linier geometri pada $P-\Delta$ (global struktur) dan $P-\delta$ (lokal-elemen)
3. Ketidak-lurusan yang terdapat pada elemen batang atau cacat bawaan akibat tidak sempurnanya geometri (*geometri imperfection*)
4. Reduksi penampang akibat kondisi inelastik yang terjadi
5. Ketidak-pastian kekakuan serta kekuatan pada perencanaan.

Menurut Dewabroto (2015), Analisis Langsung (DAM) dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan Panjang Efektif (ELM), sebuah strategi sederhana untuk analisis manual. Keakuratan DAM dapat diandalkan karena memerlukan penggunaan komputer dan program analisis struktural. Metode ini mampu memperhitungkan deformasi komponen struktur dan sambungannya yang memengaruhi deformasi seluruh struktur. Deformasi komponen adalah deformasi

lentur, aksial, dan geser. Persyaratan ini sangat sederhana. Sebagian besar program komputer untuk analisis struktur didasarkan pada metode matriks kekakuan, terutama "metode elemen hingga" yang merupakan algoritma dasar untuk analisis struktur berbantuan komputer, termasuk efek deformasi pada elemen formulanya.

3.3.1 Efek Orde Ke- 2 ($P\Delta$ & $P\delta$)

Efek orde kedua ($P\Delta$ & $P\delta$) harus diperhitungkan saat menentukan gaya internal suatu komponen struktur. Secara umum, program komersial dapat melakukan analisis struktur sekunder, tetapi hasilnya mungkin berbeda. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengecekan kinerja program yang akan digunakan. Ketidaksempurnaan terjadi ketika program hanya dapat menjelaskan efek $P\Delta$ dan tidak dapat menjelaskan efek $P\delta$. Yang dimaksud dengan $P\Delta$ adalah pengaruh tegangan akibat perpindahan simpul elemen, dan $P\delta$ adalah pengaruh tegangan akibat deformasi elemen (antara dua titik nodal), seperti terlihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Pengaruh Orde ke-2
(sumber : AISC 2010)

3.3.2 Pengaruh Cacat Bawan (*Initial Imperfection*)

Cacat pada elemen struktur menghasilkan efek yang tidak stabil (ketidakseimbangan). Ada dua metode analisis untuk metode analisis langsung (DAM). Salah satunya adalah secara langsung memodelkan cacat pada model

geometri. Dalam metode ini, simpul batang yang diperoleh dengan menghilangkan nilai absolut dari margin kesalahan maksimum, diberikan pola perpindahan simpul yang mirip dengan pola defleksi atau pola tekuk, dan diperoleh efek destabilisasi maksimum. Metode kedua yaitu memberikan beban *notional* dari beberapa beban gravitasi yang bekerja pada simpul di setiap tingkat. Perhitungan Beban *notional* (AISC 2010), yaitu;

$$N_i = 0.002 Y_i \quad (3.3)$$

Keterangan :

N_i = Beban notional di level i

Y_i = Beban gravitasi di level i hasil beban kombinasi LRFD

0.002 = nilai nominal rasio kemiringan tingkat (AISC)

3.3.3 Penyesuaian Kekakuan

Leleh sebagian (*partial yielding*) karena tegangan internal baja dapat melemahkan kekuatan, yang menciptakan efek destabilisasi. Pada metode analisis langsung (DAM), hal ini dapat diatasi dengan mengatur kekakuan struktur yang diperoleh dengan kalibrasi komparatif dan menganalisis distribusi plastisitas dan hasil uji empiris (Galambos 1998). Rumus koefisien reduksi kekakuan dihitung dengan rumus berikut.

$$EI^* = 0.8 \tau b EI \quad (3.4)$$

Keterangan :

EI^* = Modulus elastisitas setelah reduksi kekakuan

τb = Kekakuan lentur

EI = Modulus elastisitas

Apabila kondisi $Pr \leq 0,5Py'$ dimana Pr adalah gaya tekan perlu hasil LRFD yaitu :

$$\tau b = 1.0 \quad (3.5)$$

Apabila gaya tekannya besar dengan nilai $Pr > 0,5Py'$ maka :

$$\tau b = 4 \frac{Pr}{Py'} \left(1 - \frac{Pr}{Py'}\right) \quad (3.6)$$

Keterangan :

τb = Kekakuan lentur

P_r = Gaya tekan hasil perlu kombinasi LRFD

P_y = Kuat tarik lentur

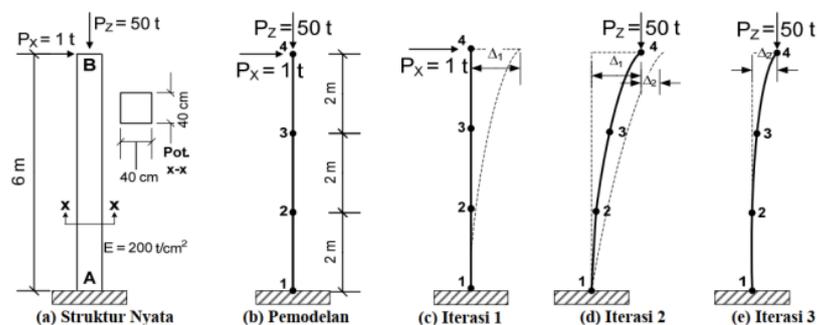
Penggunaan reduksi kekakuan ini ditujukan untuk memperhitungkan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja.

3.3.4 Kemampuan SAP2000 Melakukan Analisis P-Delta

Elemen frame dalam SAP2000 telah menciptakan formulasi untuk analisis P-Delta. Saat diaktifkan, perangkat lunak dapat menghitung pengaruh beban aksial yang besar pada perilaku momen lentur lateral. Gaya tekan aksial mengurangi kekakuan lentur (meningkatkan momen) dan gaya tarik aksial meningkatkan kekakuan (menurunkan momen). Walaupun analisis P-Delta dapat dikategorikan sebagai analisis non-linier geometri, namun oleh *software* SAP2000 belum memperhitungkan efek lendutan yang besar. Beberapa asumsi & keterbatasan Analisis P-Delta dalam *software* SAP2000 antara lain:

- Pengaruh P-Delta hanya di analisis pada *element frame* saja.
- Untuk perhitungan P-Delta yang mengakibatkan momen tambahan, hanya dari eksentrisitas akibat deformasi transversal saja.
- Gaya aksial P-Delta dianggap konstan sepanjang elemen
- Geometri struktur sebelum dan setelah dibebani dianggap masih sama.

SAP2000 dapat menganalisis P-Delta dengan 2 cara, yang pertama adalah dengan memberikan kombinasi gaya statik yang dihitung berbasis komputer secara literasi, yang kedua adalah dengan cara menetapkan secara langsung (otomatis) gaya aksial pada elemen *frame* melalui menu *Assign* → *Frame* → *P-Delta Forces*.



Gambar 3.4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta
(Sumber : Djoko Setiyarto)

3.4 Batang Tekan

Umumnya, batang tekan terdiri dari pola segitiga untuk memiliki kestabilan yang baik. Batang tekan dari struktur rangka batang dimaksudkan untuk menerima beban tekan pusat di pusat gravitasi penampang oleh gaya aksial. Jika momen yang dihasilkan relatif kecil, dapat diabaikan. Dalam struktur rangka atap, terutama ditemukan di batang atas dan terkadang di batang diagonal dan vertikal. Batang tidak dikenakan momen dan gaya lateral, tetapi memiliki gaya tekan normal yang bekerja terpusat pada garis berat penampang. Ini disebabkan oleh sifat struktur rangka itu sendiri, di mana pelat buhul berputar dan gaya internal lainnya bekerja padanya ini akan direduksi.

3.4.1 Kelangsingan

Jika ada bagian yang menerima beban tekan aksial dan bagian itu tipis, maka perlu dilakukan pengurangan kekuatan. Rasio lebar dengan lebar elemen ditunjukkan dengan simbol λ . Tidak ada tekuk untuk komponen struktur tekan pendek, tetapi untuk komponen struktur tekan tipis di bawah beban yang sama, tekuk dapat terjadi sebelum leleh, yaitu dengan perpindahan lateral.

Kelangsingan dapat dinyatakan dalam suatu rasio yaitu rasio kelangsingan, rumus rasio kelangsingan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = \sqrt{\frac{KL}{r}} \quad (3.7)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.8)$$

Keterangan :

λ = Rasio kelangsingan

K = Faktor Panjang efektif komponen struktur tekan

L = Panjang struktur tekan yang tidak ditopang

r = Jari-jari putaran potong lintang komponen struktur tekan.

I = Momen inersia penampang struktur tekan

A = Luas penampang struktur tekan.

Saat mengukur komponen struktur tekan, perlu mematuhi persyaratan stabilitas karena ada risiko tekuk dengan komponen bertekanan ramping. Oleh karena itu, nilai KL/r komponen tekanan dibatasi hingga 90. Nilai KL/r

ini C_c dapat dilihat pada gambar 3.2 ditentukan sebagai berikut:

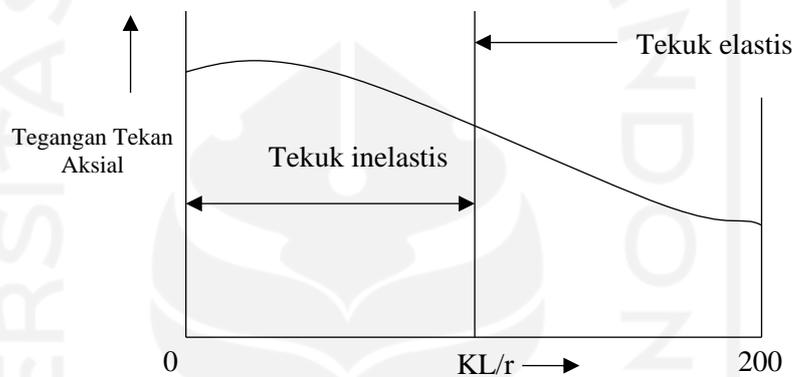
$$C_c = \sqrt{\frac{KL}{r}} = \sqrt{\frac{2\pi r^2}{F_y}} \quad (3.9)$$

Keterangan:

C_c = batas tekuk elastis;

E = modulus elastisitas;

F_y = tegangan leleh.



Gambar 3.5 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai KL/r

3.4.2 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Menurut Salmon dan Johnson (1992), salah satu faktor yang mempengaruhi kerusakan ini adalah luas penampang elemen tekan. Semakin besar luas penampang batang, semakin tinggi kapasitas tekannya, meminimalkan risiko kegagalan dan sebaliknya. Berdasarkan SNI 1729-2020, persamaan nilai kuat tekan dapat didapatkan sebagai berikut:

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.10)$$

Penentuan f_{cr} yaitu

Bila $\frac{L_c}{r} \leq 4,71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka

$$F_{cr} = \left(0,658\frac{F_y}{F_e}\right) F_y \quad (3.11)$$

Bila $\frac{L_c}{r} \geq 4,71\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ maka

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (3.12)$$

Keterangan :

A_g = Luas penampang melintang bruto

E = Modulus elastisitas baja

F_e = Tegangan tekuk elastis

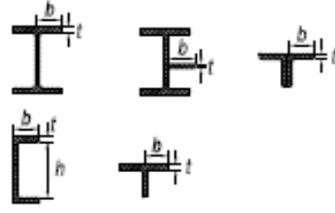
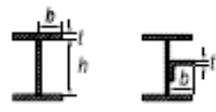
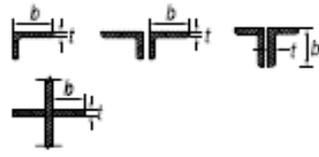
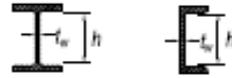
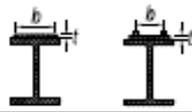
F_y = Tegangan leleh minimum terspesifikasi tipe baja yang digunakan

r = radius girasi

3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk

Perilaku tekuk dapat dibagi menjadi dua jenis: tekuk lokal dan tekuk global. Perbedaannya adalah di mana tekuk terjadi dan solusi penurunan ketika tekuk terjadi pada batang tekan. Untuk mendapatkan struktur terbaik, perlu menghindari risiko tekuk lokal. Oleh karena itu, dengan mengevaluasi rasio lebar-tebal (w/t) setiap elemen pada penampang, dibuat klasifikasi untuk membedakan antara bagian tidak ramping dan ramping. Elemen dikategorikan berdasarkan keadaan batasnya. Jika kedua sisinya dihubungkan dengan elemen lain, bagian tersebut diklasifikasikan sebagai bagian yang tidak ramping (ideal). Jika semua elemen tidak melebihi batas rasio b/t , nilai b/t setiap elemen profil penampang dibandingkan dengan nilai batas rasio b/t dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial

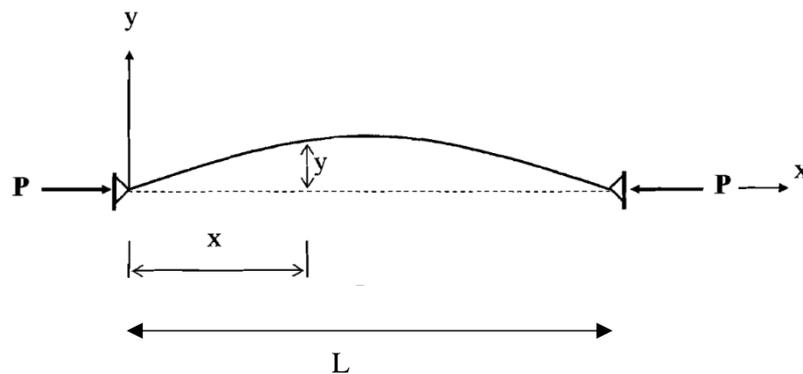
Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_c (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1 Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2 Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3 Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4 Stems of tees	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5 Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6 Walls of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7 Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8 All other stiffened elements	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9 Round HSS	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

(Sumber: AISC 2010)

Tekuk global dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun *inelastic* pada keruntuhan

1. Tekuk Elastis

Dalam suatu kolom langsing terdapat tekuk elastis. Menurut persamaan Euler yang dikemukakan oleh Salmon dan Johnson (1992), tegangan kritis batang tekan diturunkan dari persamaan batang lurus, dimana semua serat tetap elastis dan batang tidak dapat menahan tegangan tambahan. Batang mudah ditopang pada ujungnya dan menerima gaya tekan aksial. Dalam suatu batang lurus yang ujung-ujungnya berupa sendi, dikerjakan gaya tekan P , sehingga batang akan melengkung seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.6 Batang Tekuk

Pada suatu titik sejarak x , Momen lentur M_x (terhadap sumbu x) pada batang yang sedikit melengkung (batang tertekan) adalah

$$M_x = P \times Y \quad (3.13)$$

Dalam keadaan kolom elastis dan deformasi yang terjadi kecil, hubungan momen (M), kelengkungan dan faktor kekakuan (EI) yaitu

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{Mx}{EI} \quad (3.14)$$

Persamaan differensialnya menjadi

$$\frac{d^2y}{dz^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.15)$$

Penyelesaian persamaan memperoleh beban tekuk Euler (*Euler buckling load*), yaitu

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.16)$$

Jika persamaan (3.15) dibagi dengan luas penampang batang A, maka

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AKL^2} \quad (3.17)$$

Dimana I adalah inersia bahan, $I = \sum A_i I_i$ atau $i = I / A$, didapatkan tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.19) sebagai berikut:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{KL/r^2} \quad (3.18)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja,

r = jari-jari inersia minimum

L = panjang tekuk.

2. Tekuk Inelastis

Struktur kolom biasanya melengkung dengan penampang elastis dan sebagian tidak elastis. Ada banyak teori tekuk inelastis, salah satunya adalah teori koefisien tangensial yang dikemukakan oleh Engesser (Salmon dan Johnson, 1992). Berdasarkan teori ini, tegangan kritis kolom dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 Et}{(KL/r)^2} \quad (3.19)$$

Persamaan tersebut hanya berlaku pada batang tekan yang elemen-elemen penampangnya tidak mengalami tekuk lokal.

3.5 Kuat nominal penampang

Metode yang digunakan dalam analisis kekuatan nominal penampang adalah *Effective Length Method* (ELM), tetapi nilai faktor K yang mempengaruhi kelangsingan batang diasumsikan konstan sebesar 1. *Direct Analysis Method* (DAM) pada batang tekan terdapat pengaruh orde ke-2 sehingga menghasilkan gaya tekan dan momen lentur, oleh karena itu dibutuhkan interaksi lentur serta gaya tekan pada komponen struktur simetris tunggal dan komponen struktur simetris ganda agar dapat melentur pada sumbu geometris yang perlu dibatasi. Menurut SNI

1729-2020, analisis bata-batas elemen simetris tunggal dan ganda yang menyalurkan gaya-gaya lentur dan aksial dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

Apabila $\frac{Pr}{P_c} \geq 0,2$ maka

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{M_{c_x}} + \frac{Mr_y}{M_{c_y}} \right) \leq 1,0 \quad (3.20)$$

Apabila $\frac{Pr}{P_c} \leq 0,2$ maka

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{Mr_x}{M_{c_x}} + \frac{Mr_y}{M_{c_y}} \right) \leq 1,0 \quad (3.21)$$

Keterangan:

P_r = Kekuatan aksial perlu (N)

P_c = Kekuatn aksial tersedia (N)

M_r = Kekuatan lentur perlu (N-mm)

M_c = Kekuatan lentur tersedia (N-mm)

x = index sehubungan dengan lentur sumbu mayor

y = index sehubungan dengan lentur sumbu minor

3.6 Kuat Lentur Profil

Kekuatan lentur adalah ketahanan suatu baja untuk menahan gaya-gaya dalam arah tegak lurus sumbu sampai baja tersebut runtuh atau patah. Pengujian yang dilakukan pada penampang baja persegi panjang yang merupakan metode desain balok lentur yang sesuai dengan SNI 1729-2020 adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Prosedur desain balok lentur profil kotak

Pasal dalam Bab F	Penampang Melintang	Kelangsingan Sayap	Kelangsingan Badan	Keadaan Batas
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB
<small>Y = leleh, CFY = leleh sayap tekan, LTB = tekuk torsi-lateral, FLB = tekuk lokal sayap, WLB = tekuk lokal badan, TFY = leleh sayap tarik, LLB = tekuk lokal kaki, LB = tekuk lokal, C = kompak, NC = nonkompak, S = langsing, N/A = tidak berlaku</small>				

Dengan mengacu pada metode desain balok lentur penampang kotak di atas, kekuatan lentur nominal (M_n) harus ditentukan dari kondisi batas tekuk torsi lateral

dan leleh terendah. Menurut SNI 1729-2020, rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan nilai M_n .

1. Leleh

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z \quad (3.22)$$

Keterangan :

F_y = Tegangan leleh minimum

Z_x = Modulus penampang plastis terhadap sumbu x

2. Tekuk Torsi-Lateral

a. Apabila $L_b \leq L_p$ keadaan batas tekuk torsi lateral tidak berlaku

b. Apabila $L_p < L_b \leq L_r$, maka:

$$M_n = C_b \left(M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right) \leq M_p \quad (3.23)$$

c. Apabila $L_b > L_r$, maka:

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{JAg}}{\frac{L_b}{r_y}} \leq M_p \quad (3.24)$$

Keterangan :

Ag = Luas penampang melintang bruto

L_p = Batas Panjang tak terbreis secara lateral untuk keadaan batas leleh

Dengan :

$$L_p = 0,13 E_{ry} \frac{\sqrt{JAg}}{M_p} \quad (3.25)$$

Jika L_r , batas Panjang secara lateral pada keadaan batas tekuk torsi lateral inelastis, yaitu :

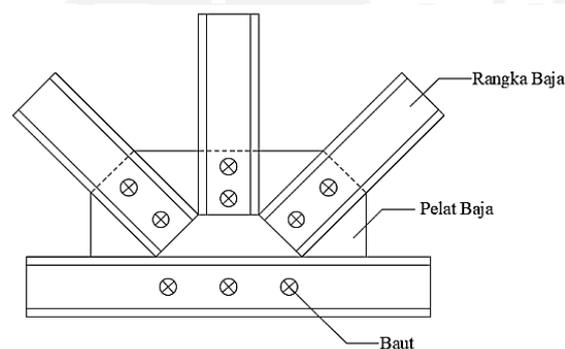
$$L_p = 2 E_{ry} \frac{\sqrt{JAg}}{M_p} \quad (3.26)$$

3.7 Kapasitas Sambungan Struktur Baja

Dalam menghitung struktur baja terdapat banyak variasi jenis dan sifat sambungan serta gaya-gaya yang bekerja padanya, sehingga perlu dilakukan perhitungan sambungan secara rinci. Perencanaan sambungan dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi sambungan dan jumlah sambungan (jumlah baut dan

tebal las) sehingga kapasitas sambungan lebih besar dari beban sambungan. Struktur baja memiliki berbagai jenis sambungan seperti paku keeling (rivet), baut dan las. Untuk menjamin kualitas proses pembuatannya, diperlukan ketelitian, kecermatan, dan sistem kendali yang baik. Penyimpangan dalam penggunaan jenis sambungan dari rencana dapat menyebabkan penurunan kinerja struktural lokal atau umum dan kegagalan bencana.

Pada pengujian ini sambungan struktur atap yang digunakan untuk baja adalah sambungan dengan menggunakan baut. Pelat baja juga digunakan sebagai media penghubung. Penjelasan tentang sambungan baut ditunjukkan pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 Sambungan Baut Dengan Pelat Baja

Saat merencanakan sambungan, perlu membuat koneksi lebih kuat daripada elemen yang disambungkan. Analisis sambungan meliputi analisis kuat tumpu baut dan kuat geser baut sebagai berikut.

3.7.2 Kuat Tumpu Baut

Dengan mengacu pada AISC (2010), kuat tumpu pelat penghubung baut memperhitungkan efek deformasi. Jika besarnya deformasi dapat mempengaruhi fungsi struktur, maka harus dibatasi oleh persamaan 3.27 di bawah ini.

$$R_n = 1.2 I_c t F_u \leq 2.4 d t F_u \quad (3.27)$$

Jika deformasi sambungan tidak mempengaruhi atau mengganggu fungsi struktur, maka persamaan 3.28 di bawah ini dapat digunakan.

$$R_n = 1.5 I_c t F_u \leq 3.0 d t F_u \quad (3.28)$$

Jika menggunakan lubang baut tipe slot panjang yang tegak lurus dengan arah gaya akan mengurangi kekuatan. Oleh karena itu, Persamaan 3.29 dapat digunakan sebagai berikut.

$$R_n = 1.0 I_c t F_u \leq 2.0 d t F_u \quad (3.29)$$

Keterangan :

- I_c = jarak bersih (mm) searah gaya
- F_u = Kuat Tarik minimum baja pelat (MPa)
- t = Tebal material yang disambung (mm)
- d = Diameter baut (mm)

3.7.3 Kuat Geser Baut

Kuat tumpu dan gaya geser dapat terjadi pada sambungan pelat-sekrup. Kerusakan pertama pada baut yang terjadi adalah geser. Oleh karena itu, perlu untuk meningkatkan kekuatan geser sekrup. Rumus persamaan kekuatan baut per bidang geser dapat dilihat pada persamaan 3.30 berikut.

$$R_n = F_{nv} A_b \quad (3.30)$$

Dimana :

- R_n = Kuat Geser Baut (N)
- F_{nv} = Tegangan geser nominal baut
- A_b = Luas penampang baut (mm²)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum

Penelitian yang dilakukan dengan percobaan untuk membandingkan kekuatan rangka baja yang dianalisis dengan metode analisis langsung menggunakan aplikasi SAP2000 (SNI 1729-2020) dengan hasil pengujian di laboratorium. Sampel uji yang digunakan berupa struktur rangka atap baja dengan profil kotak atau hollow dengan kelangsingan (KL/r) batang tekan yang menengah dengan variasi jumlah baut sambungan. Penelitian ini dilakukan dengan 3 pengujian yaitu: uji tarik material profil hollow, uji geser baut, dan uji rangka atap baja. Setelah dilakukan pengujian maka data hasil pengujian dapat dianalisis dan hasil pengujian laboratorium dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan metode analisis langsung (DAM) & metode panjang efektif (ELM) (SNI 1729-2020).

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah segala karakteristik umum yang ditetapkan oleh seorang peneliti yang dapat diukur dan diubah dalam objek penelitian untuk dipelajari dengan tujuan didapatkan informasi mengenai hal tersebut dan dapat ditarik kesimpulan. Terdapat dua variabel dalam penelitian ini:

1. Variabel bebas dalam penelitian ini merupakan jumlah baut dalam benda uji rangka atap yg dalam penelitian ini baut tunggal & baut ganda dalam sambungan.
2. Variabel terikat adalah Metode Analisis Langsung (DAM) Sesuai dengan (SNI 1729-2020) dan metode panjang efektif (ELM), kedua metode ini sebagai analisis pembanding output uji eksperimen pada laboratorium.

4.3 Jenis Data Penelitian

Pada penelitian ini pengumpulan data diambil dari Direct Analysis Method (DAM) yang sesuai dengan SNI 1729:2020 dan pengujian langsung di laboratorium

yang kemudian dari kedua data tersebut dibandingkan hasilnya. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Data Primer

Pada penelitian ini, data primer diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan. Data tersebut berupa data hasil uji tarik berupa penambahan panjang dan beban pada benda uji, dan data yang diperoleh dari uji geser baut berupa beban maksimum yang dapat ditahan oleh baut.

2. Data Sekunder

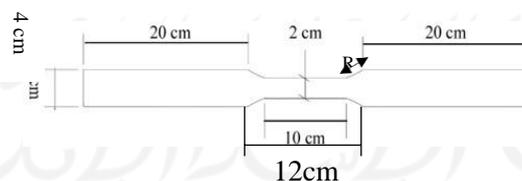
Data sekunder adalah data yang diambil dari berbagai sumber yang diterbitkan dan tidak diterbitkan, termasuk media dan literasi lainnya. Dalam penelitian ini digunakan data sekunder berupa analisis langsung SNI 1729:2020 sebagai acuan perbandingan dengan hasil pengujian.

4.4 Uji Tarik Material Baja

Pengujian tarik material baja dilakukan untuk memperoleh nilai kuat tarik material yang digunakan serta nilai modulus elastis hingga diperoleh mutu baja yang digunakan.

4.4.1 Bahan Uji

Digunakan benda uji berupa pelat baja dengan ketebalan 1,8 mm. Gambar 4.1 berikut ini merupakan gambar benda uji yang digunakan berdasarkan SNI 8389-2017.



Gambar 4.1 Benda Uji Pelat Baja

4.4.2 Alat Uji

Pada pengujian ini alat yang akan digunakan sebagai berikut.

1. Alat Pengukur

Alat ukur digunakan untuk mengukur dimensi benda uji kemudian dilakukan pengujian. Berikut gambar alat ukur roll meter pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Jangka Sorong

2. *Universal Testing Material (UTM)*

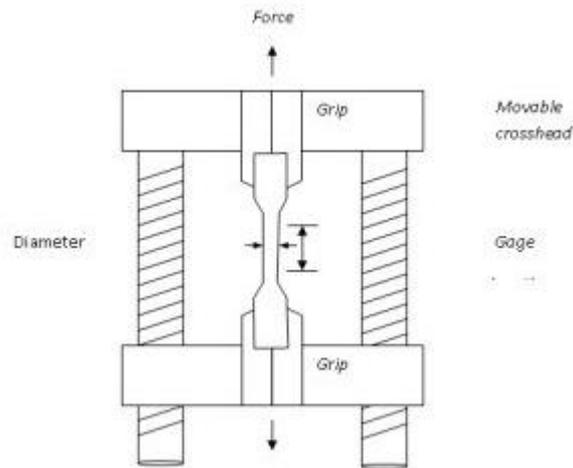
Mesin uji kuat tarik baja ini digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja. Pada penelitian ini digunakan mesin uji kuat tarik baja yaitu *UNIVERSAL TESTING MATERIAL (UTM)* dengan merk Shimatsu tipe UMH 30, kapasitas 30 ton. Berikut gambar *Universal Testing Material (UTM)* pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Universal Testing Material

4.4.3 *Set Up* Pengujian

Berikut ini adalah gambar *set up* pengujian tarik material baja yang dilakukan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Set Up Pengujian Tarik Material
(Sumber: alat uji.com)

4.5 Uji Geser Baut

Uji geser baut dilakukan untuk mengetahui kekuatan baut ketika menerima beban maksimal apabila baut digunakan pada sambungan struktur rangka atap baja.

4.5.1 Bahan Uji

Pada pengujian kuat geser baut digunakan baut dengan diameter 12 mm.

4.5.2 Peralatan Pengujian

Pada pengujian geser baut diperlukan peralatan-peralatan untuk menunjang proses pengujian yang akan dilakukan. Berikut ini adalah peralatan yang dibutuhkan dalam pengujian geser baut.

1. Jangka Sorong

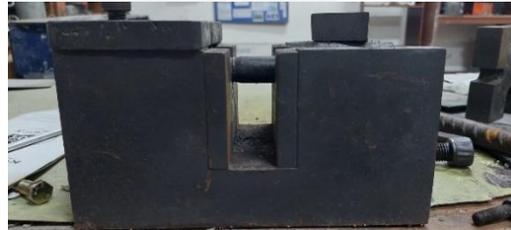
Untuk mengukur diameter baut yang akan digunakan menggunakan jangka sorong. Berikut gambar jangka sorong pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Jangka Sorong Pengujian Geser Baut

2. Alat Bantu Uji Geser Baut

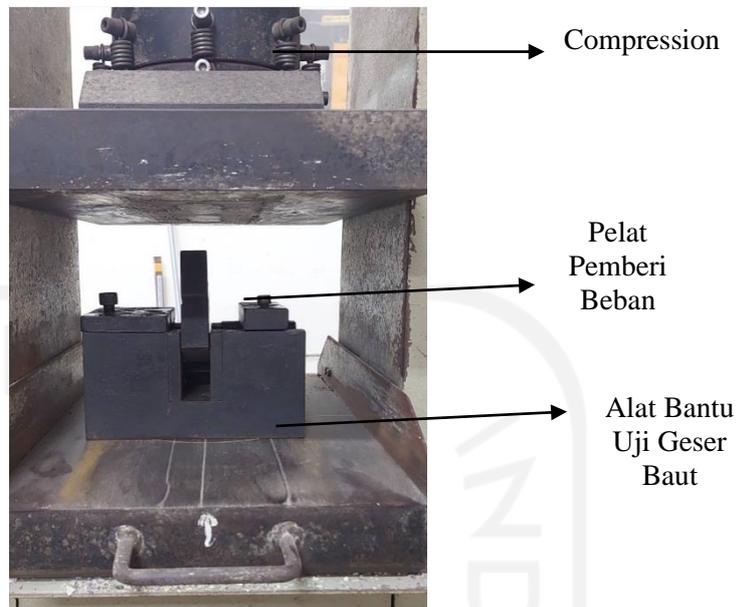
Alat bantu uji geser baut digunakan untuk mengetahui kekuatan geser dari baut yang akan digunakan. Berikut ini adalah Gambar 4.6 alat uji geser baut.



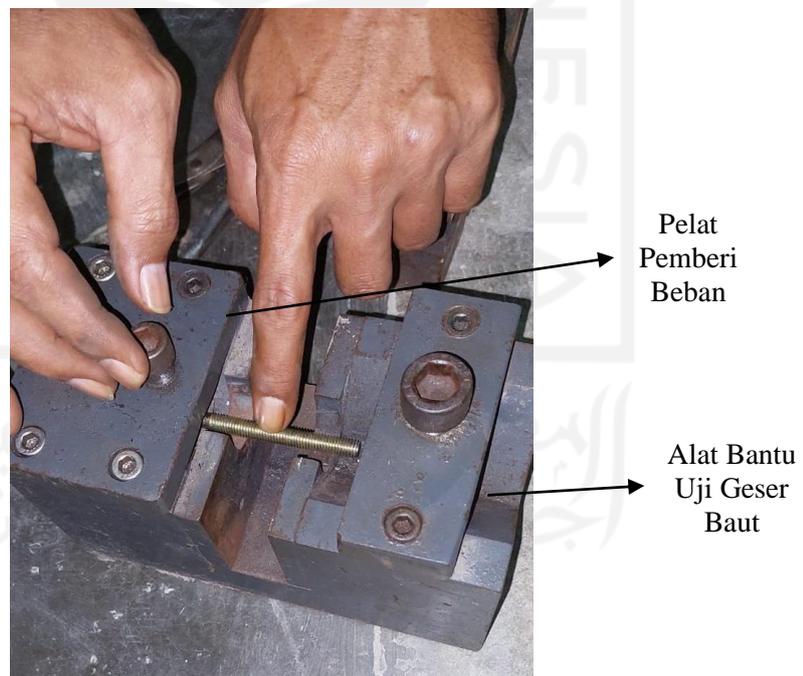
Gambar 4.6 Alat Bantu Uji Geser Baut

4.5.3 Set Up Pengujian

Berikut adalah *set up* pengujian kuat geser baut pada Gambar 4.7 hingga Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4.7 Set Up Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Depan



Gambar 4.8 Set Up Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Atas

4.6 Perhitungan Desain Rangka Atap

Tahapan selanjutnya setelah pengujian material baja yaitu dengan melakukan

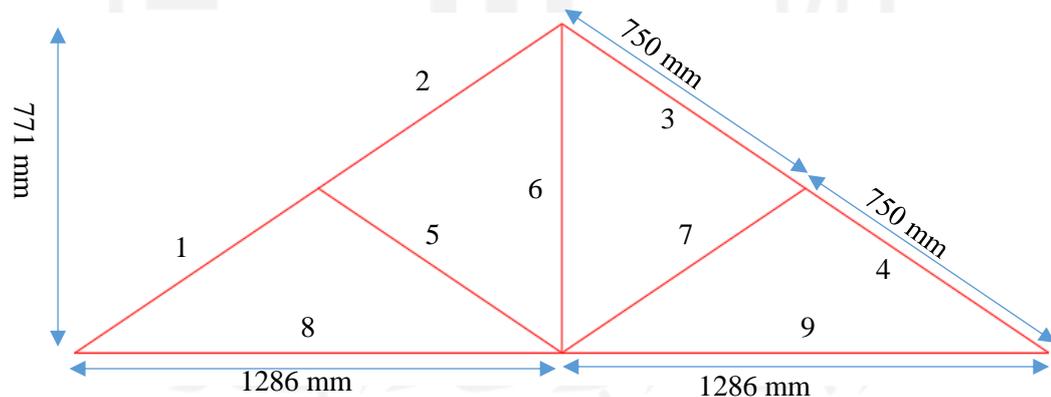
trial perhitungan dimensi rencana rangka atap yang akan digunakan dalam pengujian ini.

4.6.1 Trial Perhitungan Dimensi Rencana Rangka Atap

Sebelum tahap pembuatan rangka atap dilakukan perhitungan dimensi rencana rangka atap secara manual. Dengan data yang diasumsikan awal sebagai berikut.

Lebar Profil (B)	= 20 mm
Tinggi Profil (H)	= 40 mm
Tebal Profil	= 1,8 mm
Modulus elastisitas (E)	= 200000 Mpa
Tegangan Leles (Fy)	= 250 Mpa
Luas penampang (A)	= 203,04 mm ²
Jari-jari Girasi X (r _x)	= 14,17 mm
Jari-jari Girasi Y (r _y)	= 8,09 mm
Kelangsingan (L/r)	= 90
Panjang Profil Batang (L)	= 750 mm

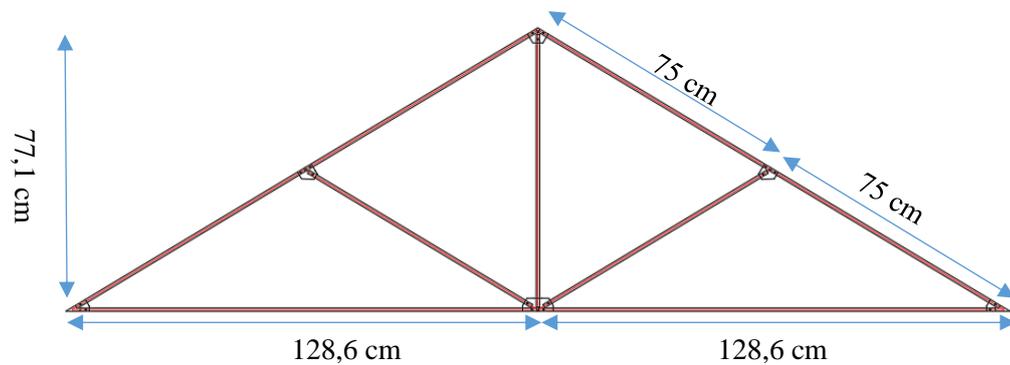
diperoleh dimensi rangka atap pada Gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Dimensi Rangka Atap Hasil Trial Perhitungan Manual

4.6.2 Gambar Desain Rencana Rangka Atap Menggunakan AutoCad

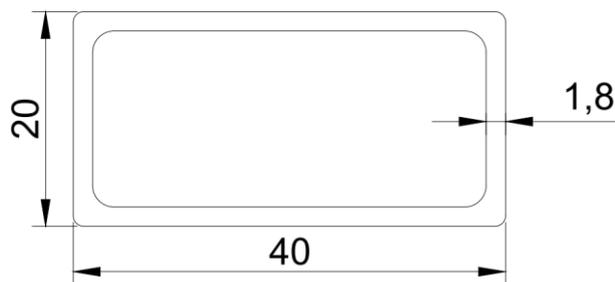
Setelah diperoleh dimensi rencana untuk rangka atap selanjutnya dilakukan pemodelan dengan menggunakan Autocad pada Gambar 4.10 dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 4.10 Dimensi Akhir Setelah Pemodelan AutoCad

4.6.3 Gambar Profil Yang Akan Digunakan

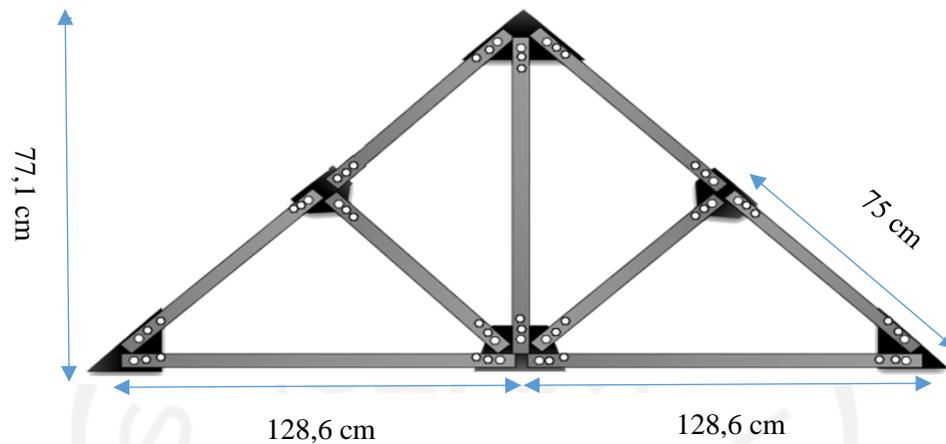
Profil yang akan digunakan pada rangka atap dengan dimensi 20 x 40 mm pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Gambar Profil Rangka Atap

4.7 Pembuatan Benda Uji Rangka Atap

Lalu hasil hambar rencana rangka atap dibawa ke bengkel las untuk dilakukan pembuatan benda uji rangka atap. Gambar desain rangka atap yang direncanakan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Sampel Uji Rangka Atap

4.8 Uji Tekan Rangka Atap

Setelah benda uji sudah selesai dikerjakan maka tahap selanjutnya yaitu pengujian tekan rangka atap.

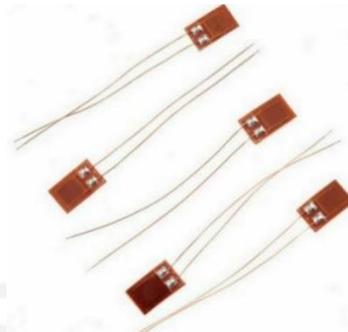
4.8.1 Benda Pengujian

Benda uji yang digunakan adalah struktur rangka atap baja *Square Hollow Section* dengan ukuran penampang 20 x 40 mm, tebal 1,8 mm, diameter 12 mm, dan tebal plat buhul yaitu 2 mm yang digunakan sebagai koneksi yang digunakan antara profil.

4.8.2 Peralatan Pengujian

1. *Strain Gauge*

Strain gauge digunakan untuk mengukur regangan tekan dan regangan lentur pada batang tekan dari rangka atap yang terjadi pada saat pengujian. Gambar dari *Strain Gauge* dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Strain Gauge

2. *Load Cell*

Digunakan Load cell untuk membaca beban pada rangka atap. Pada penelitian ini load cell yang digunakan memiliki kapasitas membaca beban 20-50 ton.. Gambar *load cell* dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14 Load Cell

3. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

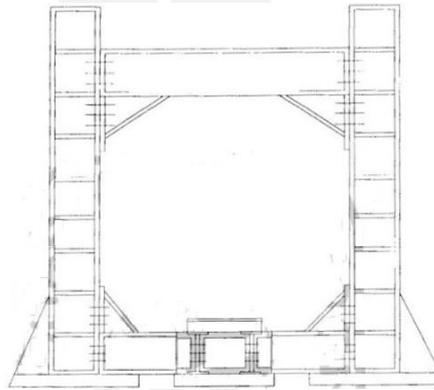
Transformator diferensial variabel linier (LVDT) adalah alat dengan kemampuan untuk menentukan defleksi yang terjadi pada suatu benda uji. Dalam penelitian ini, sebuah *transformator diferensial variabel linier (LVDT)* dapat dipasang pada sisi berlawanan dari arah *load cell* untuk mengukur defleksi 100 mm. Gambar LVDT dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 LVDT

4. *Loading Frame*

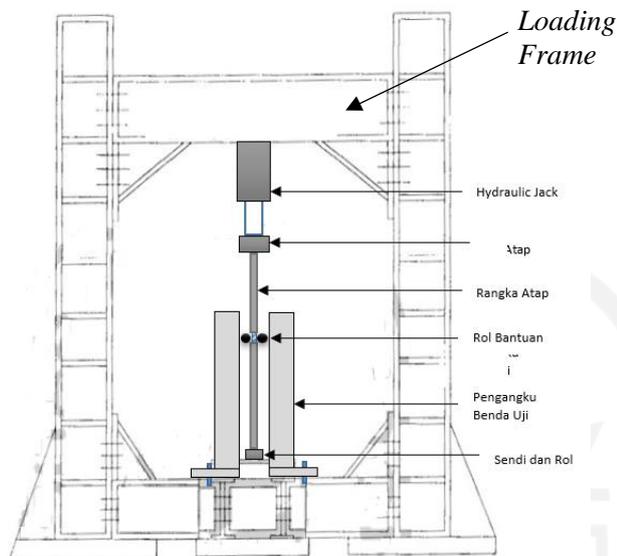
tempat untuk meletakkan sampel benda uji rangka atap baja sebelum diberikan beban menggunakan *Loading frame*. Berikut gambar *Loading Frame* dapat dilihat pada Gambar 4.16 di bawah ini.



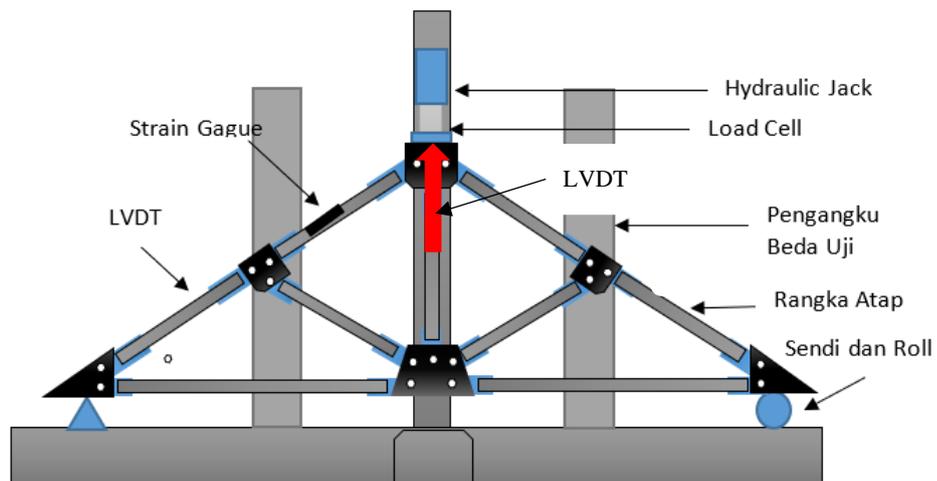
Gambar 4.16 Loading Frame

4.8.3 *Set Up* Pengujian

Gambar 4.17 berikut ini merupakan set up pengujian rangka atap.



Gambar 4.17 Set Up Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap Tampak Samping



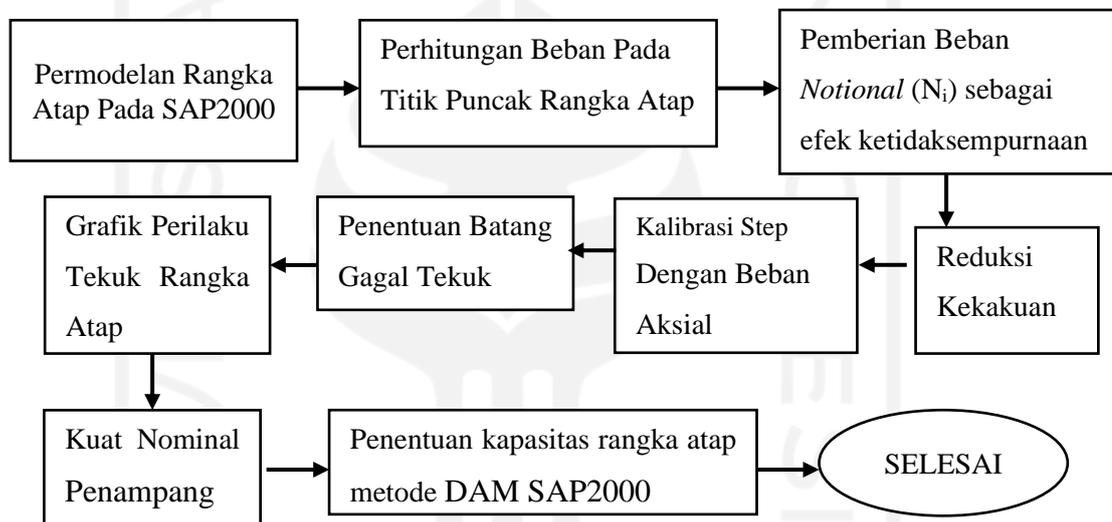
Gambar 4.18 Tampak Depan Set Up Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

4.9 Direct Analysis Method Menggunakan SAP2000

Analisis dilakukan dengan metode DAM pada SAP2000 dengan memodelkan rangka atap 2D dengan arah profil sumbu lemah menggunakan tumpuan sendi - rol, kemudian dilakukan dengan *set analysis option 2D*. Selain itu model sambungan rangka baja dengan varian 1 baut dilepas kekakuannya (*relase*) sedangkan varian 3

baut tidak dilepas kekakuannya. Setelah model rangka atap selesai dibuat, maka dimodelkan ketidaksempurnaan geometri dengan memasukkan beban *notional* pada rangka rangka atap.

Langkah selanjutnya adalah mengkalibrasi jumlah *step* untuk menentukan langkah yang stabil dan akurat, sehingga dapat menentukan batang yang mengalami tekuk dengan menampilkan batang tekan dengan momen maksimum. Langkah terakhir dapat dilakukan dengan menganalisis kuat tekan rangka atap melalui menu *section cut*. Untuk membuat SAP2000 DAM lebih mudah dipahami, berikut adalah *flowchart* SAP2000 DAM.



Gambar 4.19 *Flowchart* Metode DAM dengan SAP2000

4.10 Tahap Pembahasan dan Penarikan Kesimpulan

1. Tahapan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis data selanjutnya dilakukan pembahasan mengenai hasil dari pengujian di laboratorium serta analisis data yang nantinya membandingkan hasil antara pengujian di laboratorium dengan DAM

2. Tahapan Penarikan Kesimpulan

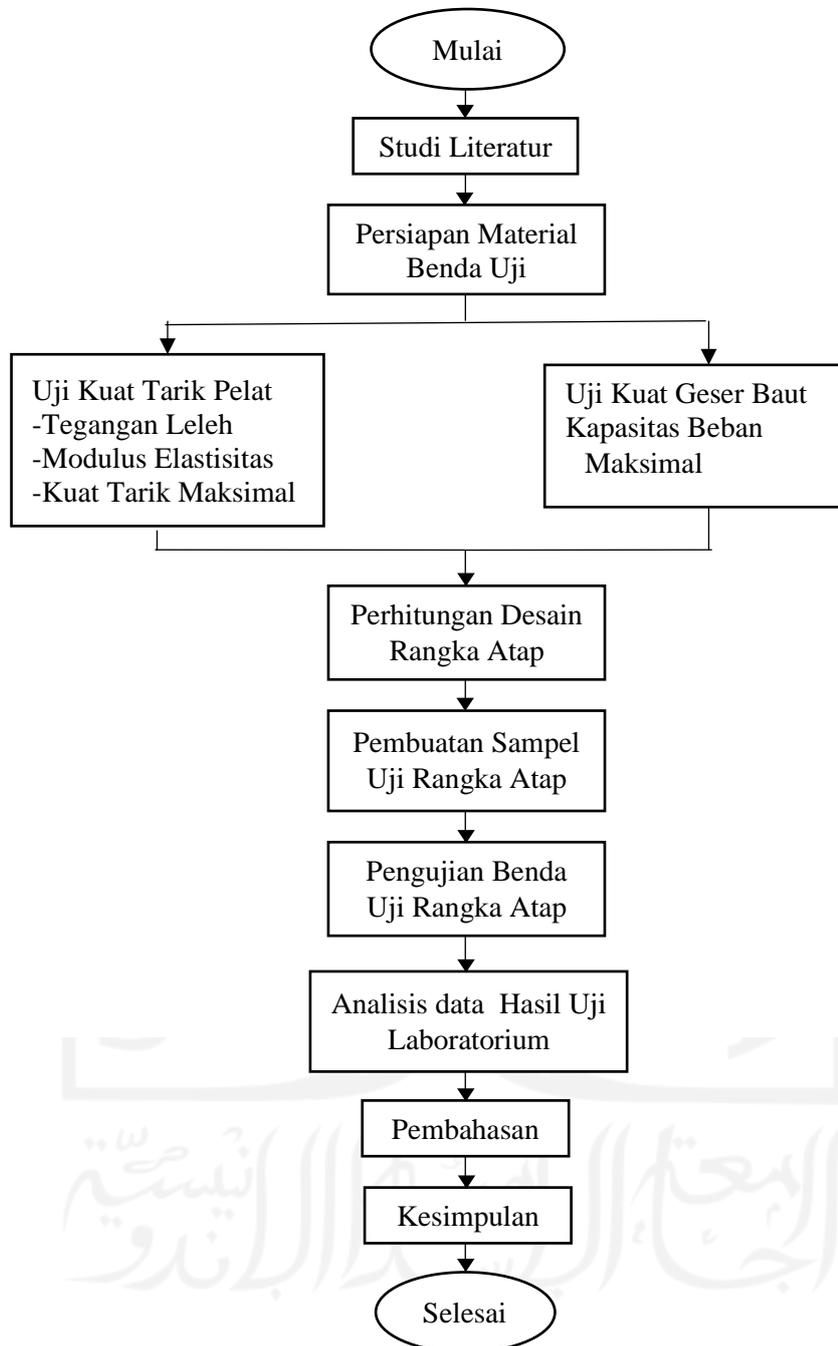
Pada kesimpulan diperoleh data yang sudah dianalisis dan dilakukan pembahasan. Kesimpulan yang diperoleh merupakan hasil perbandingan nilai akurasi kuat tekan struktur rangka atap yang dilakukan dengan perhitungan

Direct Analysis Method (DAM) sesuai SNI 1729:2020 dengan hasil pengujian laboratorium.

4.11 *Flowchart* Penelitian

Flowchart berfungsi agar dapat memudahkan dalam memahami tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan. Berikut dapat dilihat *flowchart* pada penelitian ini.



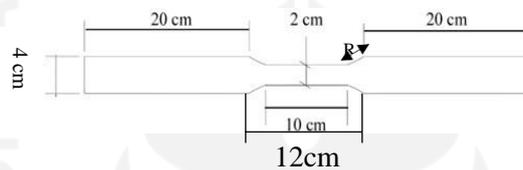


Gambar 4.20 *Flowchart* Penelitian

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Uji Kuat Tarik Material Baja

Pada saat pengujian kuat tarik baja, benda uji yang digunakan adalah pelat baja yang diambil dari salah satu sisi profil *Square Hollow Section* yang dibuat berdasarkan SNI 8389:2017, terlihat pada Gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja

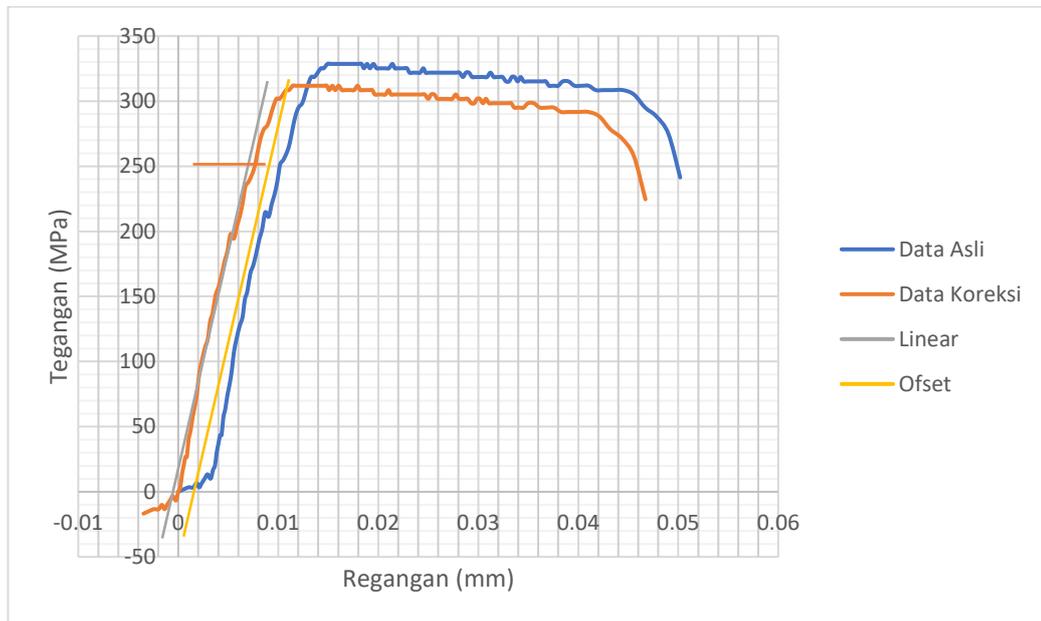
Benda uji tarik baja pada pengujian ini menggunakan dimensi sebagai berikut.

$$L_o = 100mm$$

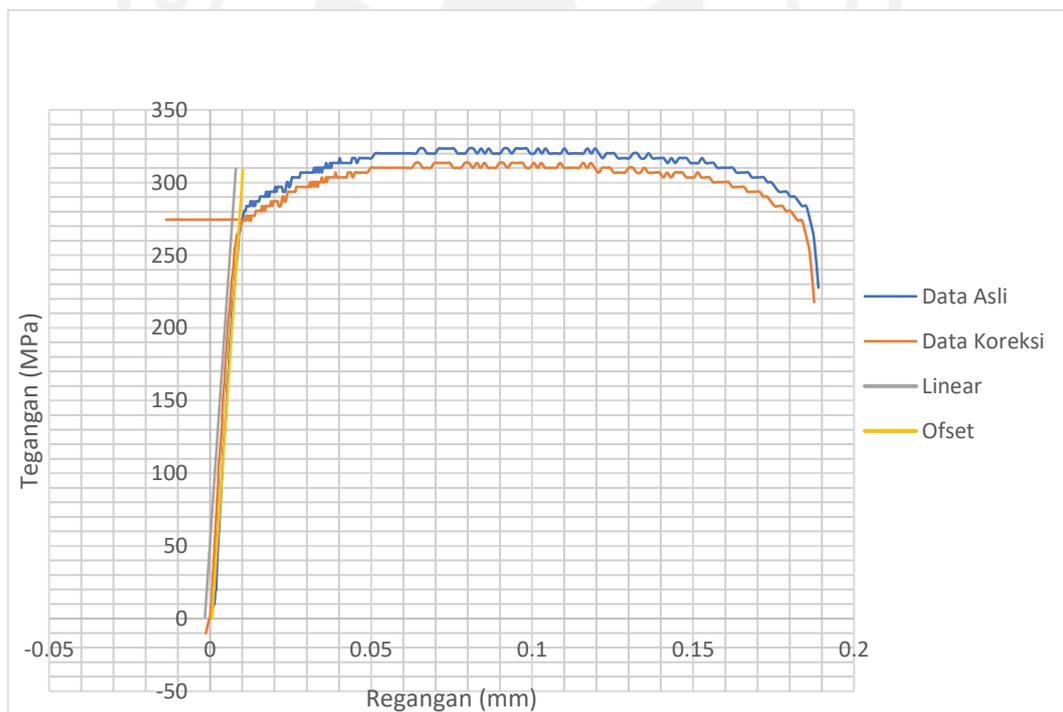
$$L_c = 120mm$$

$$b_o = 20mm$$

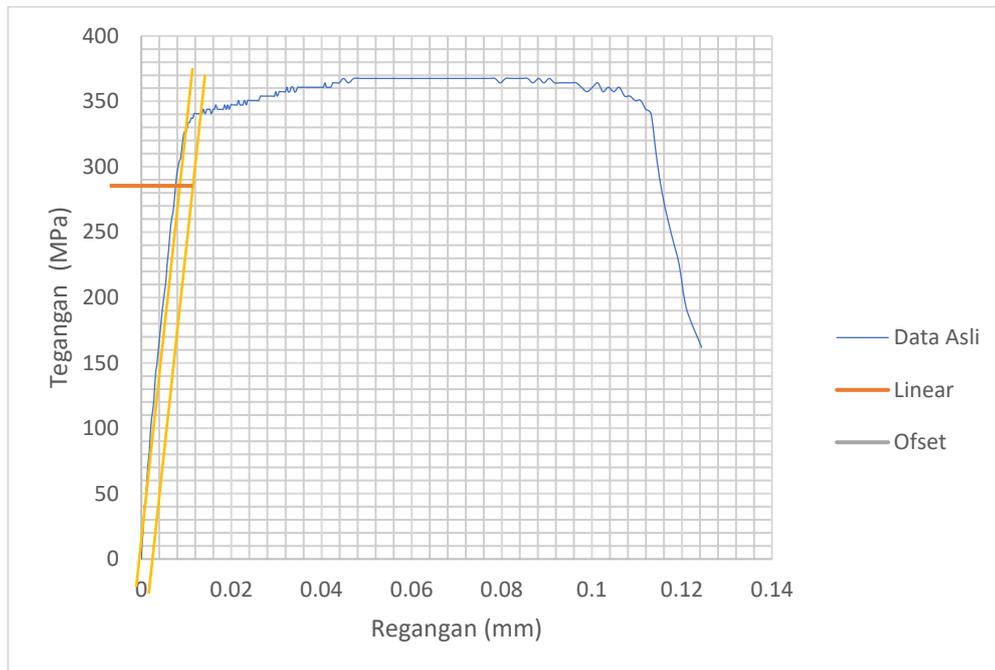
Pengujian tarik bahan baja dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan luluh (F_y) dan kuat tarik maksimum (F_u) pada pelat baja yang digunakan. Grafik tegangan-regangan hasil pengujian kuat tarik pelat baja dapat dilihat pada Gambar 5.2 sampai dengan Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1

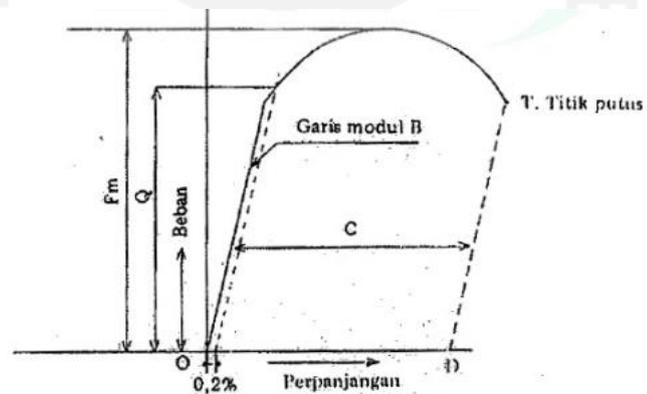


Gambar 5.3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2



Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3

Dalam menentukan titik leleh dari grafik pengujian tarik material baja di atas yaitu, dengan menggunakan Teknik offset 0,2% berdasarkan SNI 0408 (BSN, 1989).



Gambar 5.5 Offset 0,2%
(sumber : SNI 0408 (BSN, 1989))

Berikut ini adalah nilai titik leleh, dan nilai tegangan maksimum dari hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.1 di bawah ini.

Tabel 5.1 Nilai Kuat Tarik Pelat Baja Hasil Pengujian

No	Benda Uji	Fy (MPa)	Fu (MPa)
1	Sampel 1	305	311,77
2	Sampel 2	271	313,50
3	Sampel 3	339	367,35
Rata-Rata		305	330,88

5.2 Uji Geser Baut

Uji geser baut dilakukan untuk mengetahui kuat geser baut yang digunakan sebagai sambungan pada rangka atap. Untuk menguji kuat geser baut digunakan tiga buah sampel baut dengan diameter 12 mm. Gambar 5.6 hingga Gambar 5.8 berikut adalah gambar kondisi baut setelah dilakukan pengujian gaya geser baut.

**Gambar 5.6 Kondisi Baut Sampel 1 Setelah Pengujian**



Gambar 5.7 Kondisi Baut Sampel 2 Setelah Pengujian



Gambar 5.8 Kondisi Baut Sampel 3 Setelah Pengujian

Hasil pengujian geser baut yang dilakukan menunjukkan keadaan baut setelah pengujian, seperti terlihat pada Gambar 5.6, Gambar 5.7, dan Gambar 5.8 di atas. Dari keadaan ini dapat diketahui bahwa benda uji baut tidak rusak dan hanya bengkok, sehingga keadaan tidak getas.

Dari pengujian baut yang telah dilakukan, data pengujian yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan nilai kuat geser baut. Contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat geser sampel baut 1 sebagai berikut.

$$R_n = \frac{P_{max}}{2 \times A} \quad (5.1)$$

$$R_n = \frac{60000}{2 \times 113,04}$$

$$R_n = 265,393 \text{ MPa}$$

Hasil dari pengujian geser baut dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Geser Baut

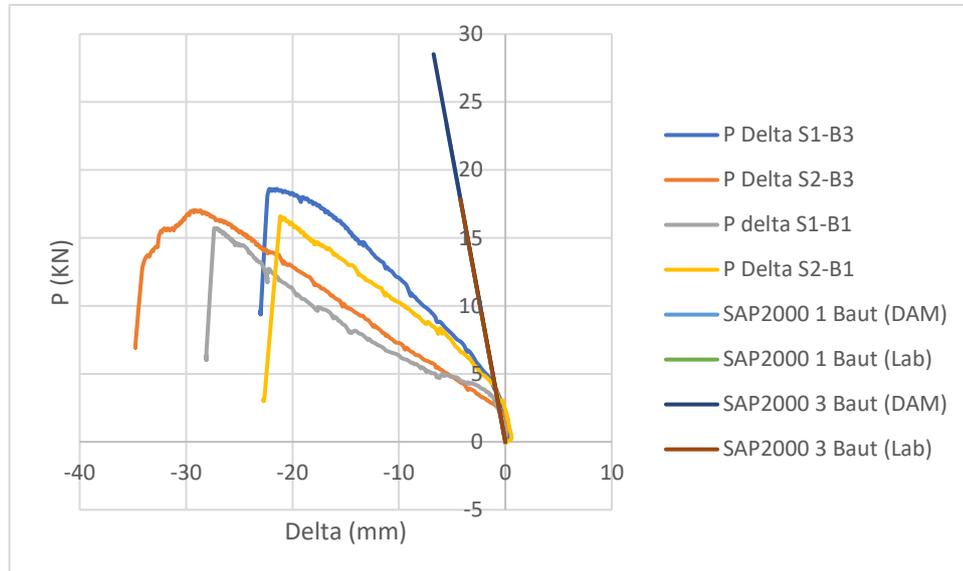
Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
D baut (mm)	12	12	12	12
Pmax (N)	60000	56000	53000	56333
Kuat geser (MPa)	265.393	247.70	234.430	249.174

Pada pengujian baut yang dilakukan menggunakan benda uji baut dengan spesifikasi kode mutu kelas 4.6 menggunakan bahan baja karbon rendah. Dari sini, kita dapat melihat bahwa kualitas sekrup adalah 393,01 MPa. Namun pada pengujian geser yang dilakukan, kuat geser rata-rata dari benda uji baut adalah 249,174 MPa. Hal ini berarti hasil uji kuat geser baut tidak sesuai atau lebih rendah daripada standar mutu baut yang ada.

5.3 Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

Kuat tekan rangka atap diuji untuk mengetahui kuat tekan yang direncanakan dari rangka atap. Saat menguji kuat tekan rangka atap, digunakan dua variasi jumlah baut penghubung yaitu satu dan tiga baut dengan masing-masing 2 sampel.

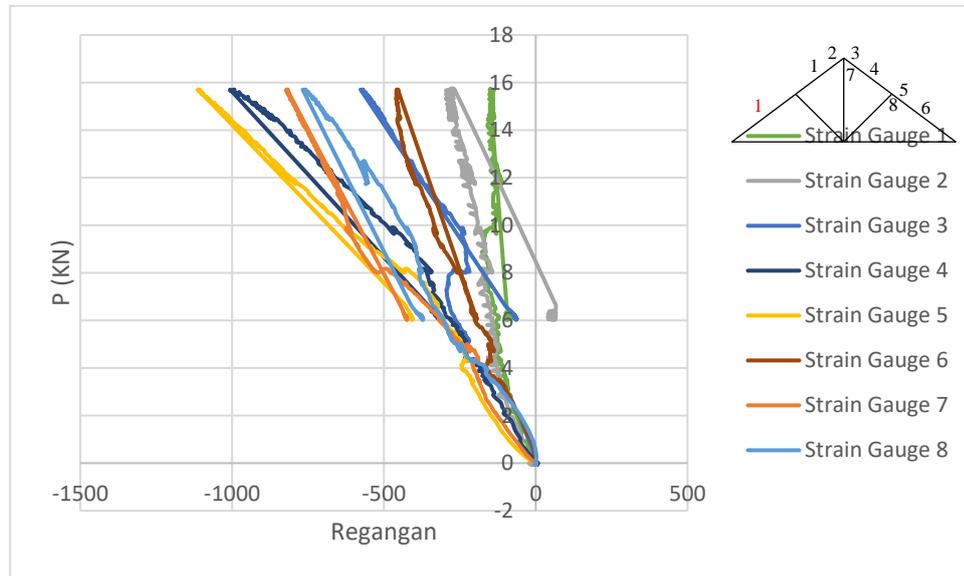
5.3.1 Grafik P-Delta pada pengujian rangka atap dengan variasi jumlah sambungan 1 & 3 baut serta SAP2000



Gambar 5.9 Grafik P-Delta Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 dan 3 Baut serta SAP2000

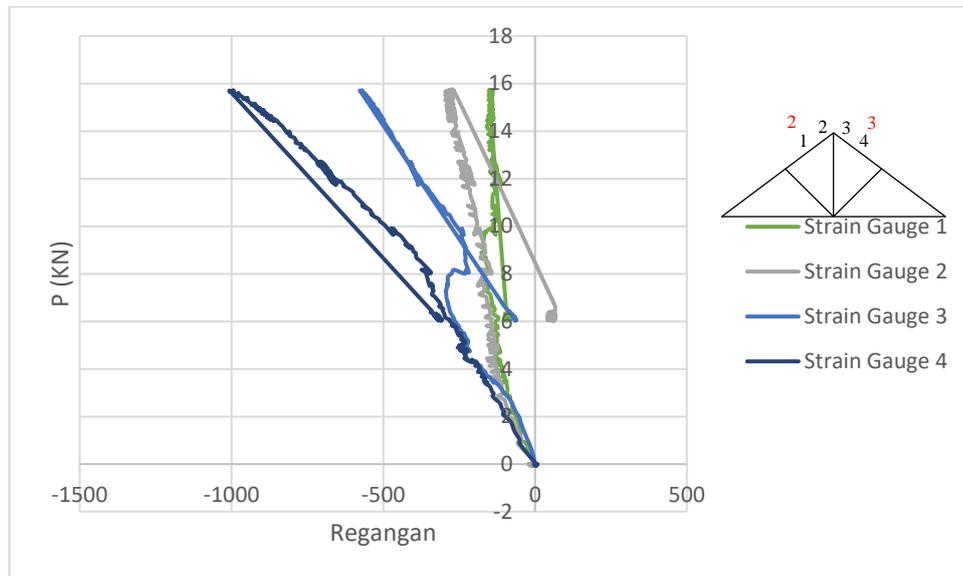
Dari Gambar 5.9 di atas bisa dilihat bahwa hampir tidak ada pengaruhnya sambungan 1 maupun 3 baut, dikarenakan profil dengan kelangsingan sedang sudah kaku. Hal ini ditunjukkan oleh bentuk grafik yang tidak berurutan seperti contoh p-delta 3 baut sampel 2 berada di atas p-delta 1 baut sampel 1 sedangkan p-delta baut 1 sampel 2 berada di atas p-delta baut 3 sampel 2. Hal ini berarti kekakuan struktur didominasi oleh kekakuan profil dibandingkan kekakuan sambungan.

5.3.2 Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut



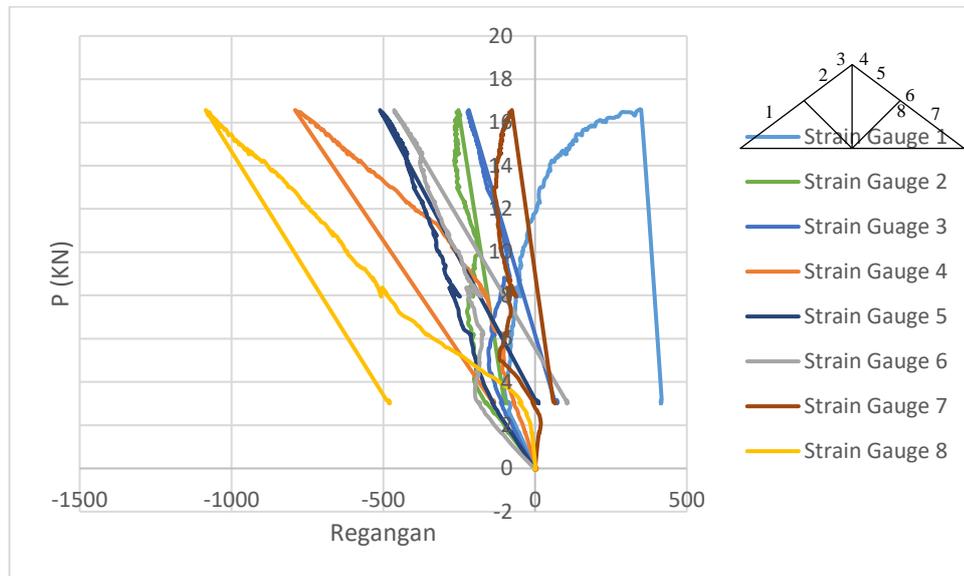
Gambar 5.10 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 1 Semua *Strain Gauge*

Dari Gambar 5.10 di atas bisa dilihat terjadi tekan murni hingga beban 4 KN, terlihat dari grafik *strain* yang mengumpul membentuk 1 garis. Setelah beban 4 KN terlihat grafik menyebar ke arah positif (tarik) dan negatif (tekan) hal ini menunjukkan terjadinya fenomena tekuk global (Gambar 5.14) pada rangka 1 baut. Walaupun regangan maksimum yang terbaca hanya $1100 \mu\epsilon$ (kurang dari regangan leleh $1500 \mu\epsilon$), namun struktur rangka ini mengalami gagal tekuk inelastik pada batang tekan 1 (Gambar 5.10 dan Gambar 5.14). Hal ini terjadi karena tidak terdapat *strain gauge* di lokasi tersebut.



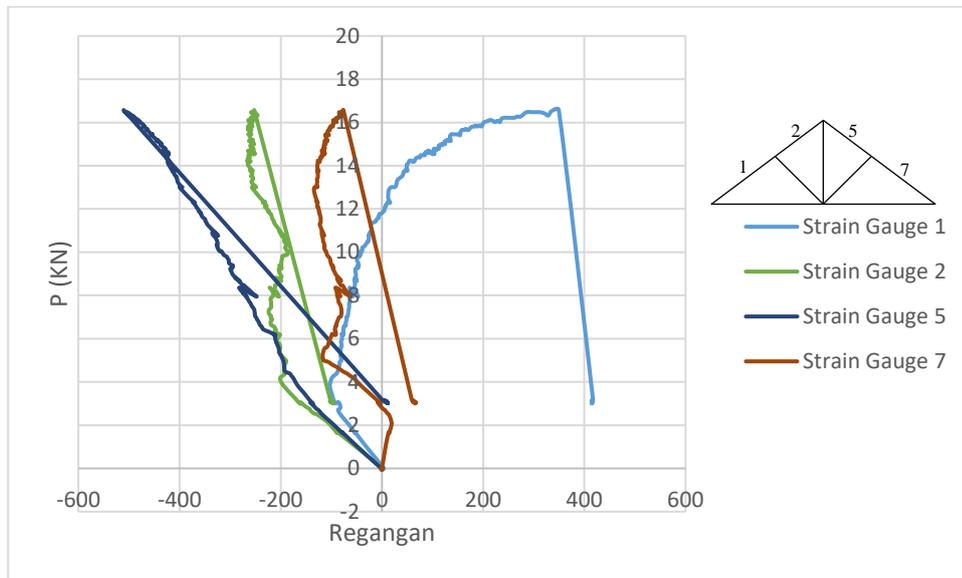
Gambar 5.11 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 1 Strain Gauge 1, 2, 3 & 4

Dari Gambar 5.11 di atas dapat dilihat telah terjadi tekuk di *strain* 1 pada beban 9,5 KN yang ditandai oleh grafik yang berpisah antara *strain gauge* 1 dan *strain gauge* 2. Hal ini menunjukkan tengah bentang 2 terjadi tekuk ke arah atas yang menyebabkan strain 1 mengalami regangan tarik. Hal yang sama juga terjadi batang 3 dimana grafik strain mulai berpisah pada beban 6 KN yang menandakan terjadinya tekuk. Berdasarkan keseluruhan grafik, sisi kanan rangka mengalami tekuk terlebih dahulu (6 KN) daripada sisi kiri (9,5 KN). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa respon struktur 1 Baut sampel 1 tidak simetris sehingga mengakibatkan grafik p-delta pada pengujian lab dengan SAP2000 pada Gambar 5.10.



Gambar 5.12 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 2 Semua *Strain Gauge*

Dari grafik di atas bisa dilihat respon struktur lebih simetris daripada sampel 1 terlihat dari nilai kuat tekan sampel 2 lebih tinggi. Pada sampel ini terjadi tekuk global pada batang-batangnya, terdapat 2 titik yang mengalami gagal tekuk pada *strain* 1 dan 8.



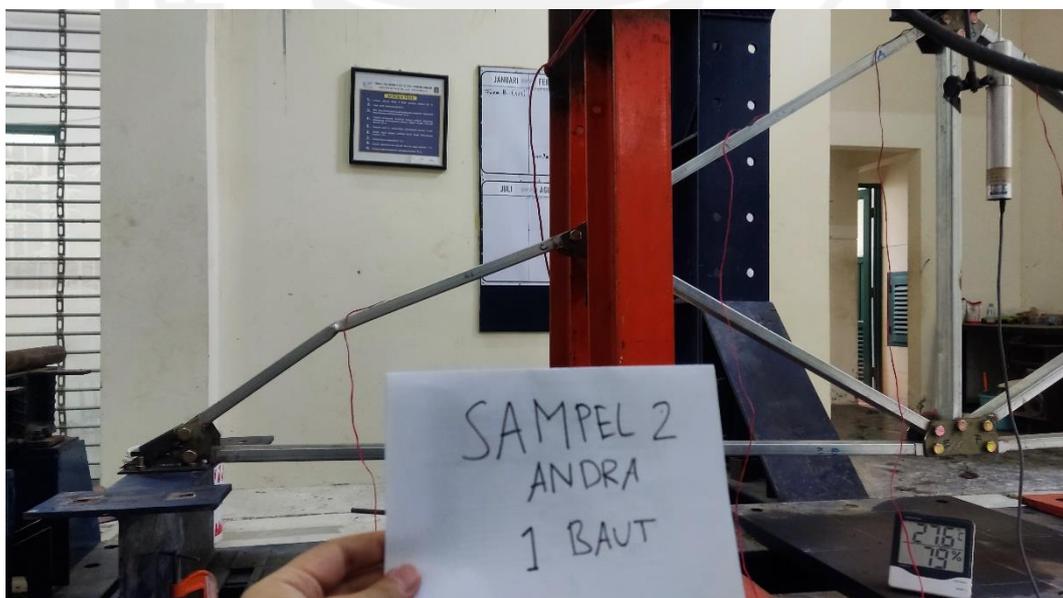
Gambar 5.13 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 1 Baut Sampel 2 Strain Gauge 1, 2, 5 & 7

Dari grafik di atas terlihat pada regangan *strain* 1 jauh lebih besar daripada *strain gauge* yang lainnya. Hal ini menandakan hanya pada *strain gauge* 1 yang terjadi tekuk dikarenakan grafiknya berbentuk parabola. Juga dapat dilihat respon struktur pada *strain gauge* 2 dan *strain gauge* 5 maka dapat disimpulkan respon struktur rangka lebih simetris, namun batang tekan dengan *strain gauge* 1 memiliki kekuatan yang paling lemah dibandingkan batang tekan yang lainnya sehingga terjadi tekuk.

Untuk mengetahui kondisi rangka atap setelah diuji dapat dilihat pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15.

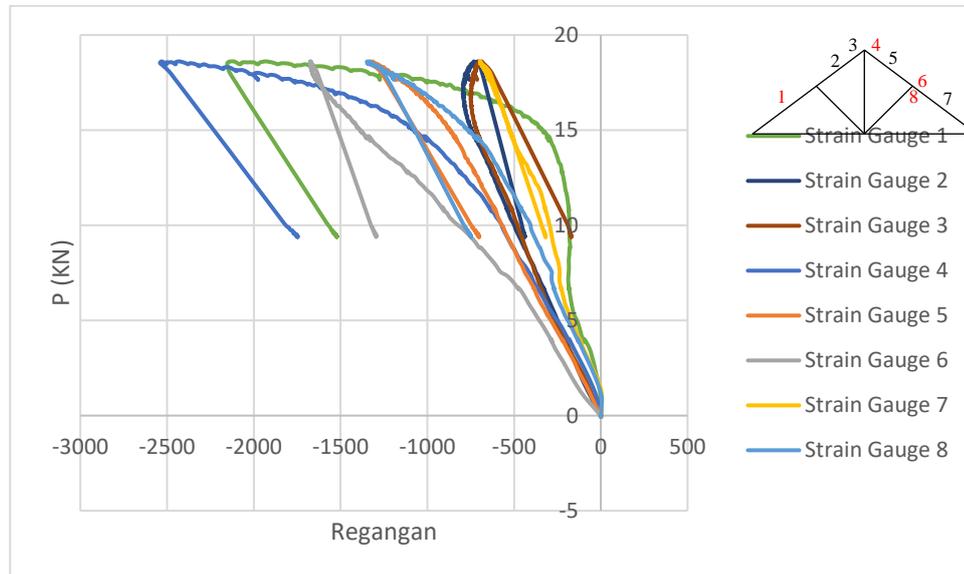


Gambar 5.14 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 1



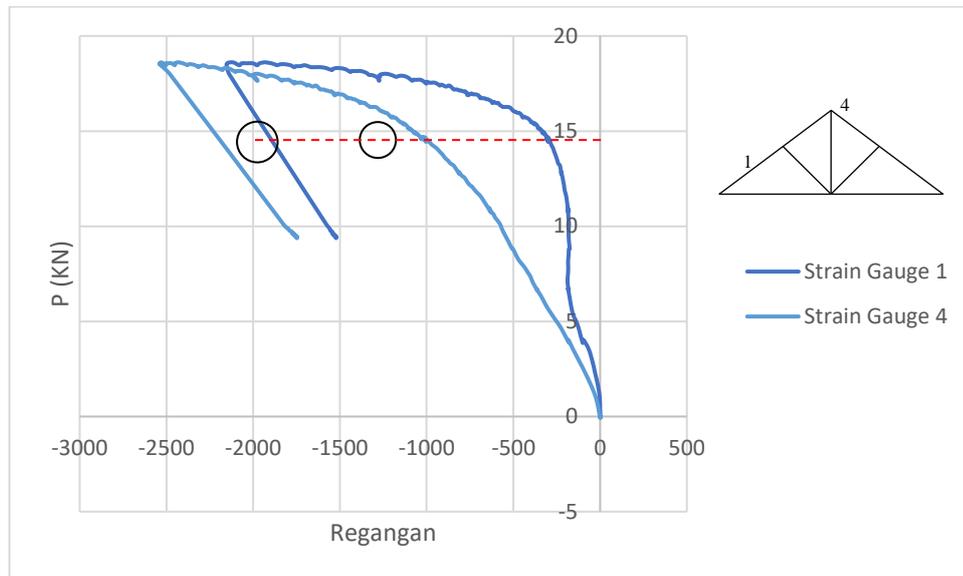
Gambar 5.15 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 1 Baut Sampel 2

5.3.3 Rangka Atap Dengan Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut



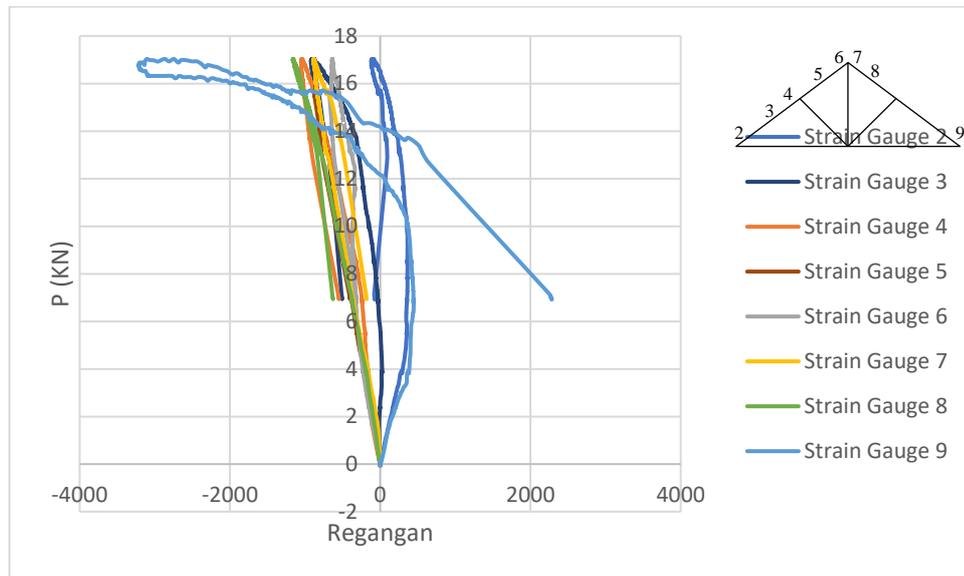
Gambar 5.16 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 3 Baut Sampel 1 Semua *Strain Gauge*

Dari grafik di atas terlihat yang terjadi tekuk terjadi pada *strain gauge* 1 dan 4, sedangkan yang lain tidak karena berkumpul di regangan antara 0-1000 $\mu\epsilon$. Hal tersebut menandakan tidak terjadi tekuk global pada rangka atap tetapi tekuk lokal saja hal ini juga terkonfirmasi pada Gambar 5.19. Fenomena ini (tekuk lokal) yang menyebabkan kekuatan rangka atap 3 baut tidak berbeda signifikan terhadap rangka atap 1 baut yaitu sebesar 17,82 KN berbanding 16,14 KN.



Gambar 5.17 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 3 Baut Sampel 1 Strain Gauge 1 & 4

Dari grafik di atas terlihat terjadi fenomena tekuk lokal pada *strain gauge* 1 dan *strain gauge* 4 yang ditandai adanya cekungan namun setelah itu kembali konstan. Hal tersebut menandakan terjadinya tekuk lokal pada *strain* 1 dan *strain* 4 yang mengalami kerusakan pada beban yang sama yaitu 18 KN. Grafik ini semakin membuktikan bahwa fenomena tekuk lokal yang terjadi menyebabkan kekuatan rangka atap 3 baut tidak berbeda signifikan terhadap rangka atap 1 baut yaitu sebesar 17,82 KN berbanding 16,14 KN.



Gambar 5.18 Grafik P-Regangan Sambungan Uji Tekan Rangka Atap Sambungan 3 Baut Sampel 2 Semua *Strain Gauge*

Dari grafik di atas terlihat yang terjadi tekuk terjadi pada strain gauge 9, sedangkan yang lain tidak karena berkumpul di regangan antara 0-1000 $\mu\epsilon$. Hal tersebut menandakan tidak terjadi tekuk global pada rangka atap tetapi tekuk lokal saja hal ini juga terkonfirmasi pada Gambar 5.20 yang menunjukkan batang tekan tetap lurus walaupun kondisi regangan telah mencapai 3000 $\mu\epsilon$ dan berbentuk parabola yang menandakan sudah terjadi leleh.

Untuk mengetahui kondisi rangka atap setelah diuji dapat dilihat pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.



Gambar 5.19 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 1



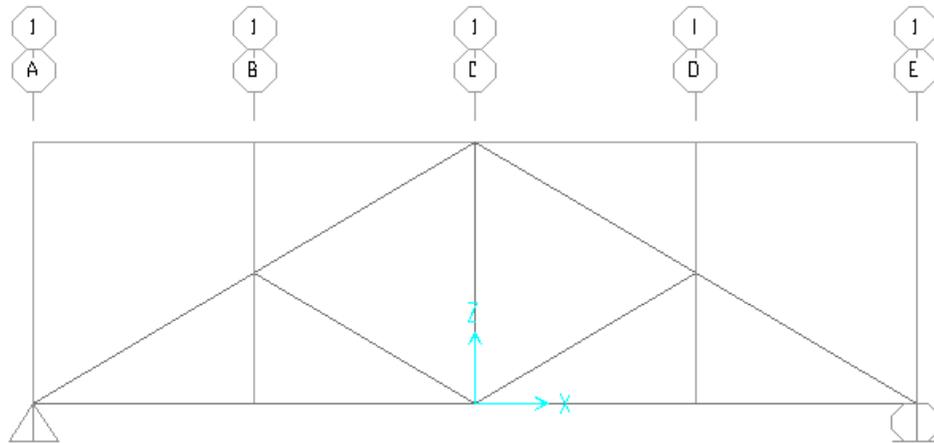
Gambar 5.20 Kondisi Benda Uji Rangka Atap Variasi Jumlah Sambungan 3 Baut Sampel 2

5.4 Analisis Kapasitas Rangka Atap dengan Metode DAM SAP2000

Analisis kapasitas rangka baik dengan analisis langsung maupun DAM menggunakan aplikasi SAP2000. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memperkirakan kapasitas rangka atap yang diharapkan.

5.4.1 Analisis Kapasitas Rangka Atap Variasi 1 Baut dengan Metode DAM SAP2000

Dalam analisis DAM, rangka atap diterapkan pada aplikasi SAP 2000. Gambar 5.21 berikut menunjukkan hasil pemodelan rangka atap dengan satu baut pada SAP2000.



Gambar 5.21 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pada SAP2000

Dilihat dari Gambar 5.21 di atas, variasi rangka atap dengan satu baut sambungan menggunakan tumpuan sendi-rol. Selanjutnya perhitungan kapasitas beban rangka atap adalah sebagai berikut.

1. Penampang Rangka Atap Variasi 1 Baut

$$L = 1286 \text{ mm}$$

$$H = 771,6 \text{ mm}$$

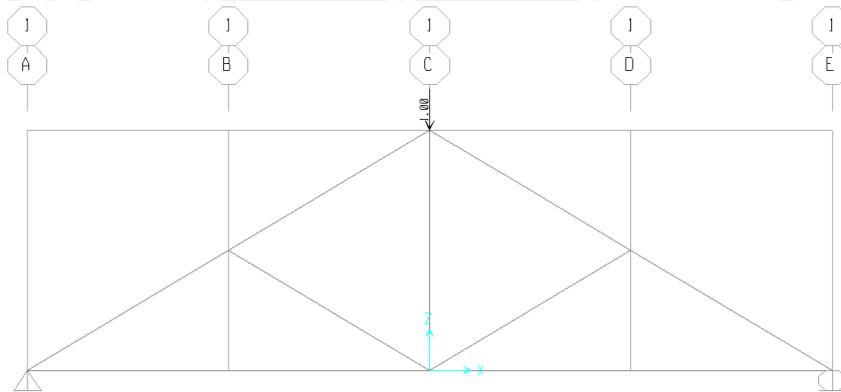
$$b = 21,43 \text{ mm}$$

$$h = 39,023 \text{ mm}$$

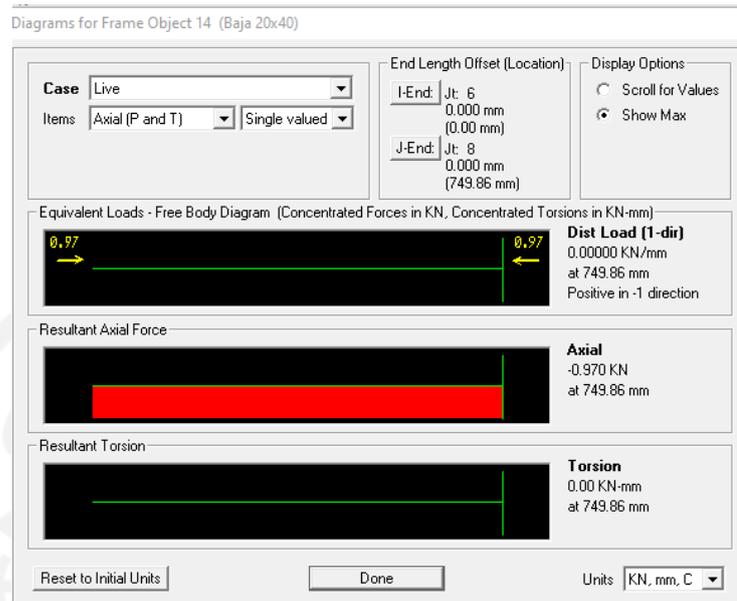
$$\begin{aligned}
 A_g &= 122,54 \text{ mm}^2 \\
 I_y &= 9780,6817 \text{ mm}^4 \\
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{9780,6817}{122,54}} \\
 &= 8,93 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

2. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Untuk menghitung beban di bagian puncak rangka, digunakan perbandingan segitiga, yang dicapai dengan memberikan beban 1 KN di bagian puncak rangka. Setelah diberikan beban 1 KN, SAP2000 dapat di *run* pada rangka atap untuk mendapatkan nilai gaya aksial pada batang. Gambar 5.22 berikut adalah gambar beban 1 KN dan nilai gaya aksial yang dihasilkan pada batang tekan.



Gambar 5.22 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



Gambar 5.23 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pembebanan 1 KN

Dari Gambar 5.23 diatas dapat diketahui nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan diperoleh sebesar 0,970 KN yang akan digunakan pada perbandingan segitiga dengan nilai ϕP_n sebesar 22,678 KN

Dari Gambar 5.23 diatas dapat dilihat bahwa nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut sambungan yang diterima sebesar 0,970 KN, selanjutnya akan digunakan dalam perbandingan segitiga dengan nilai ϕP_n sebesar 22,678 KN.

Adapun persamaan segitiga yang digunakan sebagai berikut,

$$\frac{1 \text{ kN}}{P_n} = \frac{P}{\phi P_n} \quad (5.3)$$

$$\frac{1 \text{ kN}}{0,970 \text{ kN}} = \frac{P}{22,678 \text{ kN}}$$

$$P = \frac{1 \times 22,678}{0,970}$$

$$P = 23,331 \text{ kN}$$

Akan tetapi, dengan beban tersebut tidak didapatkan letak tekuk kritis pada grafik antara beban (KN) dan momen (KNmm). Maka dari itu,

digunakan beban 30 KN pada rangka atap.

3. Beban *Notional* (N_i)

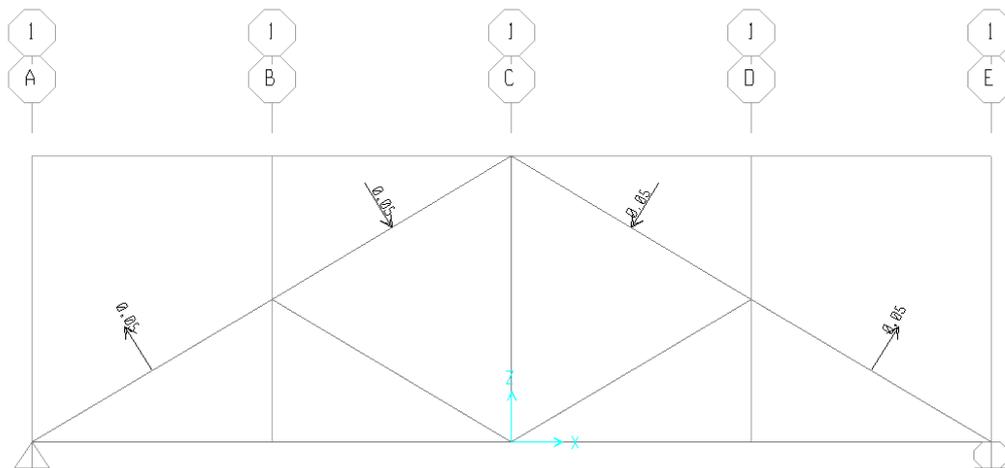
Perhitungan rangka batang pada DAM memerlukan beban *notional* untuk menghitung pengaruh ketidaksempurnaan pada rangka atap. Rangka atap sendiri pada dasarnya memiliki cacat bawaan yang menimbulkan efek destabilisasi. Rumus untuk menghitung beban *notional* adalah sebagai berikut.

$$N_i = 0.002 \times \varphi P_n \quad (5.4)$$

$$N_i = 0.002 \times 22,678$$

$$N_i = 0.0454 \text{ kN}$$

Gambar 5.24 di bawah ini menunjukkan letak beban *notional* pada rangka atap.



Gambar 5.24 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Arah pembebanan *notional* di atas didasarkan pada bentuk rangka batang setelah pengujian laboratorium, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.24.

4. Reduksi Kekakuan

Reduksi kekakuan dilakukan karena pada profil baja terjadi leleh sehingga kekuatan profil berkurang sehingga perlu penyesuaian kekakuan profil.

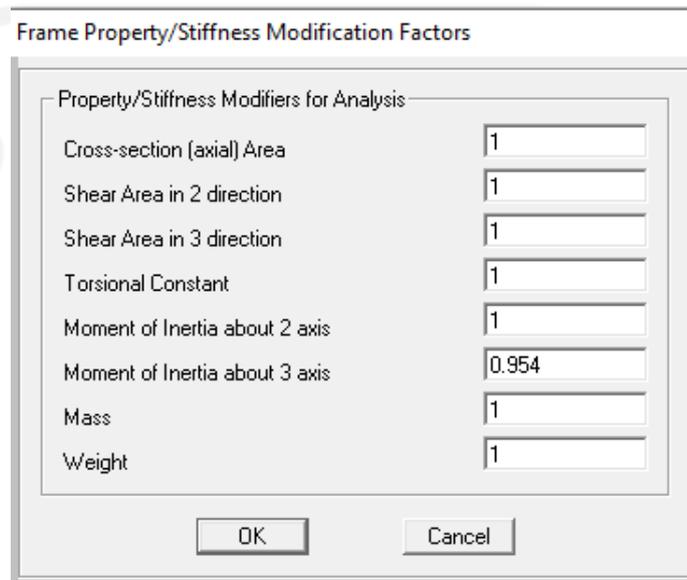
Berikut ini persamaan yang digunakan.

$$EI^- = \varphi \times \tau b \times E \quad (5.5)$$

$$EI^- = 0.8 \times 1.0 \times 200000$$

$$EI^- = 160000 \text{ Nmm}^2$$

Akan tetapi nilai τb yang seharusnya di masukkan ke *property modifiers* seperti Gambar 5.25 berikut.



Gambar 5.25 Memasukkan Nilai τb pada Menu Property Modifiers

Dalam menentukan nilai τb , terlebih dahulu cek nilai P_r/P_y .

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{22,678}{37,3747}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,607 > 0,5$$

Dengan,

P_r = Gaya aksial pada batang tekan

P_y = A (Luas penampang profil) x F_y

Apabila nilai $\frac{P_r}{P_y} > 0,5$, maka rumus τb sebagai berikut.

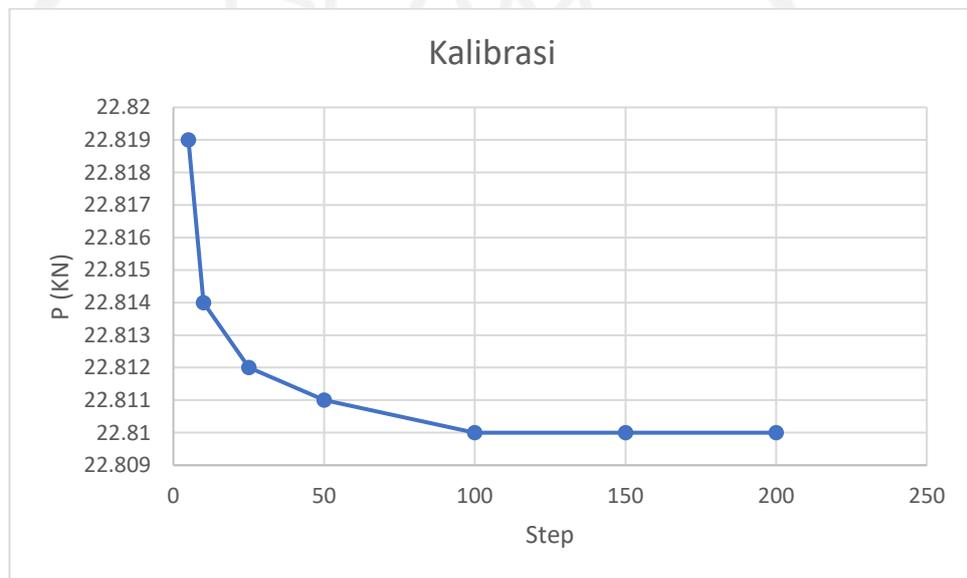
$$\tau b = 4 \times \frac{P_r}{P_y} \times \left(1 - \frac{P_r}{P_y}\right) \quad (5.6)$$

$$\tau b = 4 \times 0,607 \times (1 - 0,607)$$

$$\tau b = 0,954$$

5. Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial

Kalibrasi jumlah step dengan beban aksial dilakukan untuk menentukan jumlah step yang stabil pada load case *P-Delta*. Grafik kalibrasi jumlah step dengan beban aksial dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



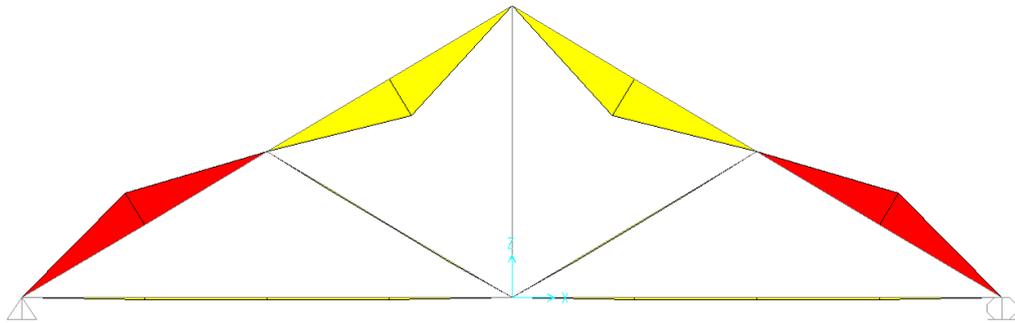
Gambar 5.26 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Dari hasil kalibrasi pada Gambar 5.26 di atas digunakan jumlah step sebanyak 100 dikarenakan pada step 100 beban aksial mulai stabil dan semakin banyak jumlah step maka akan semakin teliti.

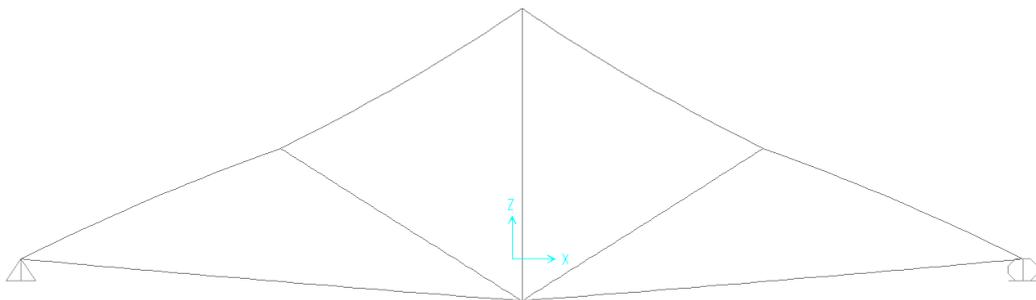
6. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Untuk menentukan kegagalan tekuk, lakukan *run* pada SAP2000 menggunakan case *P-Delta* dan tampilkan momen lentur sehingga batang dengan momen maksimum akan ditampilkan.

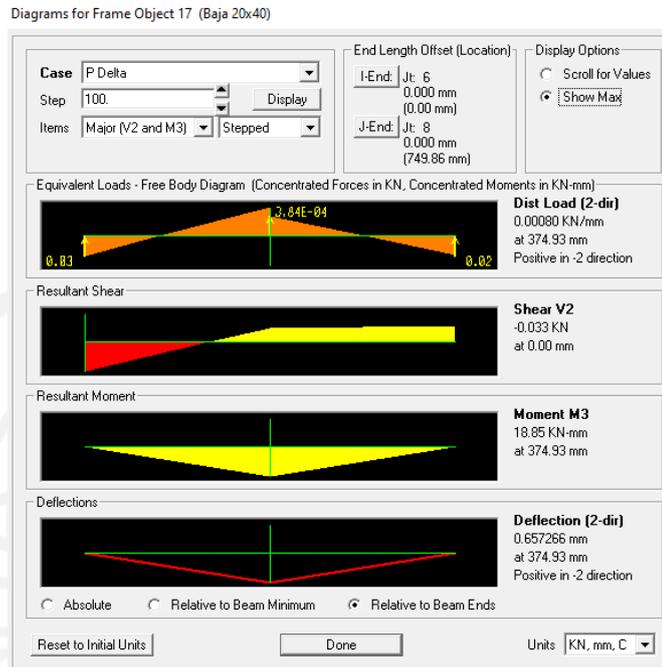
Gambar berikut menunjukkan gambar diagram momen lentur pengoperasian SAP2000.



**Gambar 5.27 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1
Baut Sambungan**



**Gambar 5.28 Gambar 5.27 Deform Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut
Sambungan**



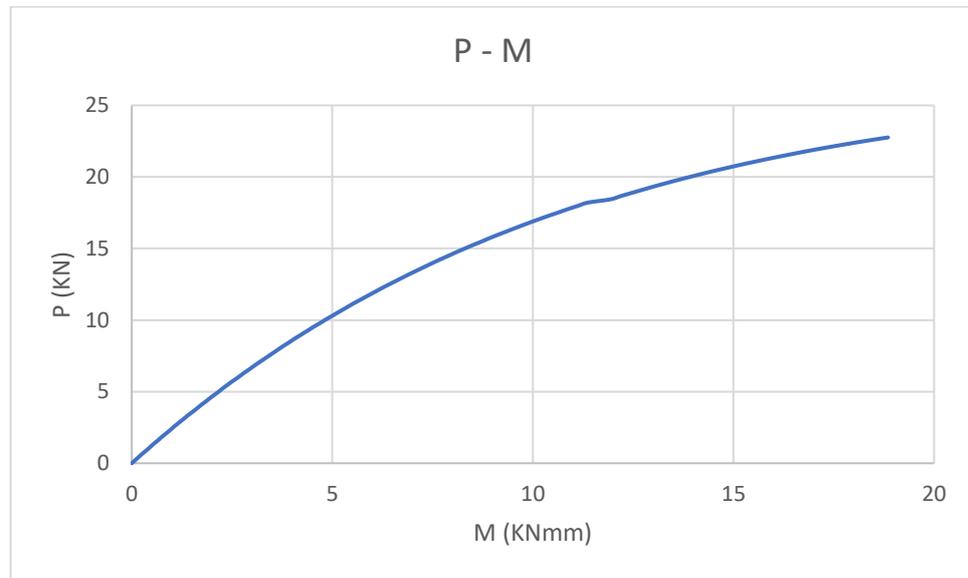
Gambar 5.29 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Dari hasil *running* SAP2000 yang dapat dilihat pada gambar 5.28 dan 5.29 diatas, maka untuk penentuan batang dengan gagal tekuk terbesar dapat dilihat pada nilai momen terbesar yaitu terdapat pada batang tekan 17 pada *station* 374,93 sebesar 18,85 kNm.

7. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah dilakukan reduksi kekakuan serta pemodelan rangka atap maka Langkah selanjutnya yaitu mendapatkan kapasitas tekuk rangka atap. Dari hasil *running* SAP2000 diketahui bahwa batang tekan dengan gagal tekuk terbesar terdapat pada batang tekan 17 *station* 374,93. Adapun hasil gambar grafik hubungan P-Delta yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 5.30 dibawah ini.

Setelah menemukan bahwa terjadi batang tekuk pada batang tekan 17 di stasiun 374,93, grafik P-M dibuat untuk menentukan nilai P tekuk.



Gambar 5.30 Grafik Hubungan P-Momen Rangka Atap Pada Batang Tekan

4

Telihat dari grafik tersebut bahwa metode DAM SNI 1729 Tahun 2020 SAP2000 tidak dapat memprediksi terjadinya tekuk global pada rangka atap dengan sambungan 1 baut. Hal ini dapat mengakibatkan prediksi kuat tekan rangka atap hasil DAM SAP2000 berbeda jauh dengan hasil uji lab.

8. Kuat Nominal Penampang

Untuk mengetahui kapasitas nominal penampang struktur, analisa kapasitas tekan yang digunakan memakai metode *Effective Length Method* (ELM). Selanjutnya pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Dengan demikian terdapat Analisa untuk pembatasan pada komponen struktur tersebut. Untuk mendapatkan nilai *safety factor* yang memenuhi syarat SNI 1729:2020 maka diperlukan kalibrasi pada jumlah step yang ada dalam menentukan nilai P_r dan M_r . Kalibrasi jumlah step yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat $\leq 1,0$ yaitu didapatkan pada jumlah step ke-94. Adapun data yang telah diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

$$z = 1031,219 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 305 \text{ MPa}$$

$$P_r = 21,395 \text{ kN}$$

$$P_c = 22,678 \text{ kN}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{21,395}{22,678}$$

$$= 0.943$$

$$M_r = 16,09 \text{ kNmm}$$

$$M_c = \varphi \times z \times F_y$$

$$= \frac{0.9 \times 1031,219 \times 305}{10^3}$$

$$= 283,07 \text{ kNmm}$$

Dari data yang telah didapatkan, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan Analisa pembatasan pada komponen struktur dengan mengacu SNI 1729:2020 yaitu,

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka

$$SF = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{rx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0 \quad (5.7)$$

$$SF = \frac{21,395}{22,678} + \frac{8}{9} \left(\frac{16,09}{283,07} \right) \leq 1,0$$

$$SF = 0.994 \leq 1,0$$

Dengan cara yang sama diperoleh kuat nominal penampang step 94 sampai 100 dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

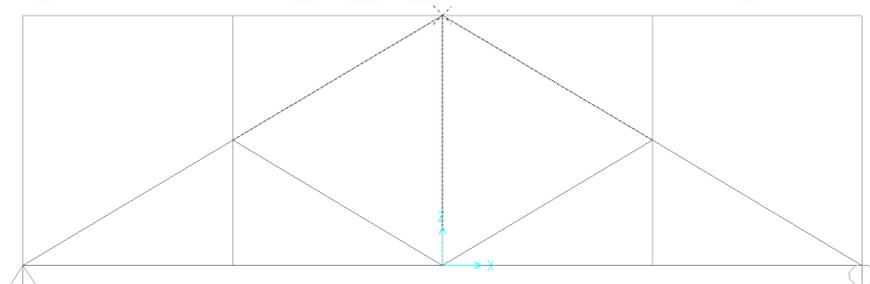
**Tabel 5.3 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 94 sampai 100
Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

Step	Pr (KN)	Mr (KNmm)	Pc (KN)	Mc (KNmm)	SF
94	21.395	16.09	22.678	283.07	0.993950736
95	21.623	16.5	22.678	283.07	1.005292004
96	21.851	16.92	22.678	283.07	1.016664674
97	22.078	17.37	22.678	283.07	1.028087453
98	22.306	17.84	22.678	283.07	1.039617131
99	22.534	18.33	22.678	283.07	1.051209612
100	22.761	18.85	22.678	283.07	1.062852204

9. Penentuan kapasitas rangka atap metode DAM SAP2000

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan rangka atap dibutuhkan besar gaya yang bekerja pada titik puncak rangka atap saat terjadi beban tekuk kritis (Ketika step 94). Untuk mendapatkannya dilakukan dengan pemodelan *section cut*.

Pemodelan *section cut* dilakukan untuk memudahkan dalam mendapatkan kapasitas rangka atap setelah dilakukan pembebanan. Pemodelan ini diawali dengan dilakukan *grouping* pada join dan batang tekan pada bagian titik puncak rangka atap tersebut. Adapun pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 dibawah ini



**Gambar 5.31 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1
Baut Sambungan**

Section Cut Data

Edit

Section Cut Name: Load Cell

Coordinate System: GLOBAL

Units: KN, mm, C

Section Cut Defined By:

Group

Quadrilateral Cutting Planes

Section Cut Group:

Group: Load Cell

Section Cut Result Type:

Analysis (F1, F2, F3, M1, M2, M3)

Design (P, V2, V3, T, M2, M3)

Results Reported at this Location:

Default

User Defined

X Coordinate:

Y Coordinate:

Z Coordinate:

Section Cut Local Axes Orientation - Analysis:

Rotation about Z:

Rotation about Y:

Rotation about X:

Advanced Axes

Gambar 5.32 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

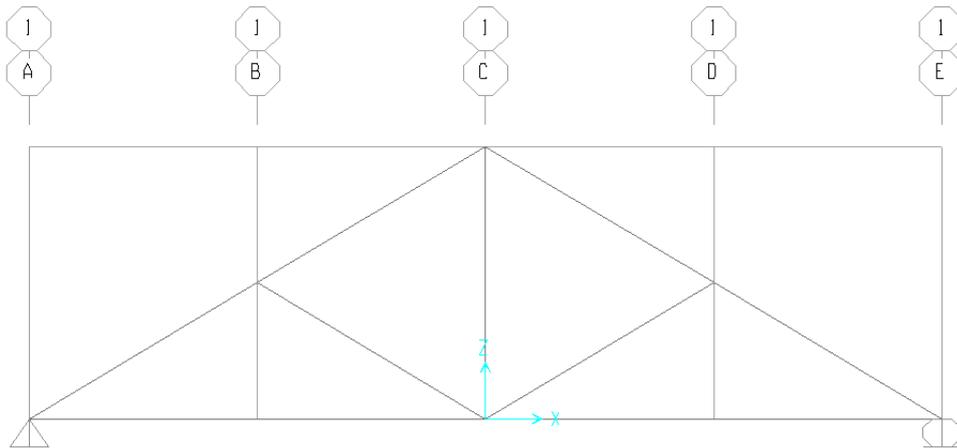
Selanjutnya dapat diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* yang nilai SF nya mendekati 1 yaitu pada step 94 sebesar 21,931 KN Seperti pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan

Step	Pr (KN)	Mr (KNmm)	Pc (KN)	Mc (KNmm)	SF	P (section cut, KN)
94	21.395	16.09	22.678	283.07	0.993950736	21.931
95	21.623	16.5	22.678	283.07	1.005292004	22.165
96	21.851	16.92	22.678	283.07	1.016664674	22.398
97	22.078	17.37	22.678	283.07	1.028087453	22.631
98	22.306	17.84	22.678	283.07	1.039617131	22.865
99	22.534	18.33	22.678	283.07	1.051209612	23.098
100	22.761	18.85	22.678	283.07	1.062852204	23.331

5.4.2 Analisis Kapasitas Rangka Atap Variasi 3 Baut dengan Metode DAM SAP2000

Dalam analisis DAM, rangka atap diterapkan pada aplikasi SAP 2000. Gambar berikut menunjukkan hasil pemodelan rangka atap dengan 3 baut pada SAP2000.



Gambar 5.33 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Pada SAP2000

Dilihat dari gambar di atas, variasi rangka atap dengan satu baut sambungan menggunakan tumpuan sendi-rol. Selanjutnya perhitungan kapasitas beban rangka atap adalah sebagai berikut.

1. Penampang Rangka Atap Variasi 3 Baut

$$L = 1286 \text{ mm}$$

$$H = 771,6 \text{ mm}$$

$$b = 21,43 \text{ mm}$$

$$h = 39,023 \text{ mm}$$

$$A_g = 122,54 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 9780,6817 \text{ mm}^4$$

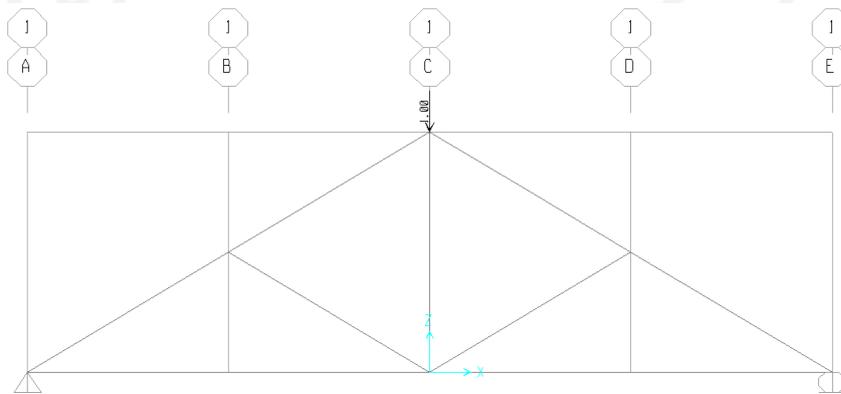
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$$

$$= \sqrt{\frac{9780,6817}{122,54}}$$

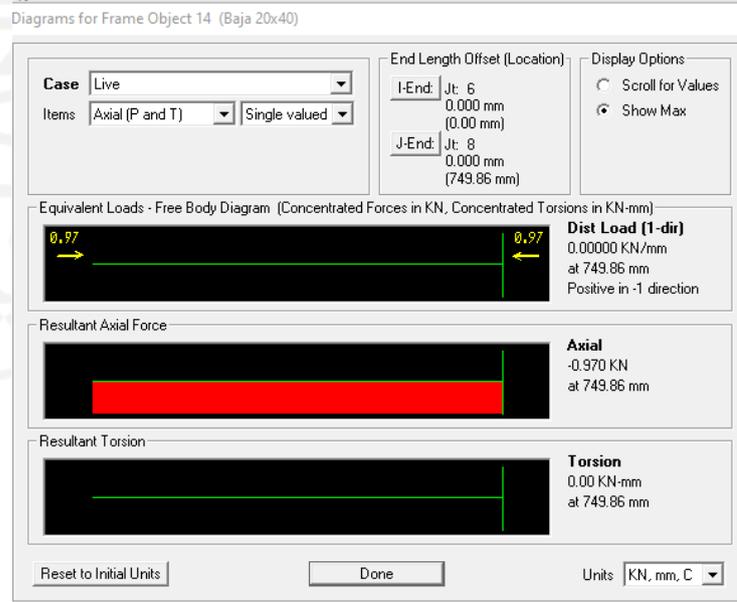
$$= 8,93 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Untuk menghitung beban di bagian puncak rangka, digunakan perbandingan segitiga, yang dicapai dengan memberikan beban 1 KN di bagian puncak rangka. Setelah diberikan beban 1 KN, SAP2000 dapat di *run* pada rangka atap untuk mendapatkan nilai gaya aksial pada batang. Gambar 5.34 berikut adalah gambar beban 1 KN dan nilai gaya aksial yang dihasilkan pada batang tekan.



Gambar 5.34 Pemberian Beban 1 KN Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan



Gambar 5.35 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Pembebanan 1 KN

Dari Gambar 5.35 di atas dapat dilihat bahwa nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 3 baut sambungan yang diterima sebesar 0,970 KN, selanjutnya akan digunakan dalam perbandingan segitiga dengan nilai ϕP_n sebesar 27,728 KN.

Adapun persamaan segitiga yang digunakan sebagai berikut,

$$\frac{1 \text{ kN}}{P_n} = \frac{P}{\phi P_n}$$

$$\frac{1 \text{ kN}}{0,970 \text{ kN}} = \frac{P}{27,728 \text{ kN}}$$

$$P = \frac{1 \times 27,728}{0,970}$$

$$P = 28,527 \text{ kN}$$

3. Beban Notional (N_i)

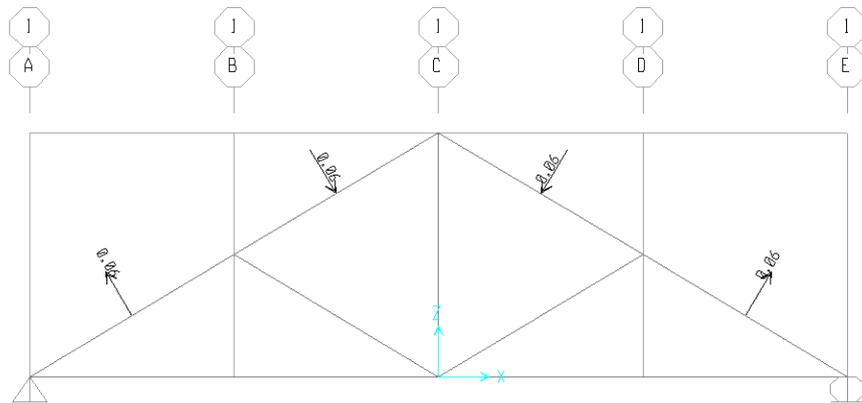
Perhitungan rangka batang pada DAM memerlukan beban notional untuk menghitung pengaruh ketidaksempurnaan pada rangka atap. Rangka atap sendiri pada dasarnya memiliki cacat bawaan yang menimbulkan efek destabilisasi. Rumus untuk menghitung beban notional adalah sebagai berikut.

$$N_i = 0.002 \times \phi P_n$$

$$N_i = 0.002 \times 27,728$$

$$N_i = 0,0551 \text{ kN}$$

Gambar 5.36 di bawah ini menunjukkan letak beban *notional* pada rangka atap.



Gambar 5.36 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Arah pembebanan *notional* di atas didasarkan pada bentuk rangka batang setelah pengujian laboratorium, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.36.

4. Reduksi Kekakuan

Reduksi kekakuan dilakukan karena pada profil baja terjadi leleh sehingga kekuatan profil berkurang sehingga perlu penyesuaian kekakuan profil.

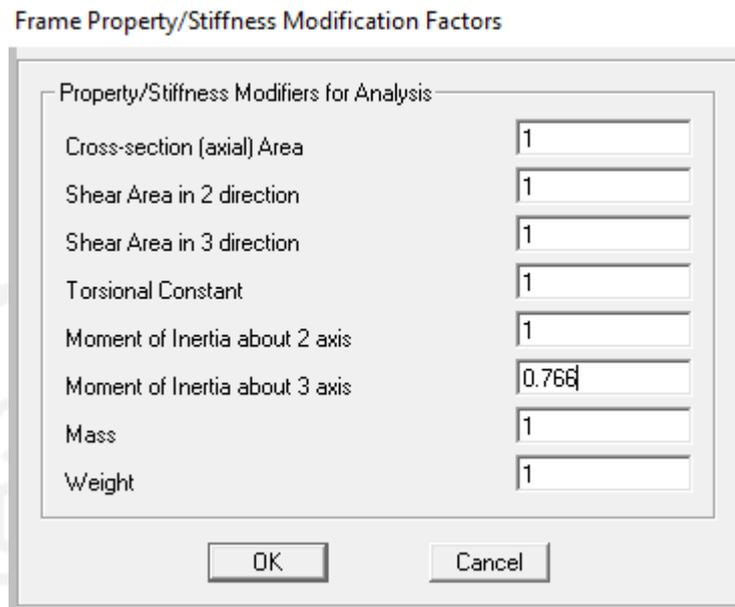
Berikut ini persamaan yang digunakan.

$$EI^- = \varphi \times \tau b \times E$$

$$EI^- = 0.8 \times 1.0 \times 200000$$

$$EI^- = 160000 \text{ Nmm}^2$$

Akan tetapi nilai τb yang seharusnya di masukkan ke *property modifiers* seperti Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5.37 Memasukan Nilai τb pada Menu Property Modifiers

Dalam menentukan nilai τb , terlebih dahulu cek nilai P_r/P_y .

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{27,728}{37,375}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,742 > 0,5$$

Dengan,

P_r = Gaya aksial pada batang tekan

P_y = A (Luas penampang profil) x F_y

Apabila nilai $\frac{P_r}{P_y} > 0,5$, maka rumus τb sebagai berikut.

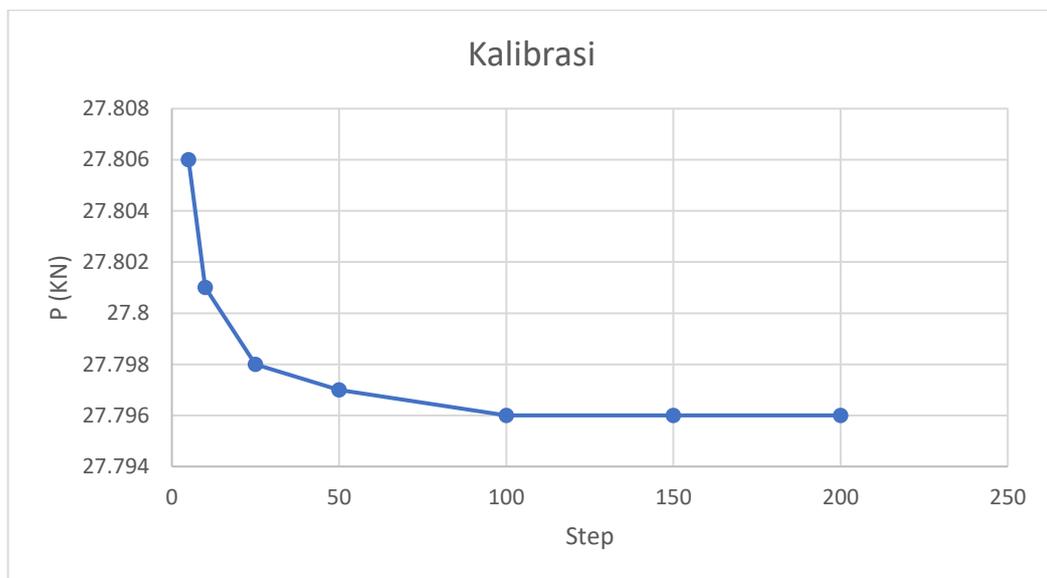
$$\tau b = 4 \times \frac{P_r}{P_y} \times \left(1 - \frac{P_r}{P_y}\right)$$

$$\tau b = 4 \times 0,742 \times (1 - 0,742)$$

$$\tau b = 0,766$$

5. Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial

Kalibrasi jumlah step dengan beban aksial dilakukan untuk menentukan jumlah step yang stabil pada load case *P-Delta*. Grafik kalibrasi jumlah step dengan beban aksial dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.



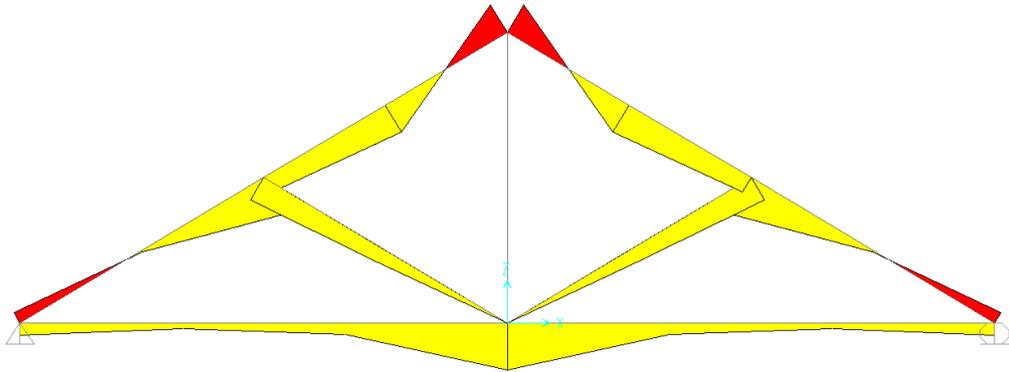
Gambar 5.38 Kalibrasi Step Dengan Beban Aksial Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Dari hasil kalibrasi pada Gambar 5.38 diatas digunakan jumlah step sebanyak 100 dikarenakan pada step 100 beban aksial mulai stabil dan semakin banyak jumlah step maka akan semakin teliti.

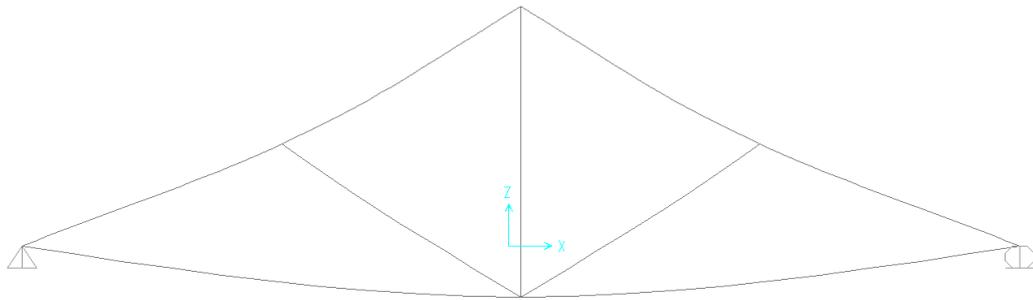
6. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Untuk menentukan kegagalan tekuk, lakukan *run* pada SAP2000 menggunakan case *P-Delta* dan tampilkan momen lentur sehingga batang dengan momen maksimum akan ditampilkan.

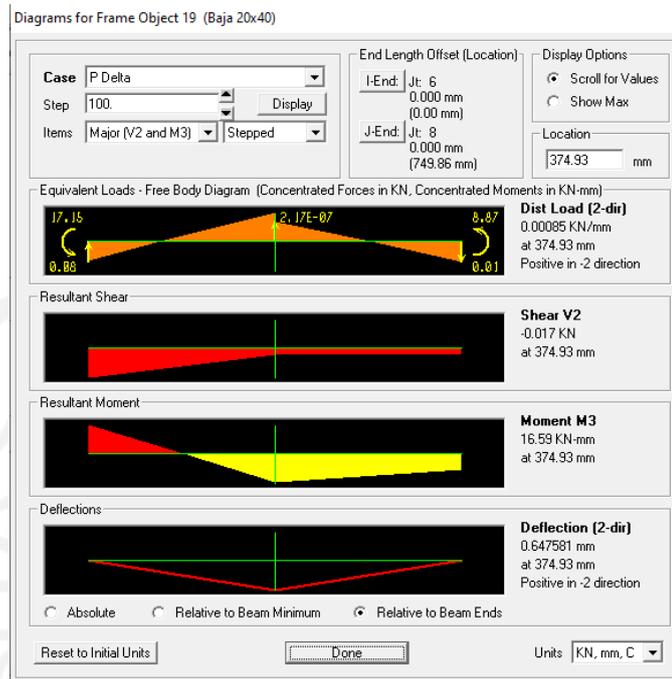
Gambar 5.39 berikut menunjukkan gambar diagram momen lentur pengoperasian SAP2000.



Gambar 5.39 *Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 3*
Baut Sambungan



Gambar 5.40 *Deform Case P-Delta Rangka Atap Variasi 3* **Baut Sambungan**



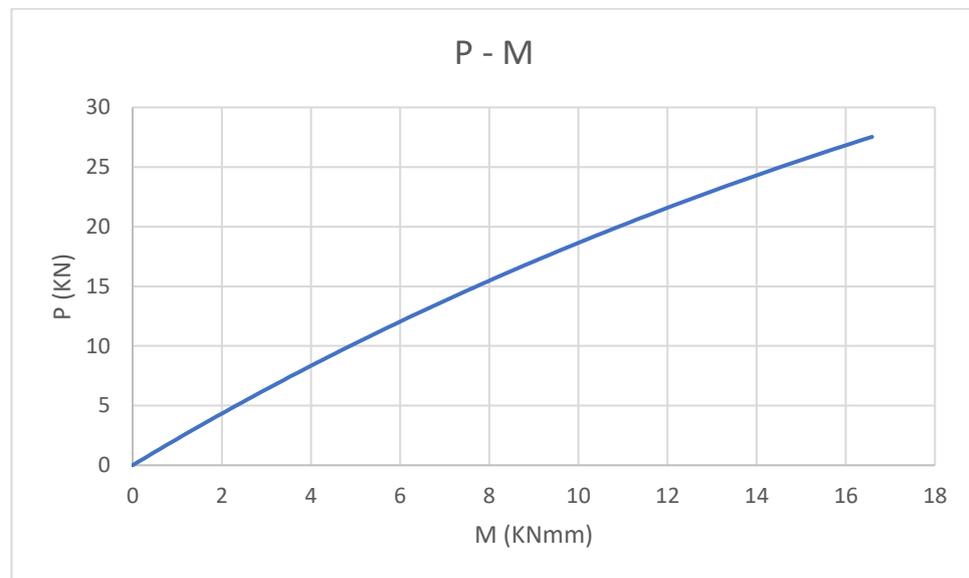
Gambar 5.41 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Dari hasil *running* SAP2000 yang dapat dilihat pada gambar 5.40 dan 5.41 diatas, maka untuk penentuan batang dengan gagal tekuk terbesar dapat dilihat pada nilai momen terbesar yaitu terdapat pada batang tekan 19 pada *station* 374,93 sebesar 16,59 kNm.

7. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah dilakukan reduksi kekakuan serta pemodelan rangka atap maka Langkah selanjutnya yaitu mendapatkan kapasitas tekuk rangka atap. Dari hasil *running* SAP2000 diketahui bahwa batang tekan dengan gagal tekuk terbesar terdapat pada batang tekan 19 *station* 374,93. Adapun hasil gambar grafik hubungan P-Delta yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 5.41 dibawah ini.

Setelah menemukan bahwa terjadi batang tekuk pada batang tekan 19 di *stasiun* 374,93, grafik P-M dibuat untuk menentukan nilai P tekuk.



Gambar 5.42 Grafik Hubungan P-Momen Rangka Atap Pada Batang Tekan

17

Telihat dari Gambar 5.42 di atas bahwa metode DAM SNI 1729 Tahun 2020 SAP2000 tidak dapat memprediksi terjadinya tekuk global pada rangka atap dengan sambungan 3 baut. Hal ini dapat mengakibatkan prediksi kuat tekan rangka atap hasil DAM SAP2000 berbeda jauh dengan hasil uji lab.

8. Kuat Nominal Penampang

Untuk mengetahui kapasitas nominal penampang struktur, analisa kapasitas tekan yang digunakan memakai metode *Effective Length Method* (ELM). Selanjutnya pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Dengan demikian terdapat Analisa untuk pembatasan pada komponen struktur tersebut. Untuk mendapatkan nilai *safety factor* yang memenuhi syarat SNI 1729:2020 maka diperlukan kalibrasi pada jumlah step yang ada dalam menentukan nilai P_r dan M_r . Kalibrasi jumlah step yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat $\leq 1,0$ yaitu didapatkan pada jumlah step ke-95. Adapun data yang telah diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

$$z = 1031,219 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 305 \text{ MPa}$$

$$P_r = 26,151 \text{ kNm}$$

$$P_c = 27,728 \text{ kNm}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{26,151}{27,728}$$

$$= 0,943$$

$$M_r = 15,45 \text{ kNm}$$

$$M_c = \phi \times z \times F_y$$

$$= \frac{0,9 \times 1031,219 \times 305}{10^6}$$

$$= 283,07 \text{ kNm}$$

Dari data yang telah didapatkan, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan Analisa pembatasan pada komponen struktur dengan mengacu SNI 1729:2020 yaitu,

Apabila $\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$ maka

$$SF = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{rx}} + \frac{M_{ry}}{M_{ry}} \right) \leq 1,0$$

$$SF = \frac{26,151}{27,728} + \frac{8}{9} \left(\frac{15,45}{283,07} \right) \leq 1,0$$

$$SF = 0,992 \leq 1,0$$

Dengan cara yang sama diperoleh kuat nominal penampang step 95 sampai 100 pada Tabel 5.5 berikut.

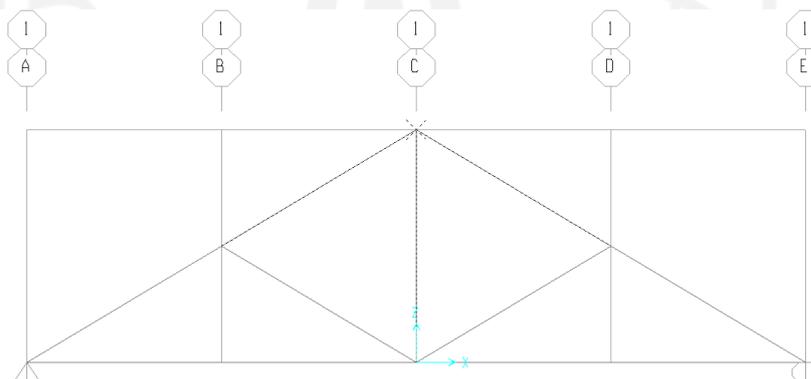
Tabel 5.5 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 95 sampai 100
Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Step	Pr (KN)	Mr (KNmm)	Pc (KN)	Mc (KNmm)	SF
95	26.151	15.45	27.728	283.07	0.991641761
96	26.426	15.67	27.728	283.07	1.002250372
97	26.702	15.9	27.728	283.07	1.012926449
98	26.977	16.13	27.728	283.07	1.023566462
99	27.252	16.35	27.728	283.07	1.034175073
100	27.528	16.59	27.728	283.07	1.044882551

9. Penentuan kapasitas rangka atap metode DAM SAP2000

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan rangka atap dibutuhkan besar gaya yang bekerja pada titik puncak rangka atap saat terjadi beban tekuk kritis (Ketika step 95). Untuk mendapatkannya dilakukan dengan pemodelan *section cut*.

Pemodelan *section cut* dilakukan untuk memudahkan dalam mendapatkan kapasitas rangka atap setelah dilakukan pembebanan. Pemodelan ini diawali dengan dilakukan *grouping* pada join dan batang tekan pada bagian titik puncak rangka atap tersebut. Adapun pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.43 dan 5.44 dibawah ini



Gambar 5.43 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3
Baut Sambungan

Section Cut Data

Edit

Section Cut Name: Load Cell

Coordinate System: GLOBAL

Units: KN, mm, C

Section Cut Defined By:

- Group
- Quadrilateral Cutting Planes

Section Cut Group: Load Cell

Section Cut Result Type:

- Analysis (F1, F2, F3, M1, M2, M3)
- Design (P, V2, V3, T, M2, M3)

Results Reported at this Location:

- Default
- User Defined
 - X Coordinate:
 - Y Coordinate:
 - Z Coordinate:

Section Cut Local Axes Orientation - Analysis:

- Rotation about Z:
- Rotation about Y:
- Rotation about X:
- Advanced Axes

Gambar 5.44 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Selanjutnya dapat diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* yang nilai SF nya mendekati 1 yaitu pada step 95 sebesar 26,844 KN Seperti pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan

Step	Pr (KN)	Mr (KNmm)	Pc (KN)	Mc (KNmm)	SF	P (Section Cut, KN)
95	26.151	15.45	27.728	283.07	0.991641761	26.844
96	26.426	15.67	27.728	283.07	1.002250372	27.127
97	26.702	15.9	27.728	283.07	1.012926449	27.409
98	26.977	16.13	27.728	283.07	1.023566462	27.692
99	27.252	16.35	27.728	283.07	1.034175073	27.974
100	27.528	16.59	27.728	283.07	1.044882551	28.257

5.4.3 Pembahasan Perbandingan Hasil DAM SAP200 dengan Hasil Uji Lab

Tabel 5.7 berikut ini adalah rekapitulasi hasil uji tekan rangka atap di laboratorium, hasil ELM dan hasil DAM SAP2000.

Tabel 5.7 Perbandingan Kapasitas Tekan Rangka Atap Hasil Uji Lab Terhadap Metode DAM dan ELM

Kapasitas tekan rangka (KN)						Error (%)		Error (%)	
Uji Lab		DAM		ELM		DAM		ELM	
1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut	1 Baut	3 Baut
16,14	17,82	22,93	26,84	22,68	27,73	42,06	50,6	28,76	33,61

Berdasarkan Tabel 5.7 error DAM lebih besar daripada ELM yaitu dengan rata-rata error DAM sebesar 46,33 % berbanding 31,19 %. Hal ini berarti pada struktur dengan kelangsingan menengah metode DAM lebih tidak akurat dibandingkan metode ELM sehingga lebih tidak aman.

Selain itu, nilai prediksi kuat tekan rangka atap metode DAM dan ELM lebih tinggi daripada hasil uji lab. Hal ini berarti faktor reduksi kekuatan (ϕ) masih kurang mampu mengakomodir efek ketidaksempurnaan konstruksi rangka atap.

Error yang terjadi antara DAM dengan uji lab pada rangka atap 1 Baut diakibatkan oleh respon struktur yang tidak simetris terlihat pada grafik $p-\delta$ antara pengujian lab dengan SAP2000 pada Gambar 5.9 dan grafik regangan pada Gambar 5.10. Dari grafik regangan menunjukkan distribusi regangan lebih dominan ke salah satu arah sisi rangka atap. Hal ini berarti kualitas material batang penyusun rangka atap berbeda-beda, kondisi inilah yang tidak bisa dimodelkan SAP2000 karena SAP2000 hanya dapat memodelkan struktur dengan kualitas bahan struktur yang sama untuk semua batang.

Dari pengujian lab terhadap rangka atap 3 baut sambungan bisa dilihat bahwa pada bagian sambungan rangka terdapat tekuk lokal yang dibuktikan pada Gambar 5.19 dan grafik regangan pada Gambar 5.17. Hal ini menyebabkan rangka atap 3 baut tidak signifikan terhadap 1 baut. Kemudian pada rangka atap hasil uji lab mempunyai ketidaksempurnaan struktur seperti ukuran tiap batang tekan tidak

sama panjang. Efek tekuk lokal ini tidak terakomodir dalam proses perhitungan baik pada metode DAM maupun ELM, karena kedua metode tersebut memodelkan rangka berdasarkan angka kelangsingan yang menggambarkan kondisi tekuk lateral ($p-\delta$).

Berdasarkan semua pembahasan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa tingkat akurasi DAM SAP2000 tidak akurat dalam memprediksikan kuat tekan rangka atap dengan kelangsingan sedang pada penelitian ini dikarenakan batang tekan kelangsingan sedang akan sangat sulit terjadi efek $p-\delta$, sedangkan metode DAM pada dasarnya memprediksi kuat tekan berdasarkan kondisi $p-\delta$.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada penelitian rangka atap SHS kelangsingan sedang dengan pelat sambung ganda dan variasi jumlah baut didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode DAM memiliki angka error sebesar 46,33 % dan metode ELM sebesar 31,19 %. Sehingga metode DAM dan ELM dalam memodelkan kuat tekan rangka atap dengan kelangsingan menengah memiliki akurasi yang rendah. Kemudian akurasi DAM lebih rendah dibandingkan ELM.
2. Rangka atap dengan jenis sambungan yang tidak menahan momen memiliki angka error sebesar 42,06% sedangkan rangka atap dengan jenis sambungan yang menahan momen memiliki angka error sebesar 50,60%, sehingga hal tersebut terjadi peningkatan angka error sebesar 8,54%. Hal ini menandakan jenis sambungan yang menahan momen maka semakin besar angka error yang didapatkan.

6.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian ini agar lebih baik yaitu:

1. Pada saat membeli profil baja SHS yang akan digunakan sebagai bahan uji tekan, agar diukur kembali untuk sesuai dengan spesifikasi baja yang telah direncanakan.
2. Sebelum menguji rangka atap, agar terlebih dahulu mengukur panjang masing-masing batang terutama batang tekan
3. Untuk penelitian selanjutnya agar menambahkan sampel agar data yang diperoleh lebih baik.
4. Pada sambungan baut menggunakan jumlah variasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729-2020. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 03-1729-2015. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1998. Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam SNI 07-0371-1998. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. Cara Uji Mekanis Mur & Baut SNI 06-0571-1989 ICS. BSN. Jakarta.
- AISC.(2010). “An American National Standard ANSI/AISC 360-10 : Load Specification for Structural Steel Buildings”, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois
- Dewobroto, W., (2014) : “Rekayasa Komputer dalam Analisis dan Desain Struktur Baja Studi Kasus Direct Analysis Method (AISC 2010)”, Seminar dan Lokakarya Rekayasa Struktur, Universitas Kristen Petra.
- Dewobroto, W.. 2015. Struktur Baja – Perilaku, Analisis, & Desain – AISC 2010. Lumina Press. Jakarta.
- Dewobroto Wiryanto., (2019) : “Era Baru Perancangan Struktur Baja Berbasis Komputer Memakai *Direct Analysis Method* (AISC 2010)” Jurnal, Universitas Pelita Harapan.
- Salmon CG and John E. Johnson, (1992), Struktur Baja Desain Dan Perilaku Edisi I, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Justin, P. (2006) : “*Evaluation of the Effective Length Method and the Direct Analysis Method for the Design of Steel Columns in Frame Structures*”. Jurnal. *University of Maryland*.
- Setiady, F. (2012) : “Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan *Direct Analysis Method* dengan *Advanced Analysis* dalam Analisis Efek Orde Kedua“. Jurnal.

Institut Teknologi Bandung.

Ivanfebraja, Teruna, DR., (2012) : “Kajian Stress Ratio pada Analysis Method dan Effective Length Method Sesuai dengan AISC 2010”. Jurnal, Universitas Sumatera Utara.

Rafflesia, E., & Mughnie, H. (2017) : “Studi Perbandingan *Stress Ratio* Dengan ELM (*Effective Length Method*) dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan *Workshop* Pada Proyek Di Cirebon”. Jurnal. Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019). Studi Perbandingan *Stress Ratio* Pada Portal Baja Menggunakan *Bracing* Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analisis Method* (DAM).





LAMPIRAN

Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium

Nomor : 64/Ka. Prodi/20/PSTS/III/2022
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada :
Yth. **Koordinator Laboratorium**
Jurusan Teknik Sipil FTSP
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andra Rifaldi Oktavianur
NIM : 18511196
Program Studi : Teknik Sipil
Dosen pembimbing TA : Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan

Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Mengetahui
Kepala Program Studi Teknik Sipil

Dr. H. Sri Amin Yuni Astuti, M.T.

Menyetujui
Koordinator Laboratorium



Ir. Bambang Sulistiono, MSCE

Menyetujui
Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 9 Maret 2022
Pemohon



Andra Rifaldi Oktavianur
NIM: 18511196

Menyetujui
Kepala Laboratorium Bahan
Konstruksi Teknik (BKT)



Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

Catatan:
Kepala laboratorium Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng. menyetujui permohonan mahasiswa untuk melakukan pengujian dalam rangka penyelesaian tugas akhir **Properties Material dan atau pembuatan sampel pada tanggal 10 – 25 Maret 2022**

Lampiran A.2 Lanjutan Surat Izin Pemakaian Laboratorium

Nomor : 65/Ka. Prodi/20/PSTS/III/2022
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada :

Yth. **Ketua Tim Satgas Covid 19**
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

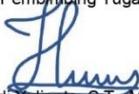
Nama	: Andra Rifaldi Oktavianur
NIM	: 18511196
Program Studi	: Teknik Sipil
Dosen Pembimbing TA	: Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
Judul Tugas Akhir	: Studi Eksperimental Rangka Atap <i>Square Hollow Section</i> Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan

Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan ijin untuk memasuki lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

Demikian surat permohonan ini kami sampaikan, atas perkenan dan bantuannya saya haturkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Menyetujui
Dosen Pembimbing Tugas Akhir


Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 9 Maret 2022
Pemohon


Andra Rifaldi Oktavianur
NIM: 18511196



Mengetahui
Kepala Program Studi Teknik Sipil


Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

Lampiran:

1. Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT)

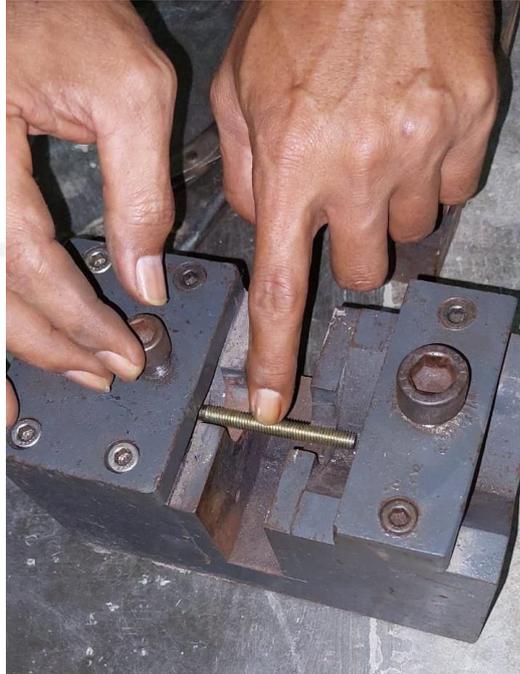
Lampiran A.3 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja



Lampiran A.4 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik



Lampiran A.5 Persiapan Pengujian Geser Baut



Lampiran A.6 Set up Uji Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



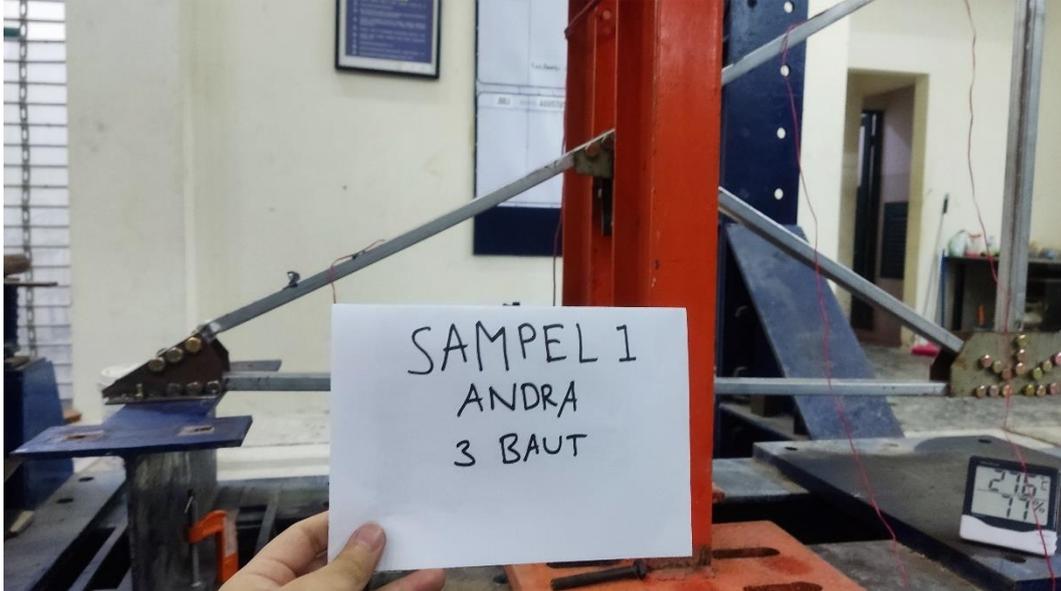
Lampiran A.7 Kondisi Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Setelah Dilakukan Pengujian Tekan



Lampiran A.8 Set up Uji Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan



Lampiran A.7 Kondisi Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Setelah Dilakukan Pengujian Tekan



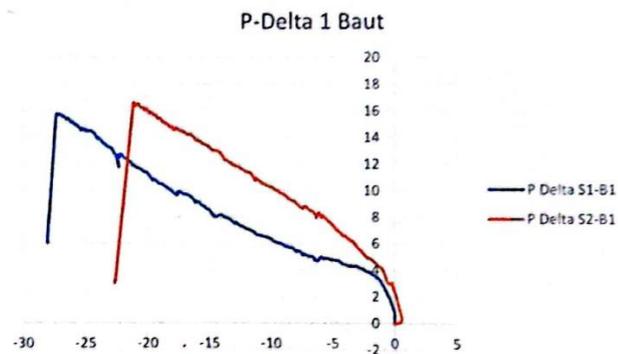
Lampiran B.1 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan



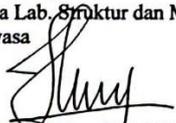
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Andra Rifaldi Oktavianur
 NIM : 18511196
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
 Diuji Tanggal : 24 Mei 2022
 Sampel : Rangka Atap Sambungan 1 Baut



Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa


 Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

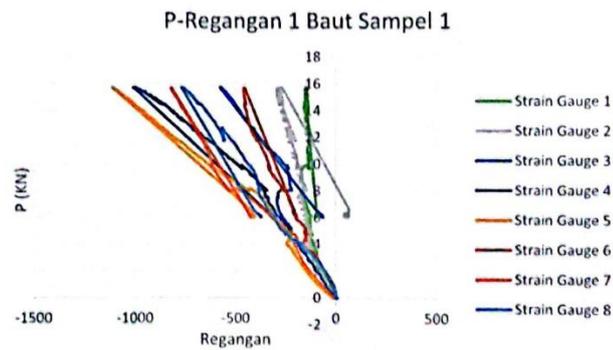
Lampiran B.2 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 1



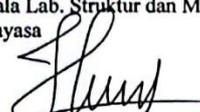
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Andra Rifaldi Oktavianur
NIM : 18511196
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal : 24 Mei 2022
Sampel : Rangka Atap Variasi 1 Baut - Sampel 1



Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
Rekayasa


Hariadi Julianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

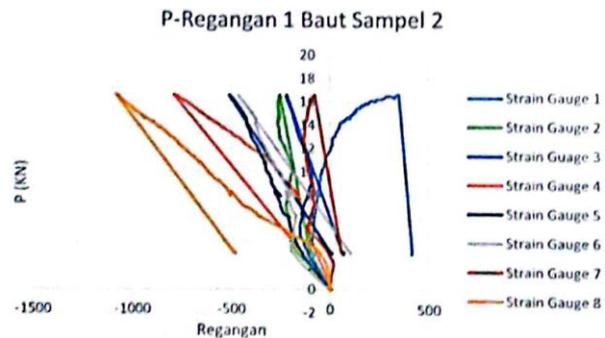
Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan Sampel 2



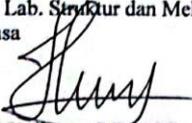
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL,
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Andra Rifaldi Oktavianur
NIM : 18511196
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal : 25 Mei 2022
Sampel : Rangka Atap Variasi 1 Baut - Sampel 2



Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
Rekayasa


Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

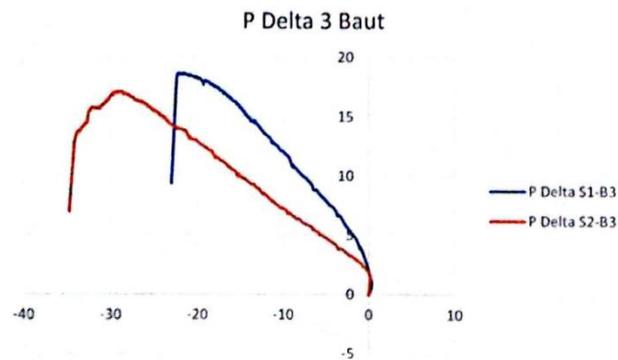
Lampiran B.4 Hasil Grafik P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan



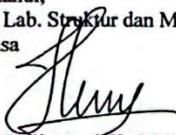
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Andra Rifaldi Oktavianur
 NIM : 18511196
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
 Diuji Tanggal : 25 Mei 2022
 Sampel : Rangka Atap Sambungan 3 Baut



Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa


 Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

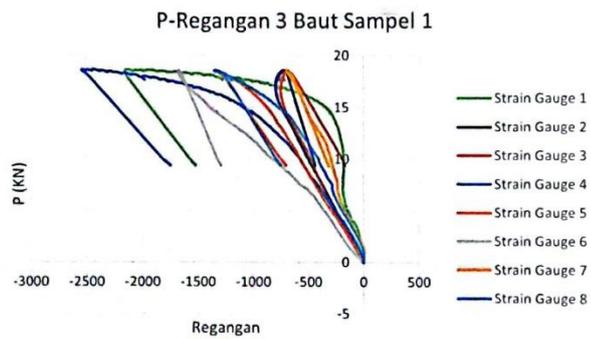
Lampiran B.5 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 1



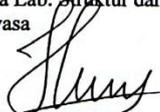
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Andra Rifaldi Oktavianur
NIM : 18511196
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal : 25 Mei 2022
Sampel : Rangka Atap Variasi 3 Baut - Sampel 1



Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
Rekayasa


Hariadi Yuhianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

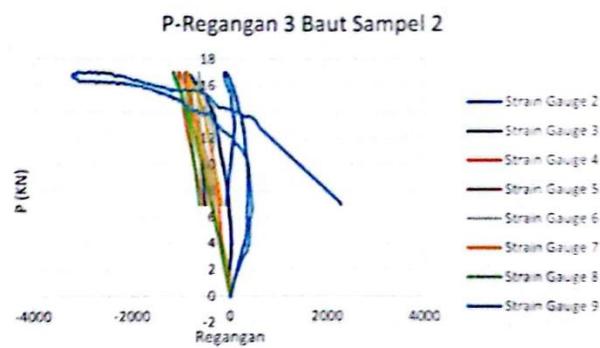
Lampiran B.6 Hasil Grafik P-Regangan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan Sampel 2



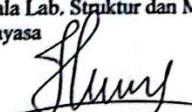
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Andra Rifaldi Oktavianur
NIM : 18511196
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Rangka Atap Square Hollow Section Kelangsingan Sedang Menggunakan Pelat Sambung Ganda Dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan
Diuji Tanggal : 27 Mei 2022
Sampel : Rangka Atap Variasi 3 Baut – Sampel 2



Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
Rekayasa


Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.