

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS KAPASITAS TEKAN RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* MENGGUNAKAN METODE DAM TERKALIBRASI DENGAN HASIL UJI BATANG TEKAN AKSIAL LABORATORIUM**

**Studi kasus rangka atap kelangsingan tinggi dengan variasi jumlah baut sambungan**

***(COMPRESSION CAPACITY ANALYSIS OF HOLLOW SQUARE ROOF TRUSS USING CALIBRATED DAM METHOD WITH LABORATORY AXIAL COMPRESSION TEST RESULTS)***

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



**REFANDI RISTYA ARNANDA**

**18511022**

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

**2022**

## TUGAS AKHIR

### **ANALISIS KAPASITAS TEKAN RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* MENGGUNAKAN METODE DAM TERKALIBRASI DENGAN HASIL UJI BATANG TEKAN AKSIAL LABORATORIUM**

Studi kasus rangka atap kelangsingan tinggi dengan variasi jumlah baut sambungan


*(COMPRESSION CAPACITY ANALYSIS OF HOLLOW SQUARE ROOF TRUSS USING CALIBRATED DAM METHOD WITH LABORATORY AXIAL COMPRESSION TEST RESULTS)*



**REFANDI RISTYA ARNANDA**

**18511022**

Menyetujui:  
Dosen Pembimbing



**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**  
Tanggal : 08 Agustus 2022

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS KAPASITAS TEKAN RANGKA ATAP *SQUARE HOLLOW SECTION* MENGGUNAKAN METODE DAM TERKALIBRASI DENGAN HASIL UJI BATANG TEKAN AKSIAL LABORATORIUM

Studi kasus rangka atap kelangsingan tinggi dengan variasi jumlah baut  
sambungan

## (*COMPRESSION CAPACITY ANALYSIS OF HOLLOW SQUARE ROOF TRUSS USING CALIBRATED DAM METHOD WITH LABORATORY AXIAL COMPRESSION TEST RESULTS*)

Disusun oleh

**Refandi Ristya Arnanda**

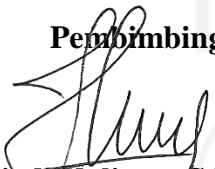
**18511022**

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

Diuji pada tanggal 22 Juli 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



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

NIK: 155111305

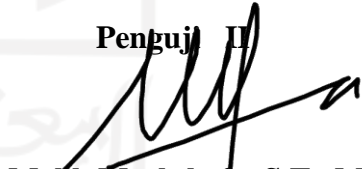
Penguji I



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

NIK: 155111306

Penguji II



Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.

NIK: 185111302

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

NIK: 885110101

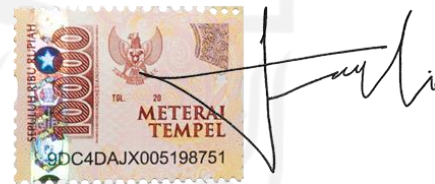


## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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 Februari 2022

Yang membuat pernyataan,



Refandi Ristya Arnanda

(18511022)

## KATA PENGANTAR


Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Tekan Rangka Atap Square Hollow Section Menggunakan Metode DAM Terkalibrasi Dengan Hasil Uji Batang Tekan Aksial Laboratorium*. 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. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir ini.
2. Bapak, Ibu, Kakak Penulis serta Putri Cen yang telah berkorban begitu banyak material maupun motivasi yang diberikan hingga selesainya Tugas Akhir ini.
3. Teman-teman jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan masukan, dukungan serta motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 24 Februari 2022

Penulis,  


Refandi Ristya Arnanda

18511022

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	iii
BAB 1 HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Evaluasi <i>Stress Ratio</i> Dengan Metode Panjang Efektif Dan Metode Perencanaan Langsung Pada Portal Gable	5
2.2 Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Dengan ELM ( <i>Effective Length Method</i> ) dan DAM ( <i>Direct Analysis Method</i> ) Bangunan Workshop Pada Proyek Di Cirebon	5

2.3	Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja dan Kapasitas Aksial Penampang-nya Menggunakan DAM Pada SAP2000 dan SNI 1729:2015	6
2.4	Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM) dan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM)	6
2.5	Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya	7
BAB III LANDASAN TEORI		13
3.1	Struktur Rangka Atap	13
3.2	Sifat Mekanik Baja	14
3.3	Direct Analysis Method	16
3.3.1	Pengaruh Cacat Bawan ( <i>Initial Imperfection</i> )	17
3.3.2	Penyesuaian Kekakuan	18
3.3.3	Kemampuan SAP2000	19
3.4	Batang Tekan	20
3.4.1	Kelangsingan	20
3.4.2	Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui	21
3.4.3	Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal	22
3.5	Kuat Nominal Penampang	25
3.6	Kuat Lentur Profil	26
3.7	Kapasitas Sambungan Struktur Baja	27
3.7.1	Kuat Tumpu Baut	28
3.7.2	Kuat Geser Baut	29
BAB IV METODE PENELITIAN		30
4.1	Gambaran Umum	30
4.2	Jenis Data Penelitian	30
4.3	Uji Tarik Material Baja	31

4.3.1	Bahan Uji	31
4.3.2	Alat Uji	31
4.3.3	<i>Set Up</i> Pengujian	33
4.4	Uji Geser Baut	33
4.4.1	Bahan Uji	33
4.4.2	Alat Uji	33
4.4.3	<i>Set Up</i> Pengujian	34
4.5	Perhitungan Desain Batang Tekan	35
4.5.1	Trial Perhitungan Dimensi Rencana Batang Tekan	35
4.6	Uji Tekan Profil	38
4.6.1	Bahan Uji	38
4.6.2	Alat Uji	39
4.6.3	<i>Set Up</i> Pengujian	41
4.7	<i>Direct Analysis Method</i> (DAM)	41
4.7.1	Pemodelan Pada Batang Tekan	42
4.7.2	Pemodelan Pada Rangka Atap	42
4.8	Lokasi Penelitian	43
4.9	Tahapan Analisis Data	43
4.10	Tahapan Pembahasan	44
4.11	Tahapan Penarikan Kesimpulan	44
4.12	Flowchat Penelitian	44
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		46
5.1	Uji Kuat Tarik Material Baja	46
5.2	Uji Geser Baut	49
5.3	Uji Kuat Tekan Profil	51



5.3.1	Uji Batang Tekan Dengan 1 Baut	51
5.3.2	Uji Batang Tekan Dengan Variasi 3 Baut	55
5.4	Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan	58
5.4.1	Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Batang Tekan Aksial Vasiasi 1 Baut	58
5.4.2	Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan Batang Tekan Aksial Variasi 3 Baut	62
5.5	Kalibrasi Pemodelan Batang Tekan SAP2000	65
5.5.1	Kalibrasi Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 1 Baut	66
5.5.2	Kalibrasi Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 3 Baut	68
5.5.3	Hasil dan Pembahasan Kalibrasi SAP2000	72
5.6	Analisis Kapasitas Rangka Atap Kelangsingan Tinggi dengan Metode DAM SAP2000 Terkalibrasi	72
5.6.1	Analisis Rangka Atap Kelangsingan Tinggi Variasi 1 Baut	73
5.6.2	Analisis Rangka Atap Kelangsingan Tinggi Variasi 3 Baut	80
5.6.3	Hasil dan Pembahasan Prediksi Kapasitas Rangka Atap Kelangsingan Tinggi Metode DAM	89
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>		91
6.1	Kesimpulan	91
6.2	Saran	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		93
<b>LAMPIRAN</b>		95

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang akan Dilaksanakan	8
Tabel 3.1 Klasifikasi elemen pada batang tekan aksial	22
Tabel 3.2 Prosedur desain balok lentur profil kotak	25
Tabel 5. 1 Nilai Kuat Tarik Pelat Baja Hasil Pengujian	48
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Kuat Geser Baut	50
Tabel 5. 3 Hasil Dari Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 1 Baut	53
Tabel 5. 4 Hasil Dari Grafik Hubungan P dan Rengangan Sampel Uji 1 Baut	54
Tabel 5. 5 Hasil Dari Grafik Hubungan P dan Rengangan Sampel Uji 3 Baut	57
Tabel 5. 6 Pengaruh Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn	68
Tabel 5. 7 Pengaruh Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn	71
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Kuat Tekan Penampang Step ke-80 Sampai Step ke-85 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	79
Tabel 5. 9 Hasil Prediksi Kuat Tekan DAM SAP2000 Pada Titik Puncak Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan	80
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kuat Penampang Step ke-82 sampai step ke-88 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	88
Tabel 5. 11 Hasil Prediksi Kuat Tekan DAM SAP2000 Pada Titik Puncak Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Komponen Penyusun Rangka Atap	13
Gambar 3. 2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan	15
Gambar 3. 3 Pengaruh Orde ke-2	17
Gambar 3. 4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta	20
Gambar 3. 5 Batang Tekuk Euler	24
Gambar 3. 6 Sambungan Baut Dengan Pelat Baja	28
Gambar 4. 1 Benda Uji Pelat Baja	31
Gambar 4. 2 Universal Testing Material (UTM)	32
Gambar 4. 3 Alat Ukur	32
Gambar 4. 4 Set Up Pengujian Tarik	33
Gambar 4. 5 Compression Testing Machine	34
Gambar 4. 6 Caliper	34
Gambar 4. 7 Set Up Pengujian Geser Baut	35
Gambar 4. 8 Set Up Uji Geser Baut Tampak Atas	35
Gambar 4. 9 Bahan Uji Tekan Profil	38
Gambar 4. 10 Loading Frame	39
Gambar 4. 11 Hydraulic Jack	39
Gambar 4. 12 Strain Gauge	40
Gambar 4. 13 Linear Variable Differential Transformer (LVDT)	40
Gambar 4. 14 Load Cell	41
Gambar 4. 15 Set Up Uji Tekan Bahan	41
Gambar 4. 16 <i>Flowchart</i> Pemodelan Batang Tekan Pada SAP2000	42
Gambar 4. 17 Pemodelan Rangka Atap Pada SAP2000	42
Gambar 4. 18 <i>Flowchart</i> Pemodelan Rangka Atap Pada SAP2000	42
Gambar 4. 19 <i>Flowchart</i> Penelitian	42
Gambar 5. 1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja	46
Gambar 5. 2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1	46
Gambar 5. 3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2	47

Gambar 5. 4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3	47
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	49
Gambar 5. 8 Kondisi Baut Sampel 3 Setelah Pengujian	50
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 1 Baut	51
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan P dan Regangan Sampel Uji 1 Baut	52
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan P dan Regangan Pada Sambungan Sampel Uji 1 Baut	52
Gambar 5. 12 Sampel 1 Baut 1 Setelah Uji Tekan	53
Gambar 5. 13 Sampel 2 Baut 1 Setelah Uji Tekan	53
Gambar 5. 14 Sampel 3 Baut 1 Setelah Uji Tekan	53
Gambar 5. 15 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 3 Baut	55
Gambar 5. 16 Grafik Hubungan P dan Regangan Sampel Uji 3 Baut	56
Gambar 5. 17 Grafik Hubungan P dan Regangan pada Sambungan Sampel Uji 3 Baut	56
Gambar 5. 18 Sampel 1 Variasi Baut 3 Setelah Uji Tekan	57
Gambar 5. 19 Sampel 2 Variasi Baut 3 Setelah Pengujian	57
Gambar 5. 20 Sampel 3 Variasi Baut 3 Setelah Pengujian	57
Gambar 5. 21 Pemodelan di SAP2000 Beban Notional Pada Batang Tekan	60
Gambar 5. 22 Gaya Aksial Tekan (Pr) Batang Tekan 1 Baut	61
Gambar 5. 23 Pemodelan Beban Notional Pada Batang Tekan	64
Gambar 5. 24 Gaya Aksial Tekan (Pr) Variasi 3 Baut	64
Gambar 5. 25 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan	66
Gambar 5. 26 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan	67
Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn Batang Tekan Variasi 1 Baut	67
Gambar 5. 28 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan	69
Gambar 5. 29 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai (EI = 0.7xE)	69

Gambar 5. 30 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0,6 \times E$ )	70
Gambar 5. 31 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0,35 \times E$ )	70
Gambar 5. 32 Grafik Hubungan Step Kalibrasi Terhadap Nilai Kuat Tekan Batang Tekan Variasi 3 Baut	71
Gambar 5. 33 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pada SAP2000	73
Gambar 5. 34 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pembebanan 1kN	74
Gambar 5. 35 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut	75
Gambar 5. 36 Grouping Pembebanan Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut	76
Gambar 5. 37 Section Cut Data Pembebanan Rangka Atap Variasi 1 Baut	76
Gambar 5. 38 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut	77
Gambar 5. 39 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut	77
Gambar 5. 40 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Pada Batang Tekan 17	78
Gambar 5. 41 Pemodelan Rangka Atap Variasi 3 Baut Pada SAP2000	81
Gambar 5. 42 Nilai Gaya Aksial Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut	82
Gambar 5. 43 Pemodelan beban Notional Pada Rangka Atap di SAP2000	83
Gambar 5. 44 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap	84
Gambar 5. 45 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap	84
Gambar 5. 46 Bending Momen Diagram Rangka Atap Variasi 3 Baut	85
Gambar 5. 47 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut	85
Gambar 5. 48 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 dengan Reduksi Kekakuan ( $0,8 \times E$ )	86
Gambar 5. 49 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 dengan Reduksi Kekakuan ( $0,35 \times E$ )	86

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium	89
Lampiran A.2 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja	90
Lampiran A.3 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik	90
Lampiran A.4 Persiapan Pengujian Geser Baut	91
Lampiran A.5 Set up Pengujian Tekan Pada Batang Tekan Variasi 1 Baut	91
Lampiran A.6 Set up Pengujian Tekan Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut	92
Lampiran A.7 Kondisi Batang Tekan Setelah Dilakukan Pengujian Tekan	93
Lampiran B. 1 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 3 Baut	100
Lampiran B. 2 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 1 Baut	101
Lampiran B. 3 Hasil Grafik P-Regangan Tengah Bentang Data Uji Tekan Variasi 3 Baut	102
Lampiran B. 4 Hasil Grafik P-Regangan Tengah Bentang Data Uji Tekan Variasi 3 Baut	103
Lampiran B. 5 Hasil Grafik P-Regangan Sambungan	104
Lampiran B. 6 Hasil Grafik P-Regangan Sambungan	105

## ABSTRAK

Adanya perkembangan teknologi yang cukup pesat berdampak juga terhadap perencanaan konstruksi struktur baja salah satunya yaitu adanya metode *Direct Analysis Method*. DAM dimasukkan sebagai salah satu metode perencanaan untuk struktur baja di Indonesia yang tercantum pada peraturan konstruksi struktur baja terbaru yaitu SNI 1729:2020. Dengan adanya peraturan terbaru SNI 1729:2020 maka diperlukan adanya pembuktian *Direct Analysis Method* (DAM) yang tercantum pada SNI 1729:2020 sehingga dirumuskan dalam penelitian ini bagaimana permodelan batang tekan menggunakan metode DAM dengan variasi jumlah baut yang terverifikasi dengan hasil uji laboratorium. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kapasitas tekan rangka atap profil *square hollow section* menggunakan metode DAM terkalibrasi dengan hasil uji batang tekan aksial laboratorium. Penelitian ini dilakukan dengan benda uji profil *square hollow section* yang diawali dengan melakukan pengujian kuat Tarik, uji geser baut dan uji kuat tekan profil, sehingga didapatkan nilai aktual kuat tekan maksimum batang tekan yang akan dijadikan rangka atap. Selanjutnya memperhitungkan beban notional serta reduksi kekakuan yang dibutuhkan untuk pemodelan dengan metode DAM. Dari hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan bahwa prediksi nilai kuat tekan rangka atap sambungan 3 baut yaitu 7,835 kN lebih besar dibandingkan nilai kuat tekan rangka atap sambungan 1 yaitu sebesar 4,11 kN. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena pada batang tekan variasi 3 baut merupakan batang inelastic yang memiliki sifat sulit terjadi tekuk.

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

## **ABSTRACT**

*The rapid development of technology also has an impact on the planning of steel structure construction, one of which is the Direct Analysis Method. DAM is one of the steel structure planning methods in Indonesia which is listed in the latest steel structure construction regulations, namely SNI 1729:2020. With the latest SNI 1729:2020 regulations, it is necessary to prove the Direct Analysis Method (DAM) listed in SNI 1729:2020 so that in this study it is formulated how the compression rod model uses the DAM method with variations in the number of bolts verified by laboratory test results. The purpose of this study was to determine the compressive capacity of the roof truss with a square hollow cross section using the calibrated DAM method with the results of the laboratory axial compression rod test. This research was conducted with a rectangular hollow cross-section profile, which began with a tensile strength test, a bolt shear test and a profile compressive strength test, in order to obtain the actual maximum compressive strength of the compressive structural components that will be used as the roof truss. . . Next take into account the notional load and stiffness reduction required for modeling with the DAM method. From the analysis that has been done, it is found that the predictive value of the compressive strength of the roof truss connection with 3 bolts is 7,835 kN, which is greater than the value of the compressive strength of the roof truss. for connection 1 is 4.11 kN. This is likely to happen because the variation of the 3 bolts of the compression rod is an inelastic rod that is difficult to bend.*

**Keywords:** *Roof Frame, Direct Analysis Method, Compressive Rod, Compressive Capacity*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi merupakan hasil pemikiran dan perencanaan dari manusia yang dapat berbentuk alat dan metode yang dipakai dengan tujuan untuk meringkas serta mempermudah pekerjaan seseorang. Pada saat ini teknologi semakin hari semakin berkembang, hal ini berdampak juga dalam sektor pembangunan konstruksi dalam berbagai bidang. Dengan adanya perkembangan yang cukup pesat menjadikan analisis struktur yang awal mulanya menggunakan metode manual perlahan mulai tergantikan dengan analisis yang lebih praktis berbasis komputer.

Pada perencanaan konstruksi struktur baja juga terdapat metode yang terbaru yaitu dengan menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) atau metode analisis langsung. Metode ini mengadopsi penuh dari AISC 2016 yang berasal dari Amerika. Dengan adanya *Direct Analysis Method* (DAM) ini dapat memperhitungkan kondisi *imperfection* (non geometri), kondisi *inelastic* (nonlinier material) dan analisis orde 2 (pengaruh deformasi) yang pada metode sebelumnya yaitu metode *Effective Length Method* (ELM) tidak diperhitungkan. Strategi penyelesaian yang digunakan DAM tidak persis sama seperti jenis analisis yang rasional, tetapi telah dibuktikan dengan cara kalibrasi berdasarkan data eksperimental (AISC 2010) sehingga hasilnya berkorelasi. Dengan hal tersebut DAM yang telah menggantikan cara lama *Effective Length Method* (ELM). Cara lama tersebut (ELM) tidak dibuang tetapi dipindah jadi AISC 2010, dan dapat dipakai sebagai cara alternatif, khususnya jika tidak tersedia program komputer yang sesuai. (Dewobroto, 2016)

Pada metode ELM terdapat kekurangan pada kecepatan dan ketelitian analisa yang mendekati sifat alami struktur di lapangan. Hal ini terjadi dikarenakan metode ELM tidak memasukkan faktor ketidaksempurnaan geometri dan reduksi kekakuan

selama proses analisa struktur. Pembaruan kode desain ini memberi dampak keuntungan bagi para perencana karena metode ini dapat mengatasi keterbatasan analisa struktur elastik yang tidak dapat mengevaluasi stabilitas. (Sugawa, 2017)

Kemudian *Direct Analysis Method (DAM)* lebih efisien karena nilai  $K$  juga telah ditentukan  $K=1$  akan tetapi tetap memperhitungkan efek P-delta nya. Maka dari itu pembaruan metode ini memberikan keuntungan bagi para perencana karena dapat mengatasi keterbatasan waktu serta analisa struktur yang tidak dapat memperhitungkan stabilitas. *Direct Analysis Method (DAM)* dimasukan sebagai salah satu metode perencanaan untuk struktur baja di Indonesia yang tercantum pada peraturan konstruksi struktur baja SNI 1729:2020 yang telah diperbarui dari sebelumnya yaitu SNI 1729:2015.

Dengan demikian dalam Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian untuk membandingkan apakah *Direct Analysis Method (DAM)* yang telah menjadi standar nasional untuk perencanaan struktur baja hasilnya serupa pada hasil yang terjadi dilapangan. Maka diperlukan uji eksperimental di laboratorium untuk membandingkannya. Adapun bahan ujinya yaitu menggunakan batang tekan kelangsingan tinggi dari rangka atap *square hollow section* dimana pada pengujian yang dilakukan pada laboratorium menggunakan variasi 3 baut sambungan yang mewakili kondisi yang biasanya terjadi dilapangan serta variasi 1 baut sambungan untuk memodelkan tumpuan sendi sempurna.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka didapatkan rumusan masalah yang dapat diidentifikasi yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana cara permodelan batang tekan dengan metode DAM dengan baut tunggal yang terverifikasi dengan hasil uji lab?
2. Bagaimana cara permodelan batang tekan dengan metode DAM dengan baut tiga yang terverifikasi dengan hasil uji lab?
3. Apa pengaruhnya jumlah baut terhadap cara permodelan batang tekan?

4. Berapa prediksi kuat tekan struktur rangka atap SHS dengan kelangsingan tinggi berdasarkan hasil pemodelan SAP2000 setelah terverifikasi dengan hasil uji lab?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang didapatkan berdasarkan rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui cara permodelan batang tekan dengan variasi 1 baut dan variasi 3 baut menggunakan metode DAM
2. Mengetahui pengaruh kapasitas tekan dari batang tekan yang sudah terverifikasi dengan hasil laboratorium terhadap variasi jumlah baut
3. Mengetahui prediksi kuat tekan struktur rangka atap profil square hollow section dengan kelangsingan tinggi hasil permodelan SAP2000

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah dapat mengetahui dan membuktikan apakah *Direct Analysis Method* (DAM) yang tercantum pada SNI 1729:2020 hasilnya sesuai dan tidak jauh beda dengan pengujian pada laboratorium. Kemudian mengetahui pengaruh jumlah baut terhadap akurasi *Direct Analysis Method* (DAM) pada batang tekan kelangsingan tinggi. Setelah itu penelitian ini juga dapat dijadikan referensi untuk penelitian mengenai struktur rangka atap baja berdasarkan SNI 1729:2020 selanjutnya.

### 1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan permasalahan pada penelitian ini bertujuan agar tidak menyimpang dari tujuan penelitian yaitu sebagai berikut

1. Menggunakan program SAP 2000 untuk analisis struktur dan aplikasi Microsoft Excel pada perhitungan manual
2. Benda uji pada penelitian perbandingan ini berupa batang tekan pada rangka atap *square hollow section*
3. Terdapat variasi pada benda uji berupa jumlah baut.

4. Acuan desain, pembebanan dan spesifikasi rangka atap baja mengacu pada SNI 1729:2020
5. Pengujian material benda uji terdiri dari 3 pengujian yaitu uji kuat tarik baja, uji kuat geser baut dan uji kuat tekan profil.
6. Pengujian Tarik benda uji sesuai dengan SNI 8389:2017
7. Hasil nilai *stress ratio* menjadi pembanding pada kedua metode yang digunakan.
8. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Kekuatan dan Ketahanan (DFBK)
9. Penggunaan benda uji geser baut menggunakan baut diameter 8 mm.
10. Benda uji pada pengujian tekan profil direncanakan menggunakan ukuran lebar profil 15mm dan tinggi profil 30mm dengan ketebalan 1,8mm.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Evaluasi *Stress Ratio* Dengan Metode Panjang Efektif Dan Metode Perencanaan Langsung Pada Portal Gable**

Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2017) melakukan penelitian mengenai: *Evaluasi Stress Ratio Dengan Metode Panjang Efektif Dan Metode Perencanaan Langsung Pada Portal Gable*. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk membandingkan hasil *stress ratio* perencanaan antara Metode Panjang efektif dengan Metode perencanaan langsung sehingga dapat mengetahui metode yang lebih efektif dan efisien pada portal gable. Benda uji yang digunakan yaitu dengan portal gable menggunakan profil WF 350x157x11 dan WF 400x200x8x13. Kemudian terdapat variasi pada sudut rafter yaitu 10°, 15°, 20°, 25°, 35° dan 45°. Adapun hasil penelitian yang dilakukan ini yaitu dengan adanya variasi sudut pada rafter berdampak pada tegangan strukturnya. Kemudian perhitungan stabilitas yang dilakukan dengan metode perencanaan langsung menggunakan komputer untuk menghitung efek P-delta sehingga bisa lebih cepat dan memberikan ketelitian yang baik di SAP2000. *Stress ratio* yang ditunjukkan dari kedua metode terdapat selisih yang signifikan. Perbedaan ini diakibatkan oleh nilai panjang efektif (K) dan juga pendekatan efek P-delta pada struktur.

#### **2.2 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 mengenai: Studi Perbandingan *Stress Ratio* Dengan ELM (*Effective Length Method*) dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan Workshop Pada Proyek Di Cirebon.. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan nilai *stress ratio* antara metode ELM dengan DAM tersebut yang dibahas di peraturan SNI

1729:2015 dan mengetahui metode yang menghasilkan profil baja yang lebih kecil. Pada penelitian ini diaplikasikan pada bangunan workshop 1 lantai dengan ukuran 18 m x 36 m, material baja BJ 41 fy = 250 MPa dengan mutu ASTM A-36. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *stress ratio* balok antara metode ELM dengan metode DAM memiliki nilai yang sama, sedangkan nilai *stress ratio* pada kolom metode ELM lebih besar daripada metode DAM sebesar 9,60% dan nilai *stress ratio* *rafter* metode ELM lebih kecil daripada metode DAM sebesar 0,90%. Hasil dari penelitian ini dengan selisih nilai *ratio* yang tidak terlalu signifikan berbeda, maka penggunaan kedua metode tersebut tidak bisa menyatakan efisiensi dari penggunaan profil baja.

### **2.3 Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja dan Kapasitas Aksial Penampang-nya Menggunakan DAM Pada SAP2000 dan SNI 1729:2015**

Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., & Pah, J. J. (2019) melakukan penelitian mengenai: *Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja dan Kapasitas Aksial Penampang-nya Menggunakan DAM Pada SAP2000 dan SNI 1729:2015*. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbandingan kapasitas aksial penampang kolom baja menggunakan DAM pada SAP2000 dengan Peraturan SNI 1729:2015. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu struktur kolom dengan profil *Wide Flange* dan pipa dengan variasi ukuran serta mutu baja (fy) yang dipakai yaitu 240 MPa dan 410 MPa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hasil analisis dengan SAP2000 pada analisis tekuk elastis lebih besar dibandingkan hasil perhitungan SNI 1729:2015 dengan perbandingan perbedaan 126,32% - 126,86%. Hasil serupa juga terdapat pada kondisi kelangsingan besar.

### **2.4 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 mengenai: *Studi Perbandingan *Stress Ratio* Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method**

(DAM). Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui perbandingan *stress ratio* portal baja antara Metode ELM dan Metode DAM. Dari penelitian ini didapatkan perbandingan nilai *stress ratio* yang dihasilkan dengan dua metode yang berbeda. Hasil dari metode ELM memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode DAM dengan perbandingan bervariasi antara 0,1% - 8,9%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa DAM metode yang lebih efektif, sederhana dan menghasilkan kapasitas profil yang lebih efisien dibanding ELM sehingga profil yang digunakan dapat lebih hemat.

## 2.5 Perbedaan Dengan Penelitian Sebelumnya

Perbedaan penelitian Tugas Akhir ini dengan penelitian sebelumnya adalah:

1. Perbedaan dengan penelitian Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2017) yaitu penelitian tersebut menggunakan benda uji portal gable dengan profil WF dengan variasi sudut rafter 10°, 15°, 20°, 25°, 35° dan 45° sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan ini menggunakan benda uji merupakan batang tekan dari rangka atap *square hollow section* kemudian variasi pada penelitian ini terdapat pada jumlah baut pada sambungannya yang digunakan yaitu 1 baut dan 3 baut.
2. Perbedaan dengan penelitian Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017) yaitu penelitian tersebut melakukan perbandingan dua metode yaitu metode *Effective Length Method* (ELM) dengan *Direct Analysis Method* (DAM), kemudian acuan yang digunakan menggunakan SNI 1729:2015. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan ini membandingkan hasil uji Eksperimental laboratorium dengan metode *Direct Analysis Method* (DAM), selanjutnya yang menjadi acuan penelitian yaitu menggunakan SNI 1729:2020
3. Perbedaan dengan penelitian Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., & Pah, J. J. (2019) yaitu penelitian tersebut menggunakan benda uji struktur kolom dengan profil WF dengan variasi ukuran pipa, kemudian acuan yang digunakan yaitu SNI 1729:2015. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan ini menggunakan benda uji batang tekan dari rangka atap *square hollow*

*section* dengan variasi jumlah baut pada sambungannya, kemudian acuan yang digunakan yaitu SNI 1729:2020

4. Perbedaan dengan penelitian Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019) yaitu penelitian tersebut menggunakan benda uji bracing, selanjutnya melakukan perbandingan dua metode yaitu metode *Effective Length Method* (ELM) dengan *Direct Analysis Method* (DAM). Sedangkan penelitian yang akan dilakukan ini dilakukan dengan benda uji batang tekan rangka atap *square hollow section* dan penelitian ini dilakukan perbandingan antara metode *Direct Analysis Method* (DAM) dengan hasil uji eksperimental di laboratorium.

Untuk mengetahui detail perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada table 2.1 dibawah ini.



Tabel 2.1 Perbedaan Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Penelitian Terdahulu					Penelitian yang Akan Dilakukan
<b>Peneiti</b>	<b>Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., &amp; Handono, B. D. (2017)</b>	<b>Raflesia, E., &amp; Mughnie, H. (2017)</b>	<b>Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., &amp; Pah, J. J. (2019)</b>	<b>Rani, C. M., Muttaqin, M., &amp; Aulia, T. B. (2019)</b>	<b>Refandi Ristya Arnanda (2021)</b>
Judul Penelitian	Evaluasi <i>Stress Ratio</i> Dengan Metode Panjang Efektif Dan Metode Perencanaan Langsung Pada Portal Gable	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	Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja dan Kapasitas Aksial Penampangnya Menggunakan DAM Pada SAP2000 dan SNI 1729:2015	Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM) dan <i>Direct Analisis Method</i> (DAM)	Studi Eksperimental Batang Tekan Dari Rangka Atap <i>Square Hollow Section</i> Kelangsingan Tinggi Dengan Pelat Sambung Ganda

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneiti	Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2017)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., & Pah, J. J. (2019)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Refandi Ristya Arnanda (2021)
Tujuan	Untuk mengetahui perbandingan nilai <i>stress ratio</i> serta metode yang lebih efektif dan efisien pada penggunaan portal gable	Untuk mengetahui perbandingan nilai <i>stress ratio</i> antara metode ELM dengan metode DAM pada bangunan <i>workshop</i> yang meliputi balok, kolom dam rafter	Untuk mengetahui perbandingan nilai kapasitas aksial penampang kolom baja antara metode DAM pada SAP2000 dengan SNI 1729:2015	Untuk mengetahui perbandingan nilai <i>stress ratio</i> portal baja antara metode ELM dan metode DAM	Mengetahui akurasi metode DAM pada batang tekan kelangsingan tinggi dan Mengetahui pengaruh jumlah baut terhadap akurasi DAM pada batang tekan
Parameter Penelitian	Metode Perencanaan Langsung, Metode Panjang Efektif , <i>Stress Ratio</i>	<i>Direct Analysis Method</i> , <i>Effective Length Method</i> , <i>Stress Ratio</i>	<i>Direct Analysis Method</i> , SNI 1729:2015, SAP 2000	<i>Effective Length Method</i> , <i>Direct Analysis Method</i> , <i>Stress Ratio</i>	<i>Direct Analysis Method</i> , Jumlah Baut Sambung, Ratio kelangsingan tinggi.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneiti	Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2017)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., & Pah, J. J. (2019)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Refandi Ristya Arnanda (2021)
Metode Penelitian	Melakukan desain dan analisis portal gable profil WF pada kolom dan rafter dengan aplikasi SAP2000 dengan metode analisis langsung dan metode Panjang efektif .	Melakukan desain dan analisis rangka bangunan profik 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.	Pemodelan struktur kolom dengan metode DAM menggunakan SAP2000. Kemudian dilakukan analisis pada SAP2000 dan perhitungan berdasarkan SNI 1729:2015 pada MsExcel. Lalu dilakukan hperbandingan hasil tekuk plastis antara hasil SAP2000 dengan perhitungan berdasarkan SNI 1729:2015	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	Menganalisis perbandingan kekuatan hasil pengujian eksperimental batang tekan rangka atap baja <i>square hollow section</i> dengan pelat ganda dengan variasi jumlah baut yang menggunakan metode <i>Direct Analysis Method</i> SNI 1729:2020

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Antara Penelitian Sebelumnya Dengan Penelitian yang Akan Dilakukan

Peneiti	Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2017)	Raflesia, E., & Mughnie, H. (2017)	Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., & Pah, J. J. (2019)	Rani, C. M., Muttaqin, M., & Aulia, T. B. (2019)	Refandi Ristya Arnanda (2021)
Hasil	Variasi pada sudut rafter menghasilkan variasi tegangan, pembebanan dan stabilitas pada struktur. Beban angin hisap dialami pada variasi sudut 10 dan 15 sedangkan sudut 25 – 45 mengalami angin hisap dan tekan. Proses perencanaan metode DAM lebih cepat proses analisisnya dibandingkan metode ELM.	Hasil nilai <i>stress ratio</i> balok metode ELM sama dengan metode DAM yaitu 0.625. hasil nilai <i>stress ratio</i> kolom metode ELM memiliki nilai yang lebih besar daripada metode DAM dengan selisih 9.6%. Hasil nilai <i>stress ratio</i> rafter metode ELM lebih kecil daripada metode DAM dengan selisih 0.9%	Perbandingan hasil analisis SAP2000 terhadap SNI 1729:2015 pada konndisi kelangsingan besar yaitu 126,41%-126,83%. Pada kelangsingan kecil perbandingan yang didapatkan jauh lebih besar. Semakin besar kelangsingan struktur kolom baja mengakibatkan kapasitas aksial penampang semakin kecil.	Selisih nilai <i>stress ratio</i> yang didapatkan antara metode ELM dengan metode DAM menghasilkan nilai antara 0,1-8,9% dengan nilai <i>stress ratio</i> metode DAM memiliki hasil yang lebih kecil. Hasil ini menunjukkan bahwa metode DAM lebih efisien.	-

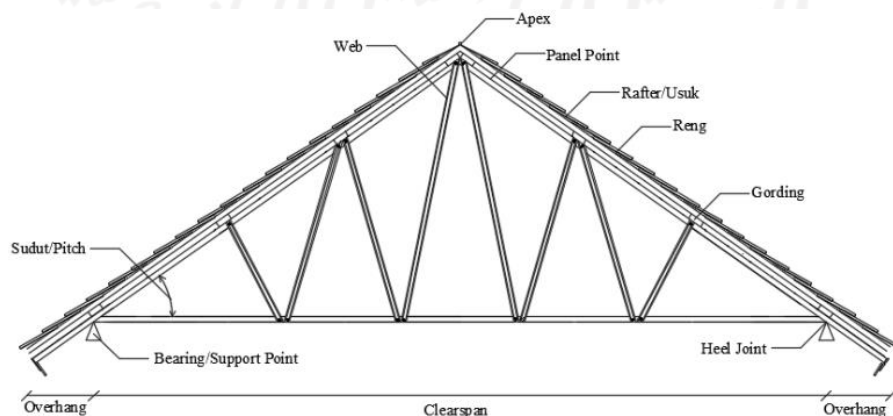
## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Struktur Rangka Atap

Struktur rangka merupakan rangkaian batang-batang yang disambungkan satu dengan yang lain pada setiap ujungnya sehingga dapat membentuk satu-kesatuan struktur yang kokoh. Pada umumnya bentuk rangka batang membentuk segitiga sesuai dengan fungsi serta konstruksinya seperti rangka atap. Rangka atap memiliki fungsi untuk menerima serta menahan beban dari beban sendiri dan penutup atapnya untuk disalurkan melalui koom hingga pondasi bangunan. Struktur rangka memiliki dua jenis batang dalam menemrima beban aksialnya yaitu batang tarik dan batang tekan.

Struktur rangka atap terdapat istilah eksentrisitas yang dapat menimbulkan momen sebidang yang mengakibatkan batang baut yang mengalami gaya geser kemudian memiliki gaya tekan yang terdapat pada tepi lubang pelat. Kemudian komponen penyusun rangka atap terdapat tiga bagian penting yaitu struktur rangka atap, kuda-kuda dan gording. Aadapun komponen elemen lain pada rangka atap dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.



**Gambar 3.1** Komponen Penyusun Rangka Atap

### 3.2 Sifat Mekanik Baja

Baja merupakan logam paduan dengan unsur dasar besi dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Pada baja, kandungan karbon berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai tingkatannya. Adapun fungsi karbon dalam kandungan baja yaitu sebagai unsur penguat sehingga dapat mencegah disklokasi bergeser pada kisi kristal atom besi. Unsur paduan lain yang terdapat pada baja yaitu mangan, krom, *vanadium* dan tungsten (Tarkono dkk., 2012). Material baja banyak digunakan pada konstruksi bangunan, hal tersebut dikarenakan baja memiliki beberapa kelebihan yaitu :

1. Memiliki kekuatan yang cukup tinggi
2. Memiliki ukuran batang yang relative lebih kecil jika dibandingkan dengan material konstruksi yang lain
3. Dapat digunakan untuk bentang panjang
4. Memiliki massa yang ringan sehingga mudah dalam melakukan pemasangan serta pembongkaran.

Selain memiliki kelebihan, namun juga terdapat kekurangan dari material baja yaitu dengan penampang yang kecil maka angka kelangsingannya besar sehingga dapat mengakibatkan tekuk yang lebih besar.

Sifat mekanik baja merupakan sifat yang dimiliki baja dalam menahan atau memikul beban yang ada. Baja memiliki sifat kekuatan yang tinggi pada kekuatan tarik, tekan, lenturan serta geseran. Dengan melakukan pengujian tarik maka dapat memperoleh sifat mekanik baja, dengan dilakukan pengujian tersebut maka akan memperoleh tegangan dan regangan.

Tegangan merupakan besaran gaya yang bekerja pada permukaan seluas satu satuan. Nilai tegangan dapat diperoleh dengan persamaan rumus 3.1

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

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

$P$  = Gaya Aksial (N)

$A$  = Luasan penampang (mm<sup>2</sup>)

Regangan merupakan pertambahan panjang benda akibat dua gaya yang sama besar dengan arah yang berlawanan yang menjahui ujung benda. Regangan dapat diperoleh dengan persamaan umum 3.2

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (3.2)$$

Keterangan :

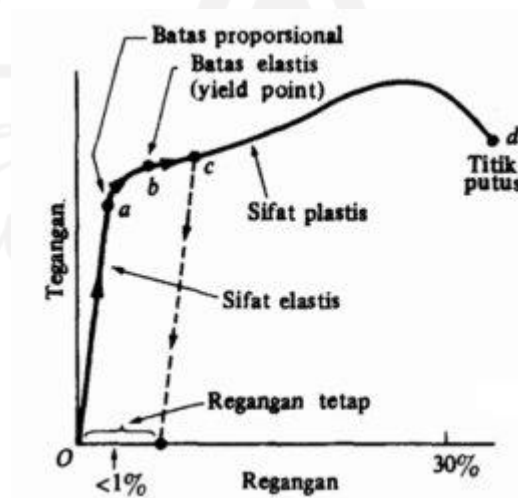
$\varepsilon$  = Regangan

$\Delta L$  = Pertambahan Panjang

$L$  = Panjang akhir (mm)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

Hubungan antara tegangan dengan regangan dapat digambarkan pada suatu grafik diagram sehingga dapat dilihat pada kurva berikut ini.



Gambar 3. 2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan

Pada diagram di atas menunjukkan pertambahan Panjang pada suatu benda uji terhadap gaya yang diberikan hingga pada titik batas proporsional atau titik a, kemudian dapat bertambah panjang lagi hingga titik batas elastis atau titik b, dimana benda uji tersebut dapat kembali lagi ke panjang semula apabila gaya yang diberikan dilepaskan. Setelah itu apabila benda uji masih dilakukan pemberian gaya hingga melewati batas elastis maka benda uji tersebut akan memasuki daerah plastis atau titik c dimana benda tidak akan kembali ke panjang awalnya ketika gaya eksternal diberikan sehingga akan berubah bentuk secara permanen. Perpanjangan masih dapat terjadi hingga maksimum ketika mencapai titik patah (titik putus atau titik d).

### 3.3 Direct Analysis Method

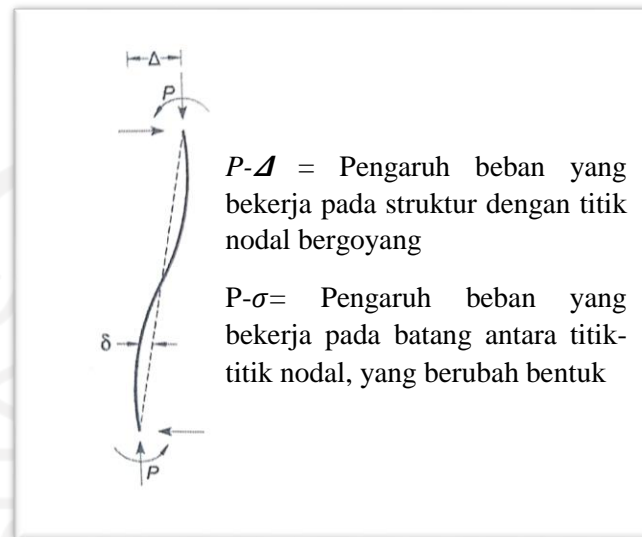
*Direct Analysis Method* (DAM) merupakan analisis stabilitas yang utamanya pada struktur baja yang implementasinya dengan menggunakan computer. Stabilitas pada struktur dipengaruhi oleh gaya-gaya internal batang dan deformasi yang terjadi maka diperlukan analisis struktur untuk memprediksinya. Terdapat factor-factor yang perlu dimasukkan yang dapat mempengaruhi analisis stabilitas struktur yaitu :

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  $P-\delta$  (local-elemen)
3. Ketidak-lurusan yang terdapat pada elemen batang atau cacat bawaan akibat tidak sempurnanya geometri (*geometri imperfection*)
4. Reduksi penampang akibat kondisi inelastic yang terjadi
5. Ketidak-pastian kekakuan serta kekuatan pada perencanaan.

Menurut Wiryanto (2015), Pada struktur langsing, deformasi akibat pembebanan tetap diperhitungkan dengan Analisa struktur orde-2. Factor yang perlu diperhatikan adalah pada pengaruh second order effect, yaitu  $P-\Delta$  dan  $P-\delta$ . Dimana  $P-\Delta$  merupakan pengaruh pembebanan akibat adanya perpindahan titik-titik nodal elemen, dan  $P-\delta$  merupakan pengaruh pembebanan akibat deformasi di



elemen. Adapun pengaruh orde ke-2 pada struktur dapat terlihat pada gambar 3.3 dibawah ini.



**Gambar 3. 3 Pengaruh Orde ke-2**

(sumber: AISC 2010)

Selanjutnya apabila terdapat kondisi dengan pengaruh non-linear geometri yang signifikan, maka kondisi ketidak-sempurnaan geometri atau cacat bawaan, ketidak-lurusan batan dan kesalahan fabrikasi perlu diperhitungkan.

### 3.3.1 Pengaruh Cacat Bawan (*Initial Imperfection*)

Ketidak-sempurnaan dari elemen struktur akan menghasilkan efek *destabilizing* (tidak seimbang). Pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat dua cara untuk menganalisisnya, yaitu yang pertama dengan cara pemodelan langsung cacat pada geometri model. Cara ini diberikan pada titik nodal batang yang nilai besarnya diambil dari toleransi maksimum dengan pola penggeseran titik nodal menyerupai pola lendutan atau pola tekuk sehingga dapat memberikan efek *destabilizing* terbesar. Kemudian cara yang kedua yaitu dengan memberikan beban notional dari sebagian beban gravitasi yang bekerja pada titik nodal di setiap levelnya (Dewobroto, 2016), Adapun perhitungan beban notional (AISC 2010) yaitu ;

$$N_i = 0.002 Y_i \quad (3.4)$$

Keterangan :

$N_i$  = Beban notional di level  $i$

$Y_i$  = Beban gravitasi di level  $i$  hasil beban kombinasi LRFD

0.002 = nilai nominal rasio keiringan tingkat (AISC)

### 3.3.2 Penyesuaian Kekakuan

Pelemahan kekuatan dapat terjadi dikarenakan adanya leleh setempat (partial yielding) akibat tegangan sisa pada profil baja, kondisi tersebut menghasilkan efek destabilizing. Pada *Direct Analysis Method* (DAM) dapat diatasi dengan penyesuaian kekakuan struktur yang diperoleh dengan cara kalibrasi yang membandingkannya dengan analisis distribusi plastisitas maupun hasil uji test empiris (Galambos 1998). Adapun rumus factor reduksi kekakuan yaitu :

$$EI^* = 0.8 \tau_b EI \quad (3.5)$$

Keterangan :

$EI^*$  = Modulus elastisitas setelah reduksi kekakuan

$\tau_b$  = Kekakuan lentur

$EI$  = Modulus elastisitas

Apabila kondisi  $P_r \leq 0,5P_y$  dimana  $P_r$  adalah gaya tekan perlu hasil LRFD yaitu :

$$\tau_b = 1.0 \quad (3.6)$$

Apabila gaya tekannya besar dengan nilai  $P_r > 0,5P_y$  maka :

$$\tau_b = 4 \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \frac{P_r}{P_y}\right) \quad (3.7)$$

Keterangan :

$\tau_b$  = Kekakuan lentur

$P_r$  = Gaya tekan hasil perlu kombinasi LRFD

$P_y$  = Kuat tarik lentur

Pemakaian reduksi kekakuan ini hanya untuk memperhitungkan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja.

### 3.3.3 Kemampuan SAP2000

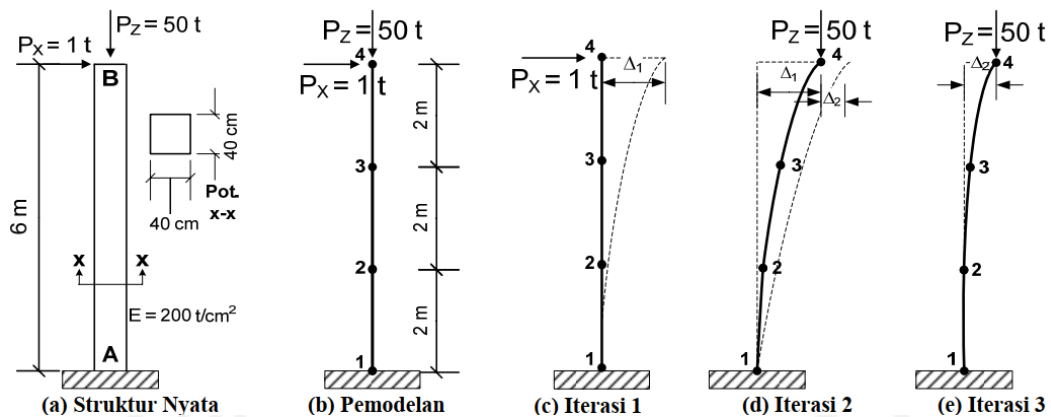
*Direct Analysis Methode* (DAM) merupakan analisis yang implementasinya menggunakan program computer, pada penelitian ini analisis yang digunakan dilakukan dengan bantuan program SAP2000. Elemen frame pada SAP2000 telah terdapat formulasi yang dapat digunakan untuk analisis P- $\Delta$ . Dengan diaktifkannya formulasi tersebut, maka SAP2000 dapat memperhitungkan pengaruh beban aksial terhadap perilaku momen lentur transversal. Gaya aksial tekan dapat mengurangi kekakuan lentur sehingga momen bertambah, kemudian gaya aksial tarik dapat memperkaku sehingga momen berkurang (Dewobroto, 2016).

Menurut (Setiyarto, 2015) meskipun analisis P- $\Delta$  dikategorikan analisis non-linear geometri, namun SAP2000 belum memperhitungkan efek lendutan yang besar. Dengan adanya hal tersebut maka terdapat beberapa asumsi dan keterbatasan. analisis P- $\Delta$  pada SAP2000 yaitu:

- a. Pengaruh P- $\Delta$  hanya dianalisis pada elemen frame
- b. Perhitungan P- $\Delta$  yang menyebabkan momen tambahan hanya dari eksentrisitas akibat deformasi transversal
- c. Gaya aksial P- $\Delta$  dianggap konstan sepanjang elemen
- d. Geometri struktur sebelum dan sesudah dibebani dianggap masih sama SAP2000. Terdapat dua cara dalam melakukan analisis P- $\Delta$ . Cara pertama yaitu memberikan kombinasi gaya static yang dihitung oleh computer secara iterasi, cara yang kedua yaitu menetapkan secara langsung (otomatis) gaya aksial pada elemen frame melalui:

Assign -> Frame -> P-Delta Forces.

Adapun pemodelan analisis P- $\Delta$  secara iterasi manual pada SAP 2000 dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah ini.



**Gambar 3. 4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta**

### 3.4 Batang Tekan

Pada umumnya batang tekan dikonfigurasi berbentuk pola segitiga hal tersebut bertujuan agar tetap stabil. Batang tekan pada struktur rangka batang ditujukan untuk memikul beban tekan sentris pada titik berat penampang dengan gaya aksial. Apabila momen yang dihasilkan relative kecil maka dapat diabaikan. Pada struktur rangka atap biasanya dijumpai pada batang-batang yang terdapat pada tepi atas, dan beberapa pada batang diagonal dan vertikal. Batang tersebut tidak mengalami momen dan gaya lintang akan tetapi terdapat gaya normal tekan yang bekerja sentris tepat pada garis berat penampangnya, hal tersebut dikarenakan sifat struktur rangka sendiri dimana buhulnya dapat berotasi sehingga gaya-gaya dalam lain akan tereduksi.

#### 3.4.1 Kelangsingan

Suatu penampang yang menerima beban aksial tekan kekuatannya perlu dilakukan reduksi apabila penampang tersebut merupakan penampang langsing. Rasio antara lebar dengan lebar suatu elemen dinotasikan dengan symbol  $\lambda$ . Pada batang tekan pendek tidak terjadi tekuk, sedangkan pada batang tekan langsing apabila terdapat pembebanan dengan beban yang sama maka dapat terjadi tekuk sebelum leleh yaitu dengan adanya perpindahan lateral.

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

$$\lambda = \sqrt{\frac{KL}{r}} \quad (3.8)$$

$$r = \frac{I}{A} \quad (3.9)$$

Keterangan :

$\lambda$  = Rasio kelangsingan

$K$  = Faktor Panjang efektif komponen struktur tekan

$L$  = Panjang struktur tekan yang tidak ditopang

$r$  = Jari-jari putaran (*radius of gyration*) potong lintang komponen struktur tekan.

$I$  = Momen inersia penampang struktur tekan

$A$  = Luas penampang struktur tekan.

Dalam mendesain komponen struktur tekan sangat perlu diperhatikan syarat kestabilannya dikarenakan adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada komponen-komponen tekan yang langsing. Sehingga harga  $KL/r$  dibatasi pada 200 untuk elemen struktur tekan.

### 3.4.2 Keruntuhan Akibat Tegangan Leleh Terlampaui

Keruntuhan ini dapat terjadi dari luas penampang dari batang tekan tersebut. Apabila semakin besar luas penampang melintang batang dapat berakibat terhadap kapasitas tekannya juga meningkat, Menurut SNI 1729-2020 adapun persamaan nilai kuat tekan dapat diperoleh 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




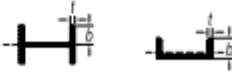



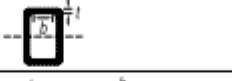

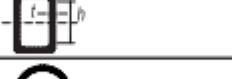

$F_y$  = Tegangan leleh minimum terspesifikasi tipe baja yang digunakan

$r$  = radius girasi

### 3.4.3 Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal

Perilaku tekuk dibedakan menjadi dua yaitu tekuk local dan tekuk global. Hal itu terjadi karena perbedaan tempat terjadinya tekuk. Kemudian menurut rumus Euler (1757) penyelesaian tekuk local lebih kompleks dibandingkan tekuk global. Apabila terjadi tekuk local maka pemakaian penampangnya tidak efisien karena terjadi padaa kondisi beban elastis. Dari hal tersebut maka risiko terjadinya tekuk local harus dihindari, sehingga dibuat klasifikasi penampang langsing dan tidak langsing. Klasifikasi tersebut dilakukan dengan memperhatikan rasio lebat – tebal (b/t) setiap elemen penampang. Apabila sudah dilakukan perhitungan rasio tebal-tebal (b/t) kemudian dilakukan dibandingkan dengan nilai batas rasionya (b/t) yang terdapat pada table 3.1 berikut ini menurut AISC (2010).

Tabel 3.1 Klasifikasi elemen pada batang tekan aksial

Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples
			$\lambda_p$ (compact/ noncompact)	$\lambda_r$ (noncompact/ slender)	
Unstiffened Elements	10 Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11 Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ <sup>(a) (b)</sup>	
	12 Legs of single angles	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13 Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the weak axis	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14 Stems of tees	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	15 Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16 Webs of singly-symmetric I-shaped sections	$h_c/t_w$	$\frac{b_c \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{(0.94 \frac{M_p}{M_y} - 0.09) \sqrt{A_g}}$ <sup>(c)</sup>	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17 Flanges of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18 Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19 Webs of rectangular HSS and boxes	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20 Round HSS	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	

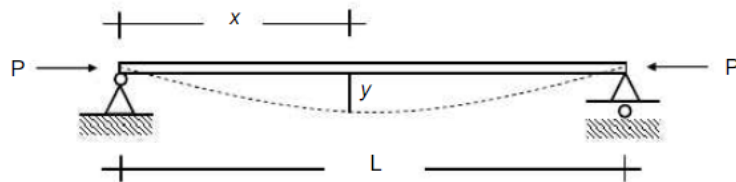
(a)  $k_c = 4/\sqrt{b/t}$ , but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.  
 (b)  $F_c = 0.7F_y$  for major axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with  $S_{xy}/S_{xc} \geq 0.7$ ;  
 $F_c = F_y S_{xy}/S_{xc} \geq 0.5F_y$  for major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with  $S_{xy}/S_{xc} < 0.7$ .  
 (c)  $M_p$  is the moment at yielding of the extreme fiber.  $M_y$  = plastic bending moment, kip-in. (N-mm)  
 $E$  = modulus of elasticity of steel = 29,000 ksi (200,000 MPa)  
 $F_y$  = specified minimum yield stress, ksi (MPa)

(Sumber AISC 2010)

Pada dasarnya saat perencanaan batang tekan menurut AISC (2010) didasarkan pada tekuk global, dikarenakan suatu struktur akan efisien jika penampangnya tidak langsing karena tidak terdapat tekuk local. Apabila terdapat batang tekan termasuk klasifikasi langsing maka akan diberikan factor reduksi sehingga beban kritis terhadap tekuk local dapat diminimalisir. Pada tekuk global, keruntuhan dapat terjadi dalam dua keadaan yaitu keadaan elastis maupun inelastis.

### 1. Tekuk Elastis

Pada tekuk elastis, komponen pada struktur yang terdapat gaya tekan akan melengkung secara perlahan seperti gambar 3.5 dibawah ini.



**Gambar 3. 5 Batang Tekuk Euler**

Gaya yang bekerja sentris pada batang mengakibatkan batang dapat melentur sejauh  $y$ . sehingga terjadi momen lentur tambahan, maka :

$$Mx = P \cdot y \quad (3.13)$$

Kemudian apabila garis lentur diberikan, maka persamaanya yaitu :

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

Penyelesaian persamaan menghasilkan beban tekuk Euler yaitu

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{KL^2} \quad (3.15)$$

Apabila persamaan (3.17) dibagi dengan luas penampang batang  $A$ , maka

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

Apabila  $I$  adalah inersia bahan,  $I = A_i$  atau  $I = I A$ , maka dipeoleh tanganan kritis Euler seperti persamaan (3.19) dibawah ini :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (3.17)$$

Keterangan :

$E$  = Modulus elastisitas baja

$r$  = Jari-jari inersia

$L$  = Panjang tekuk



## 2. Tekuk Inelastis

Tekuk inelastic terjadi apabila sebagian penampang lintang profil mengalami leleh. Hal tersebut dapat terjadi karena angka kelangsingan suatu elemen struktur lebih kecil jika dibandingkan dengan angka kelangsingan kritisnya. Pada daerah tekuk inelastic besaran modulus elastis ( $E$ ) menurun menjadi  $E_t$  ( $E > E_t$ ) serta kurva tegangan-regangan tidak linear. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

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

Persamaan diatas digunakan untuk batang tekan apabila elemen-elemen penampangnya tidak mengalami tekuk local.

### 3.5 Kuat Nominal Penampang

Analisa untuk kuat tekan nominal penampang memakai prosedur, seperti yang digunakan pada metode *Effective Length Method* (ELM), namun nilai factor  $K$  yang digunakan pada kelangsingan batang ( $KL/r$ ) diambil konstan yaitu sebesar  $K=1$ . Pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan yang menghasilkan gaya tekan pada komponen struktur simetris tunggal dan komponen struktur simetris ganda yang dapat melentur pada sumbu geometris yang perlu dibatasi. Adapun Analisa untuk pembatasan pada komponen struktur simetris ganda dan tunggal yang memikul lentur dan gaya aksial menurut SNI 1729-2020 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

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

$$\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{Mr_x}{M_{c_x}} + \frac{Mr_y}{M_{c_y}} \right) \leq 1,0 \quad (3.19)$$

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

$$\frac{Pr}{2P_c} + \left( \frac{Mr_x}{M_{c_x}} + \frac{Mr_y}{M_{c_y}} \right) \leq 1,0 \quad (3.20)$$

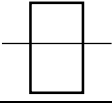
Keterangan:

- $P_r$  = 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

Kuat lentur merupakan ketahanan baja dalam menahan gaya pada arah tegak lurus sumbu hingga mengakibatkan keruntuhan atau patah. Pada pengujian yang akan dilakukan yaitu menggunakan profil baja persegi Panjang, sehingga prosedur desain balok lentur melalui SNI 1729-2020 yaitu 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
Y = Leleh, CFY = Leleh sayap tekan, LTB = Tekuk torsi-lateral, FLB = Tekuk local sayap, WLB = Tekuk local badan, TFY – Leleh sayap Tarik, LLB = Tekuk local kaki, LB = Tekuk local, C = kompak, NC = Nonokompak, S = Langsing, N/A = Tidak berlaku				

Dari prosedur desain pada balok lentur profil kotak diatas, kekuatan lentur nominal ( $M_n$ ) harus diperoleh dari nilai terendah pada keadaan batas leleh dan tekuk torsi lateral. Dalam mencarinya menurut SNI 1729-2020 dapat dilihat dari rumus persamaan dibawah ini.

## 1. Leleh

$$Mn = Mp = Fy \cdot Z \quad (3.21)$$

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:

$$Mn = Cb \left( Mp - (Mp - 0,7FySx) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right) \leq Mp \quad (3.22)$$

c. Apabila  $L_b > L_r$ , maka:

$$Mn = 2ECb \frac{\sqrt{JAg}}{\frac{L_b}{r_y}} \leq Mp \quad (3.23)$$

Keterangan :

$A_g$  = Luas penampang melintang bruto

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

Dengan :

$$L_p = 0,13 Ery \frac{\sqrt{JAg}}{Mp} \quad (3.24)$$

Apabila  $L_r$ , batas Panjang tak terbreis secara lateral pada keadaan batas tekuk torsi lateral inelastic, yaitu :

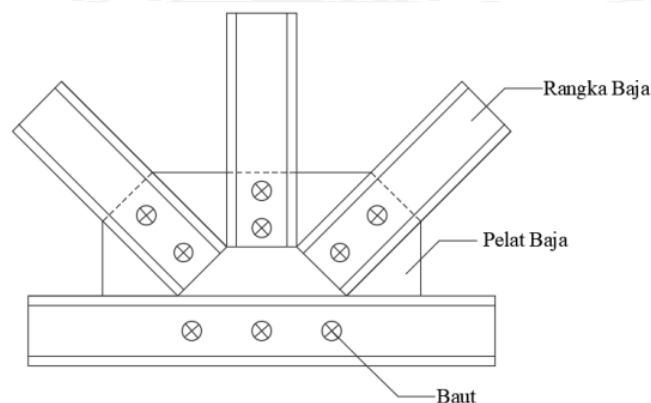
$$L_p = 2 Ery \frac{\sqrt{JAg}}{0,7 Fy Sx} \quad (3.25)$$

### 3.7 Kapasitas Sambungan Struktur Baja

Struktur baja terdiri dari elemen-elemen penyusun yang digabungkan satu dengan yang lainnya. Sambungan pada struktur baja terdapat beberapa jenis, yaitu paku keling (*rivet*), baut dan las. Agar mutunya terjadi pada proses pabrikasi diperlukan ketepatan, presisi dan system pengawasan yang baik. Apabila pemakaian jenis sambungan berbeda dengan perencanaan, dapat menyebabkan

kinerja struktur local atau keseluruhan dapat berkurang dan bias memicu terjadinya kegagalan total.

Pada pengujian ini, sambungan untuk struktur atap yang digunakan pada baja yaitu sambungan menggunakan baut. Selanjutnya, elemen yang digunakan sebagai media penyambung yaitu menggunakan pelat baja. Adapun gambaran sambungan baut dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini.



**Gambar 3. 6 Sambungan Baut Dengan Pelat Baja**

Pada perencanaan sambungan, kuat sambungan harus lebih kuat dibandingkan dengan elemen yang diisambung. Analisis pada sambungan berupa analisis kuat tumpu dan kuat geser baut yaitu sebagai berikut.

### 3.7.1 Kuat Tumpu Baut

Pada AISC (2010), kuat tumpu pelat sambungan juga memperhitungkan pengaruh deformasi, apabila besaran deformasi dapat mempengaruhi fungsi struktur, maka perlu dibatasi dengan persamaan rumus 3.26 sebagai berikut.

$$R_n = 1.2 I_c t F_u \leq 2.4 d t F_u \quad (3.26)$$

Apabila deformasi pada sambungan tidak berpengaruh atau tidak mengganggu terhadap fungsi struktur, maka dapat menggunakan persamaan 3.27 sebagai berikut.

$$R_n = 1.5 I_c t F_u \leq 3.0 d t F_u \quad (3.27)$$

Apabila yang digunakan yaitu lubang baut tipe slot-panjang dengan arah tegak lurus arah gaya, maka kekuatannya berkurang. Maka dapat menggunakan persamaan rumus 3.28 sebagai berikut.

$$R_n = 1.0 I_c t F_u \leq 2.0 d t F_u \quad (3.28)$$

Dimana :

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

### 3.7.2 Kuat Geser Baut

Pada sambungan, pelat dan baut akan mengalami tumpu dan geser. Pada baut kerusakan yang akan terjadi terlebih dahulu yaitu pada geser. Dengan demikian perlu dipastikan bahwa kuat geser baut lebih besar. Adapun rumus persamaan kuat baut per satu bidang geser dapat dilihat pada rumus 3.29 dibawah ini

$$R_n = F_{nv} A_b \quad (3.29)$$

Dimana :

- $R_n$  = Kuat Geser Baut (N)
- $F_{nv}$  = Tegangan geser nominal baut
- $A_b$  = Luas penampang baut (mm<sup>2</sup>)

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Gambaran Umum**

Metode penelitian yaitu suatu tahapan atau proses yang akan dilakukan secara terencana pada saat penelitian berlangsung. Penelitian pada Tugas Akhir ini yang dilakukan yaitu eksperimen di laboratorium yang bertujuan untuk membandingkan kekuatan pada rangka baja yang diperhitungkan dengan metode perencanaan langsung atau *Direct Analysis Method* sesuai dengan SNI 1729 : 2020 yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP 2000 terhadap hasil yang didapatkan pada saat pengujian di laboratorium. Sampel uji yang digunakan pada penelitian ini merupakan struktur rangka atap dengan material baja profil kotak atau hollow penampang persegi panjang sambungan variasi baut jamak dengan plat ganda.

Pada penelitian yang dilakukan ini terdapat 3 pengujian yaitu : pengujian tarik pelat baja, pengujian geser baut, dan pengujian tekan profil *hollow*. Kemudian setelah mendapatkan data hasil dari pengujian tersebut dilakukan analisis serta dilakukan perbandingan dengan data hasil analisis yang didapatkan menggunakan metode perencanaan langsung atau *Direct Analysis Method* sesuai dengan SNI 1729 : 2020. Dari data batang tekan tersebut maka dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan rangka atap.

#### **4.2 Jenis Data Penelitian**

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data berupa perbandingan data yang didapatkan dari metode perencanaan langsung atau *Direct Analysis Method* sesuai dengan SNI 1729:2020 dengan hasil pengujian pada di laboratorium. Adapun jenis pengambilan data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu :

1. Data Primer

Pada penelitian yang dilakukan, data primer diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium. Adapun data primer tersebut berupa data hasil pengujian tarik profil *hollow* berupa penambahan dan kapasitas panjang profil, pengujian geser baut berupa kapasitas beban maksimal yang dapat ditahan oleh baut, pengujian tekan profil hollow berupa kapasitas maksimal yang dapat ditahan oleh profil hollow.

## 2. Data Sekunder

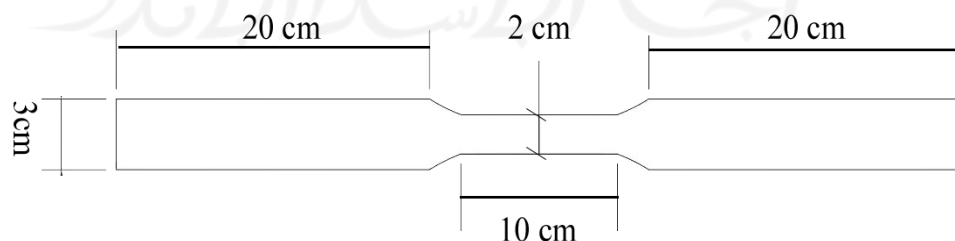
Data sekunder pada penelitian ini berupa data-data pendukung yang didapatkan dari dilakukan pengujian di laboratorium. Adapun data sekunder tersebut berupa data hasil pengujian tarik profil *hollow* berupa penambahan dan kapasitas panjang profil, pengujian geser baut berupa kapasitas beban maksimal yang dapat ditahan oleh baut, pengujian tekan profil hollow berupa kapasitas maksimal yang dapat ditahan oleh profil hollow.

### 4.3 Uji Tarik Material Baja

Pengujian Tarik material baja dilaksanakan yang bertujuan agar mendapatkan nilai kuat Tarik material yang akan digunakan. Dari hasil yang diperoleh maka dapat diketahui mutu baja yang dipakai dalam pengujian tersebut.

#### 4.3.1 Bahan Uji

Pengujian Tarik ini dilakukan menggunakan benda uji pelat baja dengan ukuran ketebalan  $\pm 2\text{mm}$  yang dibuat berdasarkan SNI 8389-2017. Dengan dilakukannya pengujian Tarik ini maka dapat mengetahui nilai tegangan leleh modulus elastis dan kuat Tarik maksimum pada pelat baja tersebut. Adapun gambar benda uji pelat baja dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4. 1 Benda Uji Pelat Baja**

#### 4.3.2 Alat Uji

Alat uji tarik material baja yang akan digunakan yaitu:

1. *Universal Testing Machine (UTM)*

Adapun mesin pengujian kuat Tarik yang digunakan yaitu UTM dengan merk Shimatsu type UMH 30 kapasitas 30 ton. Adapun gambar UTM dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini



**Gambar 4. 2 Universal Testing Material (UTM)**

2. *Alat Ukur*

Alat ukur yang digunakan yaitu caliper dan rol meter. Caliper maupun roll meter digunakan untuk mengukur dimensi benda uji pada pengujian Tarik. Alat ini digunakan untuk mendapatkan ukuran atau dimensi yang tepat. Adapun gambar caliper dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



(a) Roll Meter

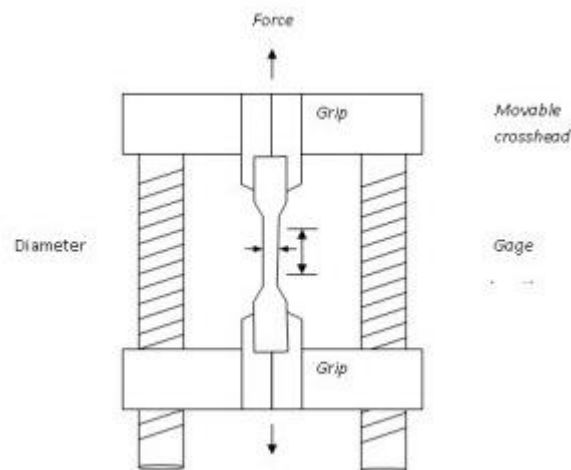
(b) Caliper

**Gambar 4. 3 Alat Ukur**



### 4.3.3 Set Up Pengujian

Adapun *set up* pengujian Tarik material baja dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



**Gambar 4. 4 Set Up Pengujian Tarik**

Pada penelitian ini benda uji yang digunakan yaitu profil baja kotak (*square hollow section*) dengan penampang persegi panjang ukuran lebar 15mm dan tinggi 30mm dan ketebalan 1,8mm. kemudian digunakan baut Ø10mm untuk variasi sambungan dengan satu baut dan Ø8mm untuk variasi sambungan dengan tiga baut, serta pelat buhul dengan tebal 2mm yang digunakan untuk menyambungkan antar profil.

## 4.4 Uji Geser Baut

Pengujian geser baut dilakukan untuk dapat mengetahui kekuatan geser baut dalam menerima beban maksimal yang akan digunakan untuk sambungan struktur rangka atap.

### 4.4.1 Bahan Uji

Adapun bahan uji geser baut yang digunakan yaitu menggunakan baut *low carbon steel, grade 4.6* dengan Ø8 mm.

### 4.4.2 Alat Uji

Adapun alat uji yang digunakan dalam uji geser baut yaitu:

1. *Compression Testing Machine*

Pada pengujian geser baut digunakan alat *compression testing machine* yang berfungsi untuk menekan alat uji geser baut. Adapun gambar alat *compression testing machine* dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



**Gambar 4. 5 *Compression Testing Machine***

## 2. Caliper

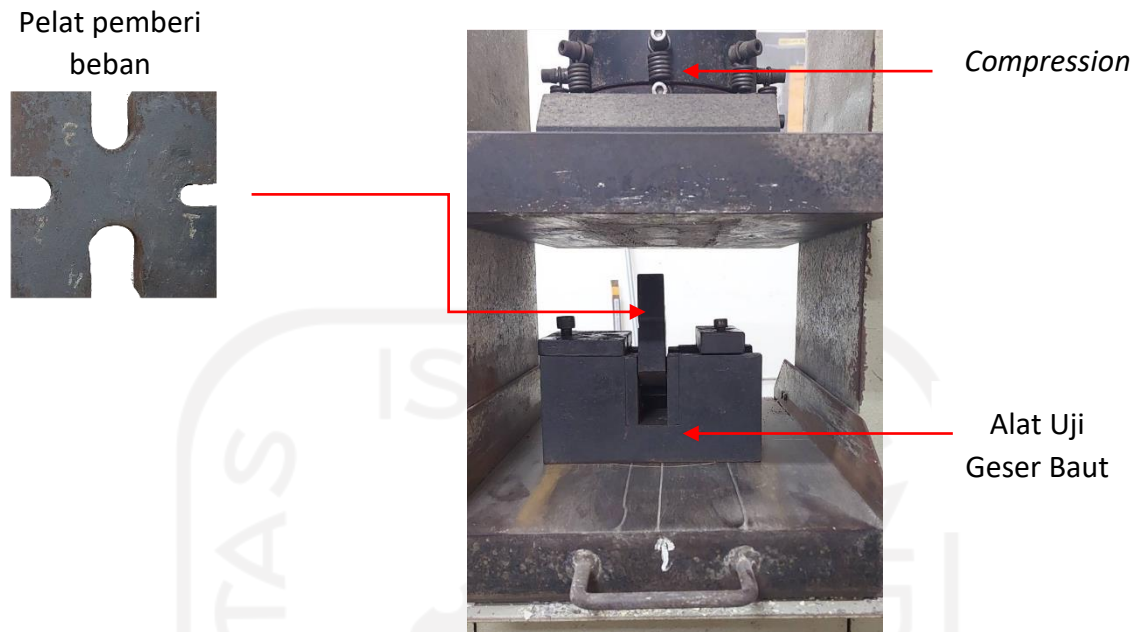
Caliper pada pengujian geser baut dapat digunakan untuk mengukur dimensi bahan uji tersebut sehingga didapatkan nilai yang tepat. Adapun gambar caliper dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini



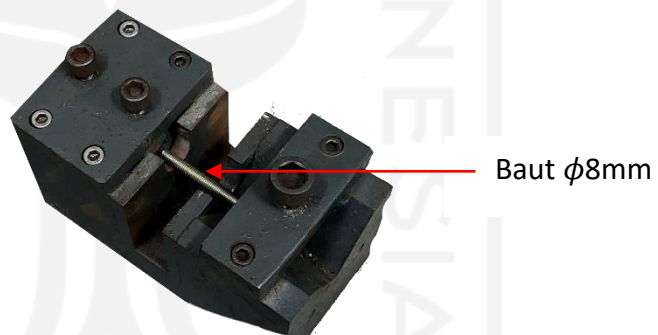
**Gambar 4. 6 Caliper**

### **4.4.3 *Set Up Pengujian***

Adapun *set up* uji geser baut dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 dibawah ini.



**Gambar 4. 7 Set Up Pengujian Geser Baut**



**Gambar 4. 8 Set Up Uji Geser Baut Tampak Atas**

#### **4.5 Perhitungan Desain Batang Tekan**

Setelah dilakukan pengujian pada material yang akan digunakan maka tahap selanjutnya yaitu menghitung desain batang tekan yang akan dijadikan benda uji. Untuk tahapan perhitungan desain batang tekan adalah sebagai berikut.

##### **4.5.1 Trial Perhitungan Dimensi Rencana Batang Tekan**

Sebelum tahap pembuatan batang tekan profil SHS, dilakukan perhitungan dimensi batang tekan atap secara manual. Dengan melakukan trial perhitungan, sehingga diperoleh hasil dimensi serta kekuatan rencana profil SHS tersebut. Adapun data yang diasumsikan awal sebagai berikut.

Lebar Profil (b)	= 15 mm
Tinggi Profil (h)	= 30 mm
Tebal Profil	= 1,8 mm
Modulus elastisitas (E)	= 200000 Mpa
Tegangan Leles (Fy)	= 250 Mpa
Luas penampang (A)	= 133,76 mm <sup>2</sup>
Jari-jari Girasi X (rx)	= 10,53 mm
Jari-jari Girasi Y (ry)	= 5,97 mm
Kelangsingan (L/r)	= 190
Panjang Bentang (L)	= 1134mm

.Adapun perhitungan perencanaan yang dilakukan yaitu sebagai berikut

1. Menghitung rasio kelangsingan efektif ( $\lambda$ )

$$\frac{K.L}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1 \times 1133}{5,97} \geq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$189,78 \geq 133,22$$

Dari hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai  $\frac{K.L}{r} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka diketahui bahwa kondisi benda uji tekuk elastis (Kelangsingan tinggi).

2. Menghitung Nilai Tegangan Tekuk Kritis ( $F_{cr}$ )

Setelah diketahui benda uji mengalami tekuk inelastic, maka nilai tegangan tekuk kritis ( $F_{cr}$ ) yaitu.

$$F_{cr} = 0.877 \times F_e$$

Untuk mendapatkan nilai tegangan tekuk kritis elastis ( $F_e$ ) yaitu menggunakan persamaan dibawah ini

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{(K \cdot L/r)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{189,78^2}$$

$$F_e = 54,749 \text{ Mpa}$$

Maka nilai tegangan tekuk kritis yang diperoleh yaitu

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e$$

$$F_{cr} = 0,877 \times 54,749$$

$$F_{cr} = 48,015 \text{ Mpa}$$

### 3. Menghitung Kapasitas Tekan Profil

Setelah mendapatkan nilai  $F_{cr}$  dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan profil yaitu

$$P_n = F_{cr} \times A$$

$$P_n = \frac{48,015 \times 133,76}{1000}$$

$$P_n = 6,422 \text{ kN}$$

### 4. Menghitung Kapasitas Tarik Profil

Setelah mendapatkan nilai kapasitas tekan profil dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tarik profil yaitu

$$\phi P_n = \frac{\phi \times F_u \times (2 \times t \times b)}{1000}$$

$$\phi P_n = \frac{0,75 \times 310 \times (2 \times t \times b)}{1000}$$

$$\phi P_n = 21,06 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan kapasitas Tarik profil yang diperoleh, maka dapat diketahui bahwa apabila dilakukan pengujian tekan profil akan menyebabkan gagal tekuk pada batang tekan hal tersebut disebabkan karena nilai kapasitas tarik profil melebihi dari nilai kapasitas tekan profil.

### 5. Menghitung Kuat Geser Baut

Setelah mendapatkan nilai kapasitas tarik profil dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kuat geser baut yaitu

$$\phi V_n = \frac{\phi \times (0,6 \times F_y) \times A_g \times 2}{1000}$$

$$\phi V_n = \frac{0,75 \times (0,6 \times 400) \times \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times 2}{1000}$$

$$\phi V_n = 18,1 \text{ kN}$$

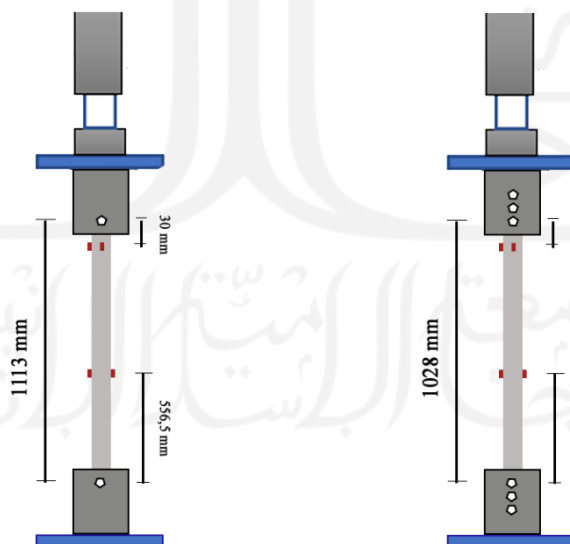
Dari hasil perhitungan prediksi kuat geser baut diatas maka untuk sambungan baut yang digunakan tidak akan terjadi gagal tekuk. hal itu dikarenakan nilai prediksi kuat geser baut yang didapatkan melebihi nilai kuat tekan profil SHS. Sehingga dengan adanya perhitungan prediksi kuat tekan profil, kuat tarik profil serta kuat geser baut diatas maka pengujian tekan profil baja akan menggunakan profil baja SHS dengan baut sambungan yang dimodelkan akan terjadi gagal tekuk pada profil.

#### 4.6 Uji Tekan Profil

Uji Tekan profil *square hollow section* dilakukan guna mendapatkan hasil nilai kapasitas tekan maksimum yang mampu dipikul profil *square hollow section* tersebut.

##### 4.6.1 Bahan Uji

Bahan uji tekan yang digunakan yaitu profil *square hollow section* rencana ketebalan 1,8mm dengan ukuran lebar profil 15mm serta tinggi profil 30mm dan panjang pada variasi 1 baut sambungan sebesar 1113mm dan pada variasi 3 baut sambungan sebesar 1028mm. Adapun bahan uji tekan kedua variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini.



(a) Variasi 1 baut

(b) Variasi 3 baut

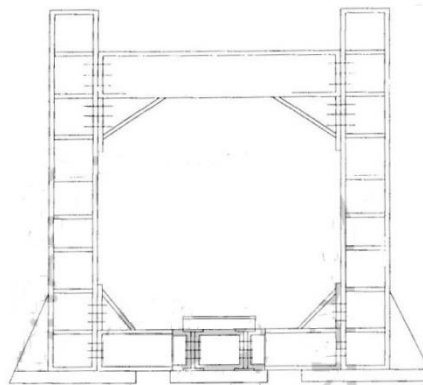
**Gambar 4. 9 Bahan Uji Tekan Profil**

#### 4.6.2 Alat Uji

Adapun alat yang digunakan dalam uji tekan profil SHS yaitu:

1. *Loading frame*

*Loading frame* pada pengujian tekan digunakan untuk tempat meletakkan sampel benda uji batang tekan *square hollow section* dari rangka atap baja sebelum diberikan beban. Adapun gambar *Loading frame* dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini.



**Gambar 4. 10 Loading Frame**

2. *Hydraulic jack*

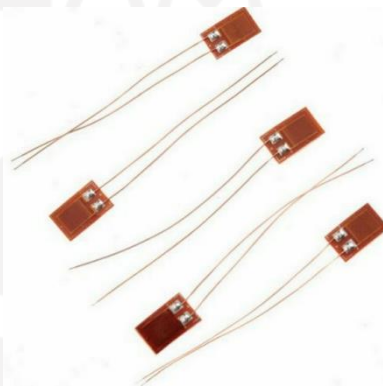
*Hydraulic jack* pada pengujian tekan digunakan untuk memberikan beban pada bahan uji batang tekan *square hollow section*. Adapun gambar alat *hydraulic jack* dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini.



**Gambar 4. 11 Hydraulic Jack**

### 3. *Strain gauge*

*Strain Gauge* pada pengujian tekan digunakan untuk mendeteksi tegangan maupun deformasi yang terjadi pada saat pengujian berlangsung. Pada saat pengujian, *strain gauge* ditempelkan pada benda uji batang tekan berjumlah 4 buah setiap sampel uji. Dimana dipasangkan 2 buah pada tengah bentang dan 2 buah pada dekat sambungan benda uji. Adapun gambar alat *strain gauge* dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini.



**Gambar 4. 12 *Strain Gauge***

### 4. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

LVDT pada pengujian tekan berfungsi untuk mengetahui lendutan yang terjadi pada benda uji. Dalam penelitian ini *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)* dipasang pada tengah bentang benda uji secara horizontal. Adapun gambar LVDT dapat dilihat pada gambar 4.13 dibawah ini.



**Gambar 4. 13 *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)***

### 5. *Load Cell*

*Load cell* pada uji tekan ini digunakan untuk membaca beban yang diberikan kepada benda uji batang tekan *square hollow section*. Adapun gambar alat *load cell* dapat dilihat pada gambar 4.14 dibawah ini.

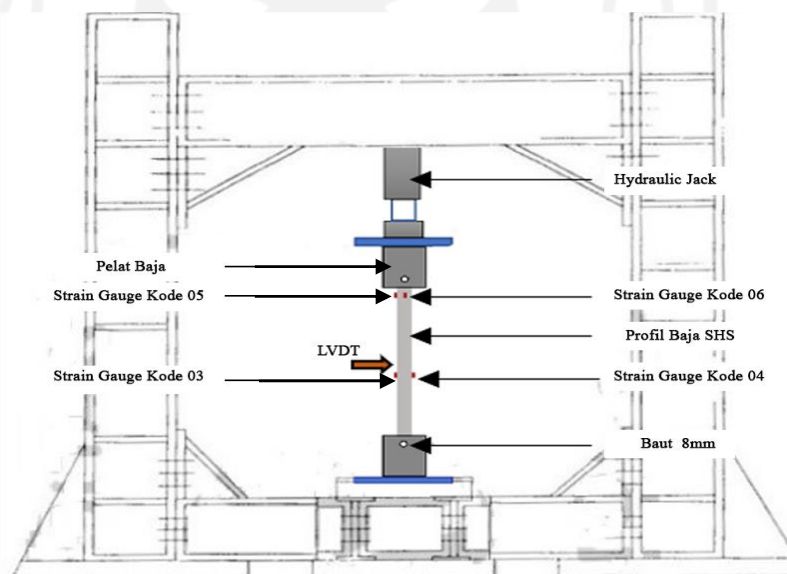




**Gambar 4. 14 Load Cell**

#### 4.6.3 Set Up Pengujian

Adapun *set up* pada uji tekan dapat dilihat pada gambar 4.15 dibawah ini.



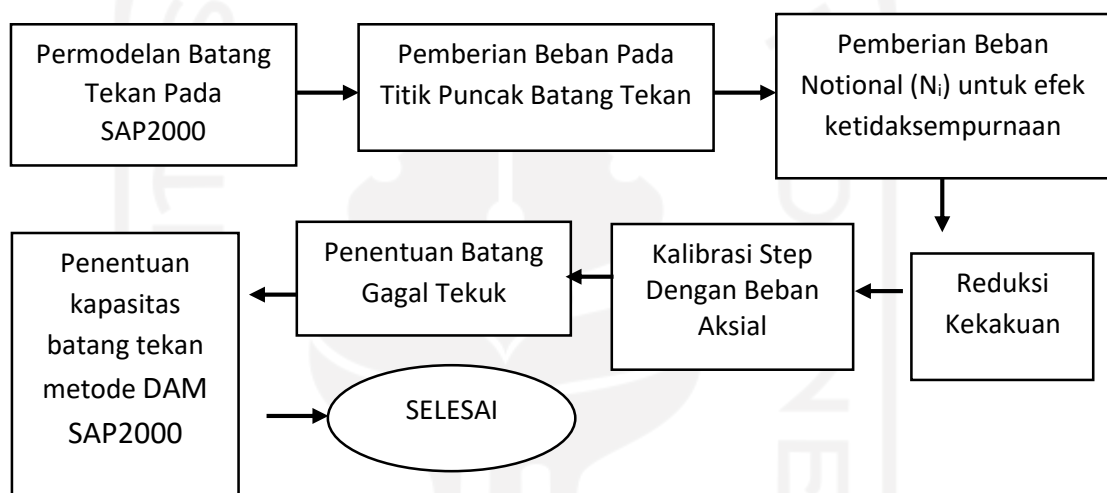
**Gambar 4. 15 Set Up Uji Tekan Bahan**

#### 4.7 Direct Analysis Method (DAM)

*Direct Analysis Method (DAM)* merupakan analisis stabilitas yang utamanya pada struktur baja yang implementasinya dengan menggunakan SAP2000. Pada analisis DAM yang dilakukan terdapat 2 macam pemodelan pada SAP2000 yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

#### 4.7.1 Pemodelan Pada Batang Tekan

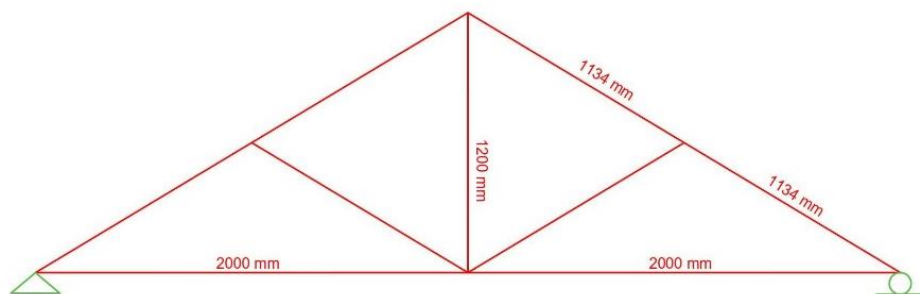
Pemodelan batang tekan dengan aplikasi SAP2000 dilakukan untuk dapat memperkirakan beban maksimum yang dapat dipikul apabila batang tersebut dijadikan struktur rangka atap utuh. Sehingga tidak hanya mengetahui kekuatan bahan material yang digunakan saja, tetapi dapat memperkirakan rangka atap seutuhnya. Untuk mempermudah dalam memahami langkah yang dilakukan dalam pemodelan batang tekan dengan DAM SAP2000 dapat dilihat pada *flowchart* dibawah ini.



**Gambar 4. 16 *Flowchart* Pemodelan Batang Tekan Pada SAP2000**

#### 4.7.2 Pemodelan Pada Rangka Atap

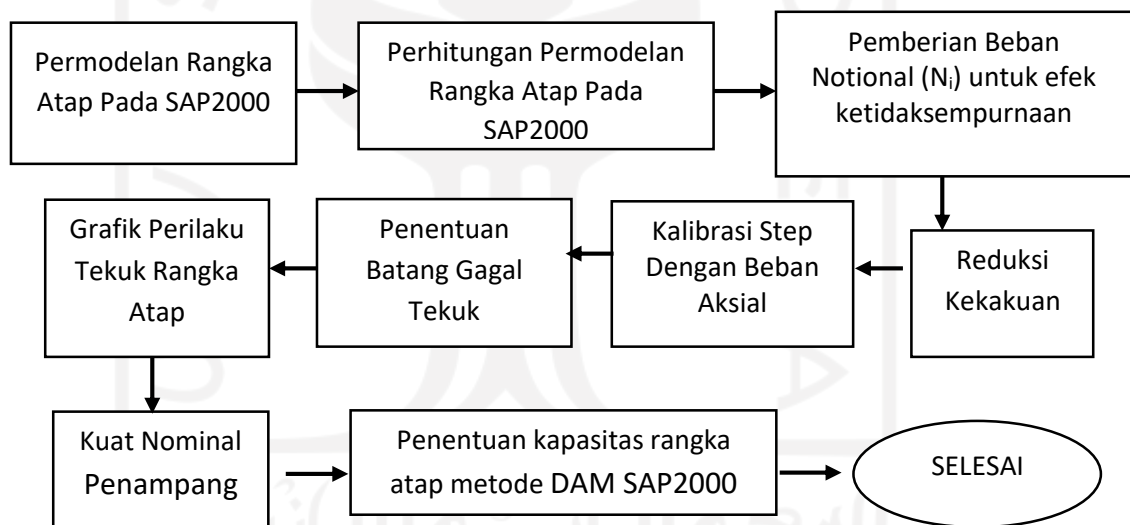
Pemodelan rangka atap dengan aplikasi SAP2000 dilakukan untuk dapat memperkirakan beban maksimum yang dapat dipikul apabila batang tersebut dijadikan struktur rangka atap utuh.. Adapun rangka atap yang akan dimodelkan pada SAP2000 yaitu dapat dilihat pada gambar 4.16 dibawah ini.



**Gambar 4. 17 Pemodelan Rangka Atap Pada SAP2000**

Selanjutnya dilakukan Analisis menggunakan metode DAM pada SAP2000. Pada variasi rangka atap 1 baut sambungan menggunakan tumpuan sendi-rol yang selanjutnya dilakukan *set analysis option 2D*. Selanjutnya memodelkan sambungan rangka baja variasi 1 baut dengan di *release* sedangkan variasi 3 baut tidak di *release*. Apabila telah selesai permodelan rangka atap maka dilakukan pemodelan ketidaksempurnaan geometri dengan memasukan beban notional pada frame rangka atap.

Tahap selanjutnya melakukan kalibrasi jumlah step untuk menentukan step yang stabil. Kemudian menentukan batang yang terjadi tekuk dengan menampilkan batang tekan dengan momen terbesar. Tahap terakhir dapat dilakukan Analisis kapasitas tekan rangka atap menggunakan *section cut*. Untuk mempermudah dalam memahami Langkah yang dilakukan dalam memprediksi kuat tekan rangka atap dengan DAM SAP2000 dapat dilihat pada flowchart dibawah ini.



**Gambar 4. 18 Flowchart Pemodelan Rangka Atap Pada SAP2000**

#### 4.8 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini mulai dari persiapan bahan, pengujian bahan dan pengujian benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Sedangkan pembuatan sampel pengujian dibuat di bengkel las.

#### 4.9 Tahapan Analisis Data

Tahap analisis data dilakukan dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mempermudah dalam melakukan pembahasan dan menarik kesimpulan. Data yang

didapatkan dari hasil pengujian dikelompokkan berdasarkan beberapa pengujian yang telah dilakukan. Adapun tahapan analisis data yang akan dilakukan yaitu analisis *Direct Analysis Method* (DAM) batang tekan dengan hasil uji laboratorium, kemudian dilanjutkan dengan verifikasi hasil analisis *Direct Analysis Method* (DAM) batang tekan dengan hasil uji laboratorium, lalu melakukan penyesuaian hasil analisis *Direct Analysis Method* (DAM) dengan hasil uji laboratorium dan analisis terakhir yaitu analisis rangka atap menggunakan SAP2000.

#### **4.10 Tahapan Pembahasan**

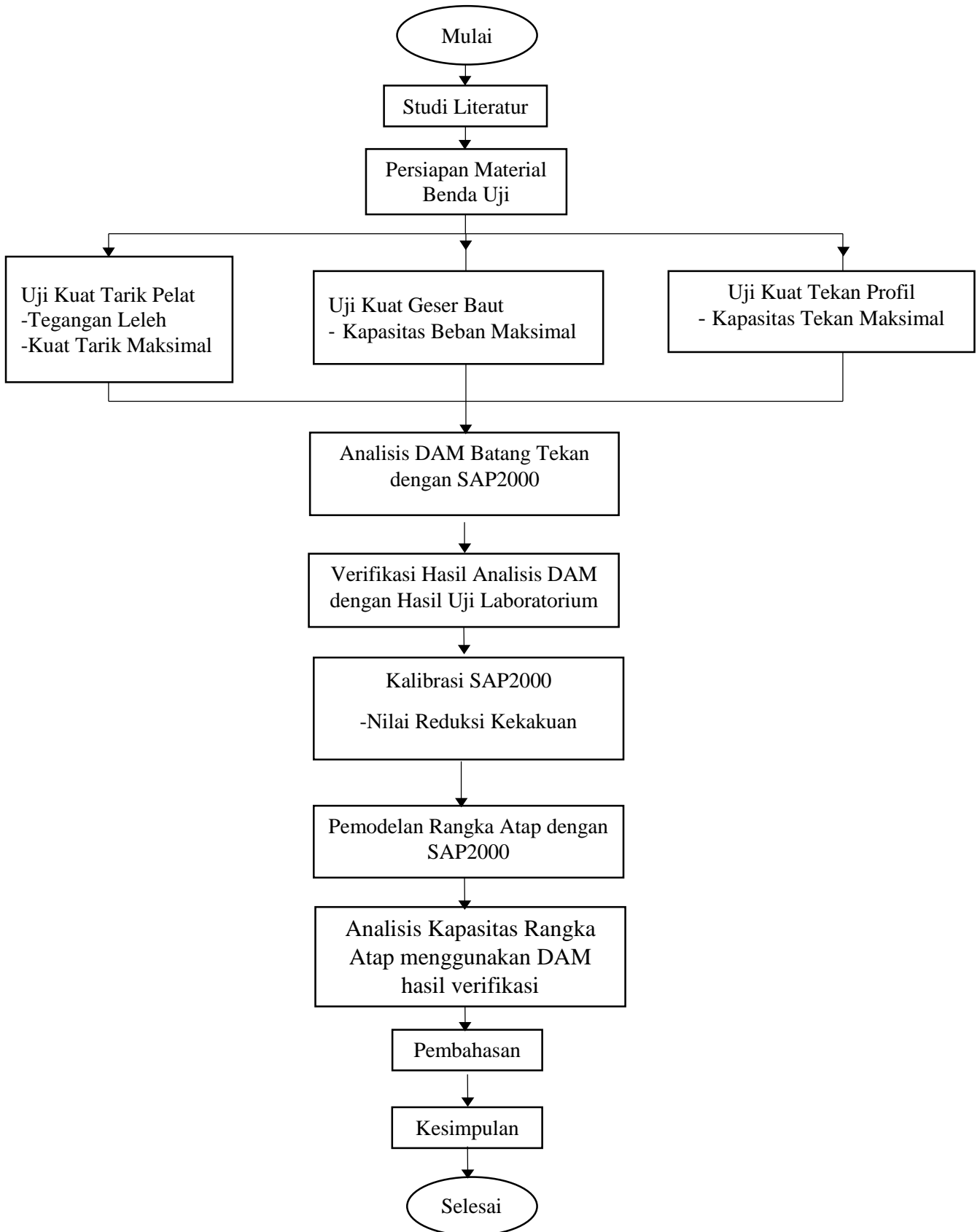
Tahapan pembahasan ini dilaksanakan setelah terlaksananya pengujian serta analisis data hasil pengujian. Pada tahapan ini dilakukan pembahasan yang lebih mendalam mengenai kekuatan struktur rangka atap hasil perhitungan dengan menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) sesuai dengan SNI 1729:2020 dengan analisis menggunakan aplikasi SAP2000 yang dibandingkan dengan hasil pengujian laboratorium.

#### **4.11 Tahapan Penarikan Kesimpulan**

Tahapan ini merupakan tahapan terakhir dari berlangsungnya penelitian. Pada kesimpulan didapatkan data yang sudah dianalisis dan terdapat pembahasan. Kesimpulan yang diambil yaitu prediksi kuat tekan struktur rangka atap yang dilakukan dengan perhitungan *Direct Analysis Method* (DAM) sesuai SNI 1729:2020 menggunakan aplikasi SAP2000 dengan hasil pengujian laboratorium.

#### **4.12 Flowchat Penelitian**

*Flowchart* merupakan tahapan-tahapan pada penelitian yang akan dilakukan digambarkan dengan bagian yang saling berhubungan. *Flowchart* memiliki fungsi agar dapat memudahkan dalam memahami tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan. Berikut dapat dilihat Gambar *flowchart* pada penelitian ini.



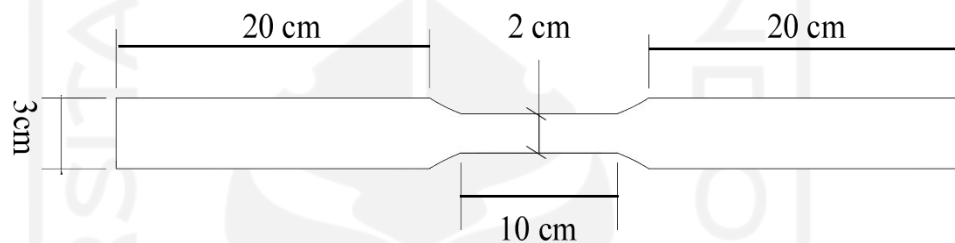
**Gambar 4.19** *Flowchart* Penelitian

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

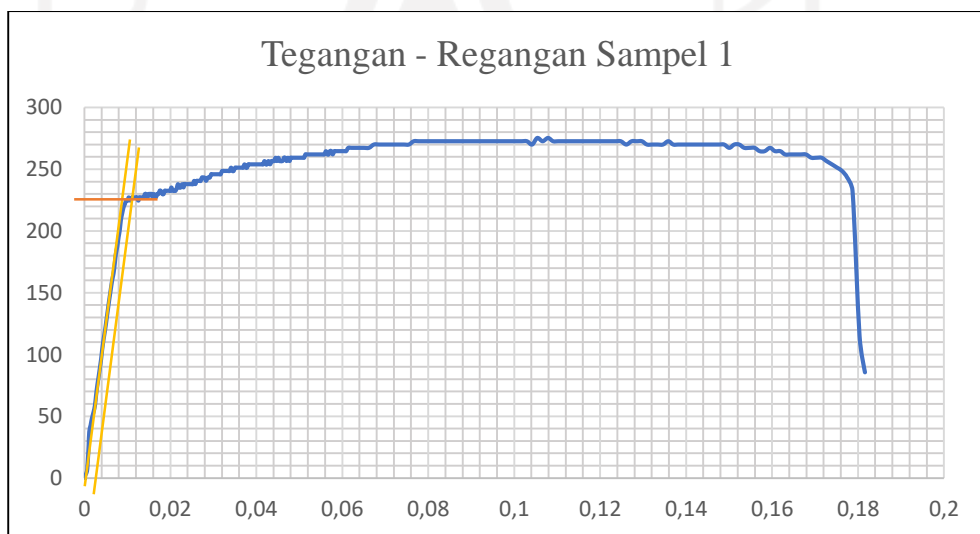
#### 5.1 Uji Kuat Tarik Material Baja

Pengujian Tarik yang dilakukan ini menggunakan benda uji pelat baja yang berasal dari profil *Square Hollow Section* yang dibuat berdasarkan SNI 8389:2017 yang dapat dilihat pada gambar 5.1 dibawah ini.

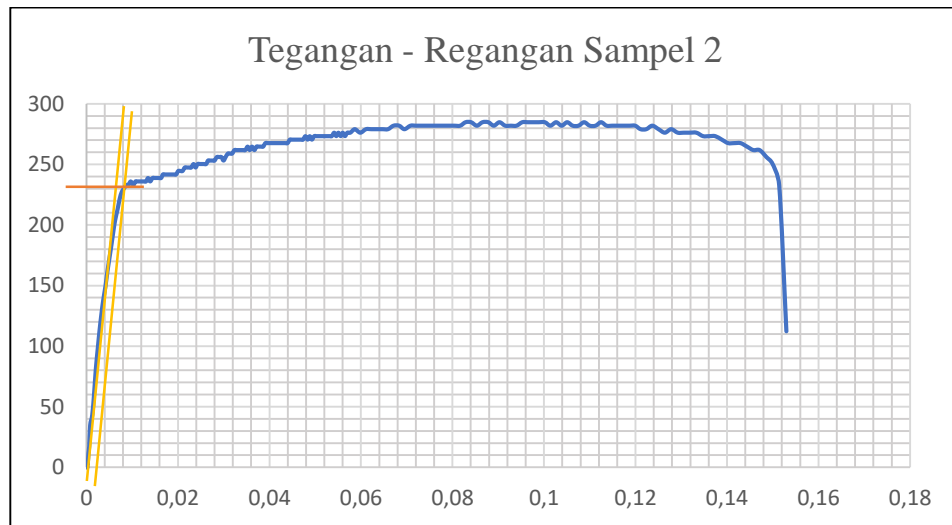


**Gambar 5. 1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja**

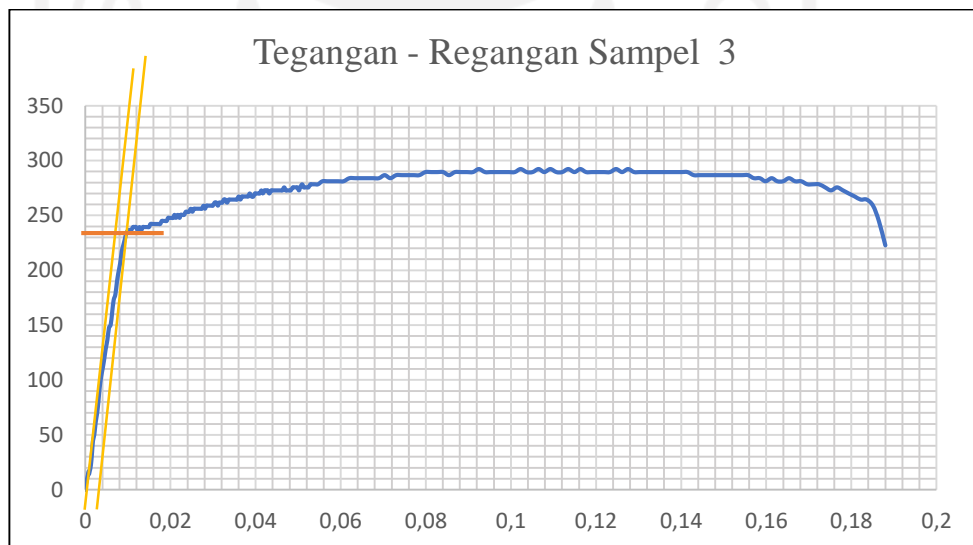
Dengan dilakukannya pengujian tarik ini maka dapat mengetahui nilai tegangan leleh ( $F_y$ ) dan kuat tarik maksimum ( $F_u$ ) pada pelat baja tersebut. Pada pengujian kuat tarik yang telah dilaksanakan maka dapat diperoleh grafik hubungan tegangan-regangan. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 5.2 hingga gambar 5.4 dibawah ini.



**Gambar 5. 2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1**

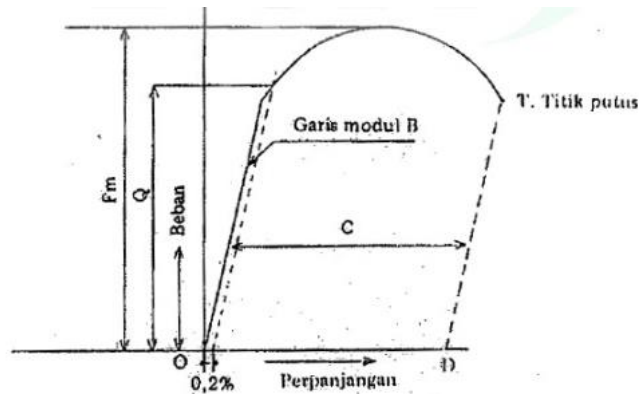


**Gambar 5. 3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2**



**Gambar 5. 4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3**

Dari grafik hasil pengujian Tarik diatas, maka dalam menentukan titik lelehnya dilakukan dengan Teknik offset 0,2% berdasarkan SNI 0408 (BSN, 1989).



**Gambar 5. 5 Offset 0,2%**

(sumber : SNI 0408 (BSN, 1989))

Adapun nilai titik leleh dan nilai tegangan maksimum dari pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

**Tabel 5. 1 Nilai Kuat Tarik Pelat Baja Hasil Pengujian**

No	Benda Uji	F <sub>y</sub> (MPa)	F <sub>u</sub> (MPa)
1	Sampel 1	229	275,24
2	Sampel 2	238	284,74
3	Sampel 3	240	292,16

Berdasarkan dari Tabel 5.1 diatas maka Nilai kuat Tarik rata – rata dari ketiga sampel dapat dihitung sebagai berikut.

Nilai F<sub>y</sub> rata-rata :

$$F_y = \frac{229 + 238 + 240}{3} = 235,6 \text{ MPa}$$

Nilai F<sub>u</sub> rata-rata :

$$F_u = \frac{275.24 + 284.74 + 292.16}{3} = 284,05 \text{ MPa}$$

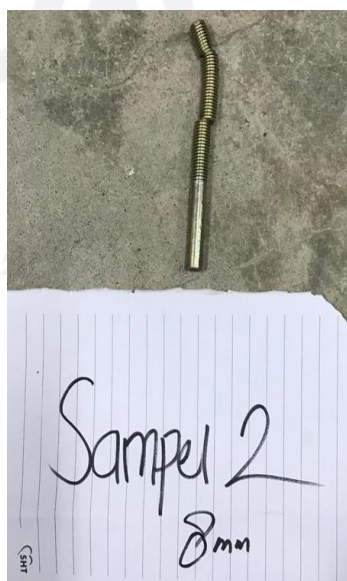


## 5.2 Uji Geser Baut

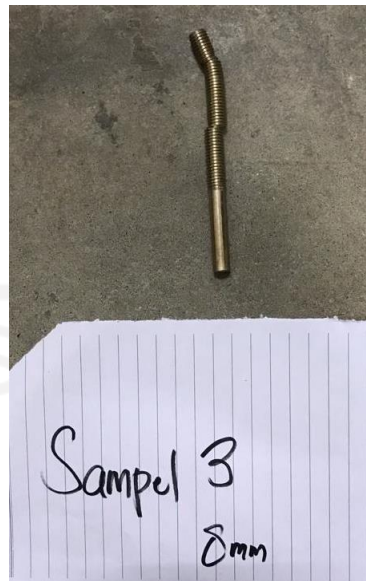
Uji geser baut dilaksanakan karena sambungan untuk struktur atap yang digunakan pada baja yaitu sambungan menggunakan baut. Dengan dilaksanakan pengujian ini maka dapat mengetahui nilai kuat geser baut tersebut. Pengujian geser baut ini dilakukan dengan 3 sampel benda uji baut diameter 8mm. Adapun kondisi baut setelah dilakukan pengujian geser dapat dilihat pada Gambar 5.6 hingga Gambar 5.8 dibawah ini.



**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**

Dari hasil uji geser baut yang telah dilakukan, maka diperoleh kondisi baut setelah pengujian seperti gambar 5.6, gambar 5.7 dan gambar 5.8 diatas. Dari kondisi tersebut diketahui kondisinya tidak bersifat getas, karena sampel uji baut tersebut tidak putus dan hanya membengkok.

Dari pengujian baut yang telah dilakukan, maka didapatkan data pengujian yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kuat geser baut tersebut. Adapun contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat geser baut sampel 1 yaitu.

$$R_n = \frac{P_{max}}{A}$$

$$R_n = \frac{19000}{47.52}$$

$$R_n = 199,94 \text{ MPa}$$

**Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Kuat Geser Baut**

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
D baut (mm)	7,78	7,62	7,72	7,71
Pmax (N)	19000	20000	20000	19667
Kuat geser (MPa)	199,94	219,39	213,75	211,03

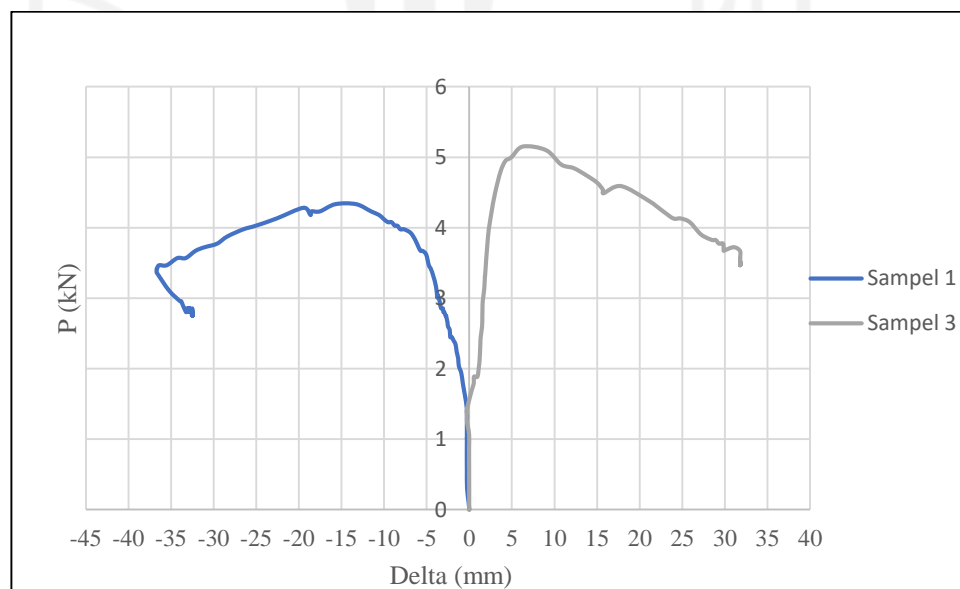
Pada pengujian baut yang telah dilakukan, digunakan benda uji baut dengan spesifikasi kode mutu *class 4.6* dengan material *low carbon steel*. Sehingga dapat diketahui mutu baut tersebut yaitu 393,01 MPa. Akan tetapi pada pengujian geser yang telah dilakukan, didapatkan nilai rata-rata kuat geser benda uji baut tersebut yaitu 211,03 MPa, maka dapat diketahui bahwa kualitas baut yang digunakan pada pengujian ini tidak sesuai atau lebih rendah dengan standar mutu baut yang ada.

### 5.3 Uji Kuat Tekan Profil

Uji kuat profil dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan maksimum yang mampu ditahan pada benda uji profil *square hollow section* tersebut. Adapun hasil serta perhitungan yang didapatkan dari pengujian yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat dibawah ini.

#### 5.3.1 Uji Batang Tekan Dengan 1 Baut

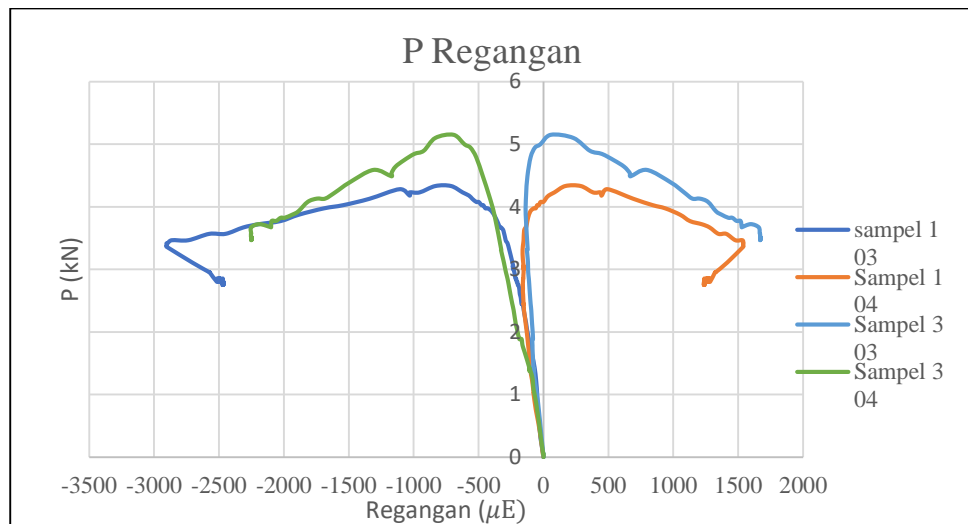
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa grafik hubungan yang didapatkan. Grafik hubungan yang pertama yaitu grafik hubungan P-Delta yang dapat dilihat pada gambar grafik 5.9 Sebagai berikut



**Gambar 5. 9 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 1 Baut**

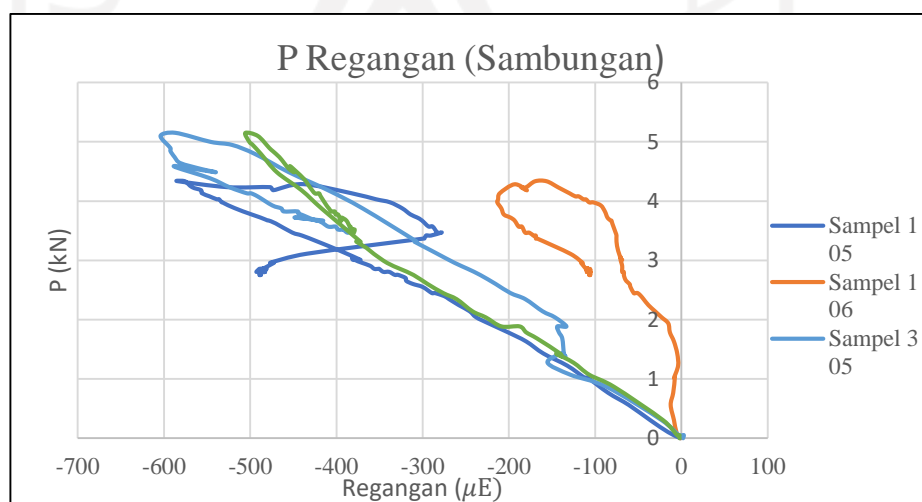
Dari grafik hubungan P-Delta diatas, maka kita dapat mengetahui pembebanan maksimum yang dapat dipikuloleh batang tekan variasi 1 baut sambungan. Selanjutnya gambar grafik yang didapatkan yaitu gambar grafik hubungan P-Rengangan pada tengah

bentang profil. Adapun gambar grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.10 dibawah ini



**Gambar 5. 10 Grafik Hubungan P dan Regangan Sampel Uji 1 Baut**

Dari grafik hubungan P-Regangan pada tengah bentang profil kita dapat mengetahui bahwa adanya terjadi tekuk, dimana grafik yang dihasilkan saling berlawanan, satu sisi terjadi tekan sisi lainnya terjadi Tarik. Selanjutnya kode yang digunakan untuk menentukan gambar grafik yang didapatkan yaitu gambar grafik hubungan P-Rengangan pada dekat sambungan. Adapun gambar grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.10 dibawah ini



**Gambar 5. 11 Grafik Hubungan P dan Regangan Pada Sambungan Sampel Uji 1 Baut**

Dari grafik hubungan P-Regangan pada dekat sambungan, kita dapat mengetahui bahwa pada sambungan terdapat bending momen yang terjadi di dekat sambungan sampel uji. Adapun gambar sampel batang tekan variasi 1 baut setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada gambar 5.12 hingga gambar 5.14 dibawah ini.



**Gambar 5. 12 Sampel 1 Baut 1 Setelah Uji Tekan**



**Gambar 5. 13 Sampel 2 Baut 1 Setelah Uji Tekan**



**Gambar 5. 14 Sampel 3 Baut 1 Setelah Uji Tekan**

Pada pengujian tekan profil variasi sampel uji 1 baut yang telah dilakukan, terdapat 3 sampel pengujian. Akan tetapi setelah dilakukan pengambilan data hanya sampel 1 dan sampel 3 yang dapat digunakan. Hal tersebut dikarenakan sampel 2 terdapat kemungkinan salah *setup* pengujian sehingga grafik yang dihasilkan tidak normal. Selanjutnya hasil dari grafik hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 5.9 diatas dapat dilihat pada table dibawah ini.

**Tabel 5. 3 Hasil Dari Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 1 Baut**

Keterangan	Sampel 1	Sampel 3	Rata-rata
P mulai tekuk (kN)	1,938	1,887	1,913
P max (kN)	4,335	5,151	4,743

Kemudian dari grafik hubungan P dan Regangan hasil pengujian yang ditunjukkan pada gambar 5.10 diatas, maka dapat diketahui bahwa terdapat tegangan aksial pada pengujian ini yang terjadi saat sisi selatan dengan sisi utara berhimpit maka memiliki nilai yang sama sehingga nilai regangannya merata, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan benda uji ditahan oleh 2 sisi yang sama besar sehingga belum terjadi tekuk. Kemudian sampel uji mulai mengalami tekuk yaitu pada saat grafik tersebut memisah. Sampel uji sisi positif menunjukkan bahwa terjadi tekuk bagian tarik dan sisi negative menunjukkan bahwa terjadi tekuk bagian tekan. Adapun hasil yang didapatkan dari gambar grafik 5.10 diatas dapat dilihat pada table dibawah ini.

**Tabel 5. 4 Hasil Dari Grafik Hubungan P dan Renganan Sampel Uji 1 Baut**

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
P mulai tekuk (kN)	2,55	1,683	2,117
P max (kN)	4,335	5,151	4,743
Regangan pada keadaan P max ( $\mu E$ )	772,6	692,4	732,5

Dari hasil yang didapatkan pada tabel 5.8 diatas dapat menentukan kondisi tekuk yang terjadi pada sampel uji tersebut dengan membandingkan regangan leleh yang ada. Adapun nilai regangan leleh profil sampel uji yaitu

$$E_y = \frac{F_y}{E}$$

$$E_y = \frac{235,6}{200000} \cdot 10^6$$

$$E_y = 1178 \mu E$$

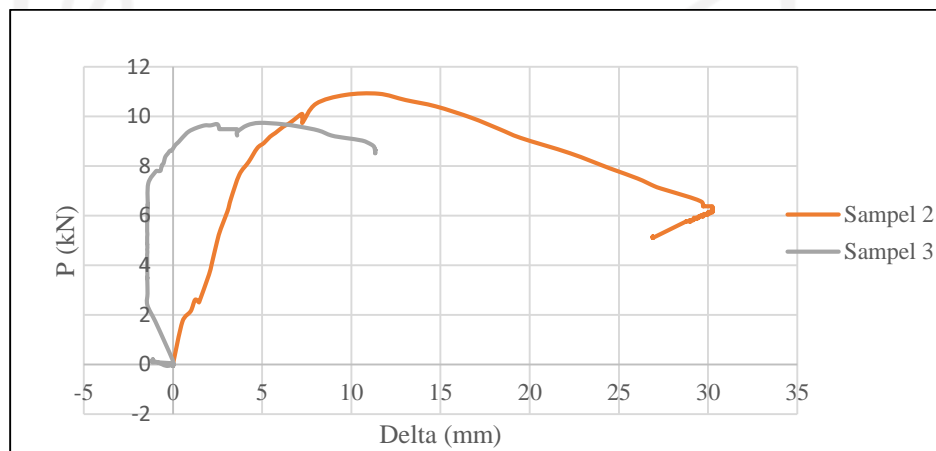
Maka dari hasil yang didapatkan pada table 5.4 dapat dinyatakan bahwa sampel uji saat terjadi tekuk merupakan kondisi tekuk elastic, dimana nilai regangan pada keadaan beban maksimum (Pmax) lebih kecil dari regangan lelehnya.

Selanjutnya dari grafik Grafik Hubungan P dan Regangan Pada Sambungan Sampel Uji 1 Baut pada gambar 5.11 diatas terdapat data pengujian yang tidak sesuai pada sampel 1 06 karena apabila nilai regangan dibandingkan dengan nilai beban (P) tidak sinkron, hal tersebut dibuktikan bahwa nilai regangan 0  $\mu E$  saat dilakukan pembebanan

1kN. Pada gambar 5.11 sampel 3 diatas didapatkan bahwa terdapat bending momen yang terjadi pada tengah bentang dan juga di dekat sambungan sampel uji. Dengan demikian membuktikan terdapat efek P delta pada pengujian tekan ini.

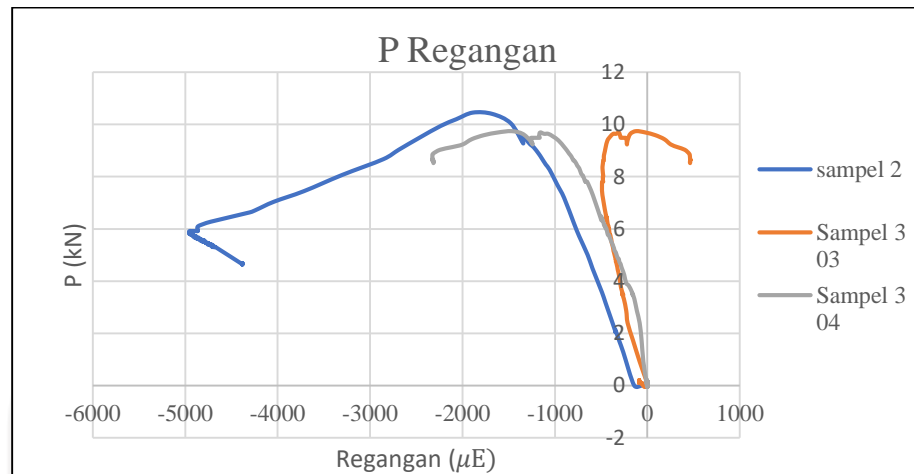
### 5.3.2 Uji Batang Tekan Dengan Variasi 3 Baut

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa grafik hubungan yang didapatkan. Grafik hubungan yang pertama yaitu grafik hubungan P-Delta yang dapat dilihat pada gambar grafik 5.15 Sebagai berikut



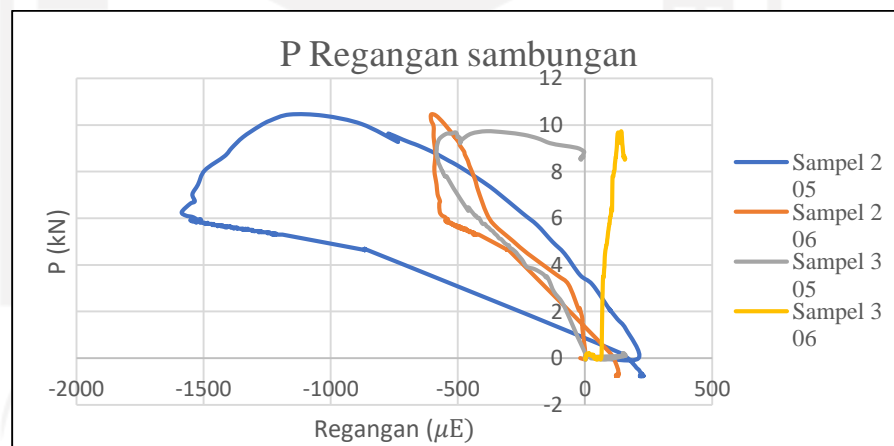
**Gambar 5. 15 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 3 Baut**

Dari grafik hubungan P-Delta diatas, maka kita dapat mengetahui pembebanan maksimum yang dapat dipikuloleh batang tekan variasi 3 baut sambungan. Selanjutnya gambar grafik yang didapatkan yaitu gambar grafik hubungan P-Rengangan pada tengah bentang profil. Adapun gambar grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.16 dibawah ini



**Gambar 5. 16 Grafik Hubungan P dan Regangan Sampel Uji 3 Baut**

Dari grafik hubungan P-Regangan pada tengah bentang profil kita dapat mengetahui bahwa adanya terjadi tekuk, dimana grafik yang dihasilkan saling berlawanan, satu sisi terjadi tekan sisi lainnya terjadi Tarik. Selanjutnya gambar grafik yang didapatkan yaitu gambar grafik hubungan P-Regangan pada dekat sambungan. Adapun gambar grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.17 dibawah ini



**Gambar 5. 17 Grafik Hubungan P dan Regangan pada Sambungan Sampel Uji 3 Baut**

Dari grafik hubungan P-Regangan pada dekat sambungan, kita dapat mengetahui bahwa pada sambungan terdapat bending momen yang terjadi di dekat sambungan sampel uji. Adapun gambar sampel batang tekan variasi 1 baut setelah dilakukan pengujian dapat dilihat pada gambar 5.18 hingga gambar 5.20 dibawah ini.





**Gambar 5. 18 Sampel 1 Variasi Baut 3 Setelah Uji Tekan**



**Gambar 5. 19 Sampel 2 Variasi Baut 3 Setelah Pengujian**



**Gambar 5. 20 Sampel 3 Variasi Baut 3 Setelah Pengujian**

Pada pengujian batang tekan dengan variasi 3 baut yang telah dilakukan, terdapat 3 sampel uji. Setelah pengambilan data sampel yang dapat digunakan datanya yaitu sampel 2 dan sampel 3. Pada sampel 1 terdapat kesalahan *set up* pengujian maka tidak digunakan dikarenakan data yang dihasilkan tidak terbaca.

Pada gambar 5.16 grafik hubungan P dan Regangan Sampel Uji 3 Baut diatas didapatkan beberapa hasil yang dapat dilihat pada table 5.9 dibawah ini.

**Tabel 5. 5 Hasil Dari Grafik Hubungan P dan Rengangan Sampel Uji 3 Baut**

Keterangan	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
$E_y$ ( $\mu E$ )	1178	1178	1178
P mulai tekuk (kN)	7,25	6,50	6,875
Pmax (kN)	10,455	9,741	10,098
Regangan pada keadaan Pmax ( $\mu E$ )	1890	1470	1680

Dari hasil yang ditunjukkan pada table 5.9 serta gambar 5.16 diatas, maka dapat diketahui bahwa dengan dilakukan uji profil dengan variasi 3 baut ini pada saat keadaan beban

puncak ( $P_{max}$ ) terjadi leleh karena nilai regangan pada keadaan beban puncak ( $P_{max}$ ) melebihi nilai  $E_y$ . Dengan demikian nilai  $k=0.5$  menurun dari  $k=1$ . Sehingga kelangsingannya menurun menjadi kelangsingan sedang. Hal tersebut terjadi karena pada kedua sisi tumpuan terjadi jepit, sehingga terjadi penurunan kelangsingannya yang berakibat terjadi leleh. Kemudian dari hasil tersebut diketahui bahwa terjadi tekuk inelastic.

#### 5.4 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan

Pemodelan batang tekan aksial dengan metode *Direct Analysis Method* dilakukan untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan pada pemodelaan SAP2000. Adapun perhitungan yang dilakukan yaitu dapat dilihat dibawah ini.

##### 5.4.1 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Batang Tekan Aksial Variasi 1

###### Baut

Perhitungan kapasitas tekan dan reduksi kekakuan profil hollow variasi 1 baut

1. Data penampang profil hollow variasi 1 baut

Mengacu pada hasil uji tarik dan uji lentur yang telah dilakukan, didapatkan hasil pengukuran menggunakan kaliper berikut ini.

$$b = 14,128 \text{ mm}$$

$$h = 29,142 \text{ mm}$$

$$A_g = 104,599 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3429,322 \text{ mm}^4$$

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

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

$$= 5,726 \text{ mm}$$

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif ( $\lambda$ )

$$\frac{K.L}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{1.1113}{5,726} \geq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{235,6}}$$

$$194,38 \geq 137,229$$

Dari hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai  $\frac{K.L}{r} \geq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka diketahui bahwa kondisi benda uji tekuk elastis.

3. Menghitung Tegangan kritis ( $F_{cr}$ )

Dari perhitungan kelangsingan efektif didapatkan bahwa benda uji profil hollow variasi 1 baut mengalami tekuk elastis, sehingga persamaan yang digunakan untuk menghitung tegangan kritis yaitu

$$F_{cr} = 0,877 \times F_e$$

Dimana perhitungan nilai Tegangan tekuk kritis elastis ( $F_e$ ) yaitu

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{194,38^2}$$

$$F_e = 52,192 \text{ MPa}$$

Maka nilai  $F_{cr}$  profil hollow variasi 1 baut yaitu :

$$F_{cr} = 0,877 \times 52,192$$

$$F_{cr} = 45,772 \text{ MPa}$$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil ( $P_n$ )

Setelah mendapatkan nilai  $F_{cr}$  dari perhitungan diatas, maka untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan profil ( $P_n$ ) yaitu

$$P_n = F_{cr} \times A_g$$

$$P_n = 45,772 \times 104.599$$

$$P_n = 4787,7 \text{ N}$$

$$P_n = 4,787 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = \phi \times P_n$$

$$\phi P_n = 0,9 \times 4,787$$

$$\phi P_n = 4,308 \text{ kN}$$

5. Beban Notional ( $N_i$ )

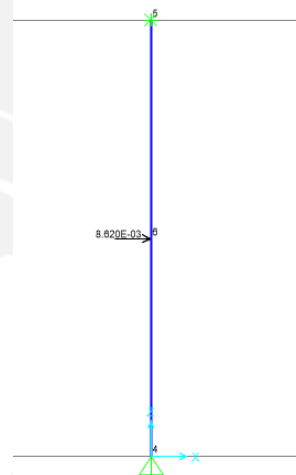
Pada kalibrasi SAP2000 dilakukan perhitungan beban notional dikarenakan terdapat cacat bawaan sehingga berakibat ketidaksempurnaan dari elemen benda uji tersebut yang menghasilkan efek *destabilizing*. Sehingga diperlukan simulasi untuk mengetahui pengaruh adanya cacat bawaan. Adapun perhitungan beban notional dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini.

$$N_i = 0,002 \times \phi P_n$$

$$N_i = 0,002 \times 4,308$$

$$N_i = 0,0086 \text{ kN}$$

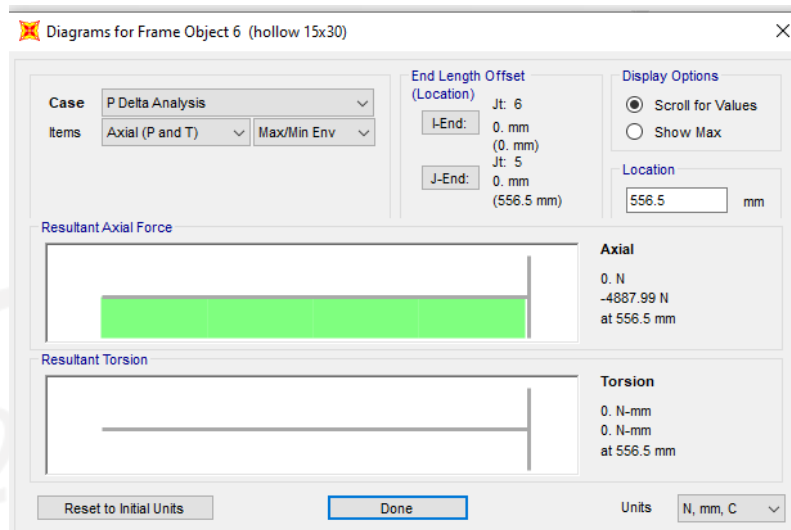
Adapun pemodelan beban notional pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.21 dibawah ini



**Gambar 5. 21**Pemodelan di SAP2000 Beban Notional Pada Batang Tekan

6. Evaluasi Nilai  $\tau_b$

Dalam mengevaluasi nilai  $\tau_b$  diperlukan pembacaan setelah dilakukan *running* SAP2000 yang telah terdapat factor P-Delta pada batang tekan untuk mengetahui gaya aksial tekan terbesarnya. Adapun hasil gaya aksial tekan yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 5.22 dibawah ini



**Gambar 5.22 Gaya Aksial Tekan ( $P_r$ ) Batang Tekan 1 Baut**

Dari gambar 5.22 didapatkan nilai gaya aksial tekan yaitu:

$$P_r = 4,887 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \times A_g$$

$$P_y = \frac{235,6 \times 104,599}{1000}$$

$$P_y = 24,644 \text{ kN}$$

Kemudian dilakukan cek untuk mengevaluasi nilai  $\tau_b$  yang digunakan. Adapun persamaan yang digunakan yaitu,

$$\frac{P_r}{P_y} \leq 0,5$$

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{4,887}{24,644}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,198$$

Dari perhitungan evaluasi  $\tau_b$  diatas diketahui bahwa nilai  $\frac{P_r}{P_y} \leq 0,5$  sehingga

dapat diketahui bahwa nilai  $\tau_b$  yang digunakan yaitu  $\tau_b = 1,0$

#### 7. Reduksi Kekakuan (EI)

Reduksi kekakuan dilakukan untuk menyesuaikan kekakuan karena adanya leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja. Hal tersebut menyebabkan

pelemahan kekuatan pada benda uji. Maka, Dari perhitungan evaluasi nilai  $\tau_b$  diatas diketahui persamaan untuk reduksi kekakuan yaitu,

$$EI^- = \varphi \times \tau_b \times E$$

$$EI^- = 0,8 \times 1,0 \times 200000$$

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

#### 5.4.2 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan Batang Tekan Aksial Variasi 3 Baut

Berikut ini perhitungan mengenai kapasitas tekan serta reduksi kekakuan profil hollow variasi 3 baut

1. Data penampang profil hollow variasi 3 baut

$$b = 14,128 \text{ mm}$$

$$h = 29,142 \text{ mm}$$

$$A_g = 104,599 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3429,322 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{3429,322}{104,599}} \\ &= 5,726 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif ( $\lambda$ )

$$\begin{aligned} \frac{K.L}{r} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{0,7 \cdot 1028}{5,726} &\leq 4,71 \sqrt{\frac{200000}{235,6}} \end{aligned}$$

$$125,672 \leq 137,23$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka didapatkan bahwa nilai  $\frac{K.L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ .

Sehingga dapat diketahui bahwa benda uji mengalami tekuk inelastic.

3. Menghitung Nilai Tegangan Tekuk Kritis ( $F_{cr}$ )

Setelah diketahui benda uji mengalami tekuk inelastic, maka nilai tegangan tekuk kritis ( $F_{cr}$ ) yaitu.

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

Untuk mendapatkan nilai tegangan tekuk kritis elastis ( $F_e$ ) yaitu menggunakan persamaan dibawah ini

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{(K \cdot L/r)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{125,672^2}$$

$$F_e = 124,856 \text{ MPa}$$

Maka nilai tegangan tekuk kritis yang diperoleh yaitu

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

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{235,6}{124,856}\right) 235,6$$

$$F_{cr} = 106,948 \text{ MPa}$$

#### 4. Menghitung Kapasitas Tekan ( $P_n$ )

Selanjutnya, untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan sampel uji yaitu dengan persamaan dibawah ini.

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$P_n = 106,948 \times 104,599$$

$$P_n = 11186,6 \text{ N}$$

$$P_n = 11,186 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = \phi \cdot P_n$$

$$\phi P_n = 0,9 \times 11,186$$

$$\phi P_n = 10,068 \text{ kN}$$

#### 5. Pemodelan Ketidaksempurnaan geometri

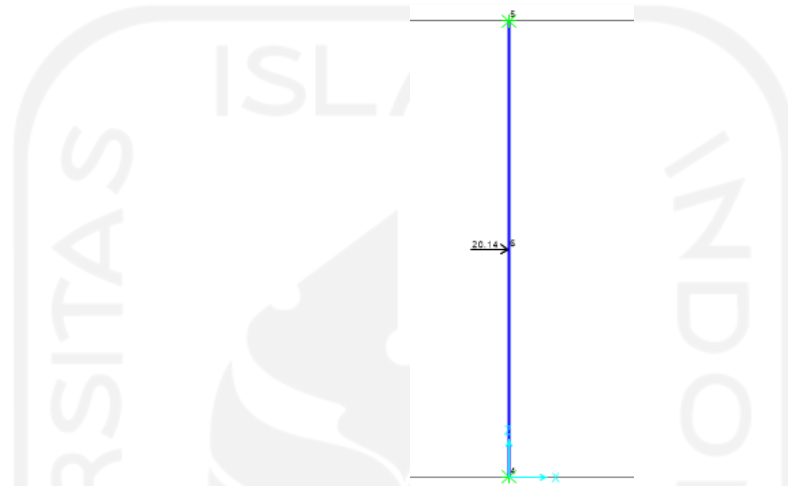
Pada kalibrasi SAP2000 dilakukan perhitungan mengenai cacat bawaan. Hal ini diperhitungkan karena dapat menghasilkan efek *destabilizing*, maka diperlukan simulasi pengaruh adanya cacat bawaan tersebut. Adapun persamaan besarnya beban notional yaitu.

$$N_i = 0,002 \times \varphi P_n$$

$$N_i = 0,002 \times 10,068$$

$$N_i = 0,02014 \text{ kN}$$

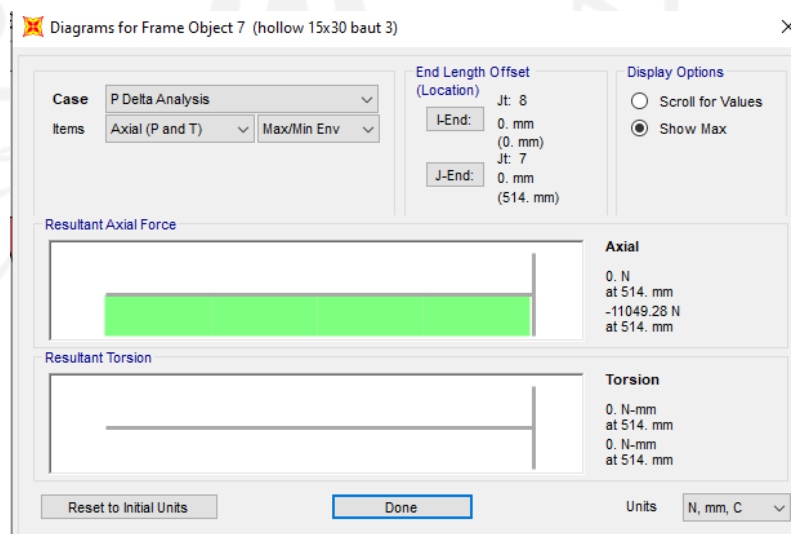
Adapun pemodelan beban notional pada batang tekan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.23 dibawah ini



**Gambar 5. 23 Pemodelan Beban Notional Pada Batang Tekan**

6. Evaluasi Nilai  $\tau_b$

Nilai  $\tau_b$  didapatkan setelah melakukan running SAP2000 pada batang tekan untuk membaca gaya aksial tekan terbesar yang telah dimasukkan P-Delta nya. Adapun hasil gaya aksial tekan dapat dilihat pada gambar 5.24 dibawah ini



**Gambar 5. 24 Gaya Aksial Tekan (Pr) Variasi 3 Baut**



Dari gambar 5.24 diatas diketahui nilai gaya aksial tekan sehingga dapat digunakan untuk mendapatkan evaluasi nilai  $\tau_b$  yaitu

$$P_r = 11,049 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \times A_g$$

$$P_y = 235,6 \times 104,599$$

$$P_y = 24,644 \text{ kN}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan diatas, maka dilakukan cek untuk mengevaluasi nilai  $\tau_b$ . Adapun persamaannya yaitu,

$$\frac{P_r}{P_y} \leq 0,5$$

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{11,049}{24,644}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,4484$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan diatas, maka sesuai dengan AISC (2010) dapat diketahui bahwa nilai  $\tau_b$  yang digunakan yaitu  $\tau_b = 1,0$ .

#### 7. Faktor Reduksi Kekakuan ( $EI^-$ )

Reduksi kekakuan dilakukan dikarenakan terdapat leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja sehingga mengakibatkan pelemahan kekuatan profil baja tersebut. Pada DAM dapat dihitung dengan melakukan reduksi kekakuan. Adapun persamaan yang digunakan untuk mereduksi kekakuan yaitu

$$EI^- = \phi \times T_b \times E$$

$$EI^- = 0,8 \times 1 \times 200000$$

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

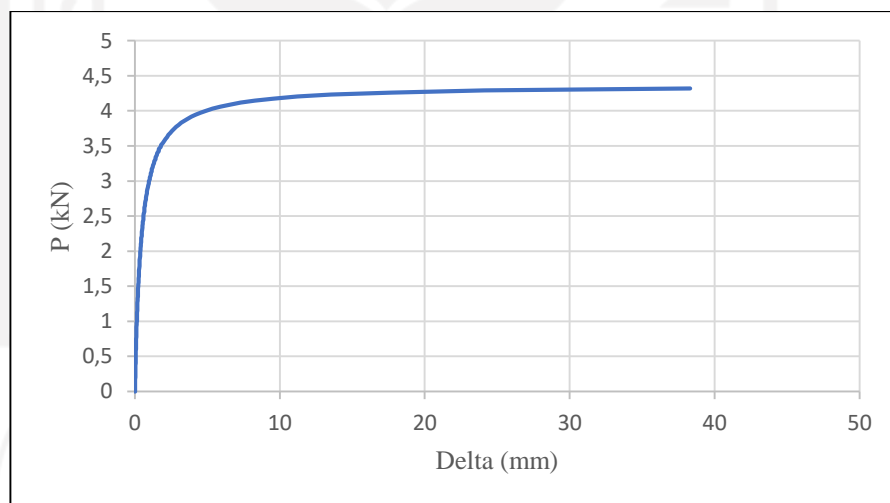
### 5.5 Kalibrasi Pemodelan Batang Tekan SAP2000

Kalibrasi SAP2000 dilakukan untuk mendapatkan metode pemodelan batang tekan yang menghasilkan kuat tekan batang tekan hollow yang mendekati hasil uji tekan batang aksial pada laboratorium, dilakukan dengan menganalisis menggunakan program SAP2000.

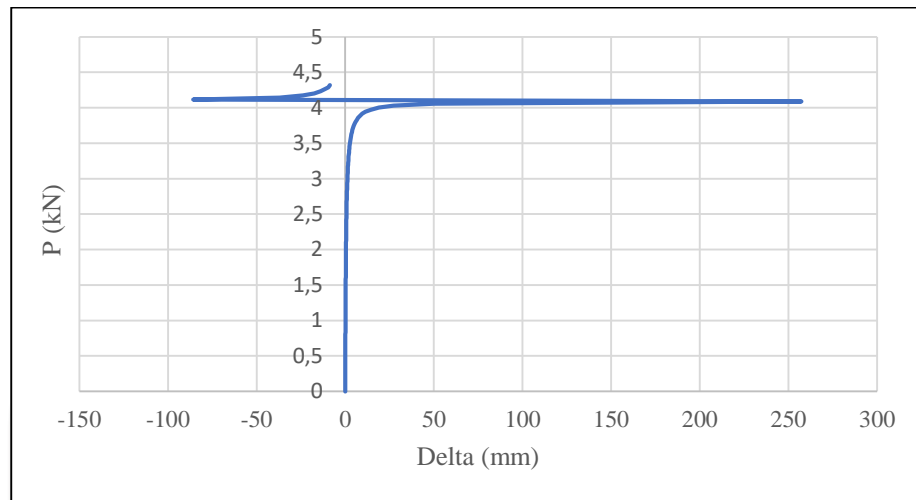
### 5.5.1 Kalibrasi Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 1 Baut

Kalibrasi pada SAP2000 untuk batang tekan variasi 1 baut dilakukan dengan mengkalibrasi pada jumlah step pada perhitungan non linear. Kalibrasi jumlah step pada perhitungan nonlinear dilakukan dengan percobaan jumlah step nya. Adapun jumlah step yang dilakukan percobaan yaitu dengan memasukan jumlah step ke-10, 20, 50, 75, 100, 150 dan 200 dengan menggunakan parameter kalibrasi yaitu nilai kuat tekan hasil pemodelan SAP2000. Kalibrasi dianggap selesai apabila nilai kuat tekan hasil mulai stabil atau tidak berubah signifikan. Selanjutnya terdapat kalibrasi pada reduksi kekakuan. Kalibrasi pada nilai reduksi dilakukan dengan percobaan memasukan nilai  $EI = 0,75 \times E$ . Kalibrasi pada nilai reduksi kekakuan dilakukan untuk mendapatkan hasil gambar grafik yang sesuai sehingga dapat mengetahui terjadinya deformasi dari gambar grafik tersebut.

Dari proses reduksi kekakuan yang telah dilakukann diperoleh hasil gambar grafik hubungan P-Delta pengaruh reduksi kekakuan yang ditunjukkan pada Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 dibawah ini.

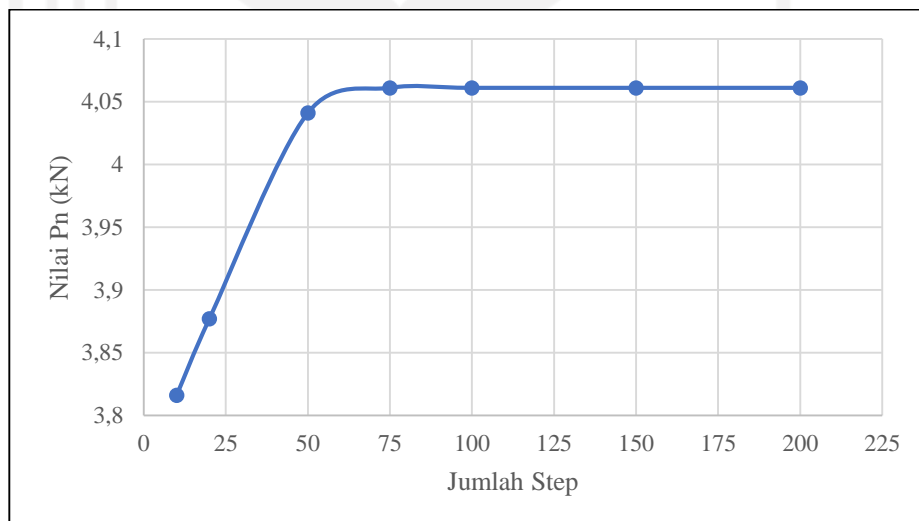


**Gambar 5. 25 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0.8 \times E$ )**



**Gambar 5. 26 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0.8 \times E$ )**

Dari proses kalibrasi jumlah step yang telah dilakukann diperoleh hasil gambar grafik hubungan jumlah step terhadap nilai kuat tekan yang ditunjukkan pada gambar 5.27 dibawah ini



**Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn Batang Tekan Variasi 1 Baut**

Dari gambar grafik diatas terlihat bahwa pada jumlah step ke-100 terlihat nilai kuat tekannya mulai stabil. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah step ke-100 dapat digunakan untuk pemodelan batang tekan profil SHS pada variasi 1 baut yaitu sebesar

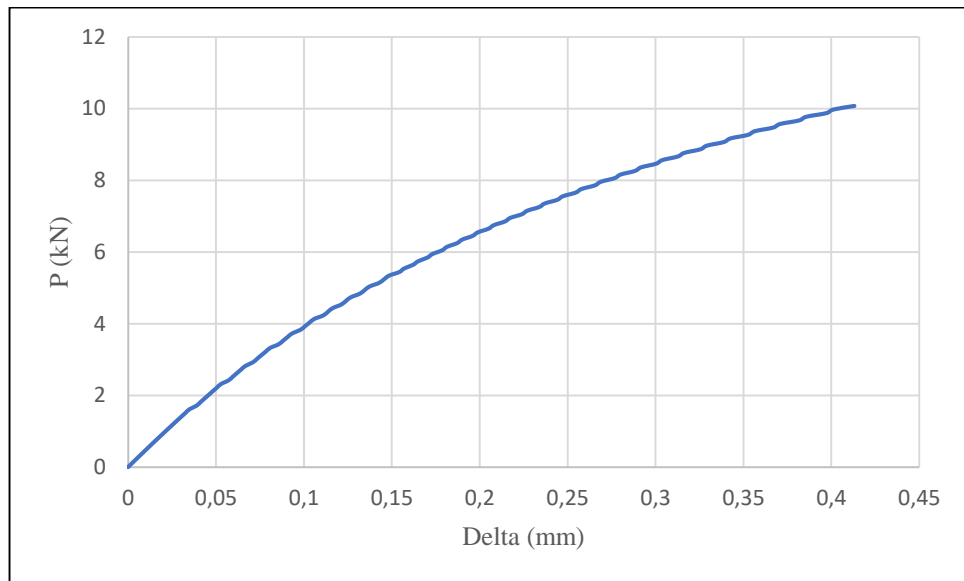
4,367 kN .Adapun detail jumlah step serta nilai kuat tekan yang didapatkan dari kalibrasi dapat dilihat pada table 5.6 dibawah ini.

**Tabel 5. 6 Pengaruh Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn  
Batang Tekan Variasi 1 Baut**

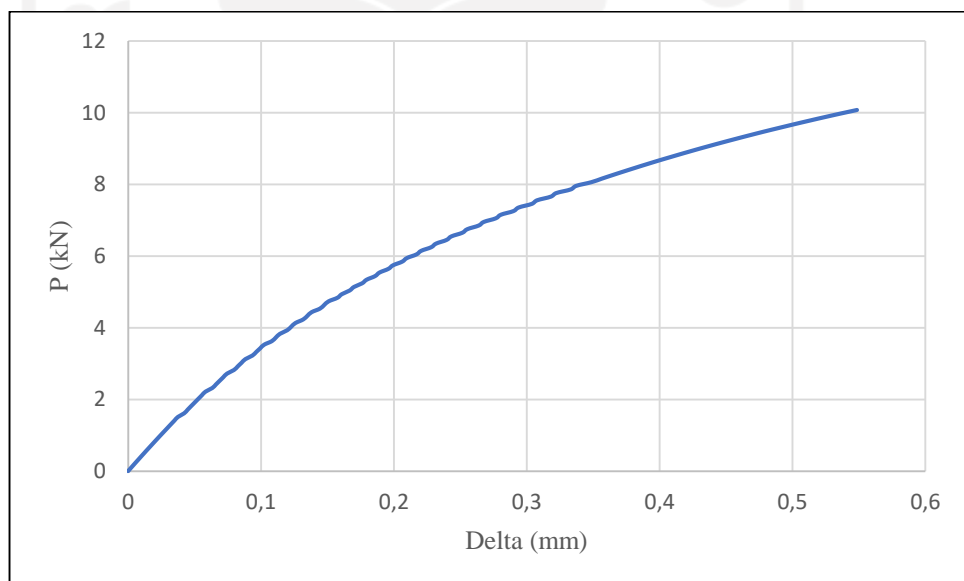
Step ke-	Pn (kN)
10	3,897
20	4,142
50	4,285
75	4,346
100	4,367
150	4,367
200	4,367

### 5.5.2 Kalibrasi Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 3 Baut

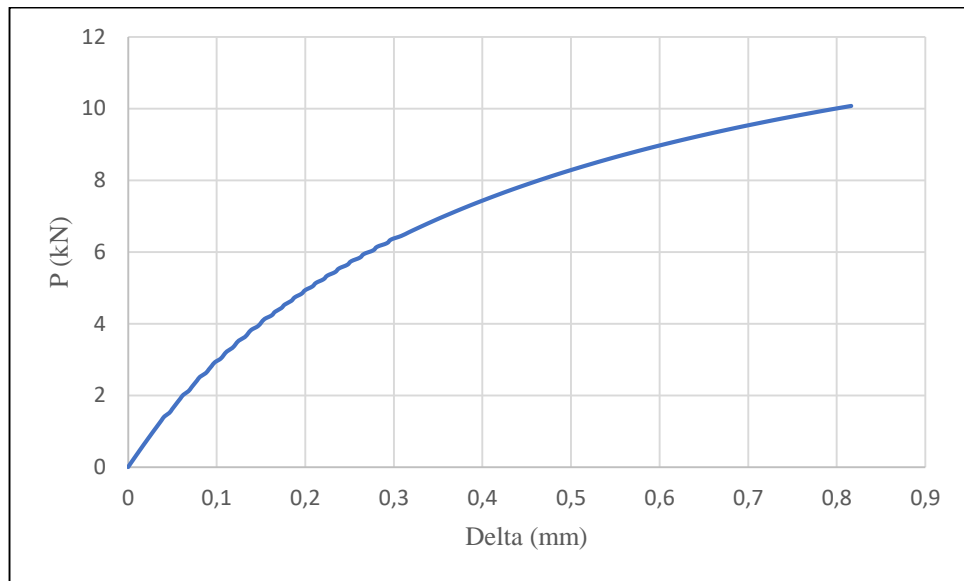
Kalibrasi SAP2000 yang dilakukan pada batang tekan variasi 3 baut yaitu dilakukan dengan kalibrasi pada nilai reduksi kekakuannya dan kalibrasi pada jumlah step perhitungan nonlinear. Kalibrasi pada nilai reduksi kekakuan dilakukan untuk mendapatkan hasil gambar grafik yang sesuai sehingga dapat mengetahui terjadinya deformasi dari gambar grafik tersebut. Kalibrasi pada nilai reduksi dilakukan dengan percobaan memasukan nilai  $EI^-$  mulai dari  $0.8 \times E$  ,  $0.7 \times E$  ,  $0.6 \times E$  hingga  $0.35 \times E$ . Adapun gambar grafik hasil kalibrasi nilai reduksi dapat dilihat pada Gambar 5.28, Gambar 5.29, Gambar 5.30 dan Gambar 5.31 dibawah ini.



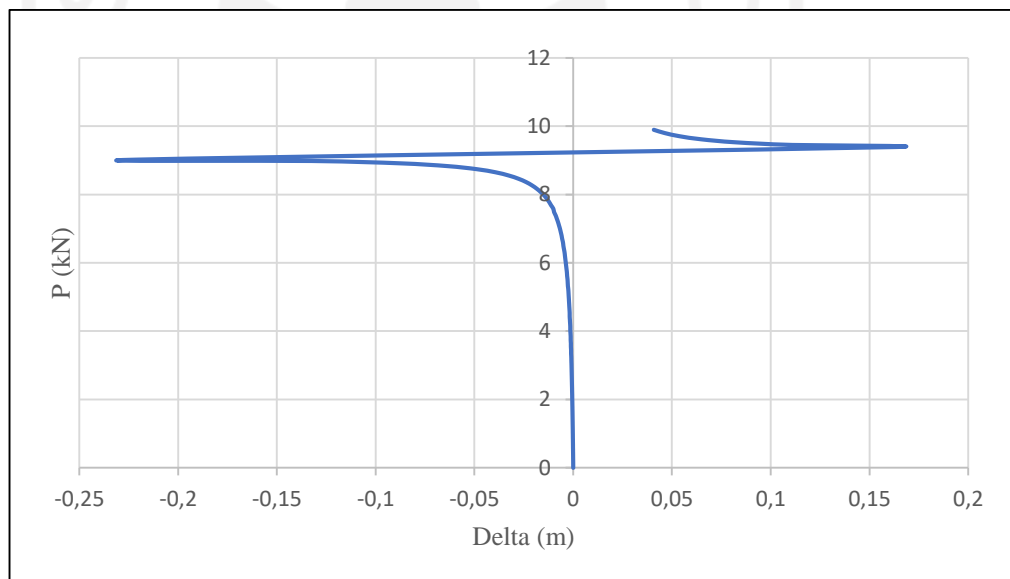
**Gambar 5. 28 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0.8xE$ )**



**Gambar 5. 29 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0.7xE$ )**



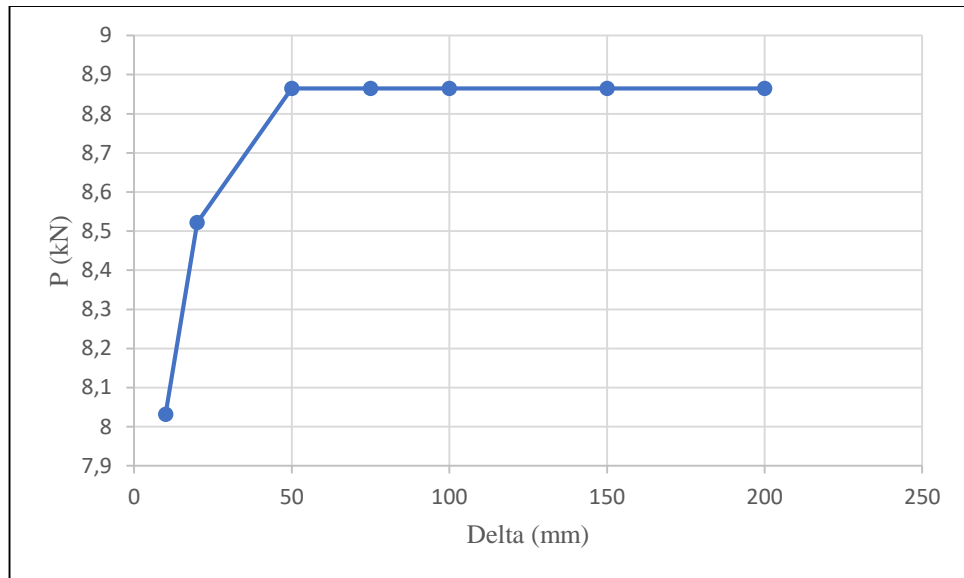
**Gambar 5. 30 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI^- = 0,6xE$ )**



**Gambar 5. 31 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI^- = 0,35xE$ )**

Dari gambar grafik diatas terlihat bahwa kalibrasi reduksi kekakuan diperoleh grafik pengaruh reduksi kekakuan yang sesuai yaitu pada nilai  $EI$   $0,35 \times E$ . Sedangkan kalibrasi jumlah step pada perhitungan non linear dilakukan dengan percobaan jumlah step. Adapun jumlah step yang digunakan untuk percobaan yaitu memasukan step ke-10, 20, 50, 75, 100, 150 dan 200 dengan parameter kalibrasi yaitu nilai kuat tekan mulai

stabil. Dari proses kalibrasi yang telah dilakukan, maka diperoleh gambar grafik hubungan jumlah step dengan kuat tekan yang dapat dilihat pada gambar grafik 5.32 dibawah ini.



**Gambar 5. 32 Grafik Hubungan Step Kalibrasi Terhadap Nilai Kuat Tekan Batang Tekan Variasi 3 Baut**

Dari gambar grafik diatas diketahui bahwa pada jumlah step ke-50 terlihat nilai kuat tekan yang didapatkan sudah stabil. Maka dapat disimpulkan bahwa jumlah step yang digunakan untuk permodelan batang tekan profil SHS pada variasi 3 baut yaitu sebesar 8,865kN. Adapun detail jumlah step dan nilai kuat tekan dapat dilihat pada table 5.7 dibawah ini.

**Tabel 5. 7 Pengaruh Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut**

Step Ke-	Pn (kN)
10	8,032
20	8,522
50	8,865
75	8,865
100	8,865
150	8,865
200	8,865

### 5.5.3 Hasil dan Pembahasan Kalibrasi SAP2000

Hasil dari kalibrasi SAP2000 yang telah dilakukan pada batang tekan profil *square hollow section*, nilai kuat tekan yang didapatkan pada batang tekan variasi 1 baut sebesar 4,061 kN dengan kalibrasi pada jumlah step yang digunakan yaitu pada step ke-100 dimana pada jumlah step tersebut nilai kuat tekan yang diperoleh tidak berubah lagi atau dikatakan stabil. Selain itu juga terdapat kalibrasi pada reduksi kekakuan menjadi  $0.75 \times E$ . Sedangkan pada batang tekan variasi 3 baut didapatkan nilai kuat tekan sebesar 8,865 kN dengan kalibrasi pada jumlah step yang digunakan yaitu pada step ke-50 dimana pada jumlah step tersebut nilai kuat yang diperoleh sudah stabil, selanjutnya terdapat kalibrasi pada reduksi kekakuannya yang digunakan yaitu pada reduksi kekakuan menjadi  $0.35 \times E$ .

Dari hasil kalibrasi SAP2000 yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa pada batang tekan variasi 3 baut perilaku tekuk tekan yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan batang tekan variasi 1 baut, sehingga jumlah step yang terkalibrasi pada batang tekan variasi 3 baut lebih sedikit dibandingkan jumlah step yang dilakukan pada batang tekan variasi 1 baut. Kemungkinan disebabkan karena tumpuan kedua ujung pada batang tekan variasi 3 baut menggunakan variasi tumpuan jepit – jepit rol, hal ini didukung pula dengan nilai kelangsingan batang tekan variasi baut 3 yang tergolong tekuk inelastic sehingga memiliki perilaku tekuk yang lebih stabil. Kelangsingan batang tekan variasi 3 baut ini juga menyebabkan nilai factor reduksi yang lebih besar karena batang dengan kategori tekuk inelastic merupakan batang tekan yang lebih sulit terjadi tekuk.

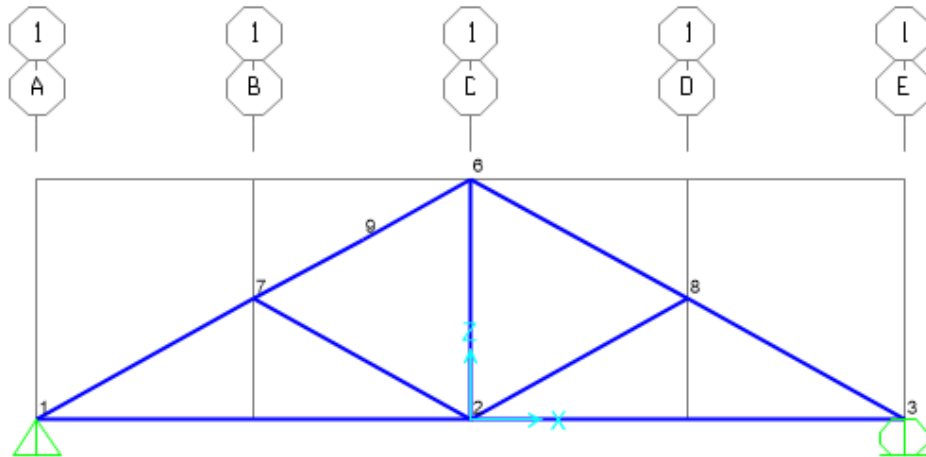
### 5.6 Analisis Kapasitas Rangka Atap Kelangsingan Tinggi dengan Metode DAM SAP2000 Terkalibrasi

Analisis rangka atap dengan DAM dilakukan menggunakan SAP2000. Analisis ini dilakukan bertujuan untuk memprediksi kapasitas tekan rangka atap yang dibentuk dari elemen batang tekan yang telah diuji pada laboratorium. Analisis ini menggunakan Teknik permodelan yang telah terkalibrasi pada sub bab 5.5 diatas yaitu kalibrasi pada jumlah step dan reduksi kekakuan. Adapun analisis dilakukan dapat dilihat dibawah ini.



### 5.6.1 Analisis Rangka Atap Kelangsingan Tinggi Variasi 1 Baut

Analisis DAM Rangka Atap kelangsingan tinggi diaplikasikan dengan menggunakan SAP2000. Adapun pemodelan rangka atap variasi 1 baut yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.33 dibawah ini.



**Gambar 5. 33 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pada SAP2000**

Pada gambar 5.31 diatas tumpuan yang digunakan pada rangka atap variasi 1 baut yaitu sendi-rol. Selanjutnya untuk perhitungan kapasitas tekan rangka atap, pemodelan pembebanan dan reduksi kekauan dapat dilihat dibawah ini.

#### 1. Data Penampang Rangka Atap Variasi 1 Baut

$$L = 2000 \text{ mm}$$

$$H = 1113 \text{ mm}$$

$$b = 14,128 \text{ mm}$$

$$h = 29,142 \text{ mm}$$

$$A_g = 104,6 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3429,3 \text{ mm}^4$$

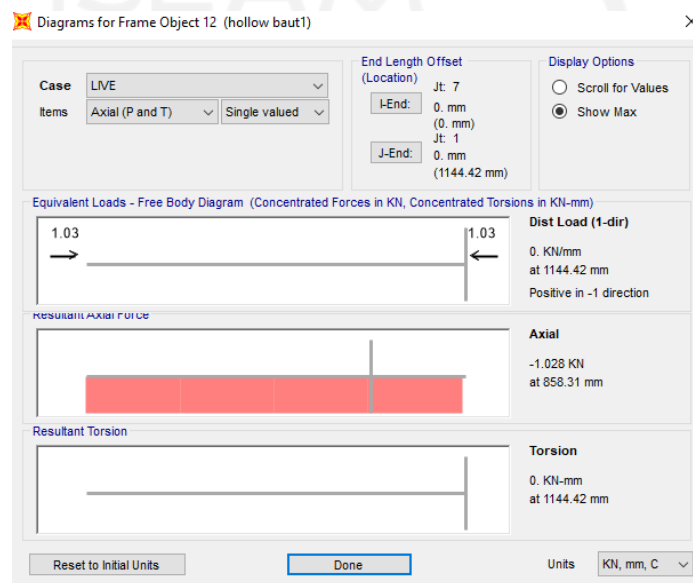
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$$

$$= \sqrt{\frac{3429,3}{104,6}}$$

$$= 5,726 \text{ mm}$$

## 2. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Perhitungan beban yang diberikan pada titik puncak rangka atap dilakukan dengan melakukan perbandingan segitiga. Perbandingan segitiga dilakukan dengan pemberian beban awal sebesar 1 kN pada titik puncak rangka atap. Selanjutnya dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap. Setelah dilakukan *running* SAP2000 didapatkan nilai aksial batang yang dapat dilihat pada Gambar 5.34 dibawah ini.



**Gambar 5. 34 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pembebanan 1kN**

Dari gambar 5.32 diatas diketahui bahwa nilai gaya aksial batang tekan rangka atap variasi 1 baut sebesar 1,028 kN. Selanjutnya nilai yang digunakan untuk dilakukan perbandingan yaitu nilai  $\phi P_n$  yang didapatkan dari kalibrasi SAP2000 pada batang tekan variasi 1 baut sebesar 4,308 kN. Adapun persamaan segitiga yang digunakan yaitu,

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

$$\frac{1 kN}{1,028 kN} = \frac{P}{4,308 kN}$$

$$P = \frac{1 \times 4,308}{1,028}$$

$$P = 4,192 \text{ kN}$$

### 3. Beban Notional ( $N_i$ )

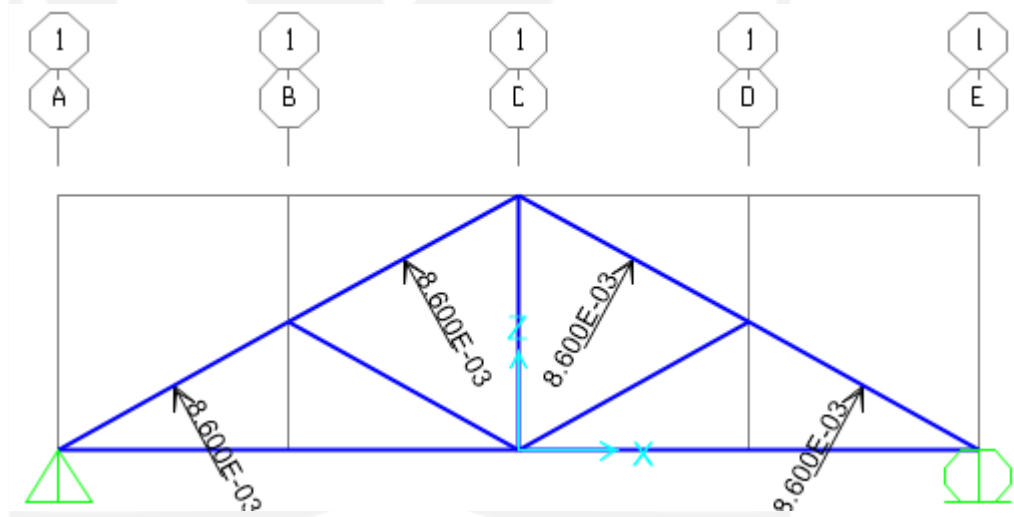
Pada analisis DAM rangka atap dilakukan pemberian beban notional, hal tersebut bertujuan untuk memperhitungkan pengaruh ketidaksempurnaan dari rangka atap akibat adanya cacat bawaan yang dapat menghasilkan efek destabilising. Adapun perhitungan beban notional dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini

$$N_i = 0,002 \times \varphi P_n$$

$$N_i = 0,002 \times 4,308$$

$$N_i = 0,0086 \text{ kN}$$

Adapun letak beban notional yang terdapat pada rangka atap dapat dilihat pada Gambar 5.35 dibawah ini.



**Gambar 5. 35 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut**

### 4. Reduksi Kekakuan

Adanya leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja yang dapat mengakitatnya berkurangnya kekuatan profil baja, maka diperlukan penyesuaian kekakuan profil baja tersebut dengan melakukan reduksi kekakuan sesuai dengan nilai  $EI^-$  terkalibrasi pada analisis rangka atap variasi 1 baut ini. Adapun persamaan yang digunakan yaitu

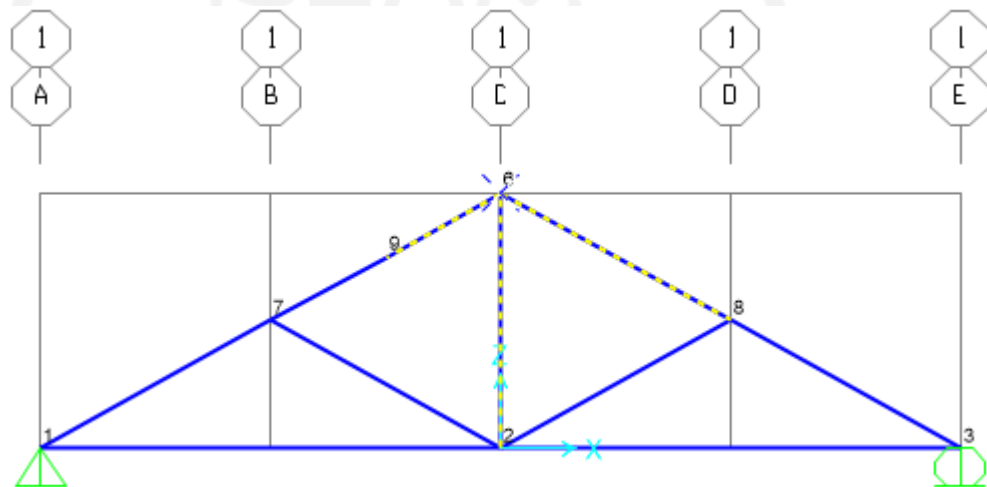
$$EI^- = \varphi \times \tau b \times E$$

$$EI^- = 0,75 \times 1,0 \times 200000$$

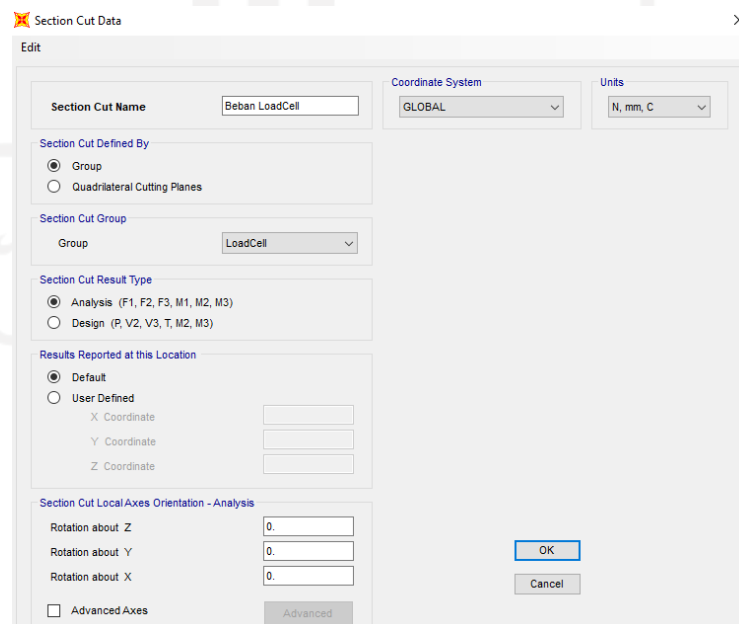
$$EI = 160000 \text{ Nmm}^2$$

#### 5. Pemodelan Section Cut Pada Pembebanan

*Section cut* dilakukan untuk memudahkan mendapatkan kuat tekan pada rangka atap. Pemodelan ini dilakukan dengan melakukan *grouping* terlebih dahulu pada batang tekan dan join yang terdapat pada titik atas rangka atap. Adapun pemodelan *grouping* dan *section cut* pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 dibawah ini



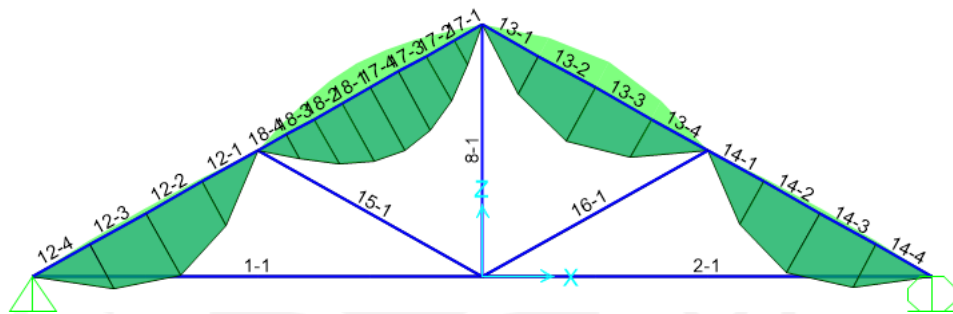
**Gambar 5. 36 Grouping Pembebanan Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut**



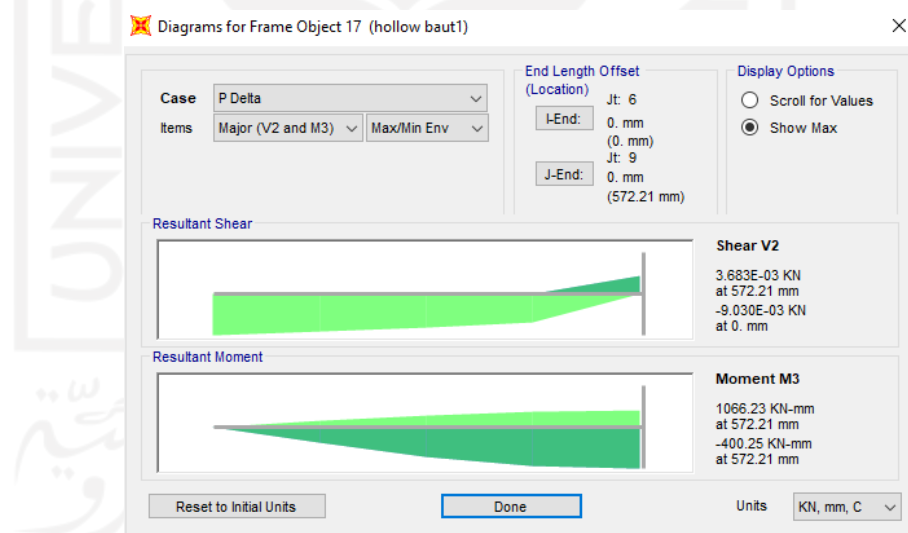
**Gambar 5. 37 Section Cut Data Pembebanan Rangka Atap Variasi 1 Baut**

## 6. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Penentuan batang yang mengalami gagal tekuk dilakukan dengan menampilkan bending momen diagram setelah dilakukan *running* pada SAP2000 dengan case P-Delta. Dengan dilakukan hal tersebut maka dapat terlihat momen terbesar pada batang tekan rangka atap variasi 1 baut. Adapun gambar bending momen diagram hasil *running* SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.38 dibawah ini



**Gambar 5. 38 Bending Momen Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut**

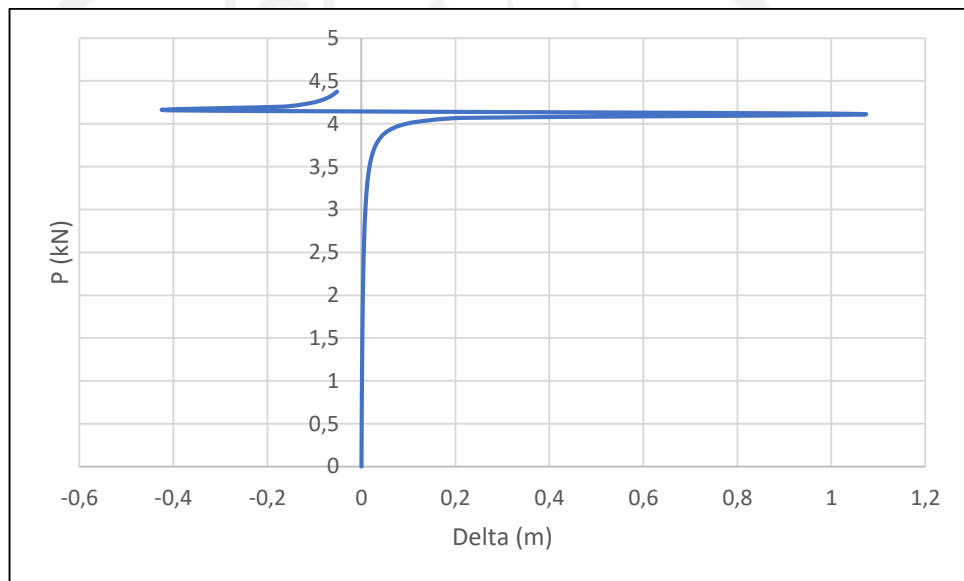


**Gambar 5. 39 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut**

Dari hasil *running* SAP2000 yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan Gambar 5.39 diatas, maka untuk penentuan batang dengan gagal tekuk terbesar dapat dilihat pada nilai momen terbesar yaitu terdapat pada batang tekan 17 pada *station* 572.21 sebesar 1066.23 kNmm.

### 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 572,21. Adapun hasil gambar grafik hubungan P-Delta yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 5.40 dibawah ini



**Gambar 5. 40 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Pada Batang Tekan 17**

Adapun hasil kapasitas tekuk kritis rangka atap variasi 1 baut yang didapatkan yaitu sebesar 4,116 kN.

### 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-82. Adapun data yang telah diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

$$z = 566,839 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 235,6 \text{ MPa}$$

$$P_r = 3,59 \text{ kNm}$$

$$P_c = 4,309 \text{ kNm}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{3,59}{4,309}$$

$$= 0,8332$$

$$M_r = 0,0203 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{0,9 \times 566,84 \times 235,6}{10^6}$$

$$= 0,1202 \text{ kNm}$$

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

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

$$SF = \frac{3,59}{4,309} + \frac{8}{9} \left( \frac{0,0203}{0,1202} \right) \leq 1,0$$

$$SF = 0,9833 \leq 1,0$$

Adapun cara yang diperoleh untuk menentukan kuat penampang pada step ke-82 hingga step ke-90 yaitu sebagai berikut

**Tabel 5. 8 Rekapitulasi Kuat Tekan Penampang Step ke-80 Sampai Step ke-85 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	Pr	Mr	SF
17	0.57221	P Delta	NonStatic	Step	80	3.502	0.0171	0.939173
17	0.57221	P Delta	NonStatic	Step	81	3.546	0.0186	0.960477
17	0.57221	P Delta	NonStatic	Step	82	3.59	0.0203	0.98326
17	0.57221	P Delta	NonStatic	Step	83	3.633	0.0224	1.008769
17	0.57221	P Delta	NonStatic	Step	84	3.677	0.0249	1.037468
17	0.57221	P Delta	NonStatic	Step	85	3.721	0.0278	1.069125

### 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 82). 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. Maka, hasil yang diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada step ke-82 sebesar 4,116 KN Seperti pada table berikut ini.

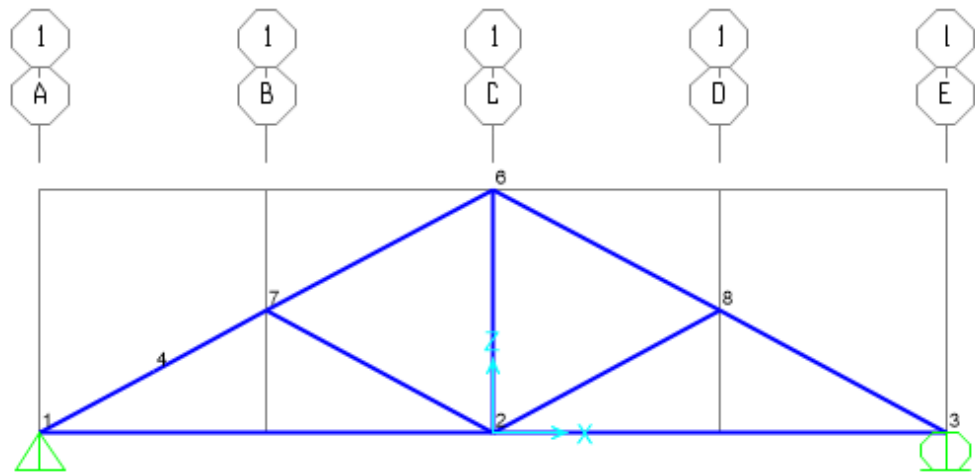
**Tabel 5. 9 Hasil Prediksi Kuat Tekan DAM SAP2000 Pada Titik Puncak Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	F3
Text	Text	Text	Text	Unitless	kN
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	80	4,0156
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	81	4,06579
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	82	4,11598
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	83	4,16618
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	84	4,21638

### 5.6.2 Analisis Rangka Atap Kelangsingan Tinggi Variasi 3 Baut

Analisis DAM rangka atap variasi 3 baut diaplikasikan dengan SAP2000. Adapun pemodelan rangka atap pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.41 dibawah ini





**Gambar 5. 41 Pemodelan Rangka Atap Variasi 3 Baut Pada SAP2000**

Pada Gambar 5.41 diatas dapat diketahui bahwa tumpuan yang digunakan pada rangka atap variasi 3 baut menggunakan tumpuan sendi-rol. Adapun kapasitas tekan rangka atap, pemodelan pembebanan serta reduksi kekakuan dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini

1. Data Penampang Rangka Atap Variasi 3 Baut

$$L = 2000 \text{ mm}$$

$$H = 1028 \text{ mm}$$

$$b = 14,128 \text{ mm}$$

$$h = 29,142 \text{ mm}$$

$$A_g = 104,599 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3429,3 \text{ mm}^4$$

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

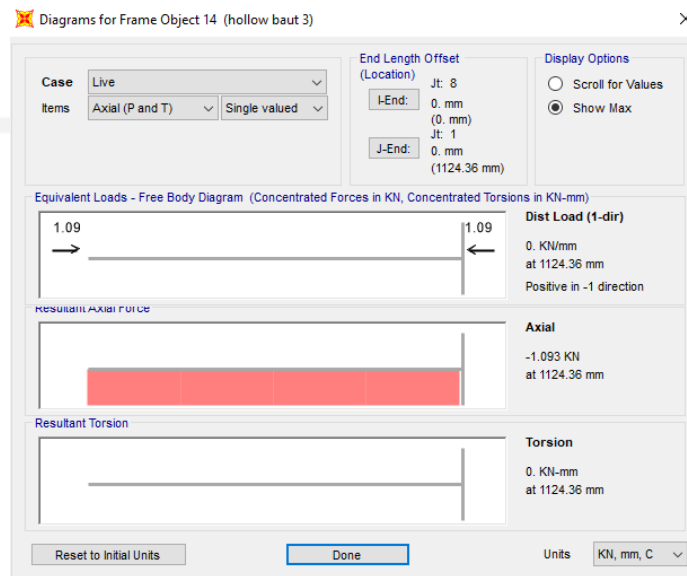
$$= \sqrt{\frac{3429.3}{104.599}}$$

$$= 5,726 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Untuk mendapatkan beban pada titik puncak rangka atap, perhitungan diawali dengan melakukan percobaan pembebanan sebesar 1kN pada titik puncak rangka atap terlebih dahulu. Setelah dimasukan percobaan pembebanan pada titik puncak rangka atap dilakukan *running* pada SAP2000 sehingga akan mendapatkan nilai

gaya aksial pada batang tekan rangka atap tersebut. Adapun nilai gaya aksial pada batang tekan yang didapatkan dari hasil running SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.42 dibawah ini



**Gambar 5. 42 Nilai Gaya Aksial Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut**

Dari Gambar 5.42 diketahui bahwa nilai gaya aksial pada batang tekan rangka atap variasi 3 baut sebesar 1,093 kN. Kemudian nilai  $\phi P_n$  yang didapatkan dari kalibrasi SAP2000 Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut digunakan dalam perhitungan, Adapun nilai  $\phi P_n$  yang diperoleh yaitu 10,068kN. Maka, untuk mendapatkan beban pada titik puncak rangka atap digunakan persamaan segitiga. Adapun perhitungan untuk mendapatkan beban pada titik puncak rangka atap yaitu

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

$$\frac{1}{1,093} = \frac{P}{10,068}$$

$$P = \frac{1 \times 10,068}{1,093}$$

$$P = 9,211 \text{ kN}$$

### 3. Beban Notional ( $N_i$ )

Efek destabilizing dapat timbul akibat adanya pengaruh ketidaksempurnaan profil pada rangka atap akibat adanya cacat bawaan. Pada analisis DAM hal tersebut

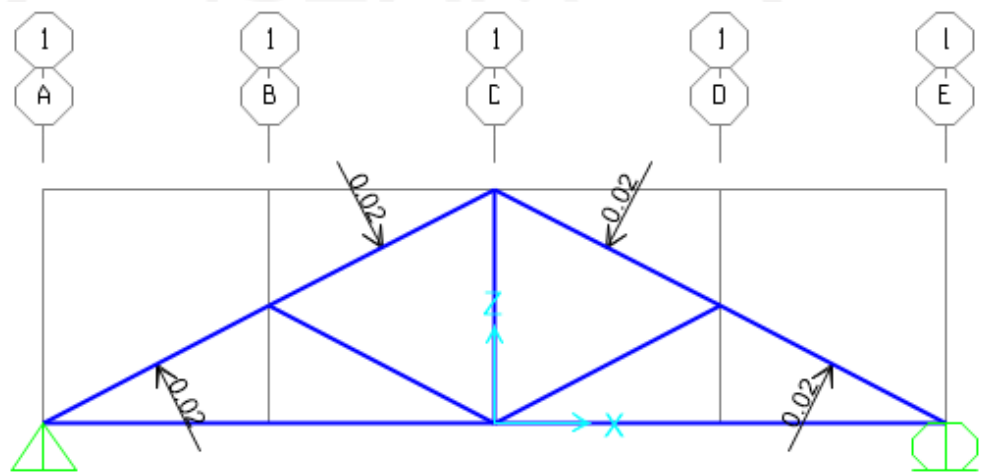
diperhitungkan dengan memasukkannya beban notional ( $N_i$ ). Adapun perhitungan beban notional yaitu

$$N_i = 0,002 \times \varphi P_n$$

$$N_i = 0,002 \times 10,068$$

$$N_i = 0,02014 \text{ kN}$$

Adapun peletakan beban notional pada rangka atap dapat dilihat pada Gambar 5.43 dibawah ini



**Gambar 5. 43 Pemodelan beban Notional Pada Rangka Atap di SAP2000**

#### 4. Reduksi Kekakuan ( $EI$ )

Kekuatan profil baja dapat berkurang akibat adanya leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja tersebut. Maka diperlukan penyesuaian kekakuan profil baja tersebut dengan melakukan reduksi kekakuan sesuai SNI 1729:2020 pada analisis rangka atap 3 baut ini. Adapun persamaan yang digunakan untuk mereduksi kekakuan yaitu

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

$$EI^- = 0,8 \times 1,0 \times 200000$$

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

Alternatif kedua menggunakan nilai  $EI$  terkalibrasi

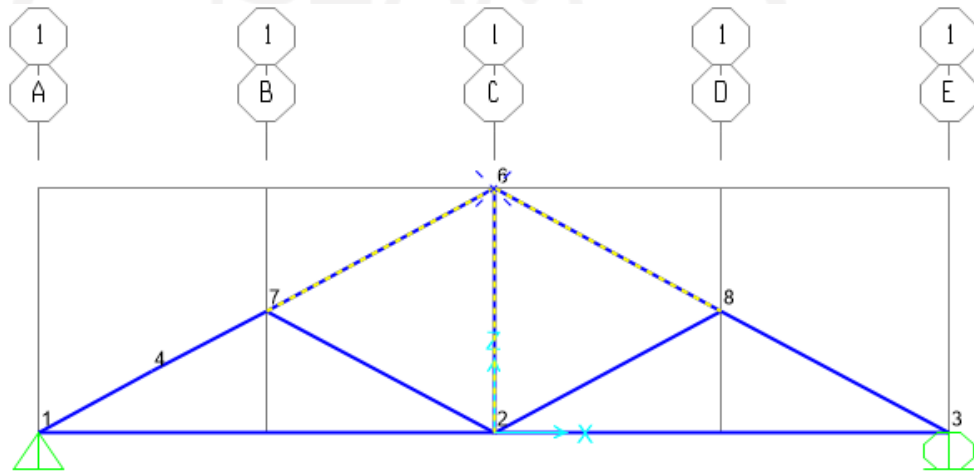
$$EI^- = \varphi \times \tau b \times E$$

$$EI^- = 0,35 \times 1,0 \times 200000$$

$$EI = 70000 \text{ Nmm}^2$$

### 5. Pemodelan *Section Cut* Pada Pembebanan

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 5.44 dan Gambar 5.45 dibawah ini

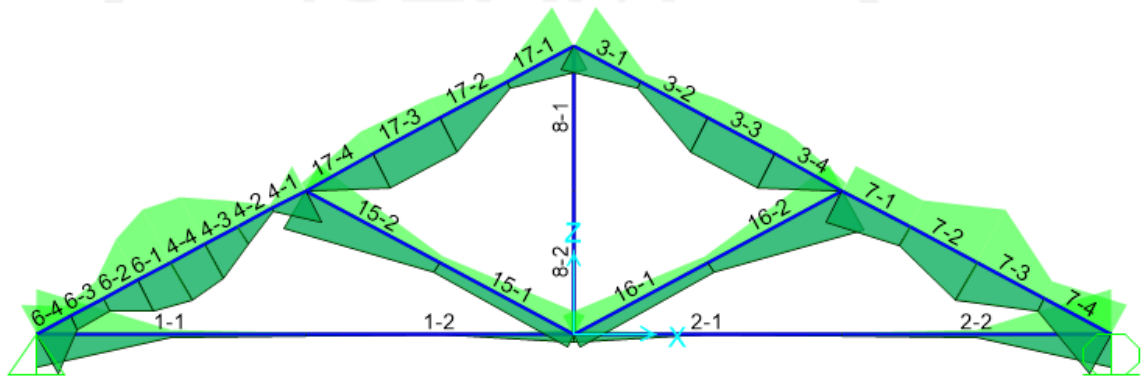


**Gambar 5. 44 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap**

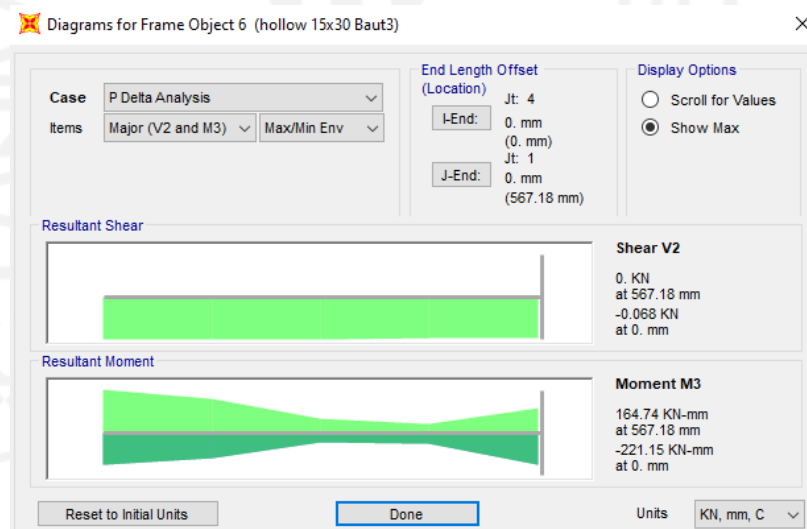
**Gambar 5. 45 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap**

## 6. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Dalam menentukan batang yang mengalami gagal tekuk maka diperlukan *running* SAP2000 untuk melihat bending momen diagram pada case P-Delta. Dengan bending momen diagram dapat diketahui letak momen terbesar pada batang tekan rangka atap variasi 3 baut. Adapun gambar bending momen diagram hasil *running* SAP2000 case P-Delta dapat dilihat pada Gambar 5.46 dibawah ini



**Gambar 5. 46 Bending Momen Diagram Rangka Atap Variasi 3 Baut**

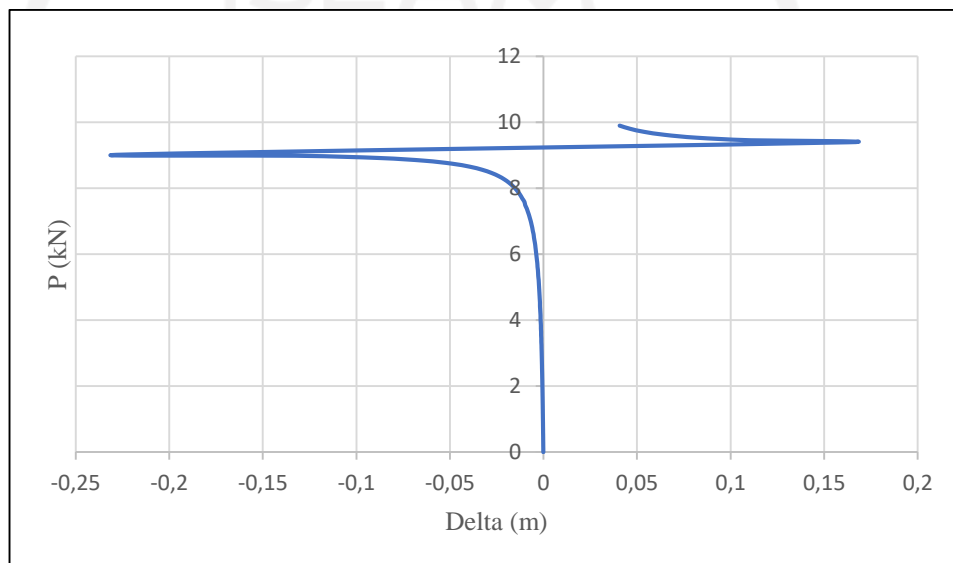


**Gambar 5. 47 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut**

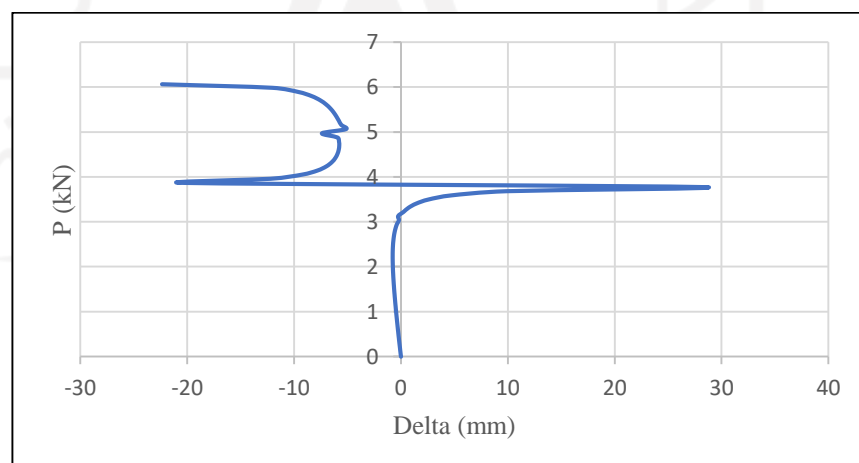
Dari Gambar 5.46 dan Gambar 5.47 diatas dapat diketahui untuk menentukan batang tekan dengan gagal tekuk terbesar dengan melihat nilai momen terbesar yaitu terdapat pada batang tekan 4 pada station 567.18 sebesar 164,74 kNmm

### 7. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah diketahui bahwa batang yang mengalami gagal tekuk terdapat pada batang tekan 4 pada station 567.18 maka selanjutnya dapat mengetahui perilaku tekuk rangka atapnya. Perilaku tekuk rangka atap diketahui dengan melakukan running analisis nonlinear geometri case P-Delta pada SAP2000. Adapun hasil gambar grafik hubungan P-Delta yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 5.48 dan Gambar 5.49 dibawah ini



**Gambar 5. 48 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 dengan Reduksi Kekakuan (0,8 x E)**



**Gambar 5. 49 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 dengan Reduksi Kekakuan (0.35 x E)**

Dari gambar 5.48 diatas diketahui nilai tekuk kritis rangka atap yaitu sebesar 9,026 kN. Adapun dari gambar 5.49 diketahui beban nilai tekuk kritis rangka atap yaitu sebesar 3,776 kN. Dari hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa nilai beban tekuk kritis dengan reduksi kekakuan 0,35 lebih kecil daripada nilai kuat tekan batang aksial yaitu sebesar 9,026 kN maka diputuskan untuk menggunakan factor nilai reduksi sesuai dengan SNI 1729:2020 yaitu sebesar  $0,8 \times EI$ .

#### 8. Kuat Nominal Penampang

Kapasitas nominal penampang struktur dapat diketahui dengan menggunakan analisis kapasitas tekan metode ELM dan dilanjutkan dengan Direct Analysis Method (DAM) yang terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Sehingga terdapat analisis untuk pembatasan pada struktur tersebut. Kemudian untuk mendapatkan nilai *safety factor* sesuai dengan syarat SNI 1729:2020 diperlukan kalibrasi pada jumlah step 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-85. Adapun data yang telah diperoleh yaitu

$$z = 566,839 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 235,6 \text{ MPa}$$

$$P_r = 8,37 \text{ kNm}$$

$$P_c = 10,068 \text{ kNm}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{8.37}{10.068}$$

$$= 0,8313$$

$$M_r = 0,0239 \text{ kNm}$$

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

$$= \frac{0,9 \times 566,839 \times 235,6}{10^6}$$

$$= 0,1202 \text{ kNm}$$

Dari data perhitungan diatas, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *safety factor* pada komponen struktur dengan mengacu SNI 1729:2020 yaitu

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

$$SF = \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$SF = \frac{8.37}{10.068} + \frac{8}{9} \left( \frac{0.0239}{0.1202} \right) \leq 1.0$$

$$SF = 0,998 \leq 1.0$$

Adapun cara yang diperoleh untuk menentukan kuat penampang pada step ke-82 hingga step ke-88 yaitu sebagai berikut

**Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kuat Penampang Step ke-82 sampai step ke-88 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	Pr	Mr	SF
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	82	8,078	0.0165	0.9244
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	83	8,176	0.0185	0.9489
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	84	8,273	0.0209	0.9763
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	85	8,37	0.0239	0.9998
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	86	8,466	0.0277	1.0457
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	87	8,562	- 0.0327	1.0922
4	0.56718	P Delta Analysis	NonStatic	Step	88	8,656	0.0394	1.1511

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 82). 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. Maka, hasil yang diperoleh output beban hasil DAM



SAP2000 dari *section cut loadcell* pada step ke-85 sebesar 7,829 KN Seperti pada table berikut ini.

**Tabel 5. 11 Hasil Prediksi Kuat Tekan DAM SAP2000 Pada Titik Puncak Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	F3
Text	Text	Text	Text	Unitless	kN
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	83	7,645
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	84	7,737
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	85	7,829
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	86	7,921
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	87	8,014

### 5.6.3 Hasil dan Pembahasan Prediksi Kapasitas Rangka Atap Kelangsingan Tinggi Metode DAM

Hasil prediksi kuat tekan rangka atap profil *square hollow section* kelangsingan tinggi yang didapatkan setelah dilakukan analisis yaitu pada rangka atap variasi sambungan 1 baut sebesar 3,59 kN, sedangkan pada rangka atap kelangsingan tinggi variasi sambungan 3 baut didapatkan nilai kuat tekan sebesar 7,829 kN.

Dari hasil yang telah didapatkan diketahui bahwa nilai kuat tekan rangka atap kelangsingan tinggi sambungan 3 baut lebih besar dibandingkan nilai kuat tekan rangka atap kelangsingan tinggi sambungan 1 baut. Hal tersebut dapat terjadi akibat pada permodelan rangka atap kelangsingan tinggi sambungan 3 baut tidak dilakukan *release/partial fixity* dikarenakan pada permodelan rangka atap kelangsingan tinggi sambungan baut 3 terdapat efek penahan momen pada sambungannya.

Jika dikaitkan hasil kalibrasi pemodelan batang tekan SAP2000, pada batang tekan variasi 3 baut merupakan batang inelastic yang memiliki sifat sulit terjadi tekuk. sehingga rangka atap kelangsingan tinggi yang memiliki sambungan 3 baut memiliki batang tekan yang tergolong memiliki sifat sulit untuk menekuk dibandingkan pada batang tekan variasi 1 baut.

Dengan demikian pengaruh jumlah baut pada rangka atap kelangsingan tinggi memiliki pengaruh terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan. serta terdapat efek penahan momen pada sambungannya.



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil SAP2000 yang telah terverifikasi dengan hasil uji lab maka dapat disimpulkan yaitu

1. Cara permodelan SAP2000 batang tekan baut tunggal dengan metode DAM adalah dengan: Pada bagian batang tekan dimodelkan sebagai sendi-rol, Mereduksi kekakuan batang tekan sebesar  $0,75 E$  ( $0,75 \times$  Modulus Elastisitas), memodelkan factor ketidaksempurnaan geometri dengan memberikan beban Notional ( $N_i$ ) sebesar  $0,086\text{kN}$  pada tengah bentang batang tekan. Dan mengkalibrasi jumlah step perhitungan beban aksial sebesar 100 step.
2. Cara permodelan SAP2000 batang tekan baut tiga dengan metode DAM adalah dengan: Pada bagian batang tekan dimodelkan sebagai jepit-jepit rol namun dengan modifikasi pada ujung beban dapat bergerak kearah vertikal, Mereduksi kekakuan batang tekan sebesar  $0,35 E$  ( $0,35 \times$  Modulus Elastisitas), memodelkan factor ketidaksempurnaan geometri dengan memberikan beban Notional ( $N_i$ ) sebesar  $0,0201\text{kN}$  pada tengah bentang batang tekan. Dan mengkalibrasi jumlah step perhitungan beban aksial sebesar 50 step.
3. Pada rangka atap kelangsingan tinggi terdapat pengaruh jumlah baut terhadap cara permodelan batang tekan yaitu terdapat perbedaan permodelan pada tumpuan batang tekan pada batang tekan variasi baut 1 digunakan tumpuan sendi-rol sedangkan pada batang tekan variasi baut 3 digunakan variasi jepit-jepit dengan modifikasi, kemudian terdapat perbedaan mereduksi nilai kekakuan batang tekan pada batang tekan variasi baut 1 dilakukan reduksi sebesar  $0,75 \times E$  sedangkan pada batang tekan variasi baut 3 dilakukan reduksi sebesar  $0,35 \times E$ , dan pada kalibrasi jumlah step perhitungan beban aksial terdapat penurunan pada variasi batang tekan baut 3 menjadi 50 step dari variasi baut 1 sebesar 100 step.

4. Prediksi kuat tekan struktur rangka atap profil *square hollow section* kelangsingan tinggi setelah terverifikasi hasil uji lab hasil permodelan SAP2000 pada variasi baut 1 sebesar 4,116 kN dan variasi baut 3 sebesar 7,829 kN.

## 6.2 Saran

Adapun saran dari penulis yang diperlukan untuk penelitian yang lebih baik adalah sebagai berikut.

1. Pada saat pembelian profil baja untuk bahan pengujian dilakukan *checking* ulang ditempat untuk memastikan profil baja sesuai spesifikasi yang diajukan oleh penjual.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat mencoba menggunakan profil baja dengan variasi yang berbeda.
3. Terdapat penambahan sampel untuk pengujian laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

- AISC.(2010). “An American National Standard ANSI/AISC 360-10 : Load Specification for Structural Steel Buildings”, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois
- 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.
- Dewobroto, W.. 2015. Struktur Baja – Perilaku, Analisis, & Desain – AISC 2010. Lumina Press. Jakarta.
- Sugawa, A. A., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2017). “Evaluasi *Stress Ratio* Dengan Metode Panjang Efektif dan Metode Perencanaan Langsung Pada Portal Gable.” Jurnal Sipil Statik, 5(8).
- Raflesia, 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.
- Simatupang, P. H., Laiskodat, P. A., & Pah, J. J. (2019). “Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja dan Kapasitas Aksial Penampang-nya Menggunakan DAM Pada SAP2000 dan SNI 1729:2015.”

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 : 62/Ka. Prodi/20PSTS/II/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 : Refandi Riadya Amanda  
NIM : 18511022  
Program Studi : Teknik Sipil  
Dosen pembimbing TA : Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.  
Judul Tugas Akhir : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap Square Hollow Section Kelangkaan Tinggi Dengan Pelat Sambung Ganda

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.

Yogyakarta, 24 Februari 2022

Pemohon  
  
Refandi Riadya Amanda  
NIM: 18511022

Mengetahui  
Kepala Program Studi Teknik Sipil  
  
Dr. H. Sa'adah Yuni Astuti, M.T.

Menyetujui  
Koordinator Laboratorium  
  
I. Bambang Sulatono, MSCE

Menyetujui  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir  
  
Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

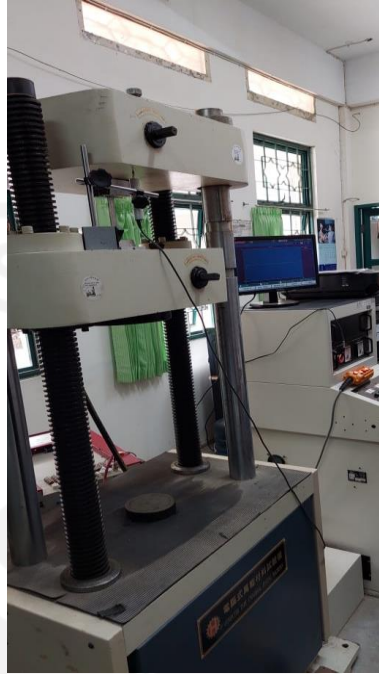
Menyetujui  
Kepala Laboratorium Bahan  
Konstruksi Teknik (BKT)  
  
Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

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

الجامعة الإسلامية  
الاستاذة  
الاستاذة



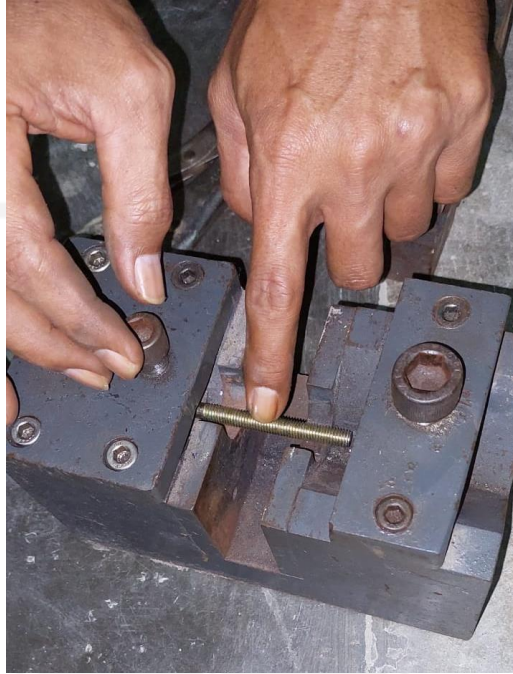
### Lampiran A.2 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja



### Lampiran A.3 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik



#### Lampiran A.4 Persiapan Pengujian Geser Baut

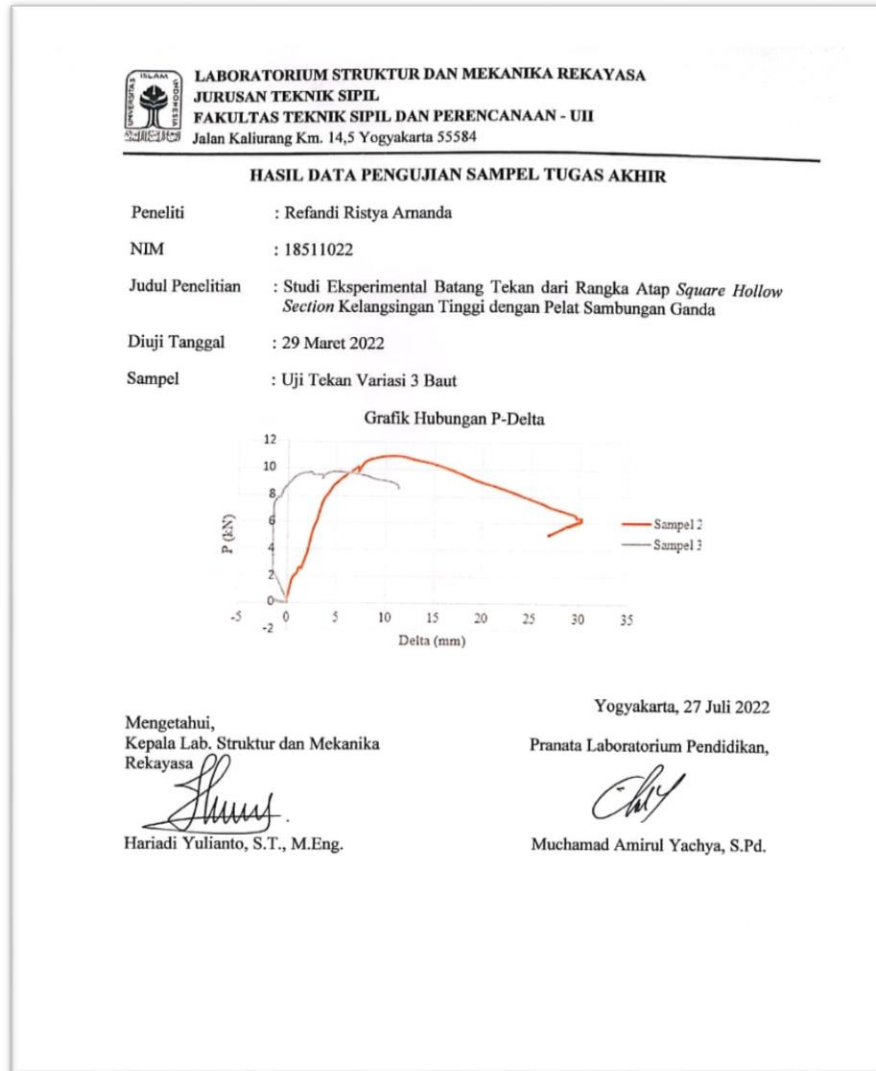


#### Lampiran A.5 Set up Pengujian Tekan Pada Batang Tekan Variasi 1 Baut



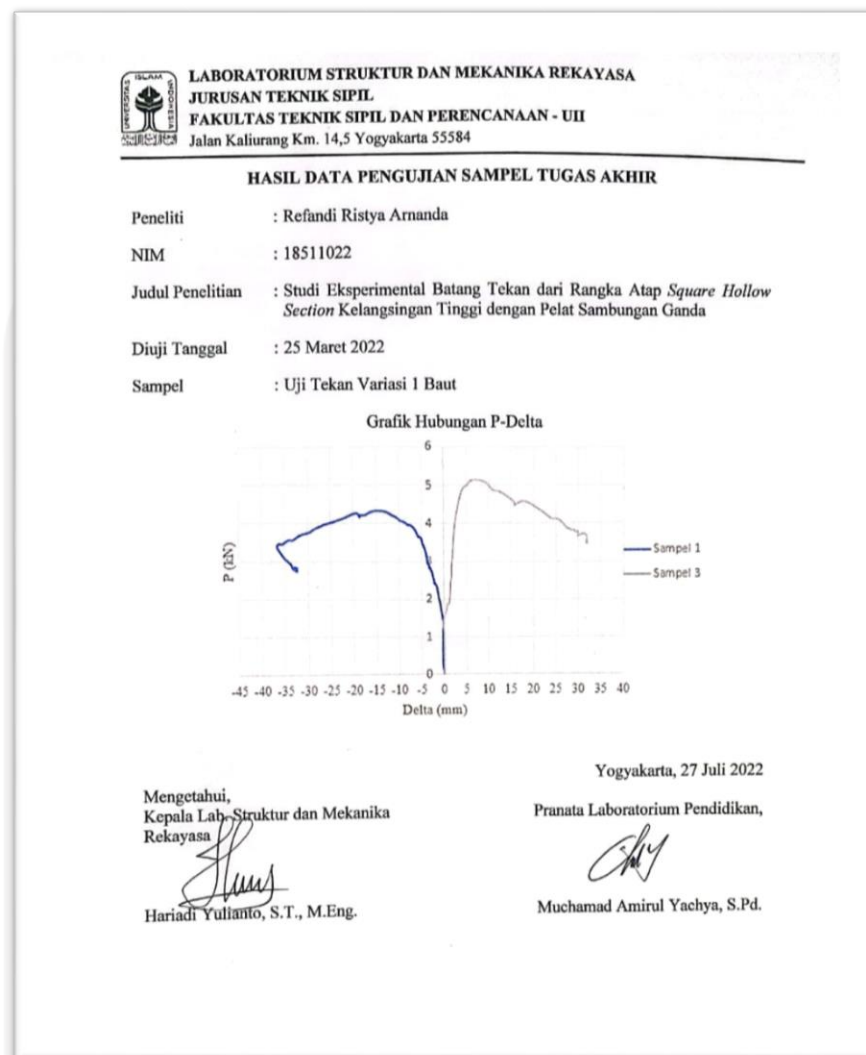
**Lampiran A.6 Set up Pengujian Tekan Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut****Lampiran A.7 Kondisi Batang Tekan Setelah Dilakukan Pengujian Tekan**

## Lampiran B. 1 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 3 Baut



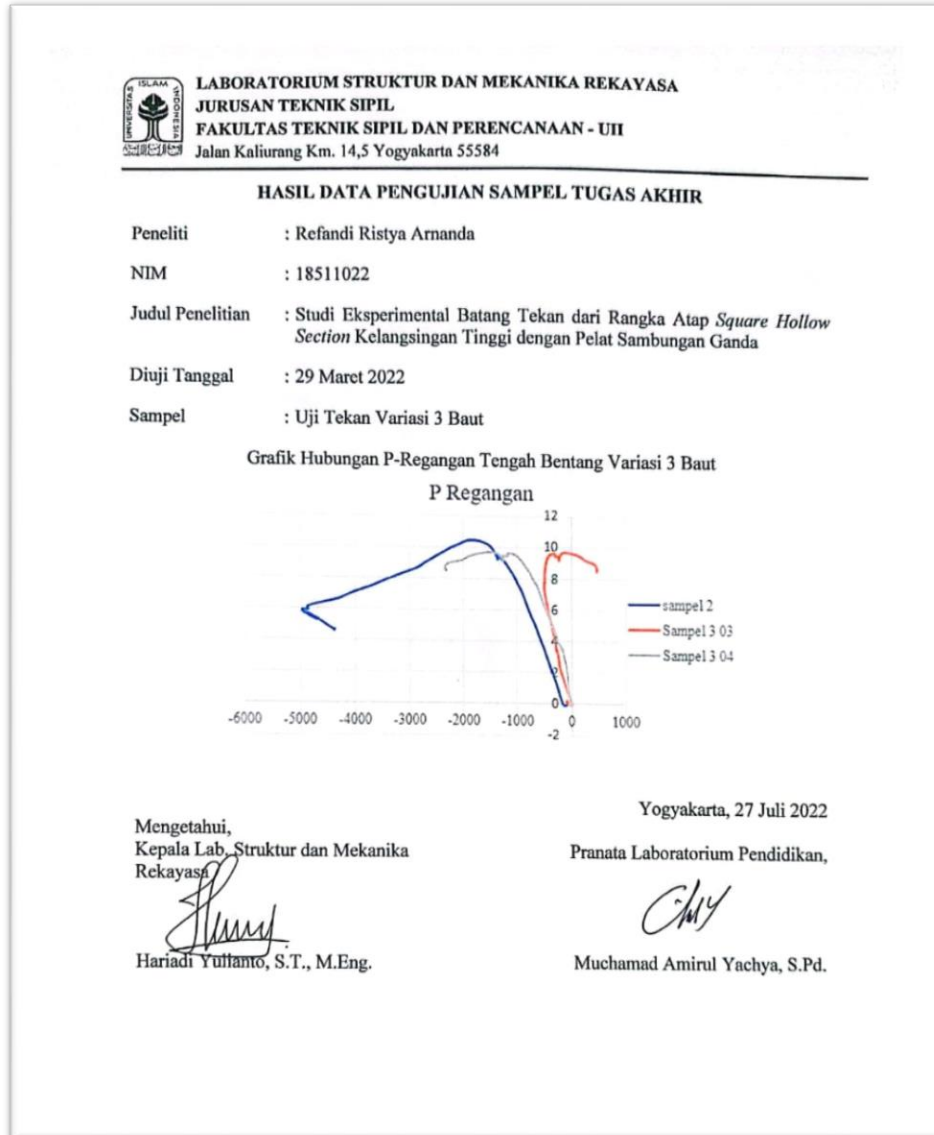
الجامعة الإسلامية  
 الباسطه الاندونه

## Lampiran B. 2 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 1 Baut

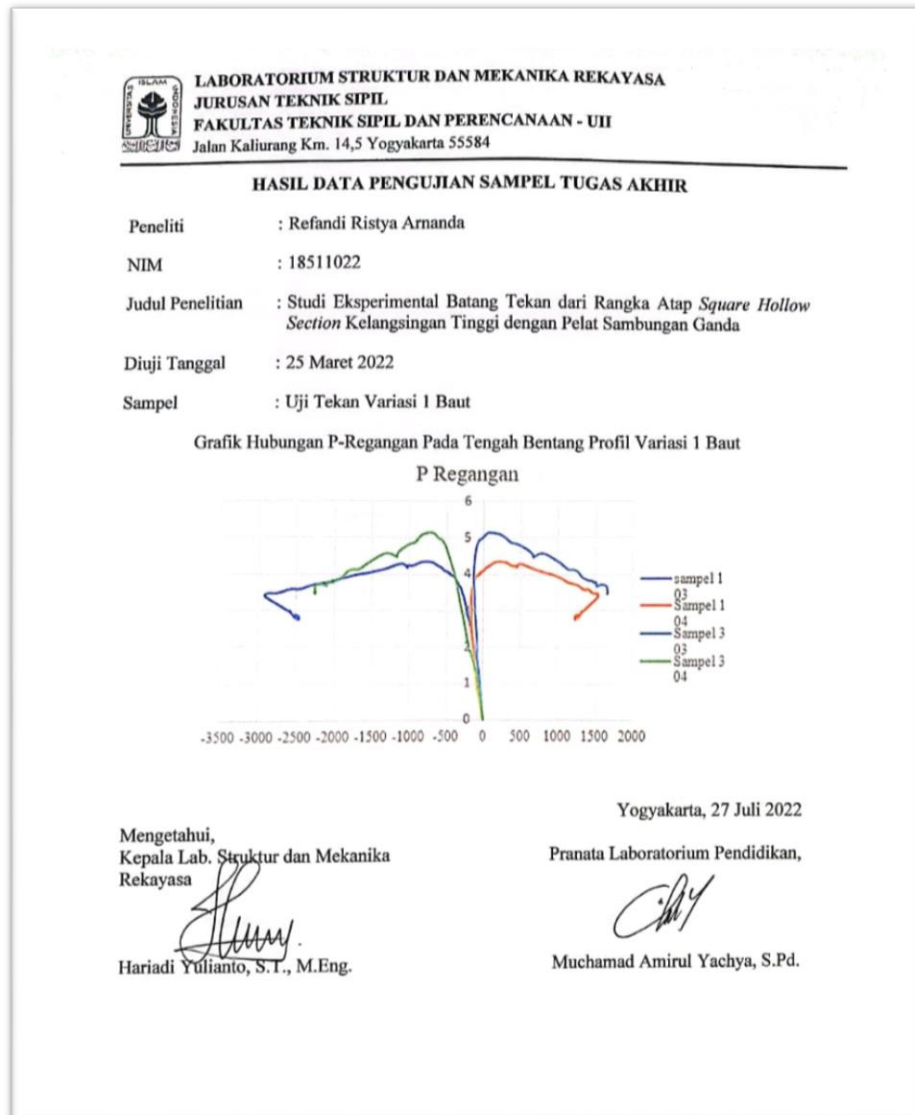


الجامعة الإسلامية  
 الباسط الأندلسي

### Lampiran B. 3 Hasil Grafik P-Regangan Tengah Bentang Data Uji Tekan Variasi 3 Baut



## Lampiran B. 4 Hasil Grafik P-Regangan Tengah Bentang Data Uji Tekan Variasi 3 Baut



**Lampiran B. 5 Hasil Grafik P-Regangan Sambungan**  
**Data Uji Tekan Variasi 1 Baut**

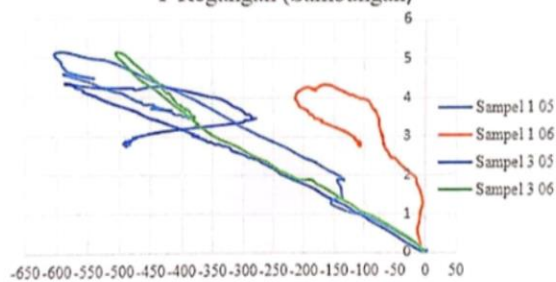


**LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII**  
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

**HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR**

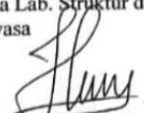
Peneliti : Refandi Ristya Armanda  
 NIM : 18511022  
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi dengan Pelat Sambungan Ganda  
 Diuji Tanggal : 25 Maret 2022  
 Sampel : Uji Tekan Variasi 1 Baut

Grafik Hubungan P-Regangan Pada Sambungan Variasi 1 Baut  
 P Regangan (Sambungan)



Yogyakarta, 27 Juli 2022

Mengetahui,  
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika  
 Rekayasa

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

Pranata Laboratorium Pendidikan,

  
 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.



## Lampiran B. 6 Hasil Grafik P-Regangan Sambungan

### Data Uji Tekan Variasi 3 Baut

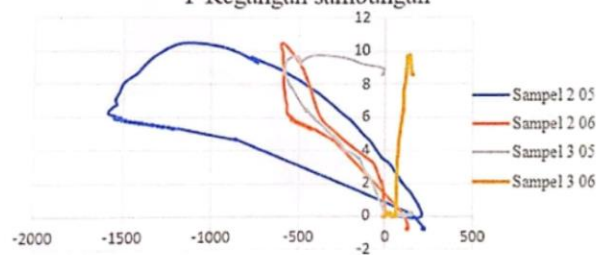


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII  
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

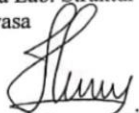
#### HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Refandi Ristya Arnanda  
NIM : 18511022  
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Tinggi dengan Pelat Sambungan Ganda  
Diuji Tanggal : 29 Maret 2022  
Sampel : Uji Tekan Variasi 3 Baut

Grafik Hubungan P-Regangan Pada Sambungan Variasi 3 Baut  
P Regangan sambungan




Mengetahui,  
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika  
Rekayasa

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

Yogyakarta, 27 Juli 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

  
Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

