

## **TUGAS AKHIR**

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

Studi kasus rangka atap kelangsingan sedang dengan variasi jumlah baut sambungan

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

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



**AISYAH AMALIA**  
**18511264**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2022**

## TUGAS AKHIR

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

Studi kasus rangka atap kelangsingan sedang dengan variasi jumlah baut sambungan

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



**AISYAH AMALIA  
18511264**

**Menyetujui:  
Dosen Pembimbing**



**Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.**  
Tanggal : 26 Agustus 2022

## TUGAS AKHIR

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

Studi kasus rangka atap kelangsingan sedang dengan variasi jumlah baut sambungan

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

Disusun oleh

**Aisyah Amalia**

**18511264**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana

Teknik sipil

Diuji pada tanggal  
Oleh Dewan Penguji

Penguji I

Penguji II

Pembimbing



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

**Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.**  
NIK: 185111304

**Malik Mushthofa, ST., 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, 18 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Aisyah Amalia

(18511264)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Analisis Kapasitas Tekan Rangka Atap Hollow Square Section Menggunakan Metode DAM Terverifikasi 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 semangat dari berbagai pihak, 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 dan Ibu Penulis 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, 18 Agustus 2022

Penulis,



Aisyah Amalia

18511264

## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN   | i   |
| HALAMAN PENGESAHAN  | ii  |
| HALAMAN PERNYATAAN  | iii |
| KATA PENGANTAR  | iv  |
| DAFTAR ISI  | v   |
| DAFTAR TABEL  | x   |
| DAFTAR GAMBAR   | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN   | xii |
| ABSTRAK   | xii |
| BAB I 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 Kajian <i>Stress Ratio</i> Pada <i>Direct Analysis Method</i> dan <i>Effective Length Method</i> Sesuai Dengan AISC 2010  | 5   |
| 2.2 Evaluasi <i>Stress Ratio</i> Dengan Metode Panjang Efektif Dan Metode Perencanaan Langsung Pada Portal Gable  | 6   |
| 2.3 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. | 7   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.4 Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja Dan Kapasitas Aksial Penampang-Nya Menggunakan Dam Pada SAP 2000 Dan SNI 1729:2015 | 8         |
| 2.5 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya   | 10        |
| <b>BAB III LANDASAN TEORI</b>  | <b>15</b> |
| 3.1 Struktur Rangka  | 15        |
| 3.2 Sifat Mekanik Baja   | 16        |
| 3.3 <i>Direct Analysis Method</i>  | 21        |
| 3.3.1 Pengaruh orde ke- 2 ( $P\Delta$ & $P-\delta$ )   | 21        |
| 3.3.2 Pengaruh Cacat Bawaan ( <i>Initial Imperfection</i> )  | 22        |
| 3.3.3 Penyesuaian Kekakuan   | 23        |
| 3.3.4 Kemampuan SAP2000 Melakukan Analisis P-Delta   | 24        |
| 3.4 Batang Tekan   | 25        |
| 3.4.1 Kelangsingan   | 26        |
| 3.4.2 Keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui  | 28        |
| 3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk  | 29        |
| 3.5 Kuat Nominal Penampang   | 33        |
| 3.6 Kuat Lentur Profil   | 35        |
| <b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>  | <b>37</b> |
| 4.1 Gambaran Umum  | 37        |
| 4.2 Variabel Penelitian  | 38        |
| 4.3 Teknik Pengumpulan Data  | 38        |
| 4.4 Uji Tarik Material Baja  | 39        |
| 4.4.1 Bahan Uji  | 39        |
| 4.4.2 Alat Uji   | 40        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4.3 <i>Set Up</i> Pengujian   | 41        |
| 4.5 Uji kuat Geser Baut   | 41        |
| 4.5.1 Benda Uji   | 41        |
| 4.5.2 Alat Uji  | 42        |
| 4.5.3 <i>Set Up</i> Pengujian   | 42        |
| 4.6 Uji Kuat Tekan Profil Baja  | 43        |
| 4.6.1 Benda Uji   | 43        |
| 4.6.2 Alat Uji  | 43        |
| 4.6.3 <i>Setup</i> Pengujian  | 46        |
| 4.7 <i>Direct Analysis Method</i> (DAM)   | 46        |
| 4.7.1 Pemodelan Pada Batang Tekan   | 46        |
| 4.7.2 Pemodelan Pada Rangka Atap  | 47        |
| 4.8 Lokasi Penelitian   | 48        |
| 4.9 Tahapan Analisis Data   | 48        |
| 4.10 Tahapan Pembahasan   | 49        |
| 4.11 Tahapan Penarikan Kesimpulan   | 49        |
| 4.12 <i>Flowchart</i> Penelitian  | 49        |
| <b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>   | <b>51</b> |
| 5.1 Uji Kuat Tarik Material Baja  | 51        |
| 5.2 Uji Geser Baut  | 54        |
| 5.3 Uji Kuat Tekan Profil   | 56        |
| 5.3.1 Hubungan Beban-Defleksi (P-delta) Hasil Pengujian                         | 56        |
| 5.4 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan                             | 62        |
| 5.4.1 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Batang Tekan Aksial Variasi 1 Baut | 62        |



|   |     |
|---|-----|
| 5.4.2 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan Batang Tekan Aksial Variasi 3 Baut      | 67  |
| 5.5 <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Pemodelan Batang Tekan SAP2000                            | 70  |
| 5.5.1 <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 1 Baut           | 71  |
| 5.5.2 <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 3 Baut           | 74  |
| 5.5.3 Pembahasan Pengaruh Jumlah Baut Terhadap Pemodelan                                      | 77  |
| 5.6 Analisis Kapasitas Rangka Atap dengan Metode DAM SAP2000 Terverifikasi Jumlah <i>Step</i> | 77  |
| 5.6.1 Analisis Rangka Atap Variasi 1 Baut   | 77  |
| 5.6.2 Analisis Rangka Atap Variasi 3 Baut   | 88  |
| 5.6.3 Pembahasan Hasil Analisis Rangka Atap SAP2000   | 99  |
| BAB VI  | 100 |
| 6.1 Kesimpulan  | 100 |
| 6.2 Saran   | 100 |
| DAFTAR PUSTAKA  | 101 |
| LAMPIRAN  | 102 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan                      | 11 |
| Tabel 2.2 Lanjutan Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan             | 12 |
| Tabel 2.3 Lanjutan Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan             | 13 |
| Tabel 2.4 Lanjutan Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan             | 14 |
| Tabel 3.1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial   | 30 |
| Tabel 3.2 Prosedur desain balok lentur profil kotak   | 35 |
| Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Baja   | 54 |
| Tabel 5.2 Hasil Uji Batang Tekan Sampel Uji 1 Baut  | 56 |
| Tabel 5.3 Hasil Uji Batang Tekan Sampel Uji 3 Baut  | 57 |
| Tabel 5.4 Pengaruh <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Terhadap Nilai Pn Batang Tekan                           | 74 |
| Tabel 5.5 Pengaruh <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Terhadap Nilai Pn Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut       | 76 |
| Tabel 5.6 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang <i>Step</i> 60 sampai 68 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan | 86 |
| Tabel 5.7 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan  | 88 |
| Tabel 5.8 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang <i>Step</i> 55 sampai 60 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan | 97 |
| Tabel 5.9 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan  | 98 |
| Tabel 5.10 Perbandingan hasil kapasitas tekan rangka atap Variasi 1 baut dan 3 baut                         |    |

Tabel 5.11 perbandingan nilai gaya aksial batang tekan rangka atap variasi 1 baut  
dan variasi 3 baut



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3.1 Komponen Penyusun Rangka Atap                           | 16 |
| Gambar 3.2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan                  | 20 |
| Gambar 3.3 Pengaruh Orde ke-2                                      | 22 |
| Gambar 3.4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta                   | 25 |
| Gambar 3.5 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai $KL/r$         | 28 |
| Gambar 3.6 Batang Tekuk  | 31 |
| Gambar 4.1 Variasi Benda Uji Yang Digunakan                        | 38 |
| Gambar 4.2 Benda Uji Kuat Tarik Baja                               | 40 |
| Gambar 4.3 Mesin uji Tarik Universal Testing Machine (UTM)         | 40 |
| Gambar 4.4 Jangka Sorong   | 41 |
| Gambar 4.5 <i>Set Up</i> Pengujian Uji Tarik Material Baja         | 41 |
| Gambar 4.6 <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Depan    | 42 |
| Gambar 4.7 <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Atas     | 43 |
| Gambar 4.8 Gambar Benda Uji Profil <i>Hollow Square Section</i>    | 43 |
| Gambar 4.9 <i>Loading Frame</i>                                    | 44 |
| Gambar 4.10 <i>Hydraulic Jack</i>                                  | 44 |
| Gambar 4.11 <i>Strain Gauge</i>                                    | 45 |
| Gambar 4.12 <i>Linear Variable Differential Transformer (LVDT)</i> | 45 |
| Gambar 4.13 <i>Load Cell</i> Uji Kuat Tekan                        | 46 |
| Gambar 4.14 <i>Setup</i> Pengujian Kuat Tekan Profil Baja          | 46 |
| Gambar 4.15 <i>Flowchart</i> Pemodelan Batang Tekan Pada SAP2000   | 47 |
| Gambar 4.16 Model Rangka Atap Untuk SAP 2000                       | 47 |
| Gambar 4.17 <i>Flowchart</i> Pemodelan Rangka Atap Pada SAP2000    | 48 |
| Gambar 4.18 <i>Flowchart</i> Penelitian                            | 50 |
| Gambar 5.1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja                              | 51 |
| Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1                       | 52 |
| Gambar 5.3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2                       | 52 |
| Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3                       | 53 |
| Gambar 5.5 Offset 0,2%   | 53 |
| Gambar 5.6 Kondisi Baut Sampel 1 Setelah Pengujian                 | 55 |
| Gambar 5.7 Kondisi Baut Sampel 2 Setelah Pengujian                 | 56 |
| Gambar 5.8 Kondisi Baut Sampel 3 Setelah Pengujian                 | 56 |
| Gambar 5.9 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 1 Baut               | 57 |
| Gambar 5.10 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 3 Baut              | 58 |
| Gambar 5.11 Grafik Hubungan P Delta Gabungan                       | 58 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 5.12 Posisi Strain Gauge Pada Uji Batang Tekan Variasi 3 Baut   | 59 |
| Gambar 5.13 Grafik Hubungan P dan Regangan Sampel Uji 3 Baut   | 59 |
| Gambar 5.14 Sampel 4 Variasi 1 Baut Setelah Pengujian  | 60 |
| Gambar 5.15 Sampel 5 Variasi 1 Baut Setelah Pengujian  | 61 |
| Gambar 5.16 Sampel 2 Variasi 3 Baut Setelah Pengujian  | 62 |
| Gambar 5.17 Sampel 3 Variasi 3 Baut Setelah Uji Tekan  | 62 |
| Gambar 5.18 Pemodelan di SAP2000 Beban Notional Pada Batang Tekan  | 65 |
| Gambar 5.19 Gaya Aksial Tekan ( $P_r$ ) Batang Tekan 1 Baut  | 65 |
| Gambar 5.20 Pemodelan Beban Notional Pada Batang Tekan   | 69 |
| Gambar 5.21 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan   | 71 |
| Gambar 5.22 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan   | 72 |
| Gambar 5.23 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan   | 72 |
| Gambar 5.24 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan   | 73 |
| Gambar 5.25 Grafik Hubungan <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Terhadap Nilai $P_n$ Batang Tekan Variasi 1 Baut                             | 73 |
| Gambar 5.26 Grafik Hasil <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Nilai Reduksi Kekakuan  | 74 |
| Gambar 5.27 Grafik Hubungan <i>Trial</i> Jumlah <i>Step</i> Terhadap Nilai Kuat Tekan Batang Tekan Variasi 3 Baut                        | 76 |
| Gambar 5.28 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pada SAP2000  | 78 |
| Gambar 5.29 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pembebanan 1kN   | 79 |
| Gambar 5.30 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut   | 80 |
| Gambar 5.31 <i>Bending Moment Diagram Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,25 \times E \times 0,977$ )          | 81 |
| Gambar 5.32 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,25 \times E \times 0,977$ )            | 81 |
| Gambar 5.33 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,25 \times E \times 0,977$ ) | 82 |
| Gambar 5.34 <i>Bending Moment Diagram Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,7 \times E \times 0,977$ )           | 83 |
| Gambar 5.35 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,7 \times E \times 0,977$ )             | 83 |
| Gambar 5.36 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,7 \times E \times 0,977$ )  | 84 |
| Gambar 5.37 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan                                     | 84 |
| Gambar 5.38 <i>Grouping</i> Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan  | 87 |
| Gambar 5.39 <i>Section Cut</i> Data Beban <i>Loadcell</i> Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan                                      | 87 |
| Gambar 5.40 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 3 Baut Pada SAP2000  | 88 |
| Gambar 5.41 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Pembebanan 1kN   | 89 |
| Gambar 5.42 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut   | 91 |
| Gambar 5.43 <i>Bending Moment Diagram Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan ( $EI=1,05 \times E \times 0,95$ )           | 92 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 5.44 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan (EI=1,05×E×0,95)            | 92 |
| Gambar 5.45 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan (EI=1,05×E×0,95) | 93 |
| Gambar 5.46 <i>Bending Moment Diagram Case</i> P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan (EI=0,5×E×0,7)            | 94 |
| Gambar 5.47 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan (EI=0,5×E×0,7)              | 94 |
| Gambar 5.48 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan                  | 95 |
| Gambar 5.49 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan                  | 95 |
| Gambar 5.50 <i>Grouping</i> Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan                           | 98 |
| Gambar 5.51 <i>Section Cut</i> Data Beban <i>Loadcell</i> Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan                   | 98 |



## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium                               | 102 |
| Lampiran A.2 Surat Izin Pemakaian Laboratorium                               | 103 |
| Lampiran A.3 Setup Pengujian Tarik Pelat Baja                                | 104 |
| Lampiran A.4 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Uji Tarik                  | 104 |
| Lampiran A.5 Persiapan Pengujian Geser Baut                                  | 105 |
| Lampiran A.6 Set up Uji Batang Tekan Variasi 1 Baut Sambungan                | 105 |
| Lampiran A.7 Set up Pengujian Batang Tekan Variasi 3 Baut                    | 106 |
| Lampiran A.8 Kondisi Batang Tekan Setelah Dilakukan Pengujian Tekan          | 106 |
| Lampiran B.1 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 1 Baut              | 107 |
| Lampiran B.2 Hasil Grafik P-Regangan (Sambungan) Batang Tekan Variasi 1 Baut | 108 |
| Lampiran B.3 Hasil Grafik P-Regangan (Sambungan) Batang Tekan Variasi 3 Baut | 109 |



## ABSTRAK

Dewasa ini baja semakin luas digunakan menjadi bahan rangka atap suatu bangunan konstruksi. Dengan luasnya penggunaan baja tersebut, mendorong adanya perkembangan ilmu pengetahuan pada perencanaan desain untuk stabilitas struktur baja, salah satunya adalah metode analisis langsung atau *Direct Analysis Method* (DAM).

DAM tertera sebagai salah satu metode perencanaan struktur baja di Indonesia yang tercantum dalam peraturan konstruksi struktur baja terbaru yaitu SNI 1729:2020, sehingga dirumuskan dalam penelitian ini tentang bagaimana pemodelan batang tekan yang menggunakan metode DAM dengan variasi jumlah baut yang terverifikasi dengan hasil uji laboratorium.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kapasitas tekan rangka atap profil *hollow square section* menggunakan metode DAM terverifikasi jumlah *step* dengan hasil uji batang tekan aksial laboratorium. Penelitian ini menggunakan benda uji profil *hollow square section* yang dimulai dengan melakukan pengujian kuat tarik, uji geser baut, dan uji kuat tekan profil sehingga diperoleh nilai kuat tekan maksimum batang tekan yang akan dijadikan rangka atap. Kemudian menghitung beban notional serta reduksi kekakuan yang dibutuhkan untuk pemodelan metode DAM. Dari analisis yang telah dilakukan didapatkan prediksi nilai kuat tekan struktur rangka atap profil *hollow square section* setelah terverifikasi hasil uji lab hasil pemodelan SAP2000 pada variasi baut 1 sebesar 15,58 KN dan variasi baut 3 sebesar 22,8 KN.

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



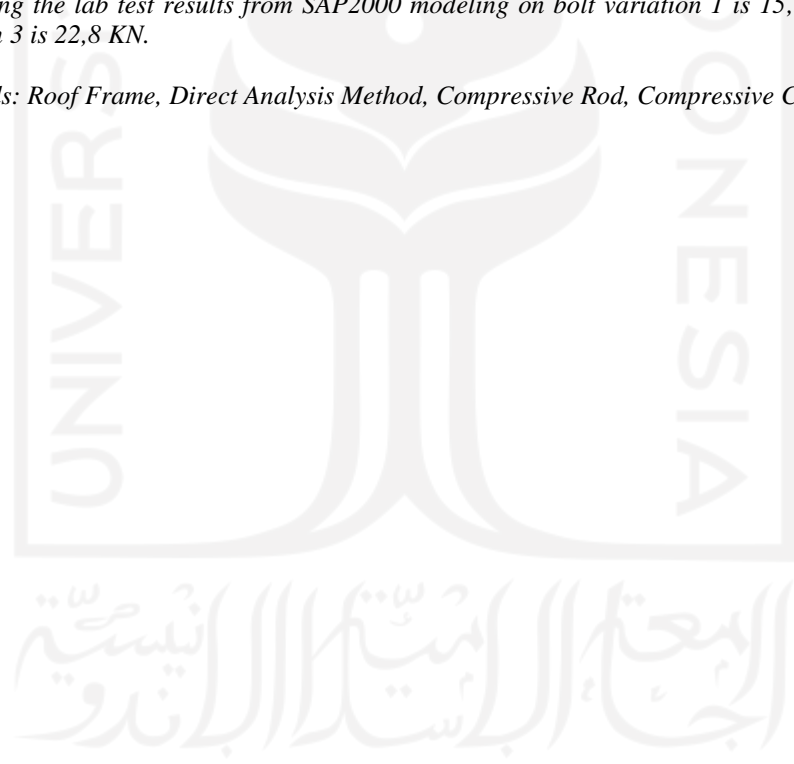
## **ABSTRACT**

Currently, steel is increasingly being used as a roof truss material for a building. With the widespread use of steel, encouraging the development of science in design planning for the stability of steel structures, one of which is the Direct Analysis Method (DAM).

DAM is registered as one of the steel structure planning methods in Indonesia which is listed in the latest steel structure construction regulations, namely SNI 1729:2020, so it is formulated in this study about how to model compression bars using 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 study uses a rectangular hollow cross-sectional profile test object that begins with tensile strength testing, bolt shear test, and profile compressive strength testing in order to obtain the maximum compressive strength value of the compression rod that will be used as a roof truss. Then calculate the notional load and stiffness reduction required for modeling the DAM method. From the analysis that has been carried out, it is obtained that the predictive value of the compressive strength of the roof truss structure with a square hollow cross section after calibrating the lab test results from SAP2000 modeling on bolt variation 1 is 15,58 KN and bolt variation 3 is 22,8 KN.

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



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Rangka suatu konstruksi bangunan dapat terbuat dari beberapa bahan seperti baja, kayu, maupun beton. Pemilihan rangka ditinjau dari beberapa faktor diantaranya adalah faktor kekuatan bahan, kemudahan pemasangan, dan faktor ekonomis.

Sekarang ini baja sering dipilih sebagai bahan rangka atap bangunan, terutama pada bangunan industri dan bangunan bertingkat tinggi. Mengingat baja memiliki sifat-sifat yang lebih menguntungkan seperti dalam hal rasio antara berat sendiri dengan daya dukung beban yang dapat dipikul, yaitu cukup kecil jika dibandingkan dengan struktur bangunan beton. Sifat lainnya adalah struktur baja mempunyai sifat daktil (liat), sehingga mampu mengalami deformasi atau lendutan plastis yang besar setelah batas kekuatan elastisnya terlampaui.

Perencanaan desain untuk stabilitas struktur baja telah berkembang dari metode panjang efektif menjadi metode analisis langsung. Metode panjang efektif memiliki kekurangan pada kecepatan dan ketelitian analisa yang mendekati sifat alami struktur di lapangan. Hal ini terjadi dikarenakan metode panjang efektif tidak memasukkan faktor ketidaksempurnaan geometri dan reduksi kekuatan 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 mengakses stabilitas.

Perencanaan gedung dengan struktur baja harus direncanakan dengan Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung yang terbaru yaitu SNI 1729:2020 yang mengacu kepada *American Institute of Steel Construction* (AISC 2010). Dalam SNI 1729:2020, terdapat metode desain yang baru yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) yang akan digunakan dalam perencanaan stabilitas struktur. DAM direkomendasikan dalam perencanaan stabilitas struktur baja yang memperhitungkan efek orde kedua dengan bantuan perangkat lunak.

Model struktur yang dulunya harus diklasifikasikan menjadi dua kategori dengan nilai K yaitu : Rangka tidak-bergoyang :  $0.5 \leq K \leq 1.0$  dan Rangka Bergoyang :  $1.0 \leq K \leq \infty$  . Terdapat cara manual lain untuk menentukan nilai K, menggunakan *Alignment Chart* sebagai penentu nilai K saat ini tidak efektif lagi karena praktisi harus memplotkan garis secara manual pada chart yang telah disediakan. Dengan adanya *Direct Analysis Method* (DAM) ini terkesan efisien karena 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. Nilai K cukup ditentukan  $K=1$ , tetapi efek P-delta pada perilaku struktur harus diperhitungkan. (Sugawa, 2017)

Pada Tugas Akhir ini penulis akan membandingkan apakah *Direct Analysis Method* (DAM) yang telah menjadi standar nasional untuk perencanaan struktur baja hasilnya serupa dengan hasil yang terjadi di lapangan, sehingga diperlukan uji eksperimental di laboratorium untuk melakukan perbandingan. Adapun bahan uji pada penelitian ini yaitu menggunakan batang tekan HSS (*Hollow Square Section*) kelangsingan sedang. Pada penelitian ini menggunakan variasi 1 baut sambungan untuk mewakili kondisi sendi sempurna dan variasi 3 baut sambungan untuk mewakili kondisi di lapangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dibahas, maka rumusan masalah dalam studi ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana cara Analisis DAM menggunakan SAP2000 dari batang tekan kelangsingan sedang dengan pelat sambung ganda dan 1 baut, yang terverifikasi dengan hasil uji tekan batang aksial laboratorium?
2. Bagaimana cara Analisis DAM menggunakan SAP2000 dari batang tekan kelangsingan sedang dengan pelat sambung ganda dan 3 baut, yang terverifikasi dengan hasil uji tekan batang aksial laboratorium?
3. Bagaimana pengaruh jumlah baut terhadap cara analisis DAM menggunakan SAP2000 dari batang tekan kelangsingan sedang?

4. Berapa prediksi kuat tekan struktur rangka atap *HSS* dengan kelangsingan sedang 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 pemodelan 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 *hollow square section* dengan kelangsingan menengah hasil pemodelan SAP2000

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah dapat memberikan informasi mengenai proses perencanaan *Direct Analysis Method* yang terdapat pada SNI 1729:2020 apakah hasilnya sesuai dan perbedaannya dengan pengujian pada baja di laboratorium. Kemudian dapat mengetahui pengaruh jumlah baut terhadap akurasi *Direct Analysis Method* (DAM) pada batang tekan kelangsingan sedang. Serta penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya khususnya mengenai struktur rangka baja berdasarkan berdasarkan SNI 1729:2020.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Adanya batasan penelitian adalah agar tujuan penelitian ini dapat tercapai dan membatasi pembahasan agar tetap dalam lingkup permasalahan pada penelitian ini. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisa struktur memakai program SAP2000 dan analisis perhitungan manual menggunakan program aplikasi excel

2. Benda uji pada penelitian perbandingan ini berupa batang tekan pada rangka atap *hollow square section*
3. Pengujian material benda uji terdiri dari 3 pengujian yaitu pengujian kuat tarik baja, kuat tekan baja, dan kuat geser baut
4. Terdapat variasi pada benda uji berupa jumlah baut.
5. Pengujian Tarik benda uji sesuai dengan SNI 8389:2017
6. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Kekuatan dan Ketahanan (DFBK)



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian *Stress Ratio* Pada *Direct Analysis Method* dan *Effective Length Method* Sesuai Dengan AISC 2010**

Penelitian ini yang dilakukan Ivanfebraja (2012) bertujuan untuk mengetahui perbandingan dari kedua metode tersebut sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien dalam pembangunan. AISC sudah berulang kali merevisi peraturan dalam hal merencanakan stabilitas. Dapat dilihat pada peraturan AISC 2010 yang telah memindahkan *Effective Length Method* (ELM), sebuah metode yang direkomendasikan dalam SNI 2002, sebagai metode alternatif dalam perencanaan stabilitas struktur dan merekomendasikan *Direct Analysis Method* (DAM) yang telah memperhitungkan efek orde-kedua secara langsung. Sehingga pada tulisan ini akan dibandingkan kedua metode tersebut pada portal bidang 4 lantai dimana perbandingan kedua metode difokuskan pada nilai *stress ratio*.

Pada perhitungan penelitian ini dilakukan perbandingan *stress ratio* pada struktur 2 dimensi portal 4 lantai *unbraced frame* dengan mutu baja yang dipakai adalah BJ41. Analisa struktur untuk ELM memakai metode matriks kekakuan. Dalam analisa struktur dengan metode DAM digunakan persyaratan yang dikeluarkan oleh AISC 2010, yakni menghitung deformasi lentur, geser dan aksial dalam semua komponen struktur maupun sambungannya. Kemudian menghitung pengaruh Orde ke-2 ( $P-\delta$  dan  $P-\Delta$ ).  $P-\delta$  adalah pengaruh pembebanan akibat deformasi elemen (diantara dua nodal) dan  $P-\Delta$  adalah pengaruh pembebanan akibat terjadinya perpindahan titik nodal elemen. Kemudian menghitung semua beban arah gravitasi dan beban lainnya yang mempengaruhi stabilitas suatu struktur. Untuk design menggunakan LRFD, analisa orde ke-2 harus berpedoman pada kombinasi beban metode LRFD.

Hasil dari penelitian ini disimpulkan bahwa :

- a. *Direct Analysis Method* (DAM) merupakan metode yang lebih ekonomis dari segi ukuran profil jika dibandingkan dengan *Effective Length Method* (DAM). Hal ini disebabkan nilai *stress ratio* untuk *Direct Analysis Method* (DAM) lebih kecil daripada *Effective Length Method* (ELM).
- b. Perbedaan *stress ratio* untuk kedua metode bervariasi antara 0,5-28%. Walaupun pada kasus portal 4 lantai ini tidak memperlihatkan status kolom maupun balok yang berbeda, tetapi jika dilakukan desain ulang untuk mencapai nilai *stress ratio* mendekati 1, ada kemungkinan profil yang dinyatakan aman oleh *Direct Analysis Method* (DAM), dinyatakan tidak aman oleh *Effective Length Method* (ELM) maka pada *Effective Length Method* (ELM), profil penampang perlu diperbesar. Maka dari itu, struktur untuk *Effective Length Method* mempunyai penampang yang lebih besar. Dengan hal itu, diperoleh hasil yang sesuai dengan hipotesa dan referensi-referensi, salah satunya yakni cara DAM menghasilkan kapasitas profil yang lebih tinggi (hemat) dibandingkan rancangan kolom cara ELM. (Wiryanto Dewobroto, 2014)

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

Penelitian yang dilakukan oleh Sugawa (2017) ini bertujuan untuk membandingkan hasil *stress ratio* perencanaan dengan Metode panjang efektif dan Metode perencanaan langsung sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien khususnya pada portal gable. Penelitian ini menggunakan Profil pada kolom dan rafter digunakan WF 350x175x7x11 dan WF 400x200x8x13 dengan variasi sudut rafter portal gable yaitu 10 derajat, 15 derajat, 20 derajat, 25 derajat, 35 derajat dan 45 derajat. Interaksi antara rafter dan kolom pada portal gable, sambungan dianggap mampu menahan gaya yang terjadi. Pembebanan sesuai standart SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perencanaan Gedung dan Struktur lain. Pembebanan berupa beban mati, beban hidup dan beban angin. Penelitian ini menggunakan desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Kekuatan dan Ketahanan (DFBK).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan terhadap metode panjang efektif dan metode perencanaan langsung terdapat perbedaan yang signifikan di beberapa model. Perbedaan ini terjadi karena beberapa faktor sebagai berikut.

1. Pemodelan portal gable yang dilakukan dengan variasi sudut rafter memberikan variasi tegangan pada struktur. Variasi ini memberikan pembebanan dan stabilitas struktur yang berbeda-beda yang berdampak pada kekuatan dan sifat mekanis struktur pada level elemen.
2. Pada sudut 10 derajat sampai 15 derajat mengalami beban angin hisap. Sudut 25 sampai 45 mengalami angin hisap dan tekan tetapi angin tekan yang dominan menyebabkan tegangan terbesar.
3. Perhitungan stabilitas yang dilakukan dengan cara lama yaitu metode panjang efektif dan cara baru yang direkomendasikan dengan metode perencanaan langsung terdapat perbedaan. Metode perencanaan langsung menggunakan komputer untuk menghitung efek P-delta sehingga bisa lebih cepat dan memberikan ketelitian yang baik karena proses analisa struktur untuk menghitung P-delta dimodelkan kemudian diiterasi secara langsung di SAP2000 sehingga hasil mendekati kondisi *real* dilapangan.

### **2.3 Studi Perbandingan *Stress ratio* Dengan ELM (*Effective length method*) Dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan *Workshop* Pada Proyek Di Cirebon.**

Penelitian yang dilakukan oleh Eryana dan Hidayat Mughnie (2017) ini dilakukan untuk mengetahui hasil perbandingan nilai *stress ratio* dan untuk mengetahui metode mana yang menghasilkan profil baja yang lebih kecil. Penelitian ini diaplikasikan pada bangunan *workshop* pada proyek di Cirebon dengan detail pengujian ialah profil untuk balok kolom dan rafter yang berupa profil IWF, bangunan 3 dimensi 1 lantai. Dalam perencanaan metode ELM memakai rasio kelangsingan atau K. Rasio kelangsingan diperoleh dari nomogram setelah perhitungan GA dan GB. Metode ELM dan DAM memakai beban notional yang didapat dari 0.002 beban gravitasi yang bekerja. Selanjutnya peneliti mempunyai hipotesis bahwa profil baja yang dihasilkan pada perhitungan metode DAM lebih



kecil daripada metode ELM dan nilai *stress ratio* pada metode DAM lebih kecil daripada metode ELM.

Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut yaitu antara kedua metode DAM dan ELM memiliki nilai *stress ratio* pada profil balok IWF yang sama besar yaitu 0,695. Pada kolom nilai *stress ratio* untuk metode DAM sebesar 0,629 sedangkan pada metode ELM sebesar 0,533. Maka nilai *stress ratio* pada kolom antar kedua metode tersebut memiliki selisih sebesar 9,60%. Lalu rafter nilai *stress ratio* antar kedua metode ini memiliki selisih sebesar 0,90%. Dari hasil analisis tersebut peneliti menyimpulkan bahwa kedua metode tersebut tidak bisa memberikan efisiensi dari penggunaan profil baja atau dimensi karena selisih nilai *stress ratio* tidak terlalu signifikan.

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Nilai *stress ratio* rafter metode ELM lebih kecil daripada metode DAM .
2. Nilai *stress ratio* kolom metode ELM lebih besar daripada metode DAM.
3. Nilai *stress ratio* balok metode ELM sama dengan metode DAM.
4. Penggunaan kedua metode tersebut tidak bisa menyatakan efisiensi dari penggunaan profil baja atau dimensi karena selisih rasio yang tidak terlalu signifikan.

#### **2.4 Hubungan Antara Kelangsingan Kolom Baja Dan Kapasitas Aksial Penampang-Nya Menggunakan Dam Pada SAP 2000 Dan SNI 1729:2015**

Penelitian yang dilakukan oleh Simatupang, P. H (2019) ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas aksial penampang kolom baja dengan menggunakan DAM pada SAP 2000 dan berdasarkan Peraturan SNI 1729:2015. Salah satu metode perencanaan konstruksi struktur baja yang memanfaatkan teknologi adalah *Direct Analysis Method* (DAM) atau metode analisis langsung. Banyak program komputer termasuk SAP 2000 yang telah menerapkan metode ini dalam proses analisisnya. Dalam peraturan konstruksi struktur baja Standar Nasional Indonesia terbaru (SNI 1729:2015) dikonfirmasi bahwa DAM dimasukkan sebagai salah satu metode perencanaan untuk struktur baja. Kemajuan dalam bidang teknologi membuat analisis-analisis struktur menggunakan metode manual yang rumit mulai tergantikan dengan analisis praktis berbasis komputer. Salah satu metode terbaru

dalam perencanaan konstruksi struktur baja adalah *Direct Analysis Method* (DAM) atau metode analisis langsung yang merupakan salah satu metode analisis khusus untuk struktur baja dimana dalam penerapannya khususnya pada kasus kompleks diharuskan menggunakan bantuan computer.

Berdasarkan hasil analisis yang telah maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbandingan hasil perhitungan kapasitas aksial penampang kolom baja berdasarkan SAP 2000 dan SNI 1729:2015 :
  - a. Semakin besar kelangsingan struktur kolom baja maka kapasitas aksial penampang dari struktur kolom baja akan semakin menurun.
  - b. Hasil analisis SAP 2000 dengan cara analisis tekuk elastis menunjukkan hasil yang lebih besar daripada hasil perhitungan SNI 1729:2015 dimana pada profil WF kondisi kelangsingan besar ( $KL/r > 4,71\sqrt{E/fy}$ ) perbandingannya adalah sekitar 126,316% -126,858%.
  - c. Hasil analisis SAP 2000 dibandingkan terhadap SNI 1729:2015 juga menunjukkan hasil yang lebih besar pada profil pipa. Perbandingan yang konstan terdapat pada kondisi kelangsingan besar ( $KL/r > 4,71\sqrt{E/fy}$ ) yaitu sekitar 126,412% – 126,828% sedangkan pada kondisi kelangsingan kecil menunjukkan perbandingan yang jauh lebih besar tergantung mutu baja yang dipakai.
2. Perbandingan efisiensi penggunaan *Direct Analysis Method* (DAM) pada SAP 2000&SNI 1729:2015 dalam menghitung kapasitas aksial penampang kolom :
  - a. Berdasarkan cara pengerjaan, metode analisis tekuk elastis pada SAP 2000 lebih mudah digunakan daripada menggunakan SNI 1729:2015.
  - b. Berdasarkan hasil analisis, SNI 1729:2015 memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan karena membagi kolom untuk kelangsingan besar dan kecil sedangkan cara analisis tekuk elastis pada SAP 2000 menganggap kolom sebagai struktur dengan kelangsingan besar sehingga mutu baja tidak diperhitungkan dalam proses analisis.

## 2.5 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Terdapat perbedaan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Pada penelitian-penelitian sebelumnya membahas mengenai perbandingan antara metode DAM (*Direct Analysis Method*) dengan metode LEM (*Effective length method*) dalam menentukan *stress ratio* dan mengetahui kapasitas aksial penampang kolom baja. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui akurasi metode DAM (*Direct Analysis Method*) pada batang tekan kelangsingan sedang dengan sambungan sendi-sendi, mengetahui pengaruh jumlah baut terhadap akurasi metode DAM (*Direct Analysis Method*) pada batang tekan kelangsingan sedang, dan menganalisis kapasitas rangka atap *Hollow Square Section* kelangsingan sedang dengan pelat sambung ganda menggunakan metode DAM (*Direct Analysis Method*) yang telah diverifikasi dengan uji batang tekan. Ringkasan perbandingan dari penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 sampai 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan

| Peneliti | Ivanfebraja,<br>Daniel Rumbi<br>Teruma (2012)  | Arif Aryadhana<br>Sugawa, Romy<br>Pandalake, Banu<br>Dwi Handono<br>(2017)                                   | Eryana Raflesia,<br>Hidayat Mughnie<br>(2017)  | Simatupang, P. H<br>(2019)   | Aisyah Amalia<br>(2021)  |
|----------|--|--|--|--|--|
| Judul    | Kajian <i>Stress ratio</i> Pada <i>Direct Analysis Method</i> dan <i>Effective Length Method</i> Sesuai dengan AISC 2010 | 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 Penampang-Nya Menggunakan DAM Pada SAP 2000 Dan SNI 1729:2015 | <i>Analisis Kapasitas Tekan Rangka Atap Hollow Square Section Menggunakan Metode DAM Terverifikasi jumlah step Dengan Hasil Uji Batang Tekan Aksial Laboratorium Studi Kasus Rrangka Atap Kelangsingan Sedang dengan Variasi Jumlah Baut Sambungan</i> |

**Tabel 2.2 Lanjutan Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan**

| Peneliti  | Ivanfebraja,<br>Daniel Rumbi<br>Teruma<br>(2012)   | Arif Aryadhana<br>Sugawa, Romy<br>Pandalake, Banu<br>Dwi Handono<br>(2017)  | Eryana Raflesia,<br>Hidayat Mughnie<br>(2017)  | Simatupang, P. H<br>(2019)  | Aisyah Amalia<br>(2021)  |
|-----------|--|---|--|---|--|
| Tujuan    | Untuk memberikan gambaran kepada pembaca tentang kedua metode tersebut sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien dalam pembangunan ruko yang menggunakan profil baja di kota Medan. | Membandingkan hasil <i>stress ratio</i> pada perencanaan Metode Panjang Efektif dan Metode Perencanaan Langsung sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien khususnya pada portal gable. | Mengetahui hasil perbandingan nilai <i>stress ratio</i> dan untuk mengetahui metode mana yang menghasilkan profil baja yang lebih kecil. | Mengetahui kapasitas aksial penampang kolom baja dengan menggunakan DAM pada SAP 2000 dan berdasarkan Peraturan SNI 1729:2015 | Membandingkan hasil pengujian laborototium terhadap analisis SNI 1729-2020 dalam perencanaan struktur rangka atap baja profil kotak dengan batang tekan kelangsingan menengah dan pengaruh jumlah baut pada sambungan struktur rangka atap baja. |
| Parameter | <i>Effective length method, Direct Analysis Method, Stress ratio.</i>  | Metode panjang efektif, Metode perencanaan langsung, <i>stress ratio</i> , stabilitas.  | <i>Effective length method, Direct Analysis Method, Stress ratio</i> , Efisiensi   | <i>Effective length method, axial capacity, Direct Analysis Method, Stress ratio</i>  | Kuat tekan, <i>Direct Analysis Method</i> , rasio kelangsingan menengah.   |

Tabel 2.3 Lanjutan Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan

| Peneliti | Ivanfebraja,<br>Daniel Rumbi<br>Teruma<br>(2012)   | Arif Aryadhana<br>Sugawa, Romy<br>Pandalake, Banu<br>Dwi Handono<br>(2017)   | Eryana Raflesia,<br>Hidayat Mughnie<br>(2017)   | Simatupang, P. H<br>(2019)  | Aisyah Amalia<br>(2021)  |
|----------|--|--|---|---|--|
| Metode   | Dalam penelitian ini dimodelkan struktur kolom berupa perletakan sendi dan perletakan atas berupa sendi dengan d.o.f arah vertikal bebas. Spesimen yang dimodelkan menggunakan profil WF dan pipa . dengan variasi mutu 240 MPa dan 410 MPa. | Benda uji penelitian ini adalah rangka bangunan <i>workshop</i> yang meliputi profil balok IWF 200x150x6x9, rafter dan kolom yang menggunakan profil IWF 369x369x7x11. Benda uji tersebut kemudia didesain dan dianalisis menggunakan software SAP2000 dengan metode ELM dan metode DAM. | Pengujian ini dilakukan dengan aplikasi SAP2000 dengan mendesain portal gable. Pada protal gable terdiri dari pofil WF 350x175x7x11 untuk kolom dan profil WF 400x200x8x13 untuk rafterdengan menggunakan mutu baja $F_y+240$ Mpa. Variasi sudut yang diaplikasikan pada rafter portal gable yaitu 10°, 15°, 25°, 35°, dan 45°. Pada analisis dilakukan pembebanan sesuai dengan standar SNI 1727:2013. | Perbandingan nilai <i>stress ratio</i> dalam perhitungan penetilian ini dilakukan pada struktur 2 dimensi portal 4 lantai <i>unbraced frame</i> dengan mutu baja yang dipakai adalah BJ41. Analisa struktur untuk ELM menggunakan metode matriks kekakuan. Pada analisa struktur dengan metode DAM dimasukkan persyaratan yang dikeluarkan oleh AISC 2010 | Penelitian ini dilakukan dengan eksperimen di laboratorium untuk membandingkan kekuatan rangka baja yang dianalisis dengan <i>Direct Analysis Method</i> (SNI 1729-2020) menggunakan aplikasi SAP2000 terhadap hasil pengujian laboratorium. Sampel uji dalam penelitian ini berupa struktur rangka atap baja <i>hollow</i> dengan kelangsingan (KL/r) batang tekan menengah dengan variasi jumlah baut sambungan. |

Tabel 2.4 Lanjutan Perbedaan Penelitian Yang Sudah Dilakukan Dan Penelitian Yang Akan Dilakukan

| Peneliti | Ivanfebraja, Daniel Rumbi Teruma (2012)  | Arif Aryadhana Sugawa, Romy Pandalake, Banu Dwi Handono (2017)   | Eryana Raflesia, Hidayat Mughnie (2017)   | Simatupang, P. H (2019)   | Aisyah Amalia (2021) |
|----------|--|--|---|---|----------------------|
| Hasil    | <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) merupakan metode yang lebih ekonomis dari segi ukuran profil jika dibandingkan dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM). Hal ini dikarenakan nilai <i>stress ratio</i> untuk <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) lebih kecil daripada <i>Effective Length Method</i> (ELM). Perbedaan <i>stress ratio</i> untuk kedua metode bervariasi antara 0,5-28%. | Perhitungan stabilitas yang dilakukan dengan cara lama yaitu metode panjang efektif dan cara baru yang direkomendasikan dengan metode perencanaan langsung terdapat perbedaan. Metode perencanaan langsung menggunakan komputer untuk menghitung efek P-delta sehingga bisa lebih cepat dan memberikan ketelitian yang baik. karena proses analisa struktur untuk menghitung P-delta dimodelkan kemudian diiterasi secara langsung di SAP2000 sehingga hasil mendekati kondisi <i>real</i> dilapangan. | Pada kolom nilai <i>stress ratio</i> untuk metode DAM sebesar 0,629 sedangkan pada metode ELM sebesar 0,533. Sehingga nilai <i>stress ratio</i> pada kolom antar kedua metode tersebut memiliki selisih sebesar 9,60%. Pada rafter nilai <i>stress ratio</i> antar kedua metode ini memiliki selisih sebesar 0,90%. | Semakin besar kelangsingan struktur kolom baja maka kapasitas aksial penampang dari struktur kolom baja akan semakin menurun. Hasil analisis SAP 2000 dengan cara analisis tekuk elastis menunjukkan hasil yang lebih besar daripada hasil perhitungan SNI 1729:2015 dimana pada profil WF kondisi kelangsingan besar ( $KL/r > 4,71\sqrt{E/fy}$ ) perbandingannya adalah sekitar 126,316% - 126,858%. Hasil analisis SAP 2000 dibandingkan terhadap SNI 1729:2015 juga menunjukkan hasil yang lebih besar pada profil pipa. Perbandingan yang konstan terdapat pada kondisi kelangsingan besar | -                    |

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

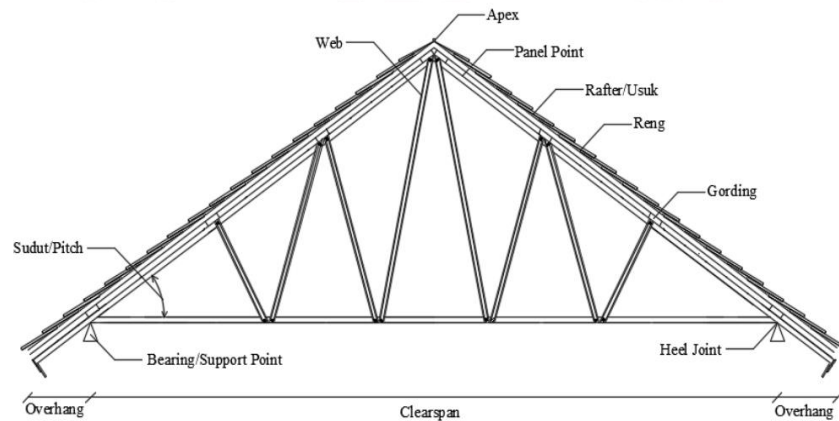
#### **3.1 Struktur Rangka**

Prinsip dari sistem struktur rangka adalah rangka selalu membentuk segitiga atau kombinasi segitiga. Kemudian batang dianggap lurus dan hanya menerima beban aksial berupa gaya tarik atau gaya tekan, yaitu gaya batang yang bekerja sepanjang sumbu. Sedangkan joint adalah penghubung antar tiap batang yang dianggap sebagai sendi, sehingga tidak ada momen yang terjadi pada joint. Beban hanya bekerja pada joint, dalam menerima beban aksial struktur rangka memiliki 2 jenis batang yaitu batang tarik dan batang tekan.

Salah satu aplikasi dari sistem rangka adalah rangka atap. Rangka atap adalah bagian bangunan yang menahan atau mengalirkan beban-beban dari atap. Rangka atap berfungsi menahan beban dari bahan penutup atap sehingga umumnya berupa susunan balok –balok (dari kayu/bambu/baja) secara vertikal dan horizontal – kecuali pada struktur atap dak beton. Berdasarkan posisi inilah maka muncul istilah gording, kasau dan reng. Susunan rangka atap dapat menghasilkan lekukan pada atap (jurai dalam/luar) dan menciptakan bentuk atap tertentu. Kuda-kuda berada dibawah rangka atap, fungsinya untuk menyangga rangka atap. Sebagai pengaku, bagian atas kuda-kuda disangkutkan pada balok bubungan, sementara kedua kakinya dihubungkan dengan kolom struktur untuk mengalirkan beban ke tanah.

Pada umumnya komponen penyusun rangka atap terdiri dari 3 bagian utama yaitu penutup atap. Gording, dan rangka kuda-kuda. Komponen rangka atap juga terdiri dari elemen lain yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut





**Gambar 3.1 Komponen Penyusun Rangka Atap**

### 3.2 Sifat Mekanik Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Baja mempunyai keteguhan yang keras dan ke-liatannya, titik lelehnya  $1460^{\circ}\text{C} - 1520^{\circ}\text{C}$ , berat jenis 7,85 dan angka pemuaiannya sampai 0,000012 tiap  $1^{\circ}\text{C}$ .

Berikut ini merupakan kelebihan dari baja:

1. **Memiliki Kekuatan yang Besar**  
Baja merupakan salah satu bahan bangunan yang sangat kuat. Kekuatan yang tinggi per satuan berat ini membuat potensi beban matinya cukup kecil.
2. **Mempunyai Sifat yang Seragam**  
Baja memiliki sifat yang seragam sesuai dengan standar mutunya. .
3. **Daya Elastisitasnya Bisa Diketahui**  
Momen inersia pada penampang baja bisa diketahui dengan lebih pasti daripada momen inersia pada penampang beton bertulang.
4. **Daya Tahannya Sangat Lama**  
Baja yang dirawat dengan baik akan memiliki usia pakai yang sangat lama.

5. **Memiliki Daktilitas yang Bagus**  
Daktilitas adalah sifat material untuk menahan deformasi yang besar tanpa menyebabkan keruntuhan terhadap beban tarik. Baja yang diuji menggunakan beban tarik akan mengalami pengurangan luas penampang dan perpanjangan sebelum terjadi keruntuhan. langsung hancur apabila dikenai beban kejut.
6. **Bersifat Liat (*Toughness*)**  
Liat (*toughness*) adalah kemampuan material untuk menyerap energi dalam jumlah yang cukup besar. Baja sanggup menahan beban yang memiliki deformasi yang relatif besar baik selama proses pabriksi, pengangkutan, maupun pelaksanaan tanpa menimbulkan kehancuran.
7. **Bisa Digunakan untuk Struktur Tambahan**  
Pekerjaan ini biasanya dilakukan pada pembangunanportal atau pelebaran jembatan.
8. **Kelebihan Lain-lain**  
Di antaranya baja gampang disambung memakai baut, keling, atau las serta cepat dalam proses instalasinya. Baja juga bisa dibentuk dengan mudah sesuai dengan profil yang diinginkan dan memiliki kekuatan yang baik.

Berikut ini adalah kekurangan baja sebagai bahan konstruksi:

1. **Membutuhkan Biaya yang Tinggi**  
Pembangunan gedung menggunakan struktur baja membutuhkan anggaran yang tidak sedikit. Begitu pula dalam hal perawatan dan perlindungannya. Pada dasarnya, baja sangat rentan terhadap udara dan air yang bisa menyebabkan korosi sehingga perlu dicat secara berkala.
2. **Memiliki Kerentanan Terhadap Tekuk**  
Baja sangat rentan mengalami tekuk (*buckling*) karena elemen tekannya bekerja secara langsung.

### 3. Lemah Terhadap Beban Siklis

Sebagai bahan bangunan, baja memiliki kelemahan terhadap beban siklis yang mengenainya. Kekuatan baja lambat laun akan mengalami penurunan secara signifikan apabila dikenai beban tersebut terus-menerus.

### 4. Berisiko Mengalami Keruntuhan Getas

Baja bisa kehilangan sifat daktilitasnya pada kondisi tertentu. Hal ini bisa menyebabkan timbulnya keruntuhan di suatu tempat yang memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi.

Sifat mekanik dari suatu material adalah kemampuan bahan-bahan tersebut untuk memberikan perlawanan ketika diberi beban pada bahan tersebut. Atau dapat kita katakan adalah sifat mekanik bahan dalam kekuatan untuk menanggung beban yang datang dari luar. Adanya beban pada elemen struktur selalu menyebabkan terjadinya perubahan dimensional pada elemen struktur tersebut. Struktur tersebut mengalami perubahan ukuran atau bentuk atau kedua-duanya. Pada sebagian besar jenis material baja, perubahan dimensional yang terjadi dapat secara kasar dikelompokkan kedalam dua jenis, yaitu:

- Deformasi Elastis Apabila elemen struktur mula-mula dibebani, maka deformasi yang terjadi masih berada dalam daerah elastis. Dalam daerah ini elemen struktur tersebut masih dapat kembali pada keadaan semula apabila bebannya dihilangkan (seperti perilaku pegas). Deformasi dalam daerah elastis sangat tergantung pada besar taraf tegangan yang terjadi pada elemen struktur.
- Deformasi Plastis Apabila bebannya bertambah terus, maka akan terjadi deformasi yang termasuk kedalam daerah plastis. Hal ini terjadi apabila tegangan pada material sedemikian besarnya, sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan permanen didalam struktur internal material. Apabila perubahan internal material ini terjadi, maka keadaan semula tidak dapat tercapai meskipun beban dihilangkan. Taraf beban atau tegangan yang diasosiasikan dengan daerah plastis selalu lebih besar daripada daerah elastis.

Elastisitas

Cara utama dalam menjelaskan perubahan ukuran dan bentuk adalah dengan menggunakan konsep regangan ( $\epsilon$ ) diagram hubungan tegangan regangan

Dari pengujian tarik pada akan diperoleh tegangan dan regangan yang dapat dihitung dengan rumus.

Tegangan adalah besarnya gaya yang bekerja tiap satu satuan luas penampang. Tegangan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.

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

Keterangan

$\sigma$  = Tegangan (Mpa)

P = Beban/Gaya aksial (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Regangan adalah perubahan pada ukuran benda karena gaya dalam keseimbangan dibandingkan dengan ukuran semula. Regangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.2.

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

Keterangan:

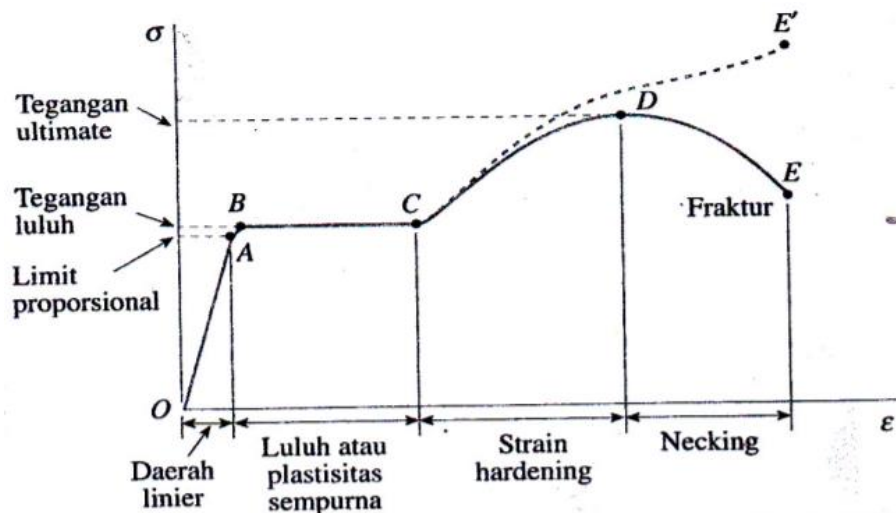
$\epsilon$  = regangan

$\Delta L$  = Pertambahan panjang

L = Panjang akhir (mm)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

Hubungan antara tegangan dan regangan terdapat pada diagram tegangan dan regangan. Diagram ini memberikan informasi mengenai karakteristik dan jenis perilaku dari suatu bahan. Diagram hubungan tegangan dan regangan ditunjukkan pada gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan**

Berdasarkan diagram di atas hubungan tegangan dan regangan dimulai dari garis lurus dari pusat sumbu 0 ke titik A, yang berarti hubungan antara tegangan dan regangan pada daerah ini linier dan proporsional, dimana titik A tegangan maksimum, tidak terjadi perubahan bentuk ketika beban diberikan disebut batas elastis, tegangan di A disebut limit proporsional, dan OA disebut daerah elastis. Dengan meningkatnya tegangan hingga melewati limit proporsional, maka regangan mulai meningkat secara lebih cepat untuk setiap pertambahan tegangan. Dengan demikian kurva tegangan-regangan memiliki kemiringan yang berangsur-angsur semakin kecil sampai pada titik B kurva tersebut menjadi horisontal. Mulai dari titik B terjadi perpanjangan yang cukup besar pada benda uji tanpa adanya pertambahan gaya tarik (dari B ke C), fenomena ini disebut luluh dari bahan, dan titik B disebut titik luluh. Di daerah antara B dan C, bahan menjadi plastis sempurna, yang berarti bahwa bahan terdeformasi tanpa adanya pertambahan beban. Sesudah mengalami regangan besar yang terjadi selama peluluhan di daerah BC, baja mulai mengalami pengerasan regang (strain hardening). Perpanjangan benda di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga diagram tegangan-regangan mempunyai kemiringan positif dari C ke D, dan beban pada akhirnya mencapai harga maksimum, dan tegangan di titik D disebut tegangan ultimit. Penarikan batang lebih lanjut akan disertai dengan pengurangan beban dan akhirnya terjadi putus atau patah di suatu titik yaitu pada titik E.

### 3.3 *Direct Analysis Method*

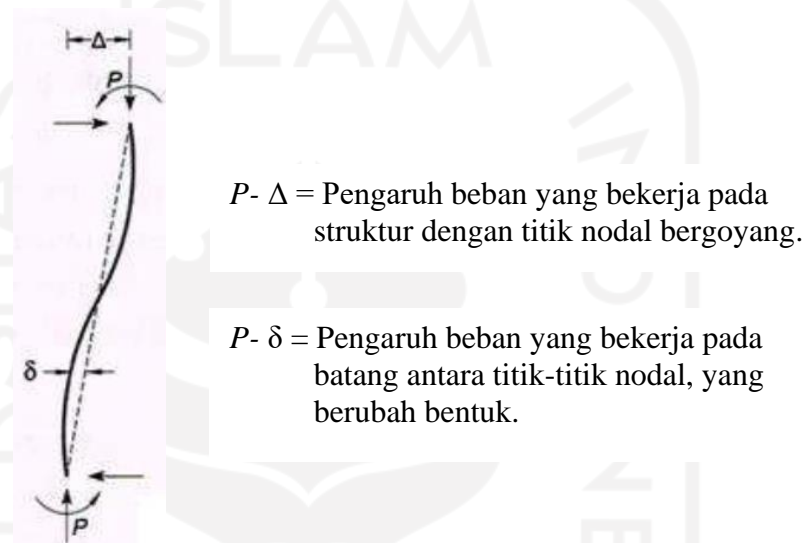
Perencanaan struktur baja yang umumnya langsing, memerlukan analisis stabilitas. Hasilnya dipengaruhi oleh adanya *imperfection* (nonlinier geometri) dan kondisi inelastis (nonlinier material). Oleh sebab non-linier, analisisnya dikerjakan secara incremental dan iterasi. DAM dibutuhkan untuk mengatasi keterbatasan analisa struktur elastik, yang tidak bisa mengakses stabilitas. Dengan DAM pengaruh pembebanan struktur dapat dicari melalui perhitungan pengaruh *imperfection* (nonlinier geometri) dan inelastis (nonlinier material) yang terjadi. Metode perancangan struktur baja yang dipakai saat ini yaitu *Effective length method*, didasarkan analisa struktur elastik-linier. Pemakaiannya terbatas pada struktur yang rasio pembesaran momen akibat perpindahan titik nodal,  $\Delta 2^{nd} order / \Delta 1^{st} order \leq 1.5$  (AISC 2005). Apabila melebihi batasan tersebut berarti struktur relatif sangat langsing, dimana pengaruh non-linier geometri akan menjadi signifikan. Sedangkan tidak ada pembatasan dalam cara DAM, sehingga cocok digunakan untuk perancangan struktur baja modern, yang pada umumnya langsing akibat proses optimasi atau menyesuaikan dengan estetika bangunan.

*Direct Analysis Method* (DAM) diciptakan untuk mengatasi keterbatasan *Effective Length Method* (ELM) yang merupakan strategi penyederhanaan analisis cara manual. Akurasi DAM dapat diandalkan karena memakai komputer, dan mempersyaratkan program analisis struktur yang dipakai, seperti Mampu memperhitungkan deformasi komponen-komponen struktur dan sambungannya yang mempengaruhi deformasi struktur keseluruhan. Deformasi komponen yang dimaksud berupa deformasi akibat lentur, aksial dan geser. Persyaratan ini cukup mudah, hampir sebagian besar program komputer analisa struktur berbasis metoda matrik kekakuan, apalagi 'metoda elemen hingga' yang merupakan algoritma dasar analisa struktur berbasis komputer sudah memasukkan pengaruh deformasi pada elemen formulasinya (Dewobroto 2013).

#### 3.3.1 Pengaruh orde ke- 2 ( $P\Delta$ & $P-\delta$ )

Perlu diperhitungkan dalam mencari gaya-gaya internal batang. Umumnya program komersil bisa melakukan analisa struktur orde ke-2, meskipun kadangkala hasilnya bisa berbeda satu dengan lainnya. Oleh sebab itu perlu verifikasi terhadap

kemampuan program yang dipakai. Ketidak-sempurnaan terjadi ketika program ternyata hanya mampu memperhitungkan pengaruh  $P-\Delta$  saja, tetapi tidak  $P-\delta$ . Adapun yang dimaksud  $P-\Delta$  adalah pengaruh pembebanan akibat terjadinya perpindahan titik-titik nodal elemen, sedangkan  $P-\delta$  adalah pengaruh pembebanan akibat deformasi di elemen (diantara dua titik nodal), seperti terlihat pada Gambar 3.3 di bawah.



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

### 3.3.2 Pengaruh Cacat Bawaan (*Initial Imperfection*)

Mengacu prinsip bahwa perhitungan gaya-gaya batang diperoleh dari analisa struktur elastis orde-2, yang memenuhi kondisi keseimbangan setelah pembebanan, yaitu setelah deformasi pada perhitungan stabilitas struktur modern. Ketidak-sempurnaan atau cacat dari elemen struktur, seperti ketidak-lurusan batang akibat proses fabrikasi atau konsekuensi adanya toleransi pelaksanaan lapangan, akan menghasilkan apa yang disebut efek *destabilizing*. Beban notional adalah beban lateral yang diberikan pada titik nodal di semua level, berdasarkan prosentasi beban vertikal yang bekerja di level tersebut, dan diberikan pada sistem struktur penahan beban gravitasi melalui rangka atau kolom vertikal, atau dinding, sebagai simulasi pengaruh adanya cacat bawaan (*initial imperfection*). Beban notional harus ditambahkan bersama-sama beban lateral lain, juga pada semua kombinasi, kecuali

kasus tertentu yang memenuhi kriteria pada *Section 2.2b(4)* (AISC 2010). Besarnya beban notional yang didapatkan dari AISC 2010 adalah

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

Keterangan:

$N_i$  = beban notional di level  $i$

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

Sehingga penempatan notional *load* diatur sedemikian rupa agar jangsan sampai hasil akhir kombinasinya akan lebih ringan.

### 3.3.3 Penyesuaian Kekakuan

Terjadinya leleh setempat (*partial yielding*) akibat tegangan sisa pada profil baja (*hot rolled atau welded*) akan mengakibatkan pelemahan kekuatan saat mendekati kondisi batasnya. Kondisi tersebut pada akhirnya menciptakan efek *destabilizing* seperti yang terjadi karena adanya *geometry imperfection*. Kondisi tersebut pada *Direct Analysis Method* (DAM) akan diatasi dengan penyesuaian kekakuan struktur, yaitu memberikan faktor reduksi kekakuan. Nilainya diperoleh dengan cara *trial* jumlah *step* dengan membanding-kannya dengan analisa distribusi plastisitas maupun hasil uji tes empiris (Galambos 1998).

Rumus modulus elastisitas setelah disesuaikan faktor reduksi kekakuan :

$$EI^* = 0.8 E I \tau_b \quad (3.4)$$

Keterangan:

$\tau_b$  = Kekakuan lentur

$EI^*$  = Modulus elastisitas setelah reduksi

$EI$  = modulus elastisitas

Faktor  $\tau_b$  mirip dengan reduksi kekakuan inelastis kolom akibat hilangnya kekakuan batang.



Jika gaya tekannya besar,  $P_r > 0.5 P_y$  maka persamaan yang digunakan adalah:

$$\tau b = 4 \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \frac{P_r}{P_y}\right) \quad (3.5)$$

Keterangan:

$P_r$  = Gaya tekan hasil perlu kombinasi LRFD

$P_y$  = Kuat tekuk lentur

Penggunaan reduksi kekakuan hanya berlaku untuk memperhitungkan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja, dan tidak digunakan pada perhitungan *drift* (pergeseran), lendutan, vibrasi dan penentuan periode getar.

### 3.3.4 Kemampuan SAP2000 Melakukan Analisis P-Delta

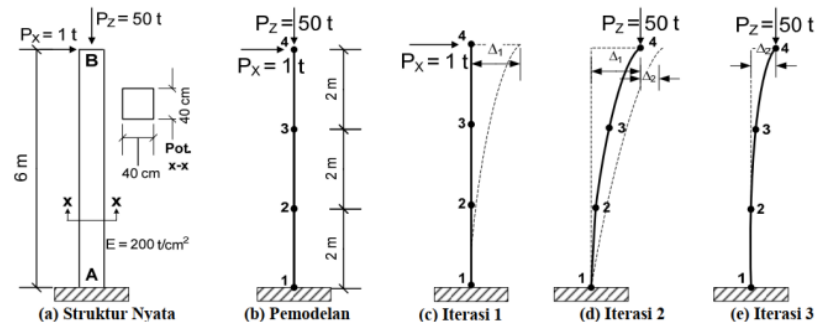
Elemen *frame* pada SAP2000 telah memasukkan formulasi untuk analisis P-Delta. Jika diaktifkan, *software* akan memperhitungkan pengaruh beban aksial yang besar terhadap perilaku momen lentur transversal. Gaya aksial tekan akan mengurangi kekakuan lentur (momen bertambah), sedangkan gaya aksial tarik akan memperkaku (momen berkurang).

Meskipun Analisis P-Delta dapat dikategorikan sebagai analisis non-linier geometri, namun oleh software SAP2000 belum memperhitungkan efek lendutan yang besar. Beberapa asumsi & keterbatasan Analisis P-Delta dalam *software* SAP2000 antara lain:

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

SAP2000 mampu melakukan analisis P-Delta dengan 2 cara, yang pertama adalah dengan memberikan kombinasi gaya statik yang dihitung oleh komputer secara iterasi, yang kedua adalah dengan cara menetapkan secara langsung

(otomatis) gaya aksial pada elemen *frame* melalui menu *Assign* → *Frame* → *P-Delta Forces*.



**Gambar 3.4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta**

### 3.4 Batang Tekan

Pada komponen struktur yang memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial saja, maka diperlukan batang tekan. Umumnya pasti terdapat eksentrisitas, oleh ketidak-lurusan batang, atau oleh ketidak-tepatan pembebanan, juga kekangan dari tumpuannya yang menimbulkan momen. Tetapi jika momen relatif kecil sehingga dapat diabaikan, maka prosedur desain berikut dapat digunakan. Umumnya batang tekan ditempatkan pada konfigurasi geometri berbentuk pola segitiga, agar tetap stabil. Jenis struktur yang secara keseluruhan tersusun dalam pola segitiga disebut *truss* atau rangka batang.

Batang tekan didefinisikan sebagai batang struktural yang menerima gaya tekan aksial. Pada struktur gedung, batang tekan sering dijumpai sebagai kolom, sedangkan pada struktur rangka batang dapat berupa batang tepi, batang diagonal, batang vertikal dan batang-batang pengekang (*bracing*). (Padosbajayo, 1992)

Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan batang tekan adalah masalah stabilitas, karena elemen struktur tekan sangat peka terhadap faktor-faktor yang dapat menimbulkan peralihan lateral atau tekuk. Dalam praktek, tekuk diartikan sebagai batas antara lendutan stabil dan tak stabil pada suatu batang tekan. (Salmon Johnson, 1992)

Keruntuhan batang tekan dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori, yaitu :

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya terlampaui. Disebabkan oleh batang tekan yang pendek (*stocky column*) dan penampangnya kompak. Penampang kompak adalah penampang yang mempunyai rasio kelangsingan atau rasio lebar terhadap tebal (*bit*) kecil sehingga penampang tersebut tidak mengalami tekuk setempat (*local buckling*).
2. Keruntuhan akibat tekuk (*buckling*). Hal ini terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*). Kegagalan tekuk dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tekuk lokal dan tekuk total (*overall buckling*); Tekuk total (*overall buckling*), batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing ( $KL/r$  besar). Tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio *bit* besar). (Kusuma, 1983).

#### 3.4.1 Kelangsingan

Pada penampang yang mendapatkan beban aksial tekan kekuatannya perlu dilakukan reduksi jika penampang tersebut adalah penampang langsing. Rasio antara lebar dengan tebal 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. Pada batang tekan langsing, jika dibebani dengan beban yang sama, sebelum leleh bisa terjadi tekuk, yaitu adanya perpindahan lateral, seperti efek lentur balok, yang besar pada kondisi konstan.

Kelangsingan suatu kolom dapat dinyatakan dalam suatu rasio yang disebut rasio kelangsingan. Rasio kelangsingan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = \sqrt{\frac{KL}{r}} \quad (3.6)$$

$$r = \frac{I}{A} \quad (3.7)$$

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*) potongan lintang komponen struktur tekan.

I = momen inersia penampang struktur tekan;

A = luas penampang struktur tekan.

Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain komponen struktur tekan adalah syarat kestabilannya dikarenakan adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada komponen-komponen tekan yang langsing. Sehingga harga KL/r dibatasi pada 200 untuk elemen struktur tekan. Nilai KL/r yang memisahkan tekuk elastis (perilaku kolom panjang) dari tekuk inelastis (perilaku kolom pendek) ditentukan secara sembarang sebagai harga dimana tegangan tekuk Euler ( $f_e$ ) sama dengan  $F_y / 2$ . Nilai KL/r ini disebut  $C_c$  dapat dilihat pada gambar 3.2 ditentukan sebagai berikut:

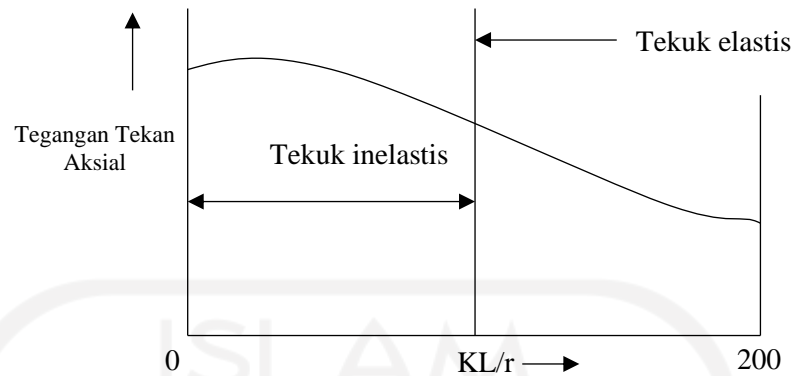
$$C_c = \sqrt{\frac{KL}{r}} = \sqrt{\frac{2\pi r^2}{F_y}} \quad (3.8)$$

Keterangan:

$C_c$  = batas tekuk elastis;

E = modulus elastisitas;

$F_y$  = tegangan leleh.



**Gambar 3.5 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai  $KL/r$**

### 3.4.2 Keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui

Hal ini dapat terjadi pada luas penampang dari batang tekan tersebut. Semakin besar luas penampang melintang batang dapat mengakibatkan kapasitas tekannya juga meningkat, menurut SNI 1729-2020 adapun persamaan nilai kuat tekan dapat diperoleh sebagai berikut:

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.9)$$

Batang tekan yang pendek dan memiliki rasio kelangsingan atau rasio lebar terhadap tebal ( $b/t$ ) kecil dapat dibebani sampai bahan meleleh atau hingga mencapai daerah pengerasan regangan (*Strain Hardening*). Pada kondisi ini tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) lebih besar dari tegangan leleh ( $F_y$ ), sehingga tegangan tegangan kritis ( $F_{cr}$ ) yang digunakan sama dengan tegangan leleh ( $F_y$ ). Pada umumnya keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui dijumpai pada jenis batang dengan karakteristik tersebut.

Penentuan  $f_{cr}$  yaitu

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

$$F_{cr} = \left(0,658\frac{F_y}{F_e}\right) F_y \quad (3.10)$$

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

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (3.11)$$

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

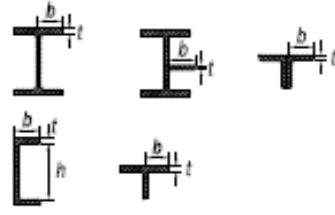
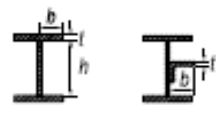
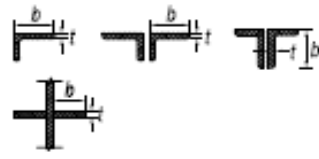

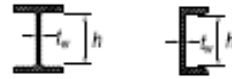

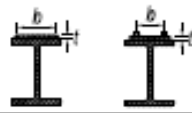


$r$  = radius girasi

### 3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk

Terdapat 2 perilaku tekuk, yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Hal tersebut dibedakan berdasarkan tempat terjadinya tekuk dan solusi penyelesaian jika tekuk tersebut terjadi pada batang tekan. Penyelesaian masalah tekuk lokal lebih kompleks dibanding tekuk global, dirumuskan oleh Euler (1757), dan menjadi pengetahuan dasar perancangan kolom untuk berbagai *design-code* di dunia. Apabila terjadi tekuk lokal, selain penyelesaiannya tidak sederhana, maka pemakaian penampangnya akan tidak efisien karena terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh).

Agar strukturnya optimal, maka risiko tekuk lokal harus dihindari. Maka dari itu dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing yang dilakukan dengan cara mengevaluasi rasio lebar-tebal ( $b/t$ ) tiap-tiap elemen dari penampang. Elemen-elemen diklasifikasikan berdasarkan kondisi kekangannya, apakah ke dua sisinya tersambung kepada elemen lain; atau masih ada sisi bebas. Jika semua elemen tidak melebihi nilai batas rasio  $b/t$ , maka penampang diklasifikasikan sebagai penampang tidak langsing (ideal) dan sebaliknya sebagai penampang langsing. Nilai  $b/t$  setiap elemen profil penampang selanjutnya dibandingkan dengan nilai batas rasio  $b/t$  dari Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial

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

(Sumber: AISC 2010)

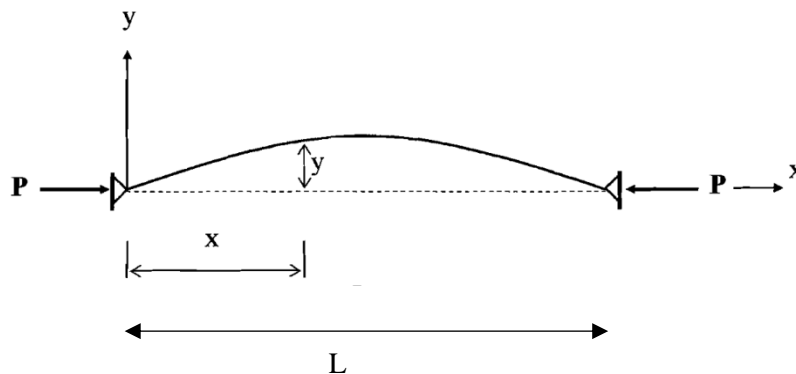
Struktur efisien apabila penampangnya tidak langsing, karena tidak ada risiko tekuk lokal. Penyelesaian AISC (2010) untuk batang tekan dengan klasifikasi langsing, juga sekedar memberikan faktor reduksi, sehingga beban kritis terhadap tekuk lokal tidak tercapai terlebih dahulu. Maka strategi perencanaan batang tekan AISC (2010) didasarkan pada tekuk global.

Pada keruntuhan akibat tekuk global dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun inelastis.

#### 1. Tekuk Elastis

Tekuk elastis terdapat pada kolom langsing. Kolom langsing merupakan kolom yang memiliki kelangsingan lebih besar dari kelangsingan batas. Pada keruntuhan akibat tekuk elastis, tegangan yang terjadi pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis, sehingga biasa disebut tekuk elastis. (Padosbaajayo, 1992).

Pada sebuah batang lurus yang ujung-ujungnya sendi dikerjakan gaya tekan  $P$ , akibatnya batang akan melengkung seperti pada gambar berikut.



**Gambar 3.6 Batang Tekuk**

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

$$M_x = P \times Y \quad (3.12)$$



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

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{Mx}{EI} \quad (3.13)$$

Persamaan differensialnya menjadi

$$\frac{d^2y}{dz^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.14)$$

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

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

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

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

Dimana I adalah inersia bahan,  $I = \sum A_i$  atau  $i = I / A$ , maka didapatkan tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.16) sebagai berikut:

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

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja,

r = jari-jari inersia minimum

L = panjang tekuk.

Bersumber pada persamaan di atas maka kekuatan batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan ( $KL/r$ ). Semakin besar kelangsingan elemen tekan tegangan kritisnya akan semakin kecil, sehingga beban yang dapat mengakibatkan elemen tekan mengalami tekuk semakin kecil.

## 2. Tekuk Inelastis

Ketika sebagian penampang lintang profil mengalami leleh, maka terjadi tekuk inelastis. Hal tersebut terjadi dikarenakan angka kelangsingan suatu elemen struktur lebih kecil jika dibandingkan dengan angka kelangsingan kritisnya. Daerah tekuk inelastis besaran modulus elastis ( $E$ ) menurun menjadi  $E_t$  ( $E > E_t$ ) serta kurva tegangan-regangan tidak linear. *Tangen modulus theory* yang dikemukakan oleh Engesser (Salmon dan Johnson, 1992) menyatakan tegangan kritis kolom dengan persamaan berikut.

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

Persamaan di atas berlaku untuk batang tekan yang elemen-elemen penampangnya tidak mengalami tekuk lokal.  $E_t$  adalah modulus tangent yang nilainya berubah-ubah dan lebih kecil dari modulus elastis. Karena  $E_t < E$  maka tegangan kritis yang diperoleh berdasarkan persamaan tersebut selalu lebih kecil dibanding persamaan yang lain menginformasikan tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, semakin langsing suatu batang tegangan kritisnya semakin kecil.

### 3.5 Kuat Nominal Penampang

Dalam penggunaan analisa stabilitas struktur cara DAM, untuk perhitungan kuat struktur nominalnya cukup memakai prosedur biasa seperti yang digunakan pada cara ELM, yaitu nilai faktor  $K$  pada kelangsingan batang ( $KL/r$ ) diambil konstan sebesar  $K=1$ . Tekuk global ditentukan oleh kelangsingan elemen penampang dan bentuknya. Adapun tekuk global atau lokal tergantung klasifikasi penampang, jika penampangnya tidak langsing maka tidak terjadi tekuk local, dan sebaliknya penampang langsing berisiko tekuk lokal terlebih dahulu.

Seperti yang diketahui pada sub bab 3.3 tentang *Direct Analysis Method*, dimana, terdapat pengaruh orde ke-2 (Gambar 3.3) pada batang tekan akan menghasilkan gaya tekan dan *bending moment* akibat gaya yang bekerja pada batang antara 2 nodal yang berubah bentuk. Maka dari itu, diperlukan interaksi lentur dan gaya tekan pada komponen struktur simetris ganda dan komponen simetris tunggal yang melentur terhadap sumbu geometris (h dan/atau y) yang harus dibatasi oleh persamaan 3.19 dan persamaan 3.20 yang didapat menurut SNI 1729-2020 pada sub bab Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Gaya Aksial, sebagai berikut:

$$\text{apabila } \frac{P_r}{P_c} \geq 0,2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.19)$$

$$\text{apabila } \frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (3.20)$$

Keterangan:

$P_r$  = Kekuatan aksial perlu

$P_c$  = Kekuatan aksial tersedia

$M_r$  = Kekuatan lentur perlu

$M_c$  = Kekuatan lentur tersedia


$x$  = Indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor

$y$  = Indeks 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 |
| <small>Y = leleh, CFY = leleh sayap tekan, LTB = tekuk torsi-lateral, FLB = tekuk lokal sayap, WLB = tekuk lokal badan, TFY = leleh sayap tarik, LLB = tekuk lokal kaki, LB = tekuk lokal, C = kompak, NC = nonkompak, S = langsing, N/A = tidak berlaku</small> |   |                    |                    |                  |

Berdasarkan 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

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z \quad (3.21)$$

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:

$$M_n = C_b ( M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) ) \leq M_p \quad (3.22)$$

- c. Apabila  $L_b > L_r$ , maka:

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{JAg}}{\frac{L_b}{r_y}} \leq M_p \quad (3.23)$$

Keterangan :

$A_g$  = Luas penampang melintang bruto

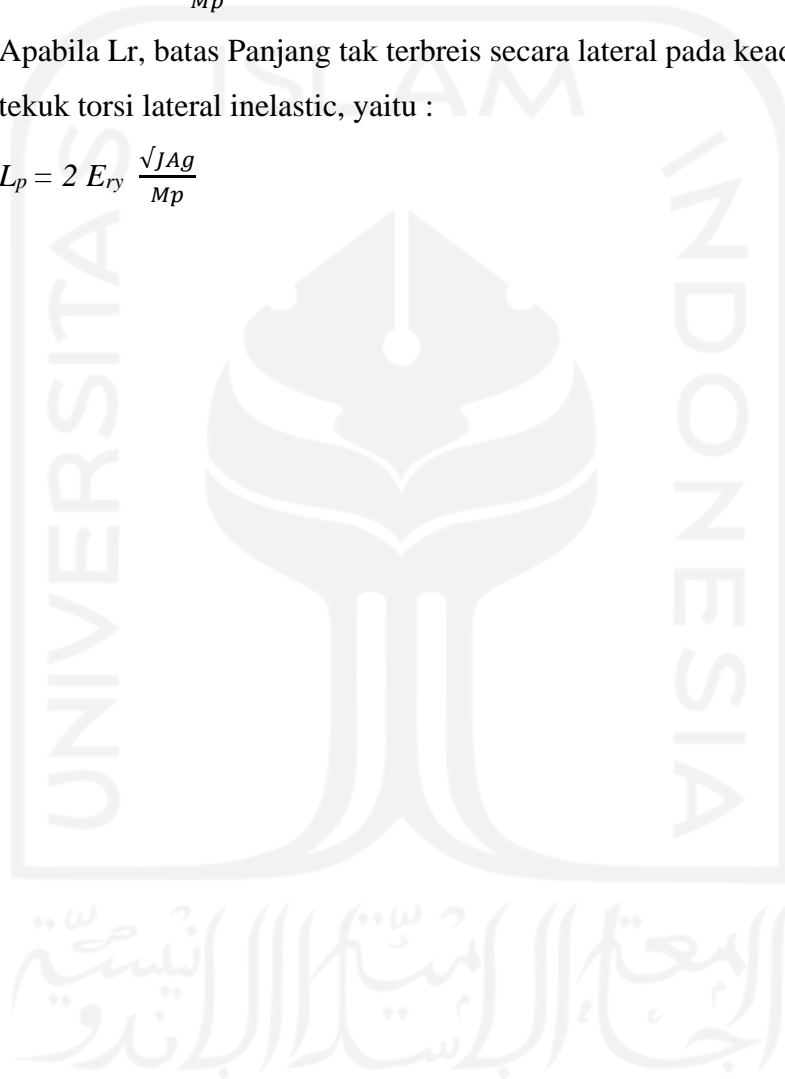
$L_p$  = Batas Panjang tak terbreis secara lateral untuk keadaan batas leleh

Dengan :

$$L_p = 0,13 E_{ry} \frac{\sqrt{J A_g}}{M_p} \quad (3.24)$$

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

$$L_p = 2 E_{ry} \frac{\sqrt{J A_g}}{M_p} \quad (3.25)$$



## **BAB IV METODE PENELITIAN**

### **4.1 Gambaran Umum**

Penelitian pada Tugas Akhir ini dilakukan dengan eksperimen di laboratorium yang bertujuan untuk Mengetahui akurasi metode DAM (*Direct Analysis Method*) pada batang tekan kelangsingan sedang dengan sambungan sendi-sendi, mengetahui pengaruh jumlah baut terhadap akurasi metode DAM (*Direct Analysis Method*) pada batang tekan kelangsingan sedang, dan menganalisis kapasitas rangka atap *hollow square section* kelangsingan sedang dengan pelat sambung ganda menggunakan metode DAM (*Direct Analysis Method*) yang telah diverifikasi dengan uji batang tekan.

. Sampel uji dalam penelitian ini berupa struktur rangka atap material baja profil kotak atau *hollow* dengan kelangsingan (KL/r) batang tekan menengah dengan pelat sambung ganda. Secara umum, terdapat 3 pengujian dalam penelitian ini, meliputi pengujian tarik profil *hollow*, pengujian geser baut, dan pengujian tekan profil *hollow*. Setelah pengujian dilakukan, maka data hasil pengujian dianalisis dan dibandingkan antara hasil analisis dengan metode *Direct Analysis Method* (SNI 1729-2020) terhadap hasil pengujian laboratorium, sehingga dapat ditarik kesimpulan berupa pengaruh jumlah baut sambungan terhadap nilai akurasi dari *Direct Analysis Method* menggunakan SNI 2020 dibanding hasil uji laboratorium.

*Trial* jumlah *step* SAP2000 dilakukan untuk memperoleh metode pemodelan batang tekan yang menghasilkan prediksi kuat tekan batang tekan *hollow* yang mendekati hasil uji tekan batang aksial di laboratorium, didapatkan melalui analisis menggunakan program SAP2000, yang mengacu pada grafik P-Delta hasil pengujian laboratorium.

## 4.2 Variabel Penelitian

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

1. Variabel bebas (*independent variable*) pada penelitian ini ialah jumlah baut pada benda uji rangka atap yang pada penelitian ini 1 baut dan multi baut pada sambungan. Adapula variabel bebas lain pada penelitian ini yaitu metode analisis yang menjadi pembanding hasil uji eksperimen di laboratorium. Metode tersebut adalah *Direct Analysis Method (DAM)*.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) berupa: metode analisis kekuatan rangka baja *Direct Analysis Method (DAM)* sesuai SNI 1729-2020, *rasio* kelangsingan batang tekan ( $KL/r$ ) = 90 yang termasuk dalam kategori kelangsingan tinggi, profil *hollow* kotak yang memiliki sumbu simetri, dan penggunaan pelat tunggal pada sistem sambungannya.



a. Variasi 1 Baut



b. Variasi 3 Baut

**Gambar 4.1 Variasi Benda Uji Yang Digunakan**

## 4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data berupa perbandingan data yang didapatkan dari metode perencanaan langsung atau *Direct Analysis Method* menggunakan aplikasi SAP2000 berdasarkan SNI 1729:2020 dengan hasil pengujian pada di laboratorium. Adapun jenis pengambilan data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu :

#### 1. Data primer

Dalam penelitian ini, data primer yang 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, dan pengujian tekuk profil didapatkan data arah lekukan dan lendutan maksimal yang dapat terjadi pada profil tersebut.

#### 2. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa sumber seperti media dan literasi lainnya baik yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan berupa data-data pendukung yang dapat dijadikan referensi serta acuan. Pada penelitian ini data sekunder yang digunakan berupa *Direct Analysis Method* yang didapatkan dari SNI 1729:2020 sebagai acuan pembandingan dengan hasil laboratorium.

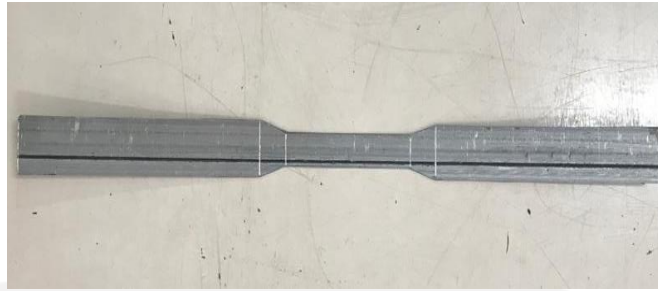
### 4.4 Uji Tarik Material Baja

Untuk mendapatkan nilai kuat tarik material baja yang akan digunakan maka dilakukan uji tarik material baja, selain itu didapatkan modulus elastisnya sehingga dari data tersebut diperoleh mutu baja yang akan dipakai pada pengujian.

#### 4.4.1 Bahan Uji

Bahan yang digunakan pada pengujian tarik material baja ini menggunakan ukuran ketebalan 1,8 mm dengan berdasarkan SNI 8389-2017.





**Gambar 4.2 Benda Uji Kuat Tarik Baja**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 4.4.2 Alat Uji

Alat uji tarik material baja yang akan digunakan yaitu:

1. Mesin uji Tarik *Universal Testing Machine (UTM)*

Mesin pengujian kuat tarik dan kuat tekan yang digunakan ini berfungsi untuk melakukan uji Tarik material. Adapun mesin pengujian kuat Tarik baja yang digunakan adalah *Universal Testing Material (UTM)* dengan merk *Shimatsu type UMH 30* kapasitas 30 ton. Adapun gambar *Universal Testing Material (UTM)* dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



**Gambar 4.3 Mesin uji Tarik Universal Testing Machine (UTM)**

2. Jangka sorong

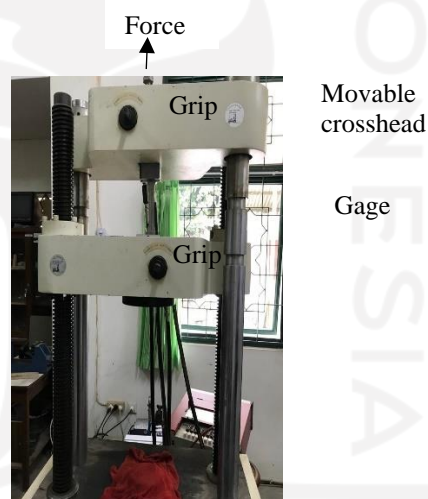
Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi benda uji agar memiliki ukuran yang sesuai. Berikut gambar jangka sorong pada gambar 4.4



**Gambar 4.4 Jangka Sorong**

#### 4.4.3 *Set Up* Pengujian

Pada pengujian tarik material baja terdapat *set up* yang baik dan benar agar dapat memperoleh data yang sesuai. Berikut gambar *set up* uji tarik material baja pada gambar 4.4.



**Gambar 4.5 *Set Up* Pengujian Uji Tarik Material Baja**  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2022)

#### 4.5 Uji kuat Geser Baut

Uji geser baut dilakukan untuk mengetahui kekuatan baut untuk menerima beban maksimal jika baut berada dalam satu kesatuan struktur rangka atap baja. Agar baut bekerja dengan baik maka diperlukan pengencangan pada baut sedemikian rupa sehingga baut mengalami prategang tarik.

##### 4.5.1 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada uji kuat geser baut yaitu baut dengan diameter 10-12 mm.

#### 4.5.2 Alat Uji

Alat yang digunakan pada pengujian geser baut yaitu.

##### 1. Jangka Sorong

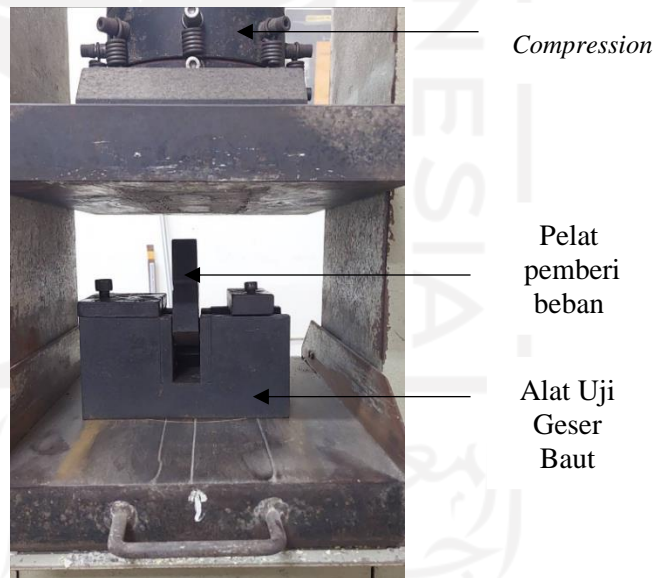
Jangka sorong digunakan untuk mengukur diameter baut yang akan digunakan pada pengujian kuat geser baut. Gambar jangka sorong seperti pada gambar 4.3.

##### 2. Mesin uji Tarik *Universal Testing Machine (UTM)*

Mesin pengujian kuat tarik dan kuat tekan yang digunakan ini berfungsi untuk melakukan uji geser baut. Adapun gambar *Universal Testing Material (UTM)* dapat dilihat pada gambar 4.2.

#### 4.5.3 *Set Up* Pengujian

Berikut adalah *set up* pengujian kuat geser baut.



**Gambar 4.6 *Set Up* Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Depan**



**Gambar 4.7 Set Up Pengujian Kuat Geser Baut Tampak Atas**

#### **4.6 Uji Kuat Tekan Profil Baja**

Uji kuat tekan profil baja yang akan dilakukan di laboratorium bahan konstruksi teknik, di fakultas teknik sipil universitas islam indonesia. Dari pengujian ini data yang dihasilkan adalah kapasitas tekan maksimum. Pada pengujian ukuran yang digunakan yaitu  $L=110$  cm.

##### **4.6.1 Benda Uji**

Benda uji yang digunakan pada uji kuat tekan profil menggunakan baja *hollow square section* 20 x 40 mm kelangsingan sedang ketebalan 1,8 mm dengan sambungan pelat ganda dan variasi jumlah baut sambung 1 baut dan 3 baut.



**Gambar 4.8 Gambar Benda Uji Profil *Hollow Square Section***

##### **4.6.2 Alat Uji**

Alat yang digunakan pada pengujian kuat tekan profil baja sebagai berikut.

##### **1. *Loading Frame***

*Loading frame* pada pengujian ini digunakan untuk tempat meletakkan sampel benda uji rangka atap baja sebelum diberikan beban. *Loading frame* ini terdiri dari bahan baja dengan profil WF ukuran 450x200x9x14. Adapun gambar *Loading Frame* dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini



**Gambar 4.9 Loading Frame**

### 2. Hydraulic jack

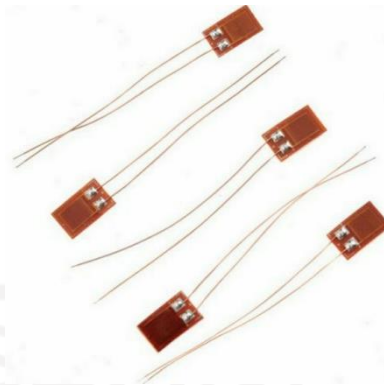
digunakan untuk memberikan pembebanan pada pengujian lentur sampel rangka atap baja pada. Pada penelitian ini digunakan *hydraulic jack* dengan kapasitas maksimal beban 30 ton. Adapun gambar *Hydraulic jack* dapat dilihat pada gambar 4.9.



**Gambar 4.10 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 diliha pada gambar 4.10 dibawah ini.



**Gambar 4.11** *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 4.11 dibawah ini.



**Gambar 4.12** *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

5. *Load Cell*

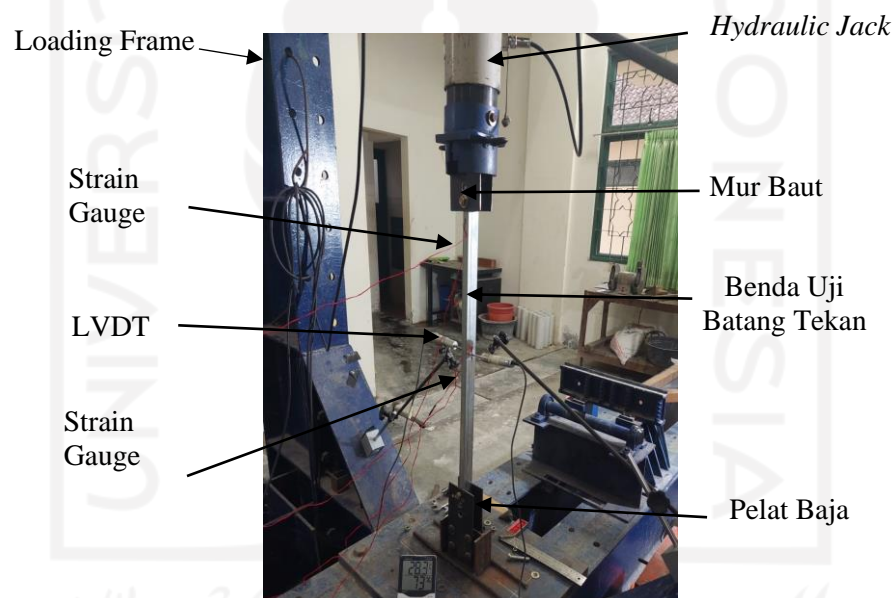
*Load cell* pada penelitian ini digunakan untuk membaca beban yang dibebankan ke benda uji. Pada penelitian ini *load cell* yang digunakan memiliki kapasitas membaca beban 20-50 ton. Adapun gambar *Load Cell* dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini.



**Gambar 4.13 Load Cell Uji Kuat Tekan**

#### 4.6.3 Setup Pengujian

Berikut adalah *setup* pengujian kuat tekan profil baja.



**Gambar 4.14 Setup Pengujian Kuat Tekan Profil Baja**

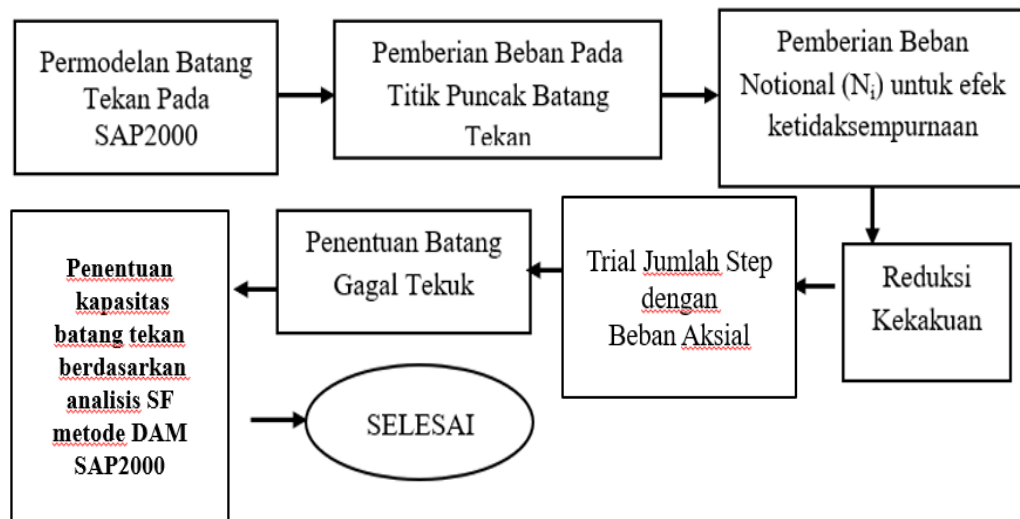
#### 4.7 *Direct Analysis Method (DAM)*

*Direct Analysis Method (DAM)* merupakan analisis stabilitas pada struktur baja yang diaplikasikan menggunakan SAP2000. Terdapat 2 macam pemodelan pada SAP2000 yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

##### 4.7.1 Pemodelan Pada Batang Tekan

Untuk memperkirakan beban maksimum yang dapat dipikul apabila batang tersebut dijadikan struktur rangka atap utuh, dilakukan pemodelan batang tekan

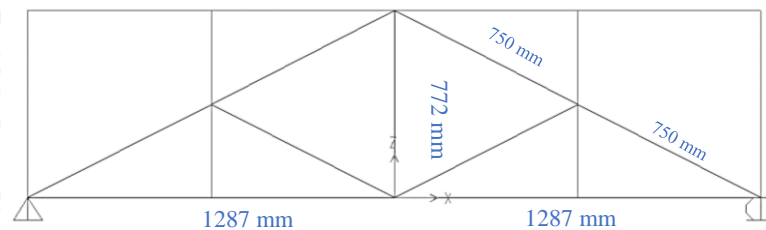
dengan aplikasi SAP2000. Selain mengetahui kekuatan bahan material yang digunakan, juga dapat memperkirakan rangka atap seutuhnya. Agar mempermudah tahapan yang dilakukan pada pemodelan batang tekan dengan DAM SAP2000 dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini.



**Gambar 4.15 Flowchart Pemodelan Batang Tekan Pada SAP2000**

#### 4.7.2 Pemodelan Pada Rangka Atap

Perlunya dilakukan pemodelan rangka atap dengan aplikasi SAP2000 agar dapat memprediksi beban maksimum yang dapat dipikul jika batang tersebut dijadikan struktur rangka atap utuh. Selanjutnya rangka atap yang akan dimodelkan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.14 berikut ini.



**Gambar 4.16 Model Rangka Atap Untuk SAP 2000**

Maka kemudian dilakukan analisis dengan metode DAM pada SAP2000. Pada variasi rangka atap 1 baut sambungan memakai tumpuan sendi-rol yang selanjutnya dilakukan *set analysis option 2D*. Kemudian melakukan pemodelan sambungan rangka baja variasi 1 baut dengan di *release*. Selanjutnya pada variasi 3 baut tidak di *release*. Setelah melakukan pemodelan rangka atap maka dilakukan



pemodelan ketidaksempurnaan geometri dengan cara memasukan beban notional pada *frame* rangka atap.

Selain itu perlu dilakukan *trial* jumlah *step* untuk menetapkan *step* yang stabil. Selanjutnya memilih batang yang terjadi tekuk dengan menunjukkan batang tekan yang memiliki momen terbesar. Tahap terakhir adalah melakukan analisis kapasitas tekan rangka atap dengan *section cut*. Agar mempermudah tahapan yang dilakukan untuk memprediksi kuat tekan rangka atap dengan DAM SAP2000, dapat dilihat pada *flowchart* berikut ini.



**Gambar 4.17 Flowchart Pemodelan Rangka Atap Pada SAP2000**

#### 4.8 Lokasi Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dimulai dengan persiapan bahan, pengujian bahan dan pengujian benda uji yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Selanjutnya untuk pembuatan sampel pengujian dilakukan di bengkel las.

#### 4.9 Tahapan Analisis Data

Dari hasil pengujian maka perlu dilakukan tahap analisis data untuk mempermudah melakukan pembahasan dan mendapatkan kesimpulan. Data yang diperoleh dari hasil pengujian diklasifikasikan sesuai dengan beberapa pengujian yang telah dilakukan. Selanjutnya dilakukan analisis *Direct Analysis Method*

(DAM) batang tekan dengan hasil uji laboratorium, dilanjutkan dengan verifikasi hasil analisis *Direct Analysis Method* (DAM) batang tekan dengan hasil uji laboratorium. Kemudian dilakukan penyesuaian hasil analisis *Direct Analysis Method* (DAM) dengan hasil uji laboratorium. Analisis terakhir adalah analisis rangka atap menggunakan SAP2000.

#### **4.10 Tahapan Pembahasan**

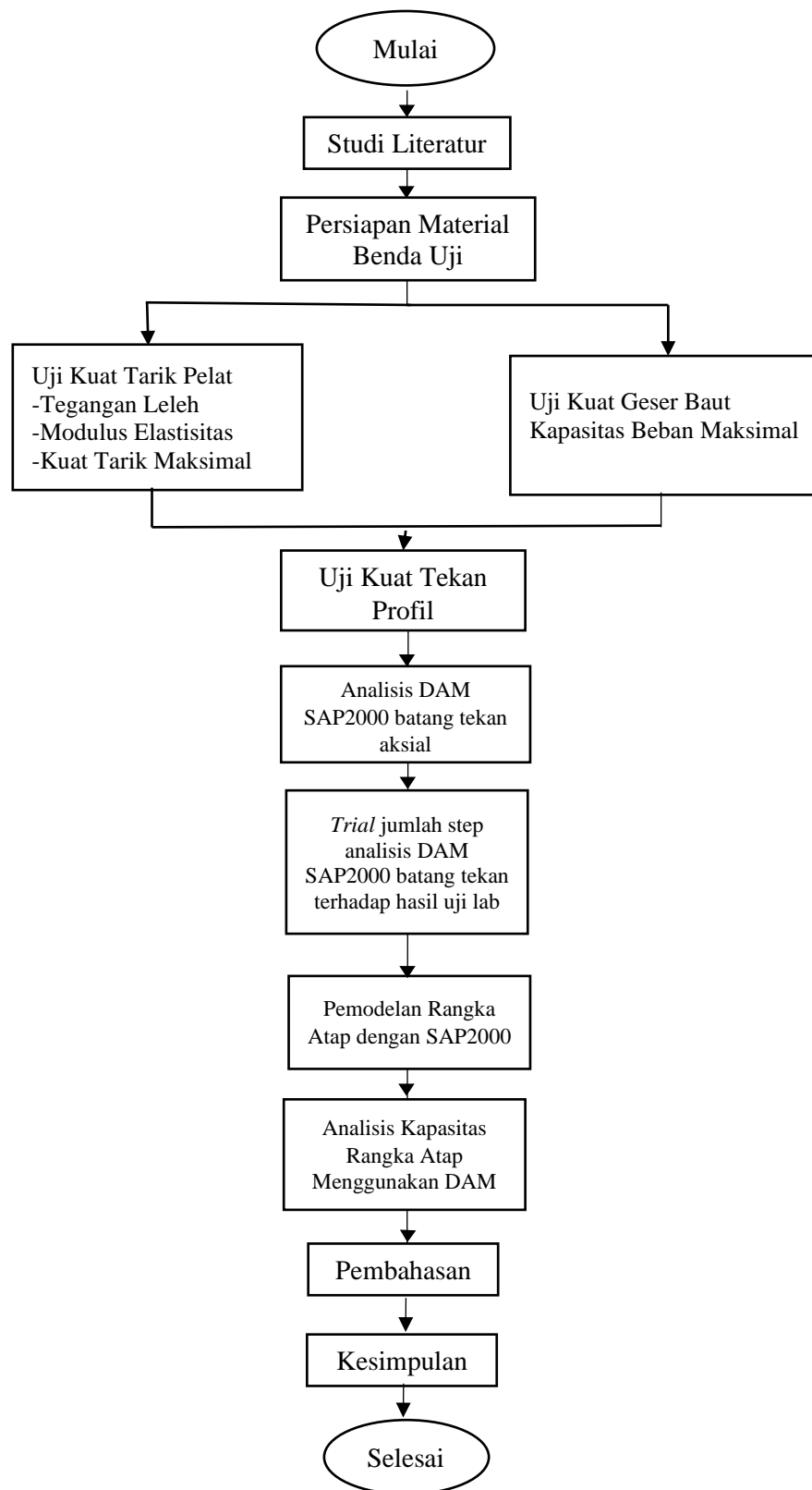
Tahapan pembahasan dilakukan setelah analisis data hasil pengujian. Dalam tahapan ini terdapat pembahasan yang lebih mendalam terkait kekuatan struktur rangka atap hasil perhitungan dengan menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) sesuai SNI 1729:2020 dengan analisis aplikasi SAP2000 yang dibandingkan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

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

Tahapan ini adalah tahapan terakhir dari penelitian. Pada tahap ini diperoleh data yang telah dianalisis dan pembahasan. Kesimpulannya, 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 Flowchart Penelitian**

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

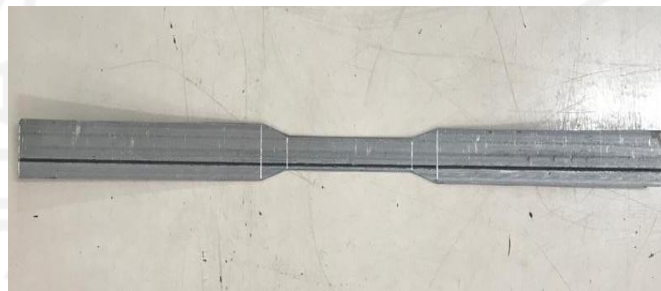


**Gambar 4.18** *Flowchart* Penelitian

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Uji Kuat Tarik Material Baja

Pada Pengujian kuat tarik material baja digunakan benda uji yaitu pelat baja yang berasal dari potongan profil *Hollow Square Section* pada salah satu bagian sisinya yang dibuat dengan berdasarkan SNI 8389:2017, yang model benda ujinya dapat dilihat pada gambar 5.1 berikut ini.



**Gambar 5.1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja**

Untuk dimensi pada pengujian kuat tarik material baja direncanakan sebagai berikut.

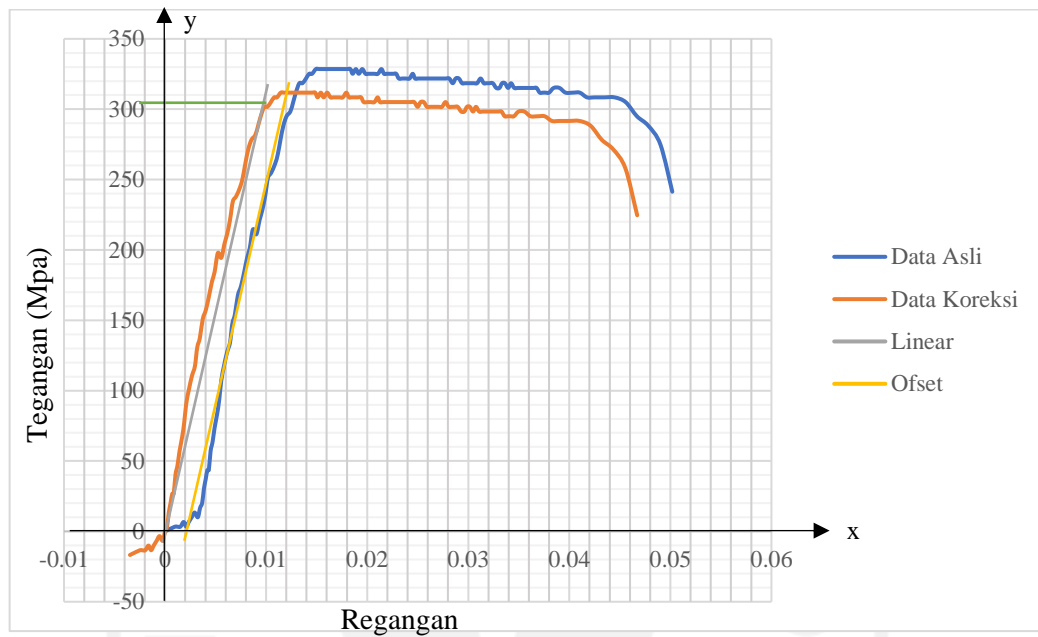
$$L_o = 100mm$$

$$L_c = 120mm$$

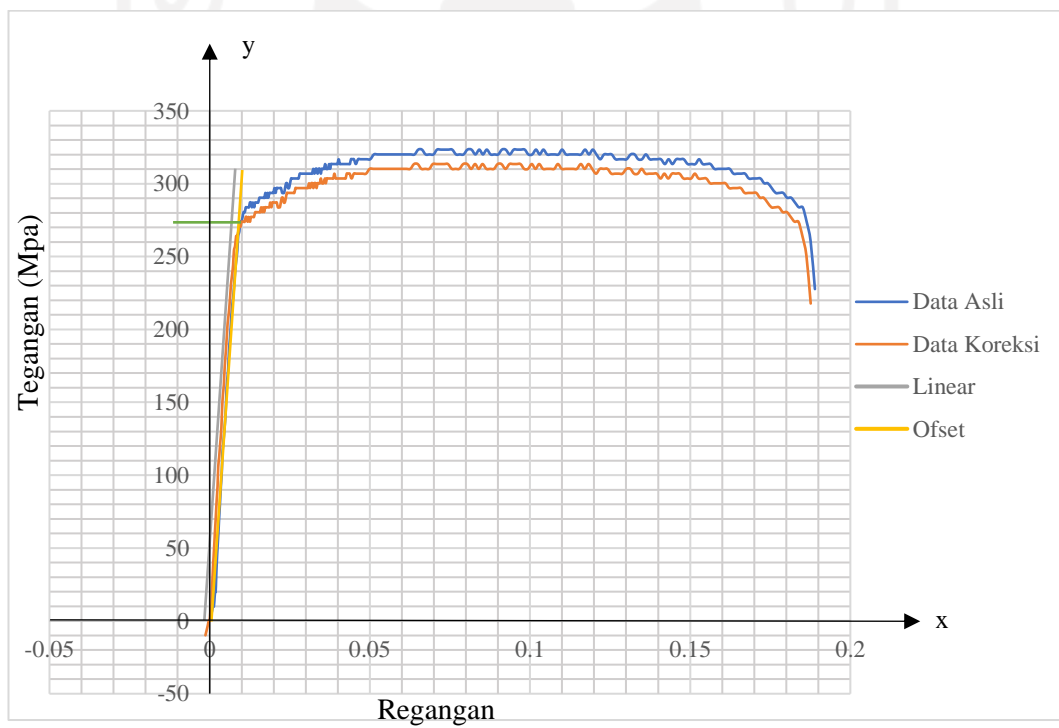
$$R = 25^\circ$$

$$b_o = 20mm$$

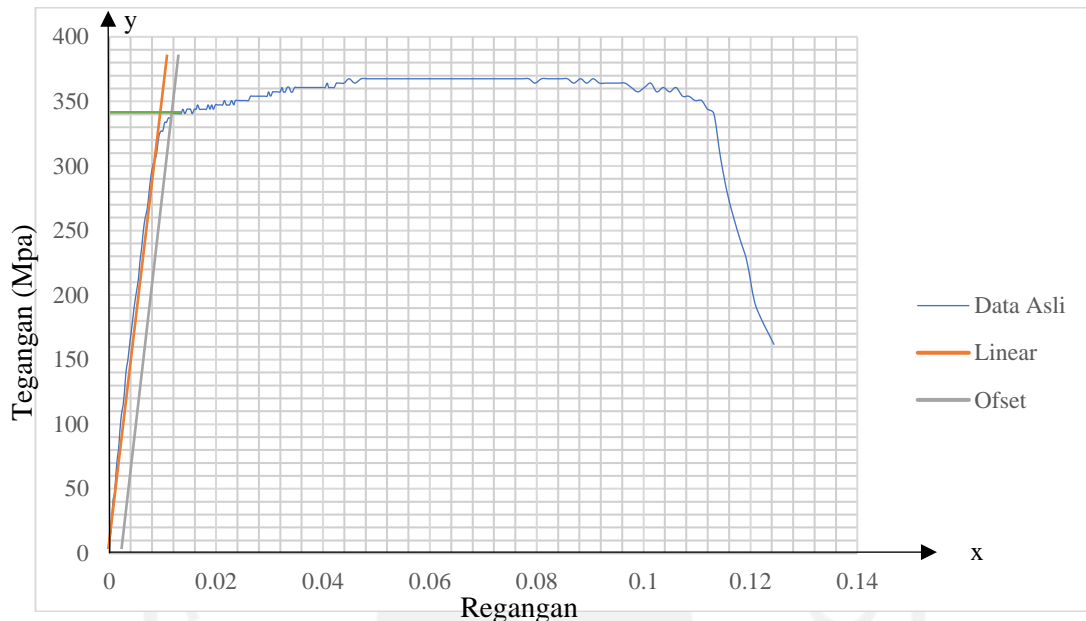
Pengujian kuat tarik material ini dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai tegangan leleh ( $f_y$ ) serta kuat tarik maksimum ( $f_u$ ) yang diperoleh dari pengolahan data dari data logger yang kemudian dilakukan perhitungan menggunakan Microsoft excel. Kemudian diperoleh grafik tegangan-regangan sebagai berikut ini.



**Gambar 5.2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1**

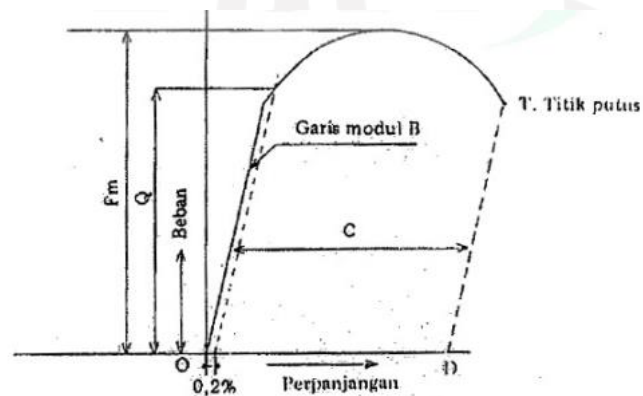


**Gambar 5.3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2**



**Gambar 5.4 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 3**

Pada grafik hasil pengujian tarik diatas terjadi slip awal pada sampel 1 dan sampel 2, slip awal tersebut terjadi karena adanya kesalahan pembacaan pada pengujian kuat tarik material sehingga perlu mengalami koreksi, sedangkan pada sampel 3 tidak terjadi slip awal dan tidak perlu koreksi. Setelah itu untuk menentukan titik leleh ( $f_y$ ) dilakukan Teknik *offset* 0,2% dengan berdasarkan SNI 0408 (BSN, 1989).



**Gambar 5.5 Offset 0,2%**

(sumber : SNI 0408 (BSN, 1989))

Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi hasil nilai tegangan leleh dan kuat tarik maksimum pada pengujian kuat tarik material baja.

**Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Baja**

| No | Benda Uji | Fy (MPa) | Fu (MPa) |
|----|-----------|----------|----------|
| 1  | Sampel 1  | 305      | 311,774  |
| 2  | Sampel 2  | 271      | 313,5    |
| 3  | Sampel 3  | 339      | 367,353  |

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

Nilai  $F_y$  rata-rata :

$$F_y = \frac{F_{y1} + F_{y2} + F_{y3}}{3}$$

$$= \frac{305 + 271 + 339}{3}$$

$$= 305 \text{ Mpa}$$

Nilai  $F_u$  rata-rata :

$$F_y = \frac{F_{u1} + F_{u2} + F_{u3}}{3}$$

$$= \frac{311,774 + 313,5 + 367,353}{3}$$

$$= 330,876 \text{ Mpa}$$

## 5.2 Uji Geser Baut

Uji geser baut dilakukan karena sambungan struktur atap yang digunakan untuk baja adalah sambungan baut. Dengan melakukan pengujian ini, nilai kuat geser baut dapat ditentukan. Uji geser baut dilakukan pada tiga benda uji baut dengan diameter 12 mm. Dari Pengujian baut yang dilakukan memberikan data uji yang dapat digunakan untuk menentukan nilai kekuatan geser baut. Contoh perhitungan untuk menentukan nilai kuat geser baut sampel 1 sebagai berikut.

$$R_n = \frac{P_{max}}{2 \times A}$$

$$R_n = \frac{60000}{226,08}$$

$$R_n = 265,392 \text{ Nmm}$$

Berikut ini hasil rekapitulasi pengujian kuat geser baut yang dapat dilihat pada tabel 5.6 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kuat Geser Baut**

| Keterangan       | Sampel 1 | Sampel 2 | Sampel 3 | Rata-rata |
|------------------|----------|----------|----------|-----------|
| D baut (mm)      | 12       | 12       | 12       | 12        |
| Pmax (N)         | 60000    | 56000    | 53000    | 56333     |
| Kuat geser (MPa) | 265,393  | 247,70   | 234,430  | 249,174   |

Pada pengujian baut yang 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  $F_y$  sebesar 393,01 MPa. Spesifikasi nilai kuat geser benda uji baut tersebut yaitu sebesar  $0,6 F_y$  senilai 235,806 Mpa. Maka dapat diketahui bahwa kualitas baut yang digunakan pada pengujian ini sudah sesuai dengan standar mutu baut yang ada karena nilai rata-rata hasil pengujian sebesar 249,174. Berikut ini adalah gambar kondisi baut setelah pengujian pada gambar 5.6 sampai 5.8.

**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**

Setelah melakukan pengujian geser baut, diperoleh hasil keadaan baut setelah pengujian adalah seperti pada Gambar 5.6, Gambar 5.7, dan Gambar 5.8 diatas. Dari keadaan ini, dapat dilihat bahwa bagian uji baut tidak bersifat getas, karena sampel uji baut tidak putus dan hanya bengkok.

### 5.3 Uji Kuat Tekan Profil

Pengujian kuat tekan profil dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh nilai kapasitas tekan maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji profil *hollow square section*. Melalui pengujian yang dilakukan di laboratorium mendapatkan hasil dan perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

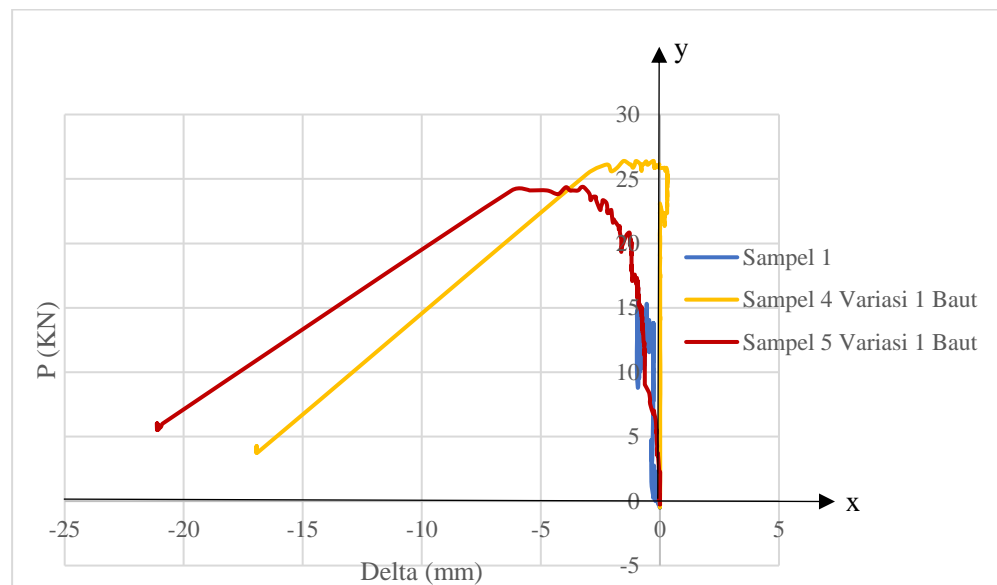
#### 5.3.1 Hubungan Beban-Defleksi (P-delta) Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian batang tekan variasi 1 baut, maka didapatkan beban maksimum sampel 4 dan sampel 5 pada Tabel 5.2 berikut.

**Tabel 5.2 Hasil Uji Batang Tekan Sampel Uji 1 Baut**

| Keterangan | Sampel 4 | Sampel 5 | Rata-rata |
|------------|----------|----------|-----------|
| P max (kN) | 25,866   | 24,108   | 24,987    |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa beban kuat tekan maksimum rata-rata kedua sampel adalah 24,987 KN. Grafik P-Delta yang dihasilkan dari pengujian batang tekan variasi 1 baut ditunjukkan pada gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5.9 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 1 Baut**

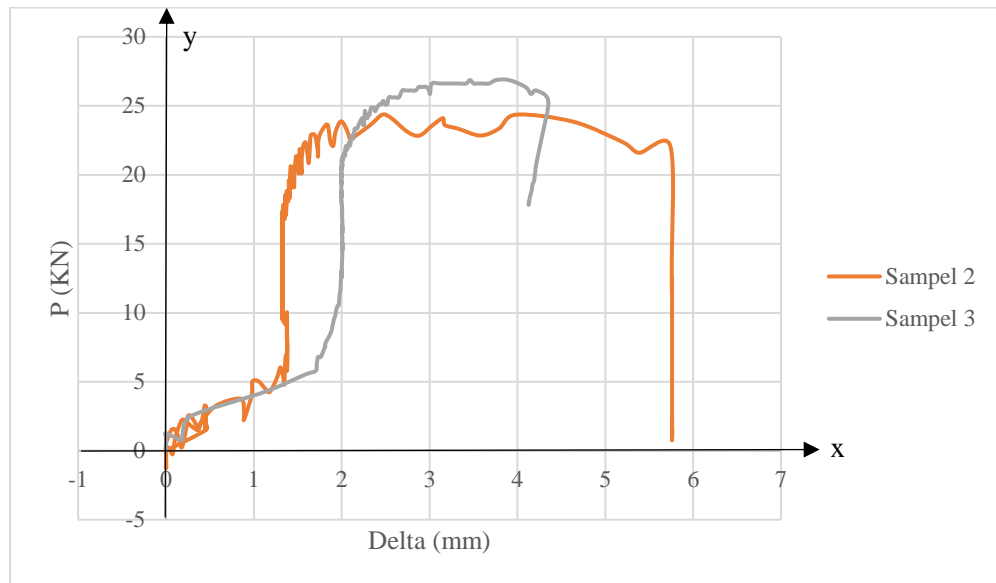
Pada saat pengujian pada sampel 1, sampel 2, dan sampel 3 terjadi kerusakan sehingga tidak dapat diperoleh data hasil pengujian. Sehingga dibuat sampel 4 dan sampel 5 dengan menggunakan *cover* penguat pada sambungan baut. Pada pengujian LVDT berfungsi untuk mengetahui arah tekuk dan besar tekuk. Saat pengujian tekan sampel 4 dan sampel 5 diperoleh pembacaan LVDT negatif yang artinya tekuk ke arah LVDT. Dari grafik hasil P-delta diatas dapat dilihat bahwa pada sampel 4 terjadi tekuk pada beban 23,104 KN sedangkan pada sampel 5 mulai terjadi tekuk pada beban 6,781 KN. Selain itu, berdasarkan grafik maka diperoleh kapasitas beban maksimum pada sampel 4 sebesar 25,866 KN dan pada sampel 5 sebesar 24,108 KN.

Setelah itu dilakukan pengujian batang tekan variasi 3 baut, maka didapatkan beban maksimum. Tabel 5.3 berikut menunjukkan hasil pengujian batang tekan variasi 3 baut.

**Tabel 5.3 Hasil Uji Batang Tekan Sampel Uji 3 Baut**

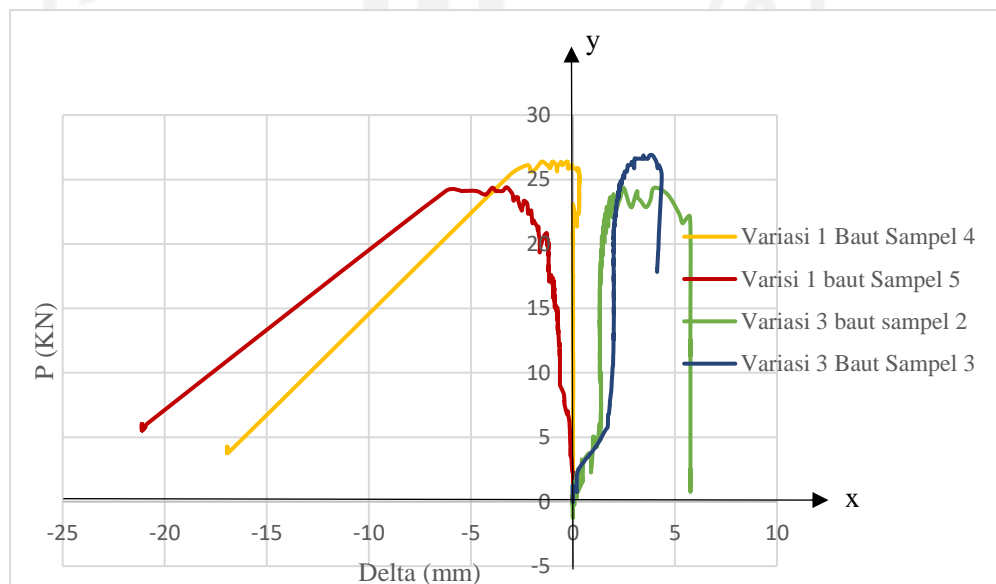
| Keterangan | Sampel 2 | Sampel 3 | Rata-rata |
|------------|----------|----------|-----------|
| P max (kN) | 24,357   | 26,868   | 25,613    |

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa beban kuat tekan maksimum rata-rata kedua sampel adalah 25,613 KN. Grafik P-Delta yang dihasilkan dari pengujian batang tekan variasi 3 baut ditunjukkan pada gambar 5.10 berikut.



**Gambar 5.10 Grafik Hubungan P Delta Sampel Uji 3 Baut**

Dari grafik hasil P-delta diatas dapat dilihat bahwa pengujian diperoleh pembacaan LVDT positif yang berarti menjauhi arah LVDT. Pada sampel 2 terjadi tekuk pada beban 1,255 KN sedangkan pada sampel 3 mulai terjadi tekuk pada beban 0,502 KN.

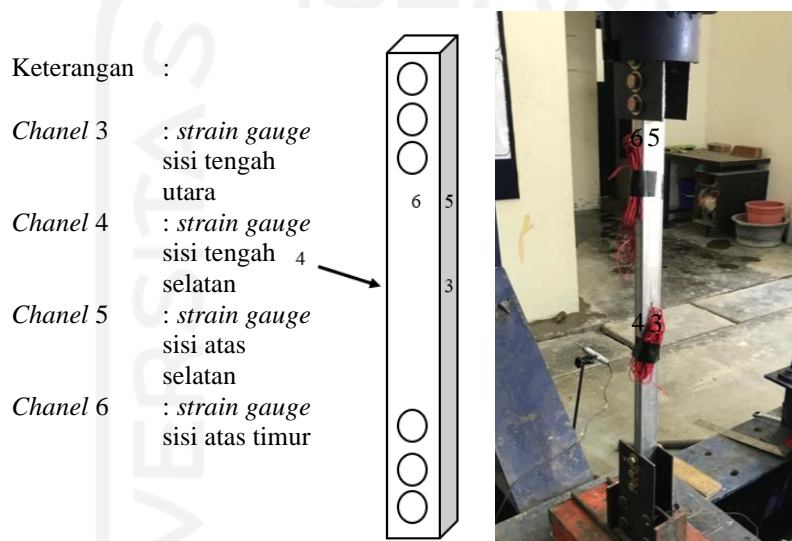


**Gambar 5.11 Grafik Hubungan P Delta Gabungan**

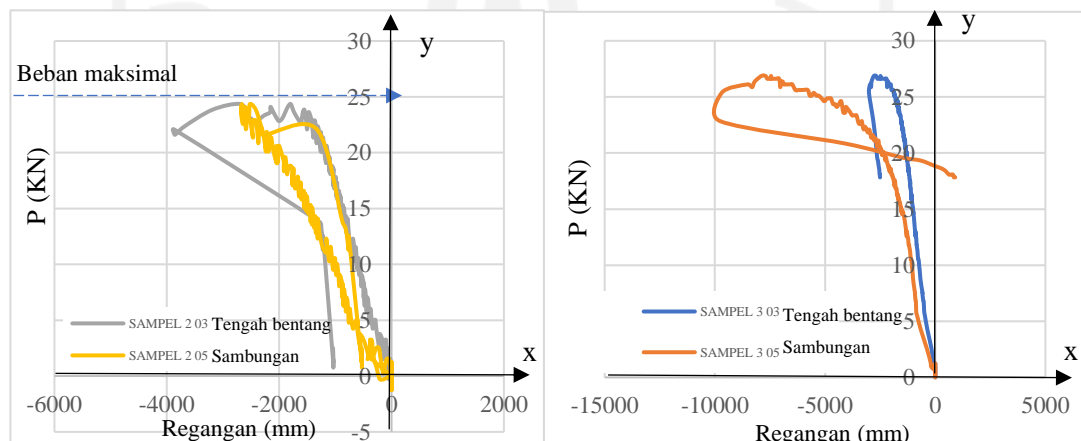
Dari grafik pada gambar 5.11 diatas dapat diketahui pengaruh jumlah

penambahan baut pada sambungan. Yaitu beban puncak pada variasi 3 baut memiliki beban puncak yang lebih besar lalu arah regangan pada variasi 3 baut bernilai positif, sedangkan pada 1 baut bernilai negatif.

Selanjutnya pengujian batang tekan variasi 3 baut dilakukan untuk mengetahui regangan yang terjadi dengan menggunakan *strain gauge*. Berikut ini gambar ilustrasi posisi *strain gauge* pada batang tekan yang diuji.



**Gambar 5.12 Posisi Strain Gauge Pada Uji Batang Tekan Variasi 3 Baut**

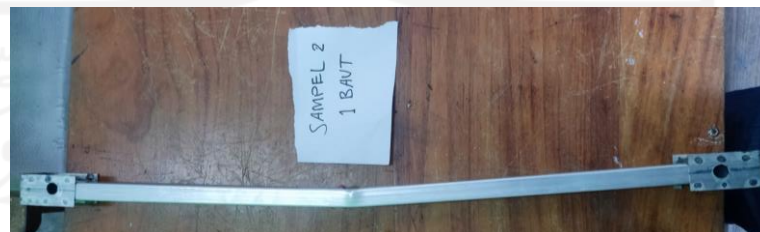


**Gambar 5.13 Grafik Hubungan P dan Regangan Sampel Uji 3 Baut**

Berdasarkan grafik di atas pada sampel 2 dan 3 terjadi tekuk terlebih dahulu pada bagian sambungan ditandai dengan regangan pada sambungan lebih tinggi daripada regangan pada tengah batang ada nilai beban yang sama. Selain itu, terlihat

pada grafik *strain gauge* nomor 05 (garis kuning) sampel lebih tegak dibandingkan dengan *strain gauge* nomor 03 (garis abu) yang landai. Kemudian pada regangan  $2535,2 \mu\epsilon$  berada pada beban yang sama antara sambungan dan tengah bentang. Hal ini menandakan terjadinya distribusi regangan yang berpindah dari sambungan ke tengah bentang yang ditandai dengan grafik mendekati garis lurus pada *strain gauge* nomor 03 pada kondisi beban maksimal (25 KN).

Berikut ini gambar kondisi batang tekan setelah pengujian uji tekan batang tekan variasi 1 baut dan 3 baut sambungan.

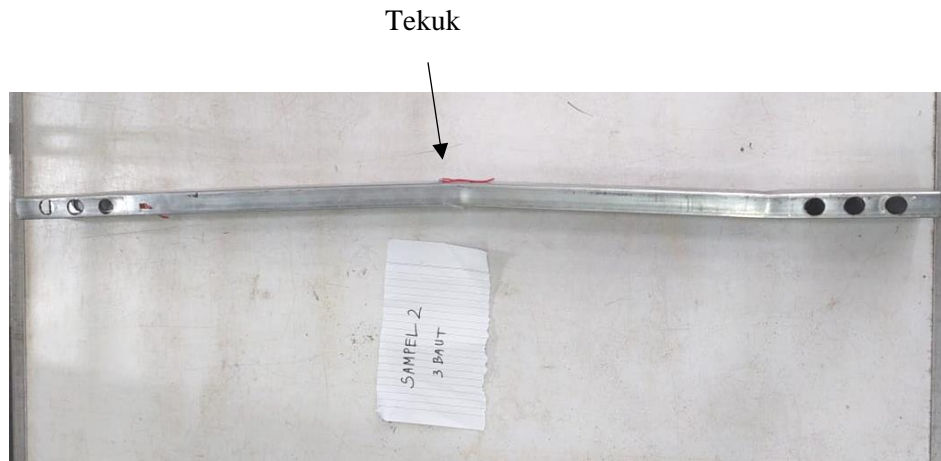


**Gambar 5.14 Sampel 4 Variasi 1 Baut Setelah Pengujian**

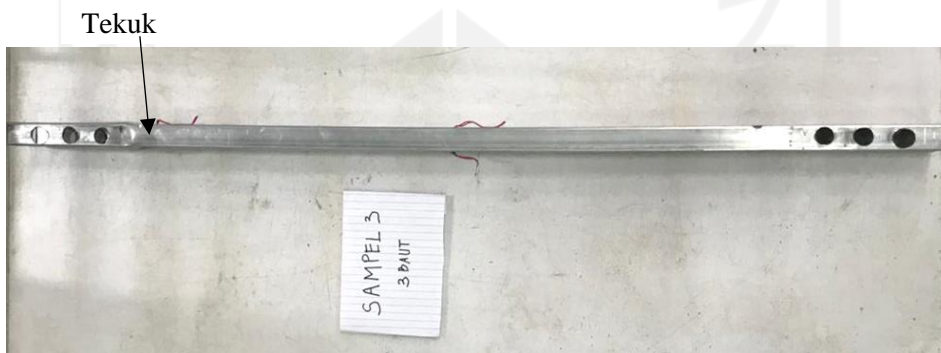


**Gambar 5.15 Sampel 5 Variasi 1 Baut Setelah Pengujian**

Dari gambar 4.15 dan 4.16 dapat diketahui setelah dilakukan pengujian pada batang tekan variasi 1 baut sambungan yang telah diberikan *cover* penguat pada bagian sambungan. Terjadi tekuk pada bagian tengah batang, Selain itu, berdasarkan gambar 5.9 terjadi tekuk *inelastic* pada benda uji, karena terjadi tekuk yang bersifat permanen (benda uji tidak Kembali ke bentuk semula).



**Gambar 5.16 Sampel 2 Variasi 3 Baut Setelah Pengujian**



**Gambar 5.17 Sampel 3 Variasi 3 Baut Setelah Uji Tekan**

Pada pengujian batang tekan profil variasi 3 baut yang telah dilakukan terdapat 2 sampel pengujian. Berdasarkan gambar 5.13 terjadi tekuk *inelastic*. Hal ini ditandai dengan kondisi sampel yang tidak dapat kembali ke bentuk semula. Pada gambar 5.16 dan gambar 5.17 sampel 2 dan 3 variasi 3 baut setelah pengujian terjadi gagal tekuk pada sabungan dan tengah bentang.

#### **5.4 Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan**

##### **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

Berdasarkan hasil uji tarik dan uji lentur yang dilakukan, diperoleh hasil pengukuran dengan kaliper sebagai berikut.

$$b = 21,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 h &= 39,023 \text{ mm} \\
 A_g &= 122,352 \text{ mm}^2 \\
 I_y &= 7771,9016 \text{ mm}^4 \\
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\
 &= \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \\
 &= 8,8984 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \frac{K.L}{r} &\geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{1.739}{8,8984} &\geq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{305}} \\
 83,045 &\leq 120,611
 \end{aligned}$$

Dengan hasil perhitungan diatas karena diperoleh nilai  $\frac{K.L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , maka dapat disimpulkan bahwa kondisi benda uji tekuk elastis.

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

Dari perhitungan kelangsingan efektif diketahui bahwa benda uji profil *hollow* variasi 1 baut memperoleh tekuk inelastis, maka persamaan yang digunakan untuk mendapatkan tegangan kritis adalah sebagai berikut.

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y$$

Dalam memperoleh nilai tegangan tekuk kritis elastis ( $F_e$ ) adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 \times E}{(KL/r)^2} \\
 F_e &= \frac{\pi^2 \times 200000}{83,045^2}
 \end{aligned}$$

$$F_e = 285,907 \text{ MPa}$$

Sehingga nilai tegangan tekuk kritis yang didapatkan adalah

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$$



$$F_{cr} = \left( 0.658^{\frac{305}{285,907}} \right) 305$$

$$F_{cr} = 195,198 \text{ Mpa}$$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil ( $P_n$ )

Setelah memperoleh nilai  $F_{cr}$  dengan perhitungan diatas, maka didapatkan nilai kapasitas kompresi profil ( $P_n$ ) sebagai berikut.

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

$$P_n = 195,198 \times 122,352$$

$$P_n = 23878,04 \text{ N}$$

$$P_n = 23,878 \text{ kN}$$

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

$$\phi P_n = 0,9 \times 23,878$$

$$\phi P_n = 21,49 \text{ KN}$$

5. Beban National ( $N_i$ )

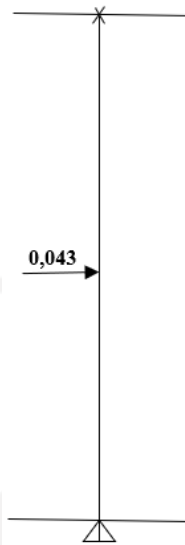
Perlu dilakukan perhitungan beban national pada *trial* jumlah *step* SAP2000 karena terdapat cacat bawaan yang kemudian menyebabkan ketidaksempurnaan pada elemen benda uji tersebut yang mendapatkan efek *destabilizing*. Oleh karena itu dibutuhkan simulasi guna memahami pengaruh adanya cacat bawaan. Perhitungan beban national dapat dilakukan melalui persamaan berikut.

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

$$N_i = 0,002 \times 21,49$$

$$N_i = 0,043 \text{ kN}$$

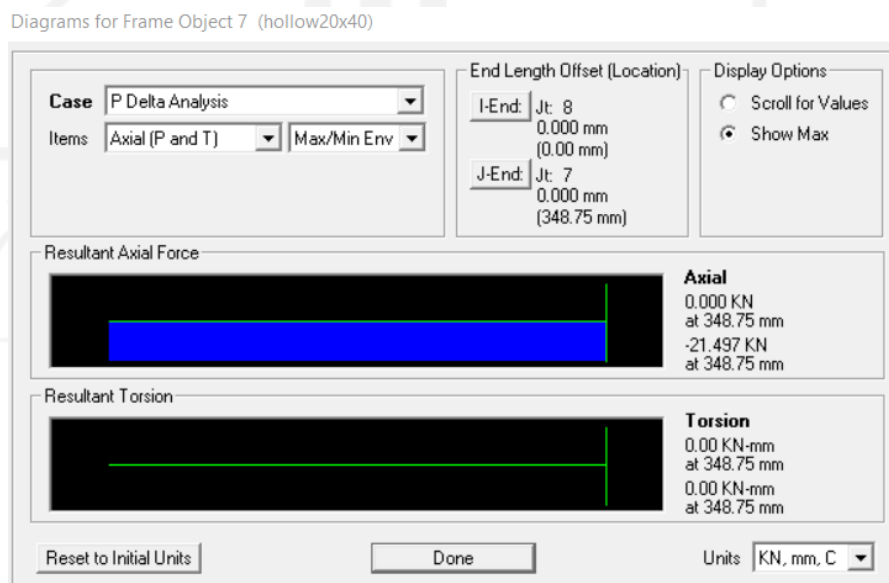
Selanjutnya pemodelan beban national pada SAP2000 dapat diketahui pada gambar 5.18 berikut.



**Gambar 5.18 Pemodelan di SAP2000 Beban Notional Pada Batang Tekan**

6. Evaluasi Nilai  $\tau_b$

Saat mengevaluasi nilai  $\tau_b$  dibutuhkan pembacaan setelah dilaksanakan *running* SAP2000 yang sudah memperoleh faktor P-Delta pada batang tekan guna mengetahui gaya aksial tekan terbesarnya. Selanjutnya hasil gaya aksial tekan yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 5.19 berikut ini



**Gambar 5.19 Gaya Aksial Tekan ( $P_r$ ) Batang Tekan 1 Baut**

$$P_r = 21,497 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \times A_g$$

$$P_y = \frac{305 \times 122,352}{1000}$$

$$P_y = 37,317 \text{ kN}$$

Selanjutnya dilakukan cek untuk mengevaluasi nilai  $\tau_b$  yang digunakan.

Adapun persamaan yang digunakan yaitu,

$$\frac{P_r}{P_y} \leq 0.5$$

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{21,497}{37,317}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,576$$

Maka dari perhitungan evaluasi  $\tau_b$  diatas didapatkan bahwa nilai  $\frac{P_r}{P_y} \geq 0.5$

oleh karena itu nilai  $\tau_b$  harus dihitung terlebih dahulu menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\tau_b = (4 \times \frac{P_r}{P_y}) \times (1 - \frac{P_r}{P_y})$$

$$\tau_b = (4 \times 0,576) \times (1 - 0,576)$$

$$\tau_b = 0,977$$

#### 7. Reduksi Kekakuan (EI<sup>-</sup>)

Dilakukan reduksi kekakuan untuk menyesuaikan kekakuan akibat adanya leleh setempat dikarenakan tegangan sisa pada profil baja. Sehingga menyebabkan melemahnya kekuatan pada benda uji. Oleh karena itu, dengan perhitungan evaluasi nilai  $\tau_b$  diatas didapatkan persamaan untuk reduksi kekakuan sebagai berikut,

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

$$EI^- = 0.8 \times 0,977 \times 200000$$

$$EI^- = 156315,4 \text{ N/mm}^2$$

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

Perhitungan terkait kapasitas tekan serta reduksi kekakuan profil hollow variasi 3 baut sebagai berikut.

##### 1. Data penampang profil hollow variasi 1 baut

Berdasarkan hasil uji tarik dan uji lentur yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran menggunakan kaliper berikut ini.

$$b = 21,34 \text{ mm}$$

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

$$A_g = 122,352 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 7771,9016 \text{ mm}^4$$

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

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

$$= 8,8984 \text{ mm}$$

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

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

$$\frac{0,7.614,5}{8,8984} \geq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{305}}$$

$$48,340 \geq 120,611$$

Dengan hasil perhitungan diatas dikarenakan nilai  $\frac{K.L}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ , sehingga didapatkan bahwa kondisi benda uji tekuk inelastis.

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

Selanjutnya didapatkan benda uji mengalami tekuk inelastic, sehingga diperoleh nilai tegangan tekuk kritis ( $F_{cr}$ ) yaitu.

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y$$

Dalam memperoleh nilai tegangan tekuk kritis elastis ( $F_e$ ) adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{48,340^2}$$

$$F_e = 843,866 \text{ Mpa}$$

Sehingga nilai tegangan tekuk kritis yang didapatkan adalah

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{305}{843,866}}\right) 305$$

$$F_{cr} = 262,181$$

4. Menghitung Kapasitas Tekan ( $P_n$ )

Kemudian untuk memperoleh nilai kapasitas tekan sampel uji adalah melalui persamaan berikut.

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

$$P_n = 262,181 \times 122,352$$

$$P_n = 32078,42 \text{ N}$$

$$P_n = 32,078 \text{ kN}$$

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

$$\phi P_n = 0.9 \times 32,078$$

$$\phi P_n = 28,871 \text{ kN}$$

5. Pemodelan Ketidaksempurnaan geometri

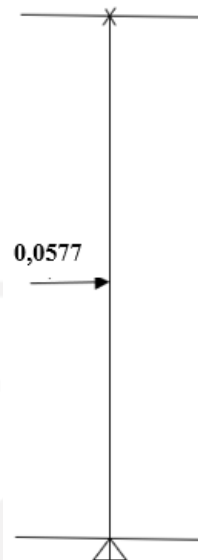
Dilakukan perhitungan mengenai cacat bawaan pada *trial* jumlah *step* SAP2000. Hal ini dilakukan karena dapat menghasilkan efek *destabilizing*, sehingga dibutuhkan simulasi pengaruh adanya cacat bawaan tersebut. Adapun persamaan besarnya beban nasional yaitu.

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

$$N_i = 0.002 \times 28,871$$

$$N_i = 0,0577$$

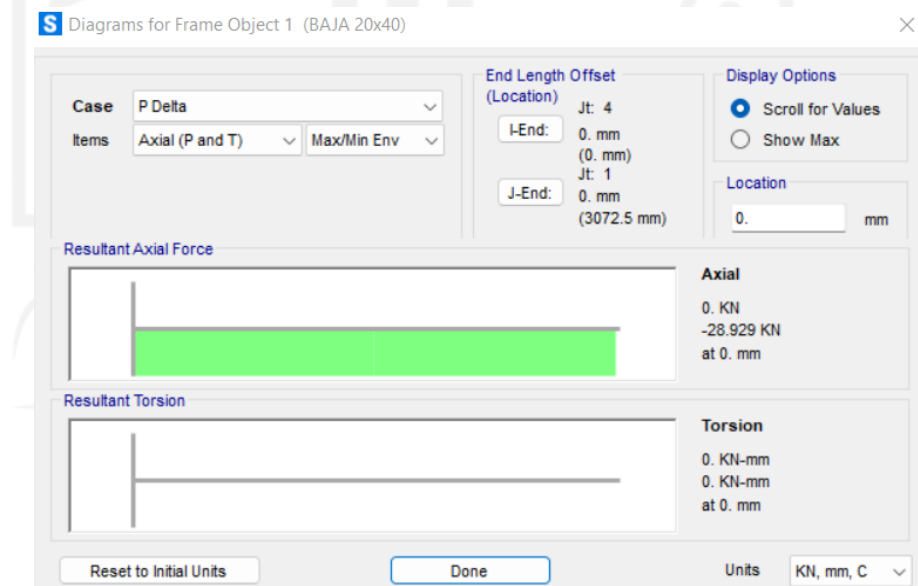
Selanjutnya pemodelan beban nasional pada batang tekan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.20 sebagai berikut



**Gambar 5.20 Pemodelan Beban Notional Pada Batang Tekan**

6. Evaluasi Nilai  $\tau_b$

Nilai  $\tau_b$  diperoleh setelah melakukan *running* SAP2000 pada batang tekan guna membaca gaya aksial tekan terbesar yang telah dimasukkan P-Delta nya. Selanjutnya hasil gaya aksial tekan dapat diketahui pada gambar 5.29 berikut



**Gambar 5.29 Gaya Aksial Tekan ( $P_r$ ) Variasi 3 Baut**

$$P_r = 28,929 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \times A_g$$

$$P_y = 305 \times 118,4793$$

$$P_y = 36,13619 \text{ kN}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan diatas, lalu dilakukan cek untuk mengevaluasi nilai  $\tau_b$ . Berikut persamaannya,

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

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{28,929}{36,13619}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,773$$

7. Maka dari perhitungan evaluasi  $\tau_b$  diatas didapatkan bahwa nilai  $\frac{P_r}{P_y} \geq 0.5$  sehingga nilai  $\tau_b$  harus dihitung terlebih dahulu menggunakan rumus berikut.

$$\tau_b = (4 \times \frac{P_r}{P_y}) \times (1 - \frac{P_r}{P_y})$$

$$\tau_b = (4 \times 0,773) \times (1 - 0,773)$$

$$\tau_b = 0,7$$

8. Faktor Reduksi Kekakuan ( $EI^-$ )

Reduksi kekakuan dilakukan jika terdapat leleh setempat karena tegangan sisa pada profil baja yang kemudian mengakibatkan melemahnya kekuatan profil baja tersebut. Pada DAM dapat diperoleh dengan melakukan reduksi kekakuan. Kemudian persamaan yang digunakan untuk mereduksi kekakuan adalah

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

$$EI^- = 0.8 \times 0,7 \times 200000$$

$$EI^- = 112000 \text{ N/mm}^2$$

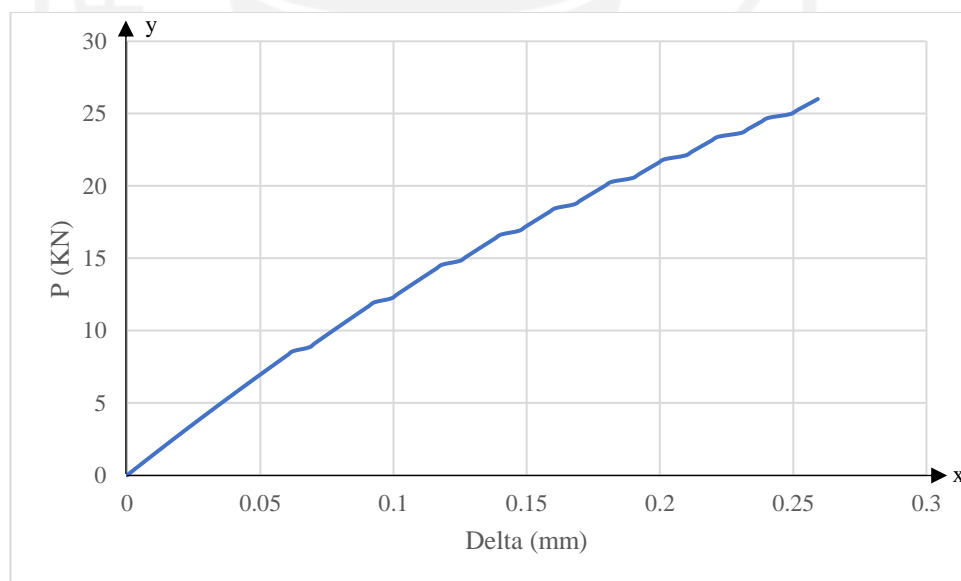
### 5.5 Trial Jumlah Step Pemodelan Batang Tekan SAP2000

Trial jumlah step SAP2000 dilakukan untuk memperoleh metode pemodelan batang tekan yang menghasilkan kuat tekan batang tekan *hollow* yang mendekati hasil uji tekan batang aksial di laboratorium, didapatkan melalui analisis

menggunakan program SAP2000.

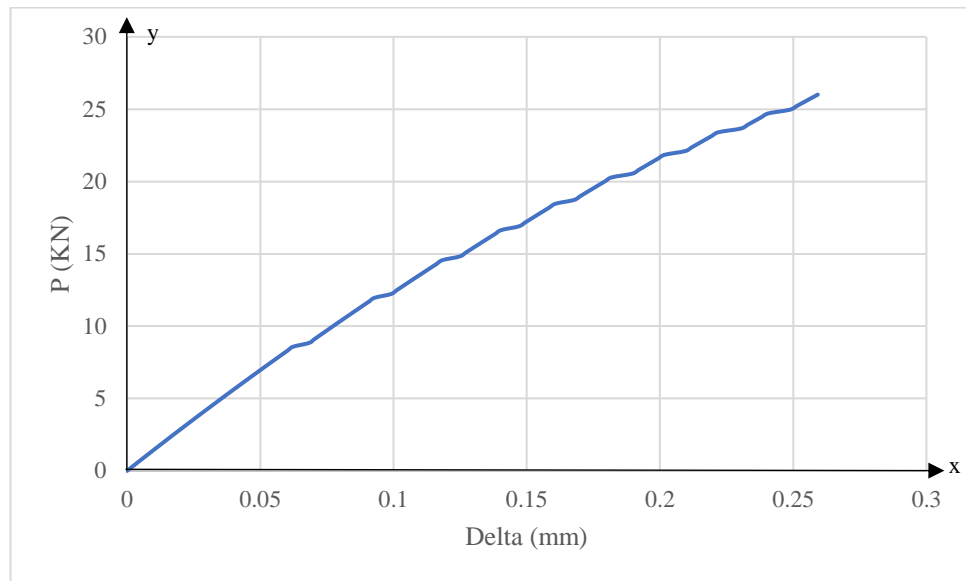
### 5.5.1 Trial Jumlah Step Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 1 Baut

*Trial* jumlah *step* SAP2000 pada batang tekan variasi 1 baut dilakukan dengan meng*trial* jumlah *step* pada perhitungan non linear. Pada perhitungan nonlinear dilakukan *trial* jumlah *step*. Kemudian jumlah *step* yang dilakukan percobaan adalah dengan memasukan jumlah *step* ke-10, 20, 50, 75, 100, 150 dan 200 dan menggunakan parameter *trial* jumlah *step* yaitu nilai kuat tekan pada hasil pemodelan SAP2000. *Trial* jumlah *step* dikatakan selesai jika nilai kuat tekan hasil mulai stabil atau tidak signifikan berubah. Setelah itu terdapat *trial* jumlah *step* pada reduksi kekakuan. *Trial* jumlah *step* pada nilai reduksi dilakukan melalui percobaan memasukan nilai  $EI = 0,8 \times T_b \times E$ . Untuk mendapatkan hasil gambar grafik yang sesuai sehingga dapat mengetahui terjadinya deformasi dari gambar grafik tersebut diperlukan adanya *trial* jumlah *step* pada nilai reduksi kekakuan.

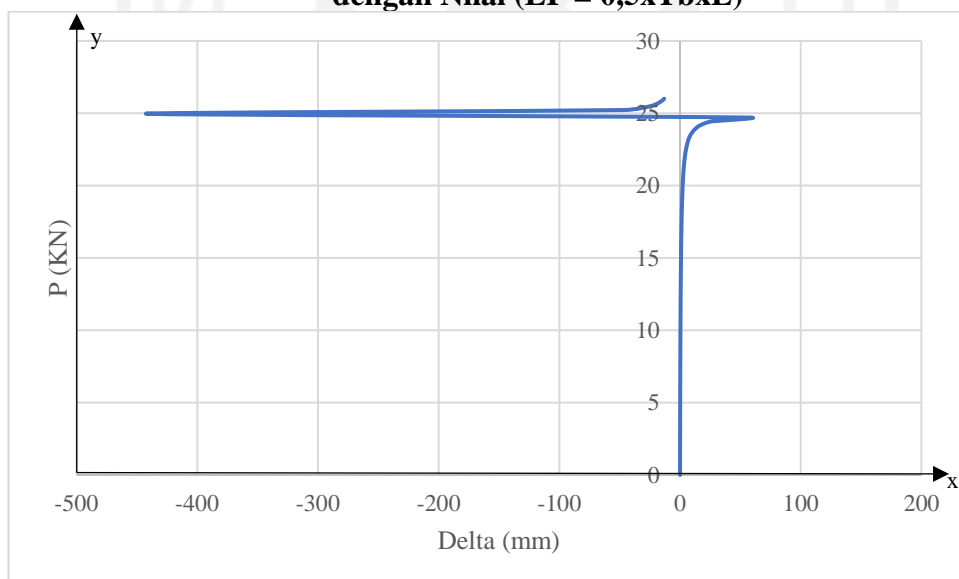


**Gambar 5.21 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0,8 \times T_b \times E$ )**



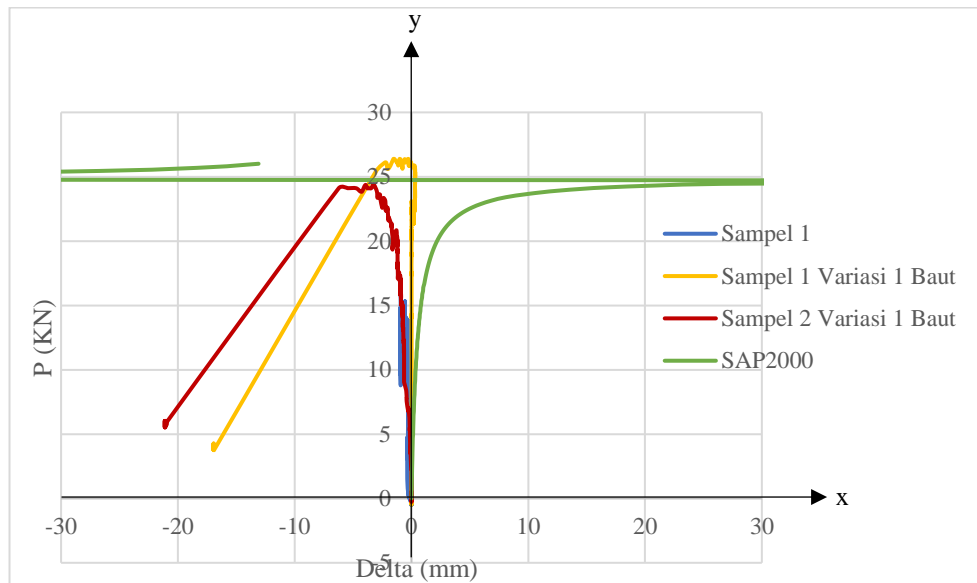


**Gambar 5.22 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0,5 \times TbxE$ )**



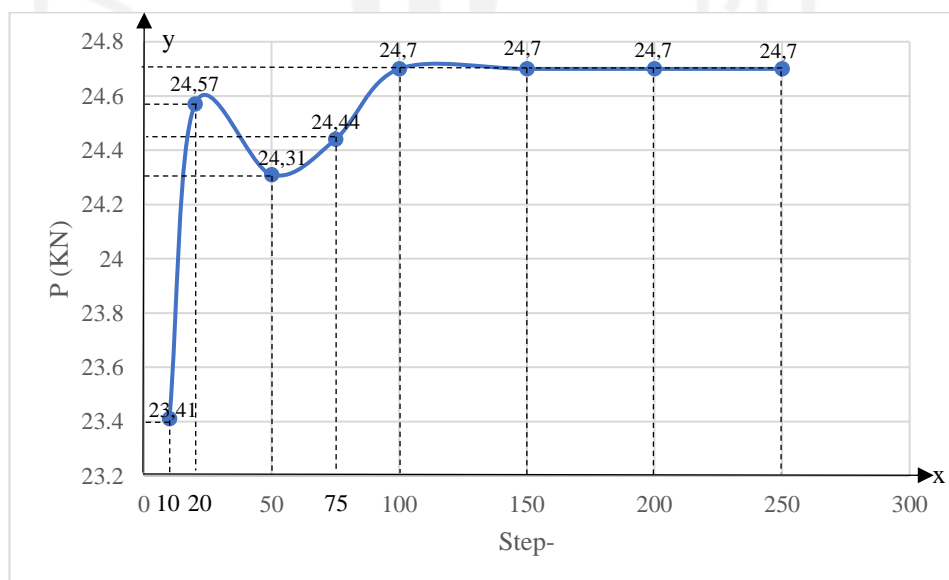
**Gambar 5.23 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ( $EI = 0,25 \times TbxE$ )**

Dari grafik pada gambar 5.21 sampai gambar 5.23 setelah dilakukan *trial* jumlah *step* nilai reduksi dapat diketahui batang tekan terjadi tekuk ketika nilai reduksi sebesar 0,25.



**Gambar 5.24 Hasil Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan ( $EI = 0.25 \times Tbx E$ ) Dengan Hasil Uji Lab**

Dari proses *trial* jumlah *step* yang telah dilakukann diperoleh hasil gambar grafik hubungan jumlah *step* terhadap nilai kuat tekan yang ditunjukkan pada gambar 5.25 dibawah ini



**Gambar 5.25 Grafik Hubungan *Trial* Jumlah *Step* Terhadap Nilai  $P_n$  Batang Tekan Variasi 1 Baut**

Dapat diketahui dari gambar grafik diatas bahwa pada jumlah *step* ke-100 nilai kuat tekannya tampak mulai stabil. Maka dapat disimpulkan bahwa jumlah

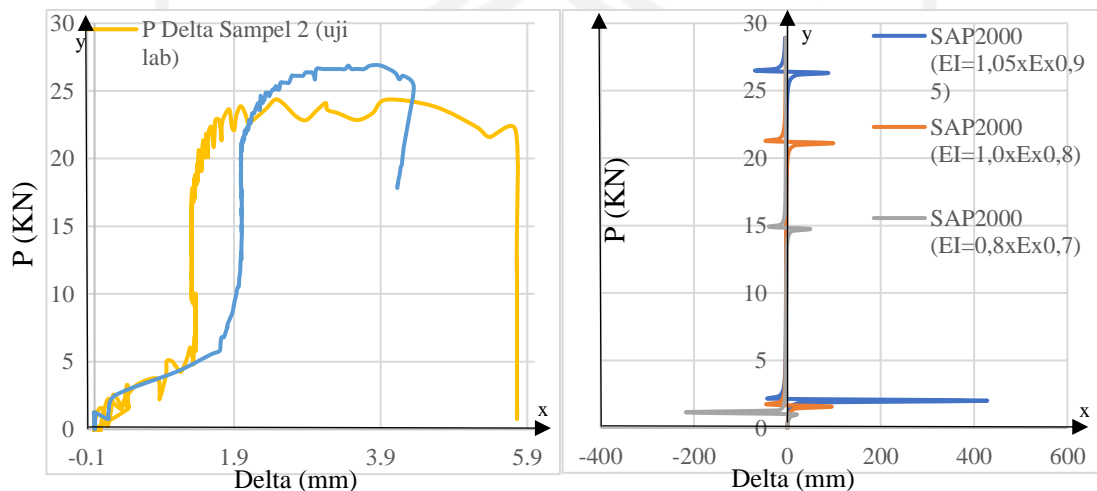
*step* ke-100 dapat digunakan untuk pemodelan batang tekan profil HSS pada variasi 1 baut adalah sebesar 24,7 kN . selanjutnya detail jumlah *step* dan nilai kuat tekan yang diperoleh dari *trial* jumlah *step* dapat dilihat pada tabel 5.4 berikut ini.

**Tabel 5.4 Pengaruh *Trial* Jumlah *Step* Terhadap Nilai  $P_n$  Batang Tekan Variasi 1 Baut**

| TRIAL JUMLAH STEP |       |
|-------------------|-------|
| STEP              | P     |
| 10                | 23,41 |
| 20                | 24,57 |
| 50                | 24,31 |
| 75                | 24,44 |
| 100               | 24,7  |
| 150               | 24,7  |
| 200               | 24,7  |
| 250               | 24,7  |

### 5.5.2 *Trial* Jumlah *Step* Pemodelan SAP2000 Batang Tekan Variasi 3 Baut

Pada *trial* jumlah *step* SAP2000 yang dilakukan dalam batang tekan variasi 3 baut adalah dengan *trial* nilai reduksi kekakuan dan nilai  $T_b$  serta jumlah *step* perhitungan nonlinear. Gambar grafik hasil *trial* jumlah *step* dan perbandingan hasil pengujian lab dapat dilihat pada gambar 5.26 berikut.



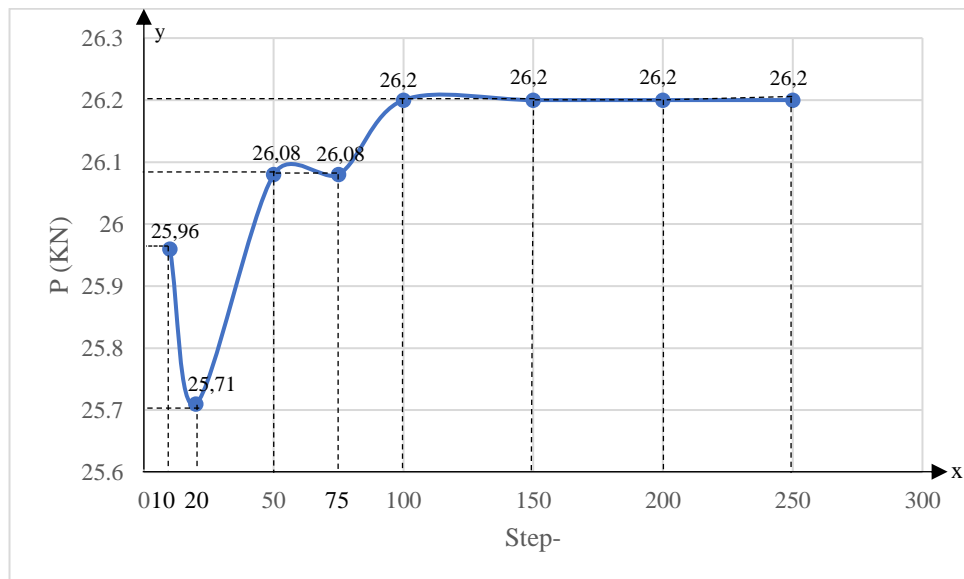
**Gambar 5.26 Grafik Hasil *Trial* Jumlah *Step* Nilai Reduksi Kekakuan**

Berdasarkan grafik pada gambar 5.26 maka dapat diketahui SAP2000 tidak mampu memodelkan perilaku P Delta batang HSS kelangsingan menengah dengan 3 baut secara sempurna. Hal ini dapat dilihat dari bentuk grafik antara SAP2000 yang sangat berbeda. Namun dari kedua grafik tersebut masih dapat diketahui prediksi nilai tekuk awal dan tekuk kritis. Pada grafik hasil pengujian lab terlihat terjadi tekuk di awal pembebanan dari 0-5 KN. Hal ini terjadi karena adanya tekuk terlebih dahulu pada bagian sambungan. Hal ini juga dibuktikan dengan grafik pada gambar 5.13 yang menunjukkan regangan pada bagian sambungan lebih besar daripada bagian tengah pada rentang beban 0 – 5 KN. Selanjutnya, pada SAP2000 juga memprediksikan tekuk pada awal pembebanan namun pada rentang beban yang lebih rendah (0 – 2,025 KN).

Kemudian setelah terjadi tekuk pada sambungan, batang tekan pada pengujian laboratorium akan mengalami tekuk kritis di bagian tengah bentang pada rentang beban 24,608-26,868 KN yang ditandai dengan bentuk grafik yang relatif mendatar. Selanjutnya, pada SAP2000 juga memprediksikan terjadinya tekuk kritis pada batang tekan dalam rentang pembebanan 15 – 26,325 KN. Nilai beban 15 KN diperoleh dari pemodelan SAP2000 dengan nilai  $EI = 0,8 \times E \times 0,7$ , kemudian pada nilai beban 26,325 KN diperoleh dari pemodelan SAP2000 dengan nilai  $EI = 1,05 \times E \times 0,95$ . Oleh karena itu, *trial* jumlah *step* reduksi kekakuan berdasarkan grafik P Delta antara SAP2000 dan hasil pengujian laboratorium adalah sebesar  $EI$   $1,05 \times 200$  dan nilai  $\tau_b$  0,95.

*Trial* jumlah *step* pada perhitungan non linear dilakukan melalui percobaan. Selanjutnya jumlah *step* yang difungsikan untuk percobaan yaitu memasukan *step* ke-10, 20, 50, 75, 100, 150 dan 200 melalui parameter *trial* jumlah *step* yaitu nilai gaya tekan mulai stabil, sehingga dengan proses *trial* jumlah *step* yang telah dilakukan, maka didapatkan gambar grafik hubungan jumlah *step* dengan kuat

tekan yang dapat dilihat pada gambar grafik 5.27 berikut ini.



**Gambar 5.27 Grafik Hubungan *Trial* Jumlah *Step* Terhadap Nilai Kuat Tekan Batang Tekan Variasi 3 Baut**

Diperoleh bahwa pada jumlah *step* ke-100 terlihat nilai kuat tekan yang didapatkan sudah stabil dari grafik di atas, sehingga dapat diketahui bahwa jumlah *step* yang digunakan untuk permodelan batang tekan profil *HSS* pada variasi 3 baut adalah 100. Selanjutnya detail jumlah *step* dan nilai kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.5 sebagai berikut.

**Tabel 5.5 Pengaruh *Trial* Jumlah *Step* Terhadap Nilai  $P_n$  Pada Batang Tekan Variasi 3 Baut**

| TRIAL JUMLAH<br>STEP |        |
|----------------------|--------|
| STEP -               | P (KN) |
| 10                   | 25,96  |
| 20                   | 25,71  |
| 50                   | 26,08  |
| 75                   | 26,08  |
| 100                  | 26,2   |
| 150                  | 26,2   |
| 200                  | 26,2   |
| 250                  | 26,2   |

### 5.5.3 Pembahasan Pengaruh Jumlah Baut Terhadap Pemodelan

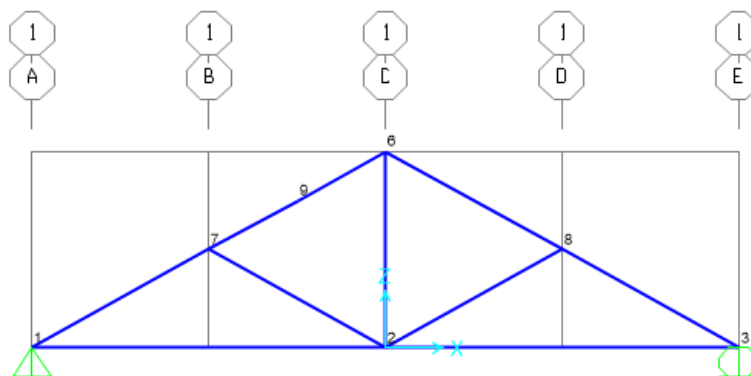
Hasil yang diperoleh dari *trial* jumlah *step* pada batang tekan profil HSS yaitu, pada variasi 1 baut menggunakan nilai reduksi kekakuan  $0,25 \times \tau_b \times 200$  diperoleh nilai kuat tekan yang diperoleh sebesar 24,7 KN dengan *trial* jumlah *step* yang digunakan pada *step* ke-100. pada *step* tersebut nilai kuat tekan sudah stabil. Dan pada variasi 3 baut digunakan hasil *trial* jumlah *step* nilai EI  $1,05 \times 200$  dengan reduksi inersia sebesar 0,95, diperoleh nilai kuat tekan sebesar 26,2 KN dengan *trial* jumlah *step* yang digunakan pada *step* ke-100.

### 5.6 Analisis Kapasitas Rangka Atap dengan Metode DAM SAP2000 Terverifikasi Jumlah Step

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 terverifikasi jumlah *step* pada sub bab 5.5.3 diatas yaitu *trial* pada jumlah *step* dan reduksi kekakuan. Adapun analisis dilakukan dapat dilihat dibawah ini.

#### 5.6.1 Analisis Rangka Atap Variasi 1 Baut

Analisis DAM Rangka Atap diaplikasikan dengan menggunakan SAP2000. Adapun pemodelan rangka atap variasi 1 baut yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.28 dibawah ini.



### Gambar 5.28 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pada SAP2000

Pada gambar 5.28 diatas menggunakan tumpuan sendi-rol pada rangka atap variasi 1 baut. Selanjutnya untuk perhitungan kapasitas tekan rangka atap, pemodelan pembebanan dan reduksi kekauan dapat dilihat dibawah ini.

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

$$L = 739 \text{ mm}$$

$$b = 21,34 \text{ mm}$$

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

$$A_g = 122,35 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 9688,12 \text{ mm}^4$$

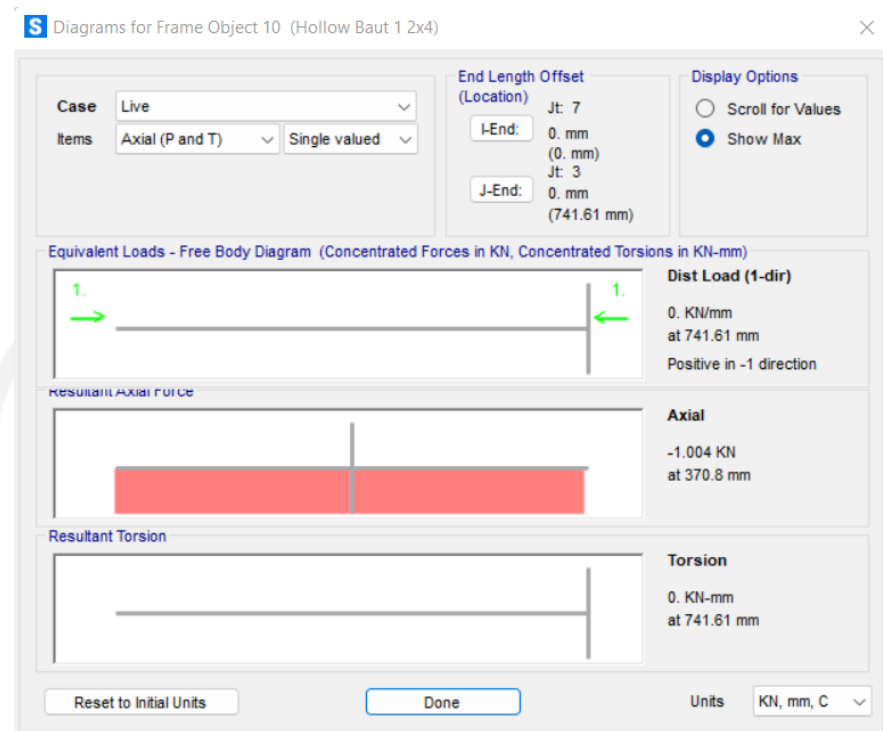
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$$

$$= \sqrt{\frac{9688,12}{122,35}}$$

$$= 8,898 \text{ mm}$$

#### 2. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Pada titik puncak rangka atap dilakukan perhitungan beban yang diberikan melalui perbandingan segitiga. Perbandingan segitiga dengan memberikan beban awal sebesar 1 kN pada titik puncak ragka atap. Kemudian dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap. Setelah itu diperoleh nilai aksial batang yang dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut ini.



**Gambar 5.29 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Pembebanan 1kN**

Dari gambar 5.29 diatas diketahui bahwa nilai gaya aksial batang tekan rangka atap variasi 1 baut sebesar 1,004 kN. Maka nilai yang digunakan untuk perbandingan adalah nilai  $\phi P_n$  yang diperoleh dari *trial* jumlah *step* SAP2000 pada batang tekan variasi 1 baut sebesar 21,49 kN. Persamaan segitiga yang digunakan yaitu,

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

$$\frac{1 \text{ kN}}{1,004 \text{ kN}} = \frac{P}{21,49 \text{ kN}}$$

$$P = \frac{1 \times 21,49}{1,004}$$

$$P = 21,4 \text{ kN}$$

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

Pemberian beban notional pada analisis DAM rangka atap dilakukan untuk menghitung pengaruh ketidaksempurnaan dari rangka atap karena adanya



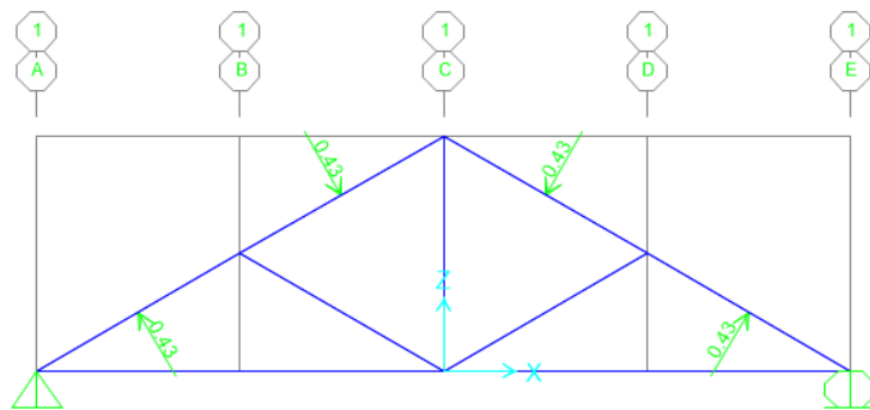
cacat bawaan yang menyebabkan efek *destabilizing*. Selanjutnya perhitungan beban notional dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini.

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

$$N_i = 0,002 \times 21,49$$

$$N_i = 0,043 \text{ kN}$$

Adapun letak beban notional yang terdapat pada rangka atap dapat dilihat pada Gambar 5.30 dibawah ini.



**Gambar 5.30 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut**

4. Reduksi Kekakuan

Terjadi leleh setempat karena adanya tegangan sisa pada profil baja yang menyebabkan kekuatan profil baja berkurang, oleh karena itu dibutuhkan penyesuaian kekakuan profil baja dengan melakukan reduksi kekakuan sesuai dengan nilai  $EI^-$  terverifikasi jumlah *step* pada analisis rangka atap variasi 1 baut ini. Selanjutnya persamaan yang digunakan sebagai berikut.

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

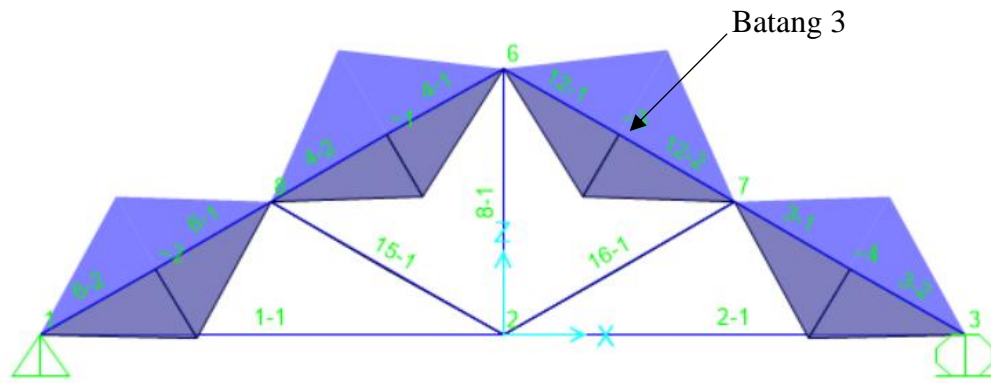
$$EI^- = 0,25 \times 0,977 \times 200000$$

$$EI^- = 48850 \text{ Nmm}^2$$

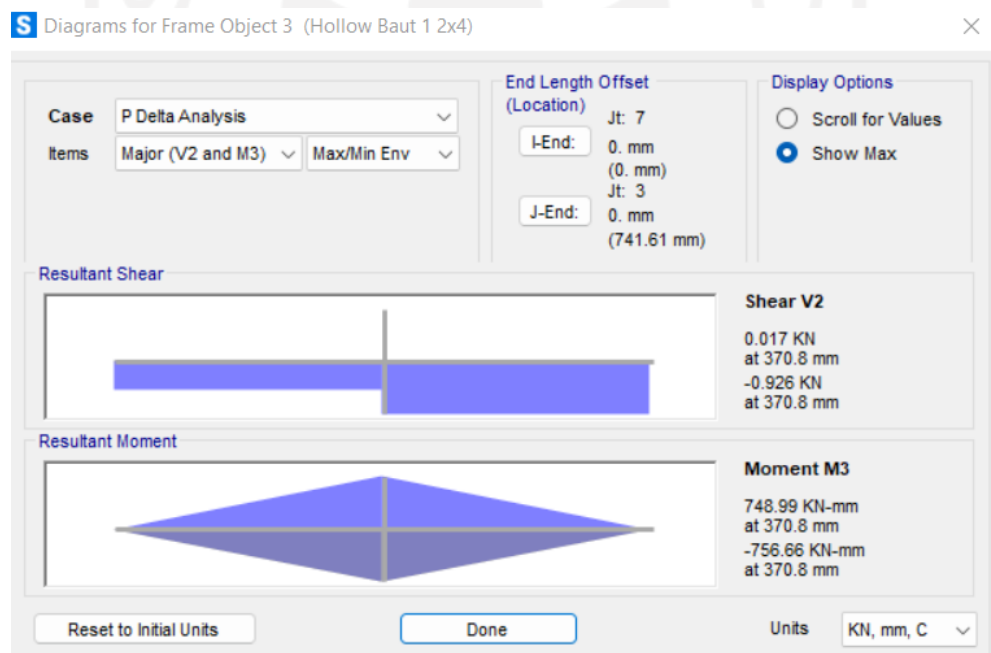
5. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Diperlukan *running* pada SAP2000 dengan *case P-Delta* untuk menetapkan batang yang mengalami gagal tekuk. Kemudian ditampilkan *bending moment* sehingga terlihat batang yang memiliki momen paling besar.

Gambar *bending moment* diagram hasil *running* SAP2000 dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 5.31 Bending Moment Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,25 \times E \times 0,977$ )**

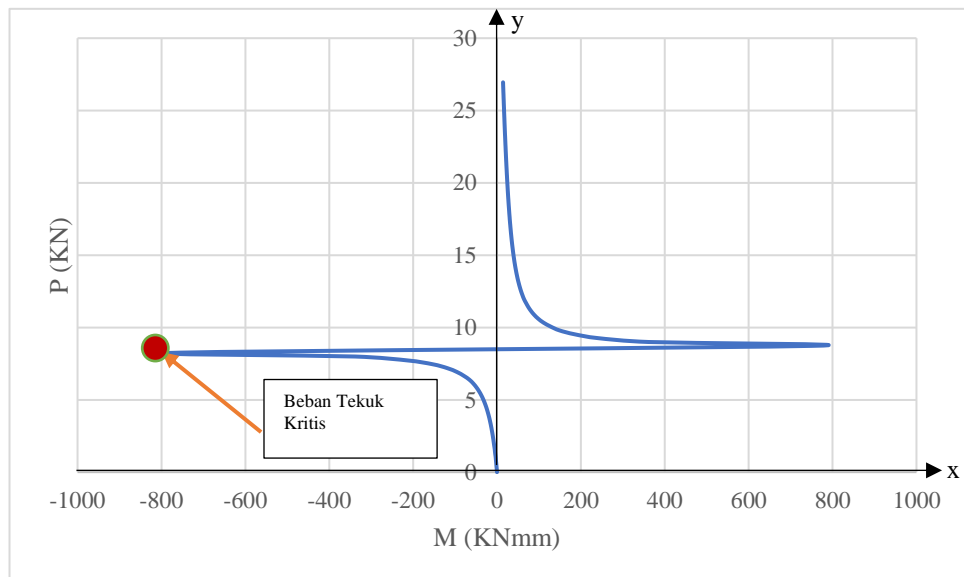


**Gambar 5.32 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,25 \times E \times 0,977$ )**

Setelah dilakukan *running* pada SAP2000 dapat diketahui *bending moment* terbesar yaitu pada batang 3 pada *station* 370,8 sebesar 756,66 kNmm.

#### 7. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah didapatkan batang tekan yang terjadi gagal tekuk pada batang tekan 3 station 370,8 maka selanjutnya dibuat grafik P-M untuk memperoleh nilai P tekuk.



**Gambar 5.33 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,25 \times E \times 0,977$ )**

Dari grafik diatas diketahui nilai kuat tekuk kritis rangka atap variasi 1 baut sebesar 8,261 KN. Hasil tersebut lebih kecil dari hasil uji tekan batang tekan di laboratorium sebesar 24,987 KN, sehingga hasil tersebut tidak masuk akal dan dilakukan percobaan nilai reduksi yang memiliki hasil lebih masuk akal.

8. Percobaan Reduksi Kekakuan

Selanjutnya dilakukan percobaan nilai reduksi kekakuan sebagai berikut.

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

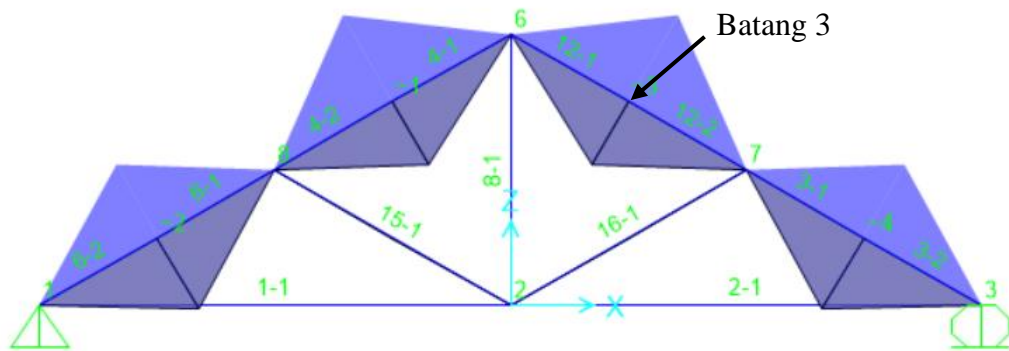
$$EI^- = 0,7 \times 0,977 \times 200000$$

$$EI^- = 136780 \text{ Nmm}^2$$

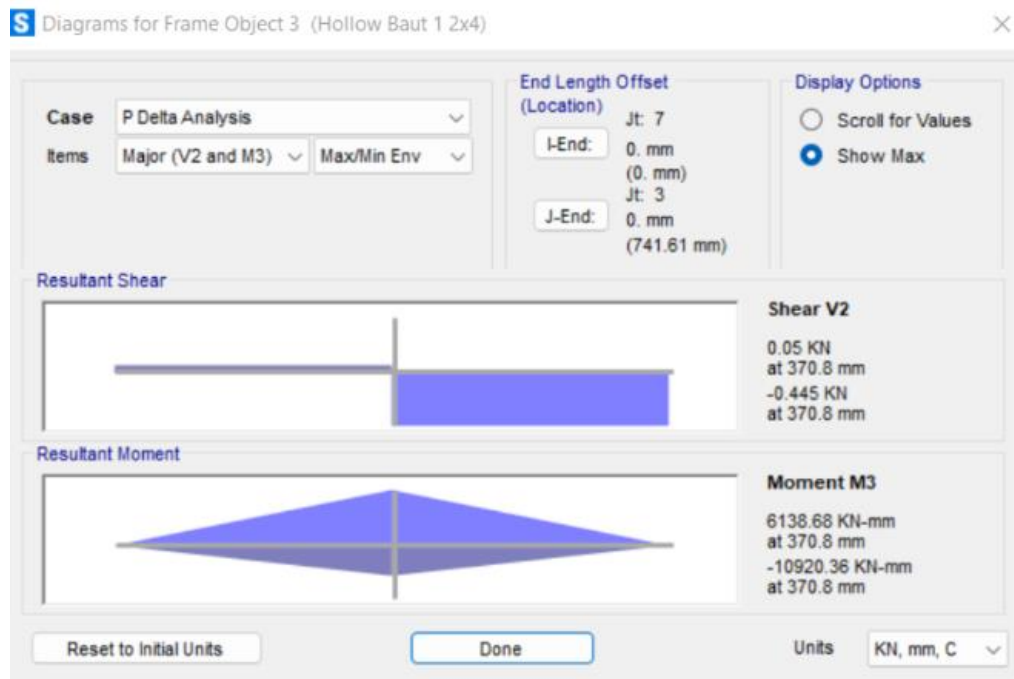
9. Penentuan Batang Gagal Tekuk Setelah Reduksi Kekakuan Ulang

Diperlukan *running* pada SAP2000 dengan *case P-Delta* untuk menetapkan batang yang mengalami gagal tekuk. Kemudian ditampilkan *bending moment* sehingga terlihat batang yang memiliki momen paling besar.

Gambar *bending moment* diagram hasil *running* SAP2000 dapat dilihat pada gambar berikut ini.



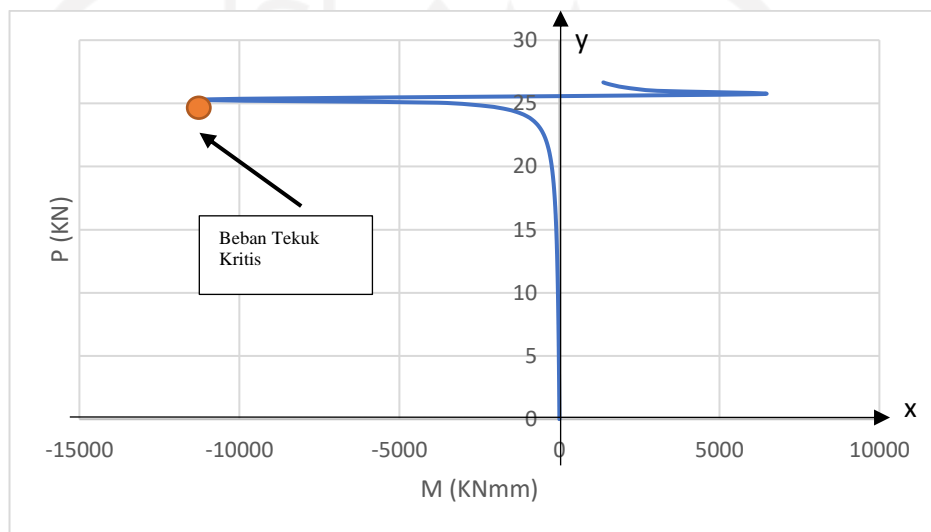
**Gambar 5.34 Bending Moment Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,7 \times E \times 0,977$ )**



**Gambar 5.35 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,7 \times E \times 0,977$ )**

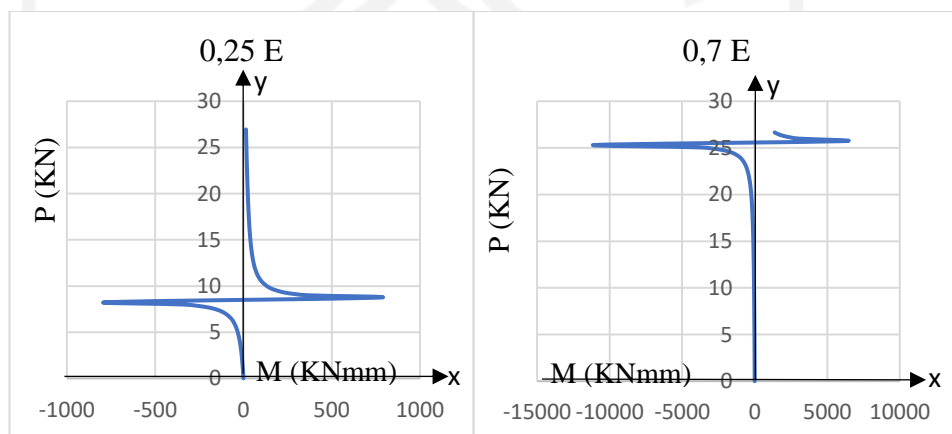
Setelah dilakukan *running* pada SAP2000 dapat diketahui *bending moment* terbesar yaitu pada batang 3 pada *station* 370,8 sebesar 10920,36 kNmm.

10. Perilaku Tekuk Rangka Atap Setelah Reduksi Kekakuan Ulang  
Setelah didapatkan batang tekan yang terjadi gagal tekuk pada batang tekan 3 station 370,8 maka selanjutnya dibuat grafik P-M untuk memperoleh nilai P tekuk.



**Gambar 5.36 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan ( $EI=0,7 \times E \times 0,977$ )**

Dari grafik diatas diketahui nilai kuat tekuk kritis rangka atap variasi 1 baut sebesar 25,318 KN.



**Gambar 5.37 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

Berdasarkan grafik pada gambar 5.36 diatas dapat diketahui bahwa bentuk

rangka atap profil *Hollow Square Section* kelangsingan menengah dengan sambungan sendi-sendi memberikan pengaruh *destabilizing* yang lebih besar pada batang tekannya. Hal ini terlihat dari nilai beban tekuk yang lebih rendah pada rangka atap daripada batang tekan tunggalnya pada nilai reduksi kekakuan yang sama ( $E=0,25 EI$ ). Oleh karena itu diperlukan lagi penyesuaian nilai kekakuan batang tekan dengan cara meningkatkan nilai  $EI$  dari 0,25 menjadi 0,7 untuk mengkompensasi efek *destabilizing* dari struktur rangka atap.

#### 11. Kuat Nominal Penampang

Dilakukan analisa kapasitas tekan dengan metode *Effective Length Method* (ELM) untuk mengetahui kapasitas nominal penampang struktur. Selanjutnya pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Maka terdapat analisa untuk pembatasan pada komponen struktur tersebut. Diperlukan *trial* pada jumlah *step* yang ada dalam menentukan nilai  $P_r$  dan  $M_r$  untuk memperoleh nilai *safety factor* yang memenuhi syarat SNI 1729:2020. *Trial* jumlah *step* yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat  $\leq 1,0$  didapatkan pada jumlah *step* ke-61. Selanjutnya data yang diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

$$z = 1566,598 \text{ mm}^3$$

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

$$P_r = 16,229 \text{ kNmm}$$

$$P_c = 21,49 \text{ kNmm}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{16,229}{21,49}$$

$$= 0,767$$

$$M_r = 118,1$$

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

$$= \frac{0,9 \times 1566,5977 \times 305}{10^6}$$

$$= 430,031 \text{ kNmm}$$

Dari data yang diperoleh maka persamaan yang digunakan untuk mendapatkan analisa pembatasan pada komponen struktur berdasarkan SNI 1729:2020 yaitu,

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

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

$$SF = \frac{16,229}{21,49} + \frac{8}{9} \left( \frac{118,1}{430,031} \right) \leq 1,0$$

$$SF = 0,99 \leq 1,0$$

$SF$  (*Safety Factor*) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan terjamin keamanannya sesuai dengan pedoman SNI 1729:2020. Dari perhitungan di atas diperoleh nilai  $SF$  sebesar 0,99.

Dengan cara yang sama didapatkan kuat nominal penampang *step* 60 sampai 68 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang *Step* 60 sampai 68 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

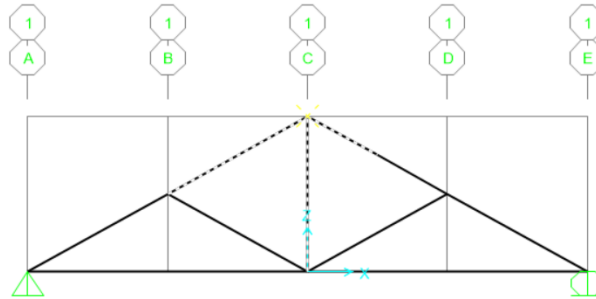
| <i>Step</i> | Pr     | Mr     | Pc    | Mc     | Sf       |
|-------------|--------|--------|-------|--------|----------|
| 60          | 16,229 | 113,14 | 21,49 | 430,03 | 0,976629 |
| 61          | 16,496 | 118,1  | 21,49 | 430,03 | 0,999306 |
| 62          | 16,762 | 123,34 | 21,49 | 430,03 | 1,022561 |
| 63          | 17,029 | 128,9  | 21,49 | 430,03 | 1,046432 |
| 64          | 17,296 | 134,8  | 21,49 | 430,03 | 1,071052 |
| 65          | 17,563 | 141,08 | 21,49 | 430,03 | 1,096457 |
| 66          | 17,831 | 147,77 | 21,49 | 430,03 | 1,12271  |
| 67          | 18,098 | 154,92 | 21,49 | 430,03 | 1,14996  |
| 68          | 18,365 | 162,58 | 21,49 | 430,03 | 1,178218 |

Dari tabel rekapitulasi 5.6 diatas dapat diketahui *trial* jumlah *step* yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat  $\leq 1,0$  didapatkan pada jumlah *step* ke-61.

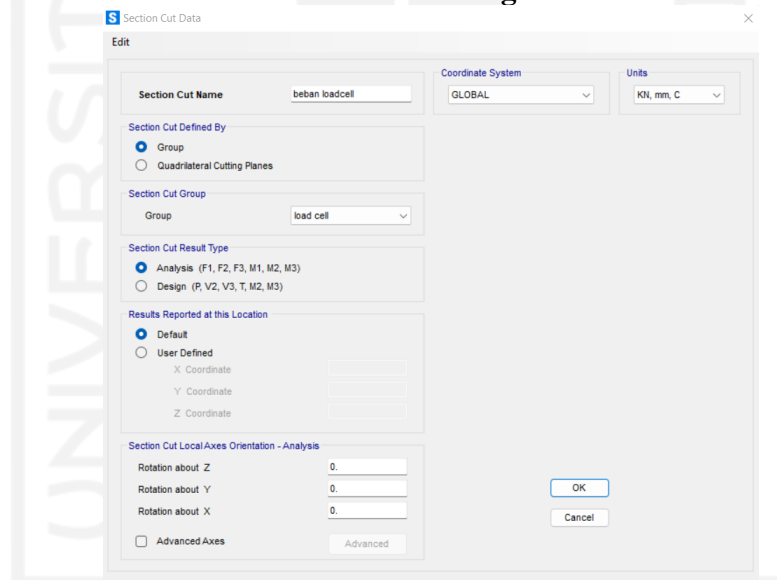
## 12. Penentuan kapasitas rangka atap metode DAM SAP2000

Diperlukan adanya besar gaya yang bekerja pada titik puncak rangka atap saat terjadi beban tekuk kritis (ketika *step* 82) untuk memperoleh nilai kuat tekan rangka atap. Oleh karena itu dilakukan pemodelan *section cut*. Pemodelan *section cut* dilakukan untuk memudahkan memperoleh kapasitas rangka atap setelah pembebanan. Pemodelan ini dimulai dengan *grouping* pada join dan batang tekan

di bagian titik puncak rangka atap tersebut. Selanjutnya pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.38 dan 5.39 berikut ini



**Gambar 5.38 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**



**Gambar 5.39 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

Selanjutnya dapat diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada tabel berikut ini.



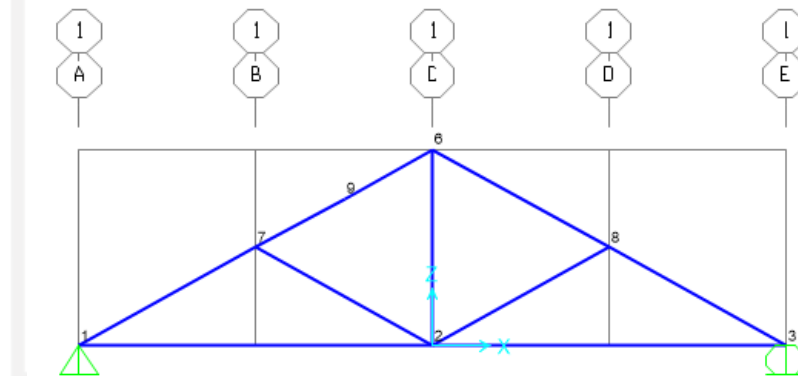
**Tabel 5.7 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 1 Baut Sambungan**

| Output Case           | Section Cut | Step- | P (KN) |
|-----------------------|-------------|-------|--------|
| beban <i>loadcell</i> | P DELTA     | 60    | 15,6   |
| beban <i>loadcell</i> | P DELTA     | 61    | 15,58  |
| beban <i>loadcell</i> | P DELTA     | 62    | 16,12  |
| beban <i>loadcell</i> | P DELTA     | 63    | 16,38  |
| beban <i>loadcell</i> | P DELTA     | 64    | 16,64  |
| beban <i>loadcell</i> | P DELTA     | 65    | 16,9   |

Dari tabel 5.7 diatas diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada *step* 61 sebesar 15,86 KN.

### 5.6.2 Analisis Rangka Atap Variasi 3 Baut

Analisis DAM Rangka Atap diaplikasikan dengan menggunakan SAP2000. Adapun pemodelan rangka atap variasi 3 baut yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 5.40 dibawah ini.



**Gambar 5.40 Nodal dan Tumpuan Rangka Atap Variasi 3 Baut Pada SAP2000**

Berdasarkan gambar 5.40 diatas tumpuan yang digunakan pada rangka atap variasi 1 baut adalah sendi-rol. Selanjutnya untuk perhitungan kapasitas tekan rangka atap, pemodelan pembebanan dan reduksi kekauan dapat dilihat dibawah ini.

- Data Penampang Rangka Atap Variasi 3 Baut
  - L = 614,5 mm
  - b = 21,34 mm
  - h = 39,023 mm

$$A_g = 122,35 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 9688,12 \text{ mm}^4$$

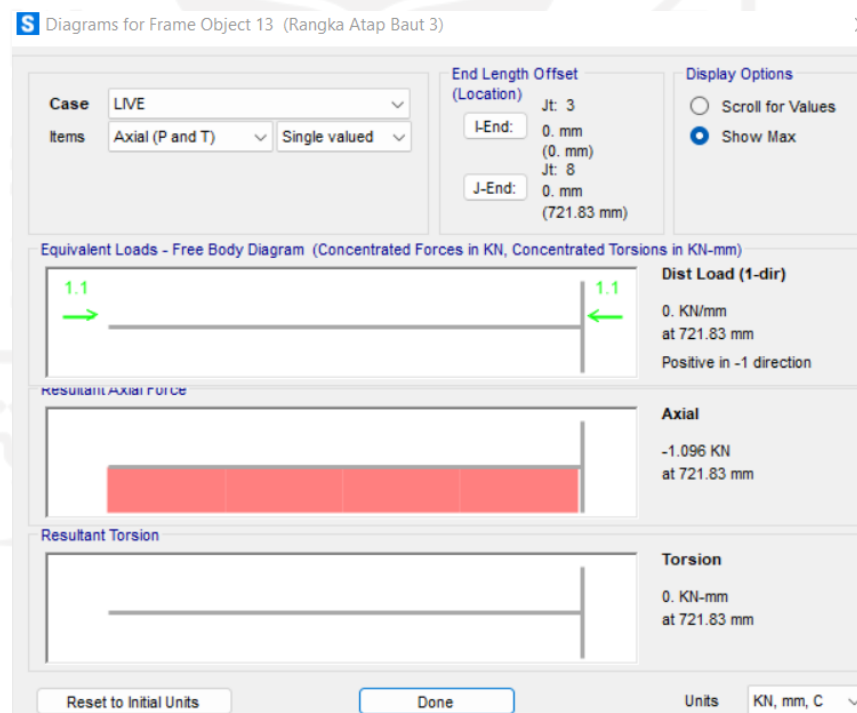
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}}$$

$$= \sqrt{\frac{9688,12}{122,35}}$$

$$= 8,898 \text{ mm}$$

## 2. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Perhitungan beban pada titik puncak rangka atap dilakukan dengan perbandingan segitiga. Perbandingan segitiga dilakukan dengan memberikan beban awal sebesar 1 kN pada titik puncak rangka atap. Selanjutnya dilakukan *running* SAP2000 pada rangka atap. Setelah itu diperoleh nilai aksial batang yang dapat dilihat pada Gambar 5.41 dibawah ini.



**Gambar 5.41 Nilai Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Pembebanan 1kN**

Berdasarkan gambar 5.41 diatas diketahui bahwa nilai gaya aksial batang tekan rangka atap variasi 3 baut sebesar 1,096 kN. Selanjutnya nilai yang digunakan untuk perbandingan adalah nilai  $\phi P_n$  yang diperoleh dari *trial* jumlah *step* SAP2000 pada batang tekan variasi 3 baut sebesar 28,87 kN. Persamaan segitiga yang digunakan yaitu,

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

$$\frac{1 kN}{1,096 kN} = \frac{P}{28,87 kN}$$

$$P = \frac{1 \times 28,87}{1,096}$$

$$P = 26,342 kN$$

3. Beban Notional ( $N_i$ )

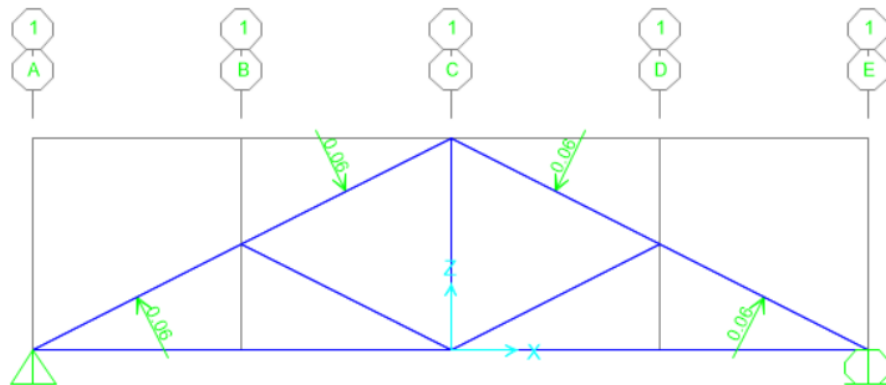
Dilakukan pemberian beban notional pada analisis DAM rangka atap, hal tersebut bertujuan untuk menghitung pengaruh ketidaksempurnaan dari rangka atap akibat adanya cacat bawaan yang dapat menimbulkan efek *destabilizing*. Selanjutnya perhitungan beban notional dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini

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

$$N_i = 0,002 \times 28,87$$

$$N_i = 0,0577 kN$$

Kemudian letak beban notional yang terdapat pada rangka atap dapat dilihat pada Gambar 5.42 dibawah ini.



**Gambar 5.42 Memasukan Beban Notional Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut**

4. Reduksi Kekakuan

Terdapat leleh setempat karena adanya tegangan sisa pada profil baja yang menyebabkan kekuatan profil baja berkurang. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian kekakuan profil baja melalui reduksi kekakuan sesuai dengan nilai  $EI^-$  terverifikasi jumlah *step* pada analisis rangka atap variasi 3 baut. Selanjutnya persamaan yang digunakan yaitu

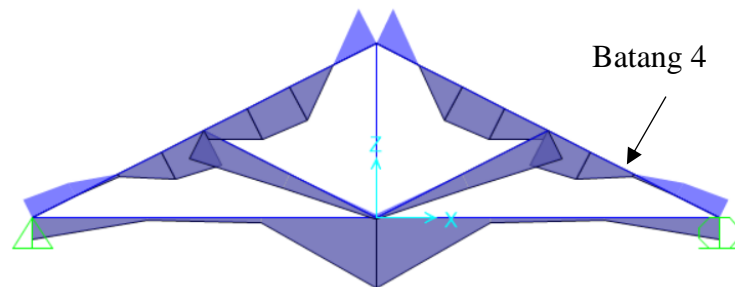
$$EI^- = \varphi \times \tau b \times E$$

$$EI^- = 1,05 \times 0,95 \times 200000$$

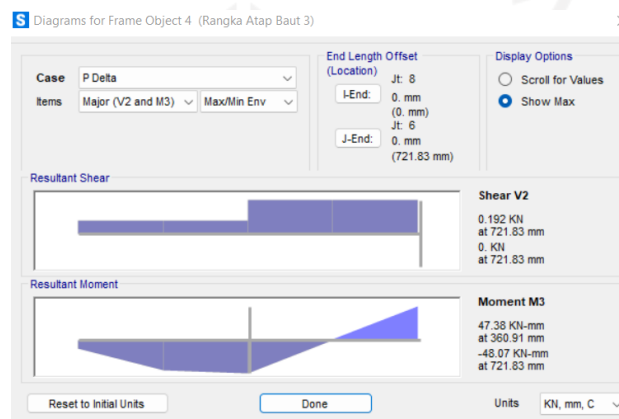
$$EI^- = 199500 \text{ Nmm}^2$$

5. Penentuan Batang Gagal Tekuk

Dilakukan *running* pada SAP2000 dengan *case P-Delta* untuk menentukan batang yang mengalami gagal tekuk. Setelah itu ditampilkan *bending moment* sehingga terlihat batang yang memiliki momen terbesar. Selanjutnya gambar *bending moment* diagram hasil *running* SAP2000 dapat dilihat pada gambar dibawah ini



**Gambar 5.43 Bending Moment Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan ( $EI=1,05 \times E \times 0,95$ )**

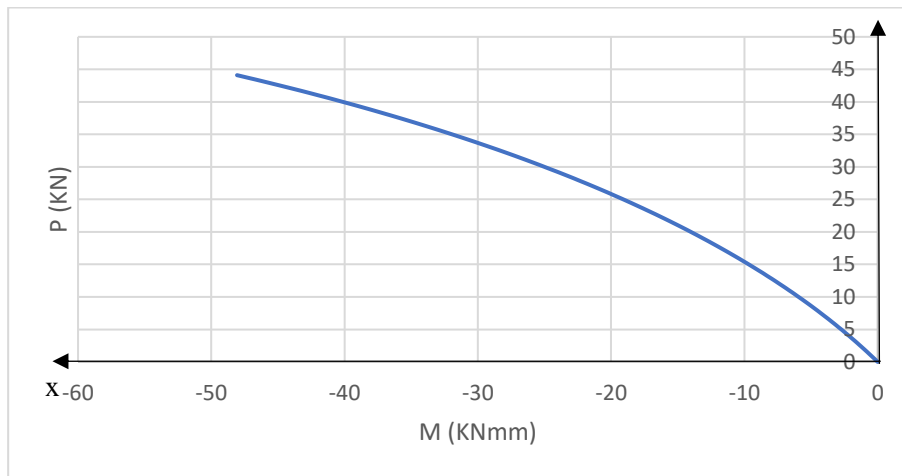


**Gambar 5.44 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan ( $EI=1,05 \times E \times 0,95$ )**

Setelah dilakukan *running* pada SAP2000 maka diketahui *bending moment* terbesar yaitu pada batang 4 pada *station* 721,83 sebesar 48,07 kNmm.

6. Perilaku Tekuk Rangka Atap

Setelah didapatkan batang tekan yang terjadi gagal tekuk pada batang tekan 4 *station* 721,83 selanjutnya dibuat grafik P-M untuk mengetahui nilai P tekuk.



**Gambar 5.45 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan ( $EI=1,05 \times E \times 0,95$ )**

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa batang tekan rangka atap tidak terjadi tekuk, sehingga harus dilakukan percobaan reduksi kekakuan.

7. Percobaan Reduksi Kekakuan

Selanjutnya dilakukan percobaan nilai reduksi kekakuan sebagai berikut.

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

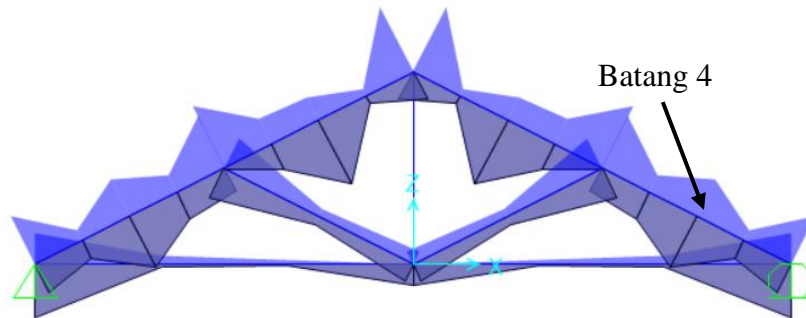
$$EI^- = 0,5 \times 0,7 \times 200000$$

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

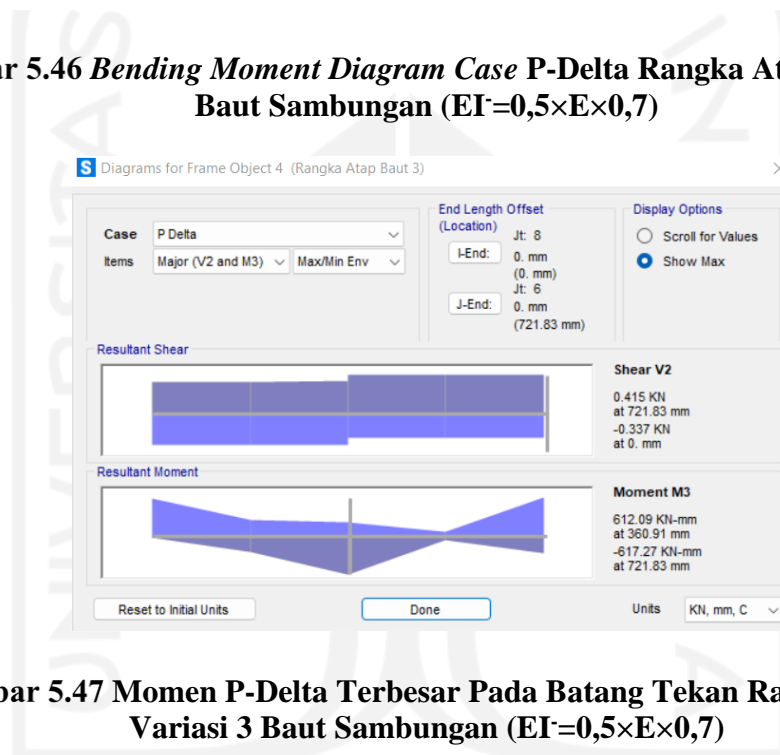
8. Penentuan Batang Gagal Tekuk Setelah Reduksi Kekakuan Ulang

Diperlukan *running* pada SAP2000 dengan *case P-Delta* untuk menetapkan batang yang mengalami gagal tekuk. Kemudian ditampilkan *bending moment* sehingga terlihat batang yang memiliki momen paling besar.

Gambar *bending moment* diagram hasil *running* SAP200 dapat dilihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 5.46 Bending Moment Diagram Case P-Delta Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan ( $EI=0,5 \times E \times 0,7$ )**

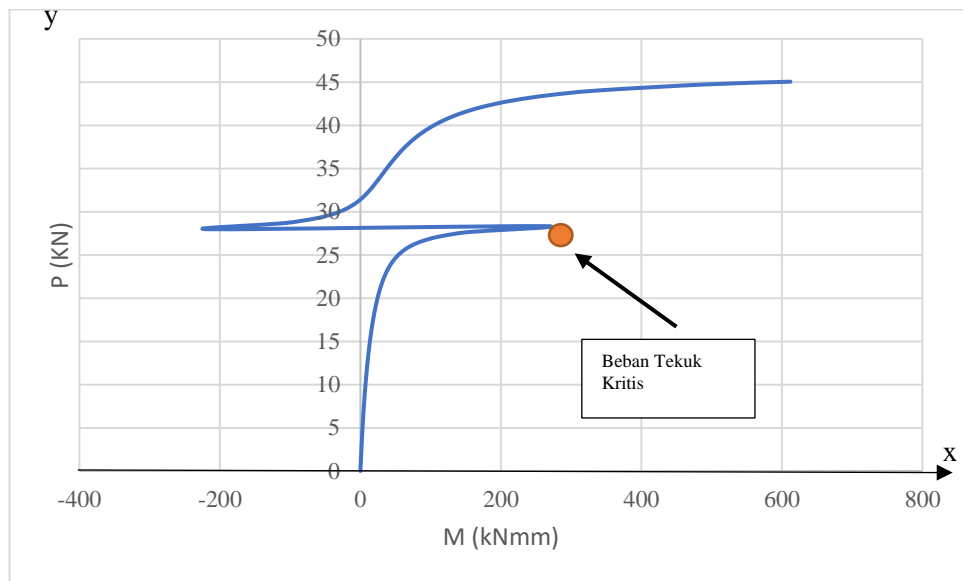


**Gambar 5.47 Momen P-Delta Terbesar Pada Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan ( $EI=0,5 \times E \times 0,7$ )**

Setelah dilakukan *running* pada SAP2000 dapat diketahui *bending moment* terbesar yaitu pada batang 4 pada *station* 721,83 sebesar 617,27 kNmm.

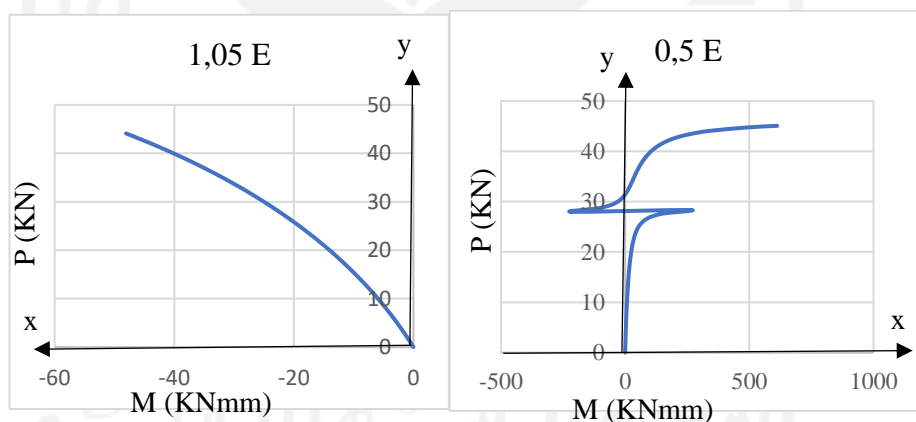
9. Perilaku Tekuk Rangka Atap Setelah Reduksi Kekakuan Ulang  
Setelah didapatkan batang tekan yang terjadi gagal tekuk pada batang tekan 3 *station* 721,83 selanjutnya dibuat grafik P-M untuk mengetahui nilai P tekuk.





**Gambar 5.48 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 4 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

Berdasarkan grafik pada gambar 5.48 diatas maka didapatkan hasil kapasitas tekuk kritis rangka atap variasi 3 baut sebesar 28,332 kN.



**Gambar 5.49 Grafik Hubungan P-M Rangka Atap Pada Batang Tekan 3 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

Berdasarkan grafik pada gambar 5.49 diatas dapat diketahui bahwa bentuk rangka atap profil *Hollow Square Section* kelangsingan menengah dengan sambungan 3 baut memberikan pengaruh memperkaku elemen batang tekannya. Hal ini dibuktikan dengan tidak terjadinya tekuk pada batang tekan jika faktor reduksi kekakuan menggunakan hasil *trial* jumlah *step* uji laboratorium batang tekan. Oleh karena itu diperlukan penyesuaian nilai reduksi kekakuan batang tekan dengan menurunkan nilai EI dari  $1,05 EI \times 0,95 I$  menjadi  $0,5 E \times 0,7 I$  untuk



mengkompensasi efek kekakuan rangka atap dengan sambungan 3 baut.

#### 10. Kuat Nominal Penampang

Dilakukan analisa kapasitas tekan dengan metode *Effective Length Method* (ELM) untuk mengetahui kapasitas nominal penampang struktur. Selanjutnya pada *Direct Analysis Method* (DAM) terdapat pengaruh orde ke-2 pada batang tekan. Maka terdapat analisa untuk pembatasan pada komponen struktur tersebut. Diperlukan *trial* pada jumlah *step* yang ada dalam menentukan nilai  $P_r$  dan  $M_r$  untuk memperoleh nilai *safety factor* yang memenuhi syarat SNI 1729:2020. *Trial* jumlah *step* yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat  $\leq 1,0$  didapatkan pada jumlah *step* ke-57. Selanjutnya data yang diperoleh dari analisis yang telah dilakukan yaitu,

$$z = 1566,598 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 350 \text{ MPa}$$

$$P_r = 25,221 \text{ kN}$$

$$P_c = 28,87 \text{ kN}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{22,221}{28,87}$$

$$= 0,9919$$

$$M_r = 56,97 \text{ kNmm}$$

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

$$= \frac{0,9 \times 1566,598 \times 350}{10^6}$$

$$= 420,03 \text{ kNmm}$$

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

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

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

$$SF = \frac{22,221}{28,87} + \frac{8}{9} \left( \frac{20,22}{420,03} \right) \leq 1,0$$

$$SF = 0,991 \leq 1,0$$

*SF* (*Safety Factor*) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan terjamin keamanannya sesuai dengan pedoman SNI 1729:2020. Dari perhitungan di atas diperoleh nilai *SF* sebesar 0,991.

Dengan cara yang sama diperoleh kuat nominal penampang *step* 55 sampai 60 sebagai berikut.

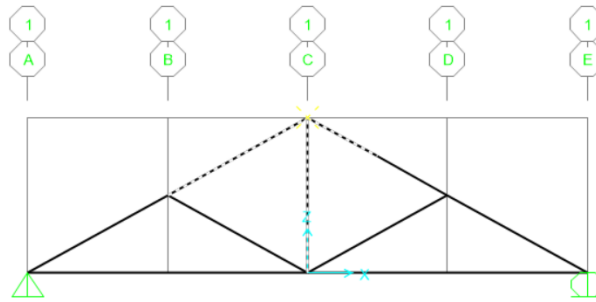
**Tabel 5.8 Rekapitulasi Kuat Nominal Penampang Step 55 sampai 60 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

| <i>Step</i> | Pr      | Mr     | Pc    | Mc     | Sf       |
|-------------|---------|--------|-------|--------|----------|
| 55          | 24,318  | 46,67  | 28,87 | 430,03 | 0,938796 |
| 56          | -24,768 | 51,27  | 28,87 | 430,03 | 0,963892 |
| 57          | -25,221 | 56,97  | 28,87 | 430,03 | 0,991365 |
| 58          | -25,678 | 64,31  | 28,87 | 430,03 | 1,022367 |
| 59          | -26,14  | 74,19  | 28,87 | 430,03 | 1,058792 |
| 60          | -26,613 | 111,24 | 28,87 | 430,03 | 1,104776 |

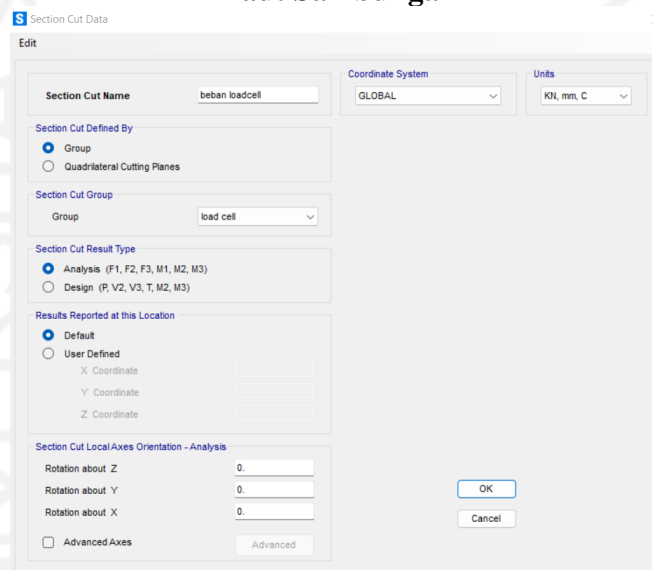
Dari tabel rekapitulasi 5.8 diatas dapat diketahui *trial* jumlah *step* yang mendekati kapasitas penampang sesuai syarat  $\leq 1,0$  didapatkan pada jumlah *step* ke-57.

11. 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* dengan cara yang sama pada variasi 1 baut. Adapun pemodelan yang dilakukan pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 5.37 dan 5.38.



**Gambar 5.50 Grouping Pada Join dan Batang Tekan Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**



**Gambar 5.51 Section Cut Data Beban Loadcell Pada Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

Selanjutnya dapat diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada tabel berikut ini.

**Tabel 5.9 Hasil P DAM SAP2000 Rangka Atap Variasi 3 Baut Sambungan**

| Output Case                  | Section Cut    | Step-     | P (KN)      |
|------------------------------|----------------|-----------|-------------|
| beban <i>loadcell</i>        | P DELTA        | 55        | 22          |
| beban <i>loadcell</i>        | P DELTA        | 56        | 22,4        |
| <b>beban <i>loadcell</i></b> | <b>P DELTA</b> | <b>57</b> | <b>22,8</b> |
| beban <i>loadcell</i>        | P DELTA        | 58        | 23,2        |
| beban <i>loadcell</i>        | P DELTA        | 59        | 23,6        |
| beban <i>loadcell</i>        | P DELTA        | 60        | 24          |

Dari tabel 5.9 diatas diperoleh output beban hasil DAM SAP2000 dari *section cut loadcell* pada *step 57* sebesar 22,8 KN.

### 5.6.3 Pembahasan Hasil Analisis Rangka Atap SAP2000

Perbandingan hasil prediksi kuat tekan struktur rangka atap HSS dengan dengan kelangsingan menengah berdasarkan hasil pemodelan SAP2000 setelah terverifikasi dengan hasil uji lab dapat dilihat pada table berikut ini.

**Tabel 5.10 Perbandingan hasil kapasitas tekan rangka atap Variasi 1 baut dan 3 baut**

|                             | Variasi 1 Baut | Variasi 3 Baut | Peningkatan |
|-----------------------------|----------------|----------------|-------------|
| Kapasitas tekan rangka atap | 15,58 KN       | 22,8 KN        | 46%         |

Berdasarkan tabel 5.9 diatas dapat diketahui bahwa nilai kapasitas tekan rangka atap dengan kelangsingan menengah pada variasi 1 baut dan variasi 3 baut terjadi peningkatan sebesar 7,22 KN atau setara dengan 46%. Jika dikaitkan dengan proses analisis rangka atap profil *Hollow Square Section* kelangsingan menengah dengan sambungan 3 baut yang memberikan pengaruh memperkaku elemen batang tekannya. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan kuat tekan rangka atap dengan kelangsingan menengah sebesar 46% pada variasi sambungan 3 baut.

Perilaku peningkatan kuat tekan rangka atap ini berbeda dengan batang aksial.pada rangka atap terjadi peningkatan yang cukup signifikan sebesar 46%, sedangkan pada batang tekan aksial diperoleh peningkatan sebesar 2,5% yang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 5.11 perbandingan nilai gaya aksial batang tekan rangka atap variasi 1 baut dan variasi 3 baut**

|                   | Variasi 1 Baut | Variasi 3 Baut | Peningkatan |
|-------------------|----------------|----------------|-------------|
| nilai gaya aksial | 24,987 KN      | 25,613 KN      | 2,5%        |

Berdasarkan tabel 5.9 dan tabel 5.10 tersebut, maka dapat diketahui peningkatan kuat tekan rangka lebih disebabkan karena bentuk struktur rangka atapnya, bukan karena jumlah baut sambungannya. Hal ini dibuktikan pada batang aksial dengan jumlah baut yang berbeda, kuat tekannya tidak meningkat secara signifikan. Sedangkan, pada rangka atap terjadi peningkatan kuat tekan yang signifikan

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil pemodelan SAP2000 yang telah terverifikasi dengan hasil uji laboratorium maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut

1. Cara permodelan batang tekan dengan metode DAM dengan 1 baut yang terverifikasi dengan hasil uji lab dengan dimodelkan sebagai sendi rol, mereduksi kekakuan batang tekan sebesar  $0,25 \times t_b \times EI$ , diperoleh nilai kuat tekan dengan reduksi inersia ( $t_b$ ) = 0,977 sebesar 24,7 KN dengan *trial* jumlah *step* yang digunakan pada *step* ke-100.
2. Cara permodelan batang tekan dengan metode DAM dengan 3 baut yang terverifikasi dengan hasil uji lab dengan dimodelkan sebagai tumpuan jepit rol dan jepit. Kemudian digunakan hasil *trial* jumlah *step* sebesar  $1,05 \times \tau_b \times EI$  dengan reduksi inersia ( $\tau_b$ ) = 0,95, nilai kuat tekan sebesar 26,2 KN dengan *trial* jumlah *step* yang digunakan pada *step* ke-100.
3. Pengaruh jumlah baut terhadap cara permodelan batang tekan adalah dengan menambah nilai reduksi kekakuan dari  $0,25 \times 0,977$  menjadi  $1,05 \times 0,95$ .
4. Prediksi kuat tekan struktur rangka atap profil *Hollow Square Section* setelah bervariasi hasil uji lab hasil pemodelan SAP2000 pada variasi baut 1 sebesar 15,58 KN dan variasi baut 3 sebesar 22,8 KN.

#### **6.2 Saran**

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

1. Perlunya dilakukan pengecekan ulang pada ketebalan profil saat pembelian profil baja untuk bahan pengujian, apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang diajukan atau belum.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat mencoba menggunakan variasi profil baja dan variasi sambungan yang berbeda.
3. 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).
- Rafflesia, E., & Mughnie, H. (2017). “Studi Perbandingan *Stress ratio* Dengan ELM (*Effective length method*) dan DAM (*Direct Analysis Method*) Bangunan Workshop Pada Proyek Di Cirebon”. Jurnal, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- 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 : 66/Ka. Prodi/20/PSTS/III/2022  
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada :

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

**Assalamu'alaikum Wr.Wb.**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **Aisyah Amalia**  
NIM : **18511264**  
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* Kelangsingan Sedang 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.**



Mengetahui  
Kepala Program Studi Teknik Sipil  
  
Dr. Sri Anini Yuni Astuti, M.T.

Yogyakarta, 9 Maret 2022  
Pemohon

Aisyah Amalia  
NIM: 18511264

Menyetujui  
Koordinator Laboratorium

Ir. Bambang Sulistiono, 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 Materian dan atau pembuatan sampel pada tanggal 10 – 25 Maret 2022**



## Lampiran A.2 Lanjutan Surat Izin Pemakaian Laboratorium

Nomor : 67/Ka. Prodi/20/PSTS/III/2022  
 Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil UII

Kepada :

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

**Assalamu'alaikum Wr.Wb.**

Yang bertanda tangan dibawah ini:


|                     |   |
|---------------------|---|
| Nama                | : Aisyah Amalia   |
| NIM                 | : 18511264  |
| Program Studi       | : Teknik Sipil  |
| Dosen Pembimbing TA | : Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.  |
| Judul Tugas Akhir   | : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap <i>Square Hollow Section</i> Kelangsingan Sedang Dengan Pelat Sambung Ganda |

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


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

**Wassalamu'alaikum wr. wb.**

Menyetujui  
 Dosen Pembimbing Tugas Akhir

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

Yogyakarta, 9 Maret 2022  
 Pemohon

  
 Aisyah Amalia  
 NIM: 18511264

Mengetahui  
 Kepala Program Studi Teknik Sipil

  
 Sri Ammi Yuni Astuti, M.T.

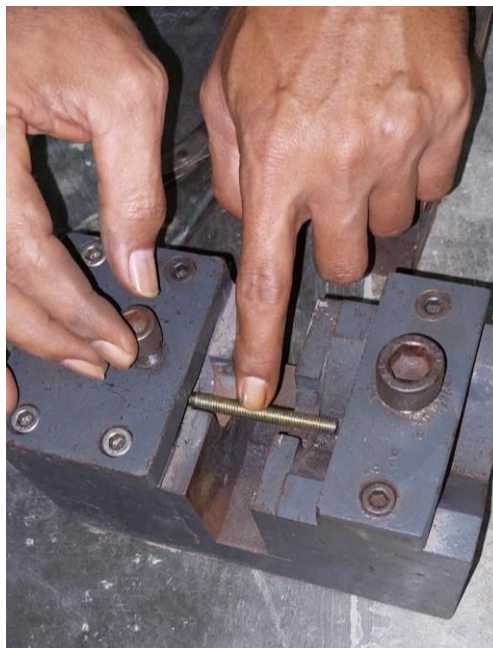


Lampiran:

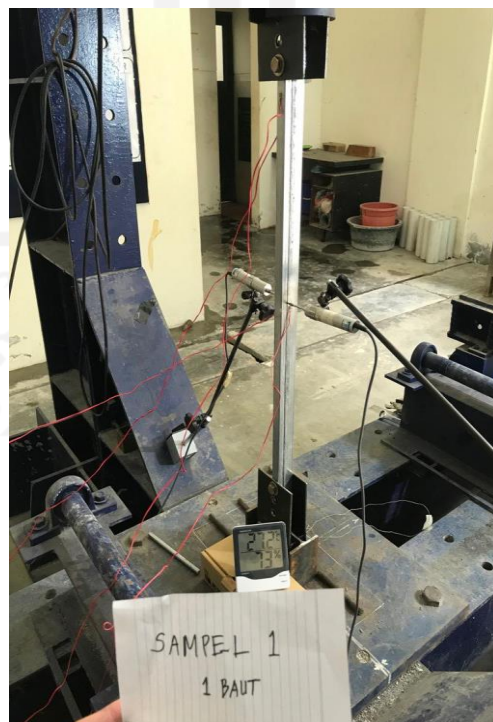
1. Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT)

**Lampiran A.3 Set up Pengujian Tarik Pelat Baja****Lampiran A.4 Kondisi Pelat Baja Setelah Dilakukan Pengujian Tarik**

### Lampiran A.5 Persiapan Pengujian Geser Baut



### Lampiran A.6 Set up Uji Batang Tekan Variasi 1 Baut Sambungan



**Lampiran A.7 Set up Pengujian Batang Tekan Variasi 3 Baut****Lampiran A.8 Kondisi Batang Tekan Setelah Dilakukan Pengujian Tekan**

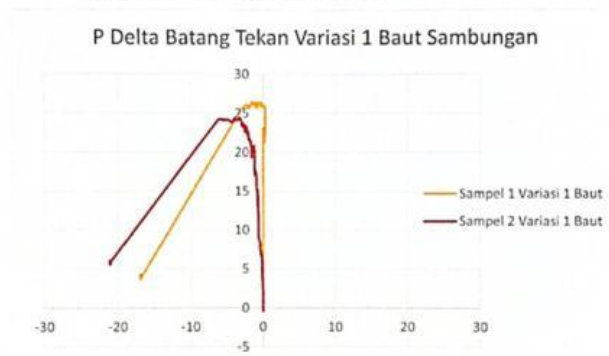
## Lampiran B. 1 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 1 Baut



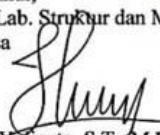
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII  
Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

### HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Aisyah Amalia  
NIM : 18511264  
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Sedang dengan Plat Sambungan Ganda  
Diuji Tanggal : 31 Maret 2022  
Sampel : Uji Tekan Batang Variasi 1 Baut




Mengetahui,  
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika  
Rekayasa

  
Hariadi Xulianto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 9 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

  
Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

## Lampiran B. 2 Hasil Grafik P-Delta Data Uji Tekan Variasi 3 Baut



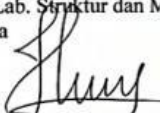
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII  
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

### HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Aisyah Amalia  
 NIM : 18511264  
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Sedang dengan Plat Sambungan Ganda  
 Diuji Tanggal : 24 Maret 2022  
 Sampel : Uji Tekan Batang Variasi 3 Baut




Mengetahui,  
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika  
 Rekayasa

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

Yogyakarta, 9 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

  
 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

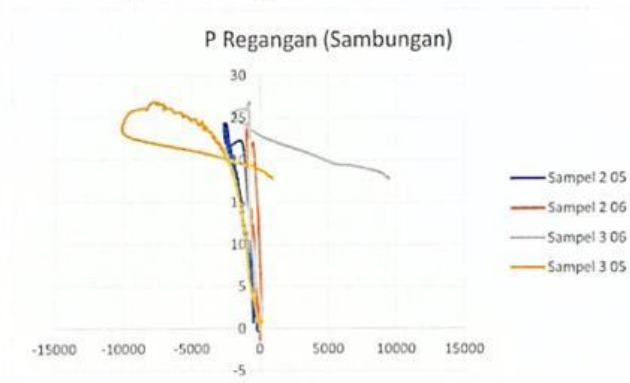
## Lampiran B. 1 Hasil Grafik P-Regangan (Sambungan) Batang Tekan Variasi 1 Baut



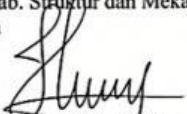
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII  
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

### HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Aisyah Amalia  
 NIM : 18511264  
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Sedang dengan Plat Sambungan Ganda  
 Diuji Tanggal : 31 Maret 2022  
 Sampel : Uji Tekan Batang Variasi 1 Baut




Mengetahui,  
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika  
 Rekayasa

  
 Hariadi Yulfanto, S.T., M.Eng.

Yogyakarta, 9 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

  
 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

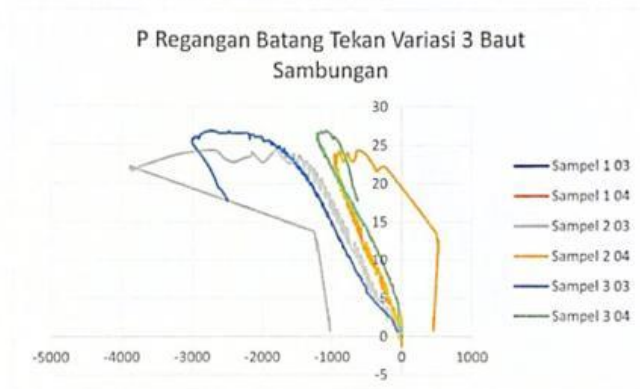
## Lampiran B. 4 Hasil Grafik P-Regangan (Sambungan) Batang Tekan Variasi 3 Baut



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 : Aisyah Amalia  
 NIM : 18511264  
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Batang Tekan dari Rangka Atap *Square Hollow Section* Kelangsingan Sedang dengan Plat Sambungan Ganda  
 Diuji Tanggal : 24 Maret 2022  
 Sampel : Uji Tekan Batang Variasi 3 Baut



Mengetahui,  
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika  
 Rekayasa

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

Yogyakarta, 9 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.