

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL UJI RANGKA ATAP BAJA KELANGSINGAN MENENGAH DENGAN BAUT TUNGGAL DAN PLAT BUHUL TUNGGAL YANG DIANALISIS MENGGUNAKAN METODE DAM (*EXPERIMENTAL STUDY OF MEDIUM SLIMNESS STEEL ROOF TRUSS WITH SINGLE GUSSET PLATE AND SINGLE CONNECTION BOLTS TESTING ANALYZED USING DAM METHOD*)

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



**MUHAMMAD NAUFAL AZHAR
16511125**

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

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL UJI RANGKA ATAP BAJA KELANGSINGAN MENENGAH DENGAN BAUT TUNGGAL DAN PELAT BUHUL TUNGGAL YANG DIANALISIS MENGGUNAKAN METODE DAM (*EXPERIMENTAL STUDY OF MEDIUM SLIMNESS STEEL ROOF TRUSS WITH SINGLE GUSSET PLATE AND SINGLE CONNECTION BOLTS TESTING ANALYZED USING DAM METHOD*)



Disusun oleh:

Muhammad Naufal Azhar
16 511 125

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

Diuji pada tanggal 2 September 2022
oleh Dewan Penguji

Pembimbing

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

Penguji I

Mochamad Teguh, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.
NIK : 855110201

Penguji II

Jafar, S.T., M.T.
NIK : 185111305

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Yunalia Mantani, ST., MT., Ph.D. Eng
NIK : 095110101



Tanggal: 19 September 2022

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk menyelesaikan 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 laporan 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 laporan 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, 26 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Naufal Azhar

(16511125)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah, sehingga berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Plat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM. Adapun Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik yang harus diselesaikan pada studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

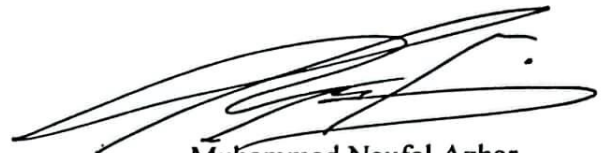
Terdapat beberapa hambatan yang dihadapi penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir. Berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih sepuh hati kepada:

1. Kedua orang tua penulis, yang selalu memberikan dukungan dalam hal apapun kepada penulis, termasuk memberikan semangat serta doa terhadap penulis untuk menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Hariadi Yulianto, S.T.,M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi banyak ilmu dengan saran, kritik, dan diskusi yang membangun selama penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.
3. Bapak Hari dan Mas Yahya selaku petugas di Laboratorium MR dan Struktur yang telah membantu saya dalam menyiapkan kebutuhan saya semasa melakukan eksperimen di laboratorium.
4. Seluruh dosen, karyawan, dan asisten Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan menyediakan fasilitas penunjang selama masa perkuliahan penulis.
5. Kepala toko dan seluruh tim toko yang telah mendoakan serta membantu tetap berjalannya toko selama penulis masih dalam proses penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.

6. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun bagi pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 26 Agustus 2022

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a stylized representation of the name Muhammad Naufal Azhar.

Muhammad Naufal Azhar

(16511125)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
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 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Perbandingan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Rangka Atap	11
3.1.1 Bahan Baja	11
3.1.2 Rangka Batang <i>Truss</i>	13
3.2 Kuat Lentur Profil Persegi Panjang	14
3.3 <i>Direct Analysis Method</i> (DAM)	16
3.3.1 Memperhitungkan Ketidaktepatan	17
3.3.2 Penyesuaian Terhadap Kekakuan	18

3.3.3	Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Gaya Aksial	19
3.3.4	Kemampuan SAP2000 Dalam Analisis P-Δ	20
3.4	Batang Tekan	21
3.4.1	Kelangsingan	21
3.4.2	Keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui	23
3.4.3	Klasifikasi penampang dan tekuk	23
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		28
4.1	Metode Penelitian	28
4.2	Objek Penelitian	28
4.3	Teknik Pengumpulan Data	29
4.4	Uji Tarik Plat Baja	29
4.4.1	Benda Uji	29
4.4.2	Alat Uji	30
4.4.3	Set Up Pengujian	31
4.5	Uji Lentur Baja	32
4.5.1	Benda Uji	32
4.5.2	Alat Uji	32
4.5.3	Set Up Pengujian	34
4.6	Perhitungan Desain Batang Tekan Metode ELM	35
4.7	Perhitungan Desain Rangka Atap Metode ELM	37
4.7.1	Penentuan Ukuran Rangka Baja	37
4.7.2	Trial Perhitungan Rencana Rangka Atap Baja	38
4.7.3	Pembuatan Benda Uji Rangka Atap	40
4.8	Uji Tekan Profil	40
4.8.1	Benda Uji	41
4.8.2	Alat Uji	41
4.8.3	Set Up Pengujian	45
4.9	Uji Tekan Rangka Atap	45
4.9.1	Benda Uji	45
4.9.2	Alat Uji	46

4.9.3 Set Up Pengujian	50
4.10 Flowchart	51
BAB V PEMBAHASAN	57
5.1 Uji Tarik Plat Baja	57
5.1.1 Sampel Uji Tarik Plat Baja	57
5.1.2 Perhitungan Uji Tarik Plat Baja	58
5.2 Uji Lentur Baja	61
5.2.1 Sampel Uji Lentur Baja	61
5.2.2 Perhitungan Uji Lentur Baja	63
5.3 Hasil Uji Lab Uji Tekan Profil dan Uji Tekan Rangka Atap	68
5.3.1 Hasil Uji Lab Kuat Tekan Profil (Percobaan 1)	68
5.3.2 Hasil Uji Lab Kuat Tekan Rangka	73
5.4 Pengecekan Asumsi Desain ELM dengan Hasil Uji Lab dan Uji Tekan Profil (Percobaan 2)	77
5.4.1 Pengecekan Asumsi Berdasarkan ELM	77
5.4.2 Revisi Sampel Uji dan Pengujian Kembali Batang Tekan (Percobaan 2)	77
5.4.3 Pengecekan Kembali Asumsi Berdasarkan ELM	83
5.5 Analisis DAM Batang Tekan Terverifikasi Hasil Uji Lab	84
5.6 Analisis DAM Rangka Atap Berdasarkan Elemen Tekan yang Berhasil	93
5.7 Pembahasan	104
5.7.1 Pembahasan Berdasarkan Rumusan Masalah 1	104
5.7.2 Pembahasan Berdasarkan Rumusan Masalah 2	105
5.7.3 Pembahasan Berdasarkan Rumusan Masalah 3	105
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	107
6.1 Kesimpulan	107
6.2 Saran	108
DAFTAR PUSTAKA	109
LAMPIRAN	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Susunan Batang Stabil dan Tidak Stabil	11
Gambar 3. 2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan	12
Gambar 3. 3 Pengaruh Orde ke-2	17
Gambar 3. 4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta	20
Gambar 3. 5 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai KL/r	22
Gambar 3. 6 Batang Tertekan	25
Gambar 4. 1 Rangka Atap dengan Plat Sambung Tunggal dan Baut Tunggal	28
Gambar 4. 2 Benda Uji Kuat Tarik Plat Baja	29
Gambar 4. 3 Penggaris Uji Tarik Plat Baja	30
Gambar 4. 4 Jangka Sorong Uji Tarik Plat Baja	30
Gambar 4. 5 Universal Testing Machine (UTM) Uji Tarik Plat Baja	31
Gambar 4. 6 Set Up Uji Tarik Plat Baja	31
Gambar 4. 7 Benda Uji Lentur Baja	32
Gambar 4. 8 Penggaris Uji Lentur Baja	33
Gambar 4. 9 Jangka Sorong Uji Lentur Baja	33
Gambar 4. 10 Universal Testing Machine (UTM) Uji Lentur Baja	34
Gambar 4. 11 <i>Set Up</i> Benda Uji Lentur Baja	34
Gambar 4. 12 Ukuran Benda Uji Rangka Atap Baja	38
Gambar 4. 13 Detail Dimensi Struktur Rangka Atap Baja	39
Gambar 4. 14 Detail Plat Sambung Tunggal	39
Gambar 4. 15 Hasil Pembuatan Bengkel Las	40
Gambar 4. 16 Detail Ukuran Batang Tekan	41
Gambar 4. 17 Meteran Uji Tekan Profil	42
Gambar 4. 18 Loading Frame Uji Tekan Profil	42
Gambar 4. 19 Hydraulic Jack Uji Tekan Profil	43
Gambar 4. 20 Strain Gauge Uji Tekan Profil	43
Gambar 4. 21 <i>Compression Load Cell</i> Uji Tekan Profil	44
Gambar 4. 22 <i>Linear Variable Differential Transformer</i> Uji Tekan Profil	44

Gambar 4. 23 <i>Set Up</i> Uji Tekan Profil	45
Gambar 4. 24 Benda Uji Tekan Rangka Atap	46
Gambar 4. 25 Meteran Uji Tekan Rangka Atap	46
Gambar 4. 26 <i>Loading Frame</i> Uji Tekan Rangka Atap	47
Gambar 4. 27 Hydraulic Jack Uji Tekan Rangka Atap	47
Gambar 4. 28 Strain Gauge Uji Tekan Rangka Atap	48
Gambar 4. 29 Dukungan Rol dan Sendi Uji	48
Gambar 4. 30 Compression Load Cell Uji Tekan Rangka Atap	49
Gambar 4. 31 <i>Linear Variable Differential Transformer</i> Uji Tekan Rangka Atap	49
Gambar 4. 32 Set Up Uji Tekan angka Atap	51
Gambar 4. 33 <i>Flowchart</i> Penelitian	54
Gambar 4. 34 <i>Flowchart</i> Metode DAM Uji Tekan Profil	55
Gambar 4. 35 <i>Flowchart</i> Metode DAM Uji Rangka Atap	56
Gambar 5. 1 Sampel Uji Tarik Plat Baja	57
Gambar 5. 2 Grafik Tegangan Regangan Sampel 1	58
Gambar 5. 3 Grafik Tegangan Regangan Sampel 2	59
Gambar 5. 4 Grafik Tegangan Regangan Sampel 3	59
Gambar 5. 5 Grafik Tegangan Regangan Dengan Batas Proporsional	60
Gambar 5. 6 Grafik Tegangan Regangan Tanpa Batas Proporsional	60
Gambar 5. 7 Ukuran dan Set Up Pengujian Lentur Baja	62
Gambar 5. 8 Grafik Beban dan Lendutan Sampel 1	63
Gambar 5. 9 Grafik Beban dan Lendutan Sampel 2	64
Gambar 5. 10 Grafik Beban dan Lendutan Sampel 3	64
Gambar 5. 11 Nilai Inersia Pada Program SAP2000	67
Gambar 5. 12 Uji Sampel Tekan Profil (Percobaan 1)	68
Gambar 5. 13 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 1 (Percobaan 1)	69
Gambar 5. 14 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 2 (Percobaan 1)	69
Gambar 5. 15 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 3 Percobaan 1	70
Gambar 5. 16 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Gabungan Sampel 1-3 Percobaan 1	70

Gambar 5. 17 Kondisi Sampel 1 Percobaan 1 Setelah Pengujian	71
Gambar 5. 18 Kondisi Sampel 2 Percobaan 1 Setelah Pengujian	72
Gambar 5. 19 Kondisi Sampel 3 Percobaan 1 Setelah Pengujian	72
Gambar 5. 20 Sampel Uji Tekan Rangka Atap	73
Gambar 5. 21 Grafik P-Delta Uji Rangka Atap Sampel 1	74
Gambar 5. 22 Grafik P-Delta Uji Rangka Atap Sampel 2	74
Gambar 5. 23 Kondisi Set Up Pengujian Setelah Menggunakan Penahan	75
Gambar 5. 24 Kondisi Benda Uji Sampel 1 Setelah Pengujian	75
Gambar 5. 25 Kondisi Benda Uji Sampel 2 Setelah Pengujian	76
Gambar 5. 26 Uji Sampel Tekan Profil (Percobaan 2)	78
Gambar 5. 27 Detail Benda Uji Tekan Profil Setelah Modifikasi Percobaan 2	79
Gambar 5. 28 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 1 (Percobaan 2)	80
Gambar 5. 29 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 2 (Percobaan 2)	80
Gambar 5. 30 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 3 Percobaan 2	81
Gambar 5. 31 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Gabungan Sampel 1-3 (Percobaan 2)	81
Gambar 5. 32 Kondisi Sampel 1 Percobaan 2 Setelah Pengujian	82
Gambar 5. 33 Kondisi Sampel 2 Percobaan 2 Setelah Pengujian	82
Gambar 5. 34 Kondisi Sampel 3 Percobaan 2 Setelah Pengujian	83
Gambar 5. 35 Property Data Profil Hollow Square 20 x 40 mm Hasil Uji Lab	85
Gambar 5. 36 Property Data Profil Hollow Square 20 x 40 mm Hasil Uji Lab	87
Gambar 5. 37 Beban Aksial	88
Gambar 5. 38 Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ($EI = 0.7 \times E \times 0,7 \times \tau_b$) Pada SAP2000	90
Gambar 5. 39 Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ($EI = 0.6 \times E \times 0,6 \times \tau_b$) Pada SAP2000	90
Gambar 5. 40 Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ($EI = 0.5 \times E \times 0,5 \times \tau_b$) Pada SAP2000	91
Gambar 5. 41 Kondisi Tekuk Pada Pemodelan SAP2000	91
Gambar 5. 42 Grafik Trial Step	92
Gambar 5. 43 Pemodelan Struktur Rangka Atap SAP2000	94

Gambar 5. 44 Pemodelan Struktur Rangka Atap SAP2000	95
Gambar 5. 45 Peletakan Beban 1 KN Untuk Penentuan Beban Puncak	96
Gambar 5. 46 Memasukan Beban Notional Pada Rangka SAP2000	97
Gambar 5. 47 Section Cuts Rangka Atap	98
Gambar 5. 48 Hasil Pemodelan Tekuk Pada SAP2000	99
Gambar 5. 49 Grafik P-M Rangka Atap dengan Nilai	100
Gambar 5. 50 Grafik P-M Rangka Atap dengan Nilai ($EI = 0.5 \times E \times 0,5 \times I_b$) Pada SAP2000	100
Gambar 5. 51 <i>Trial Step</i>	101



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Penulis	8
Tabel 3. 1 Kondisi Batas Terhadap Klasifikasi Penampang	14
Tabel 3. 2 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial	24
Tabel 5. 1 Nilai F_y dan F_u Hasil Uji Tarik Plat Baja	61
Tabel 5. 2 Detail Ukuran Benda Uji Lentur Baja	63
Tabel 5. 3 Nilai P/Δ dan P_{maks} Uji Lentur Baja	65
Tabel 5. 4 Hasil Rekapitulasi Hubungan P Delta Percobaan 1	73
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Hasil Uji Lab	76
Tabel 5. 6 Hasil Rekapitulasi Hubungan P Delta Percobaan 2	83
Tabel 5. 7 Pengaruh <i>Step</i> Kalibrasi Terhadap Nilai P_n Batang Tekan	92
Tabel 5. 8 Nilai Kapasitas Tekan Rangka Hasil Section Cuts	102
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF	103
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Kuat Tekan Rangka Atap Metode DAM, ELM dan Hasil Uji Lab	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. 1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium	111
Lampiran A. 2 Proses Uji Lab Tarik Plat	112
Lampiran A. 3 Proses Uji Lentur Baja	112
Lampiran A. 4 Proses Uji Tekan Profil	113
Lampiran A. 5 Proses Uji Tekan Rangka Atap	113
Lampiran B. 1 Grafik P-Regangan Uji Tarik Plat Sampel 1	114
Lampiran B. 2 Grafik P-Regangan Uji Tarik Plat Sampel 2	115
Lampiran B. 3 Grafik P-Regangan Uji Tarik Plat Sampel 3	116
Lampiran B. 4 Grafik P-Lendutan Uji Lentur Baja Sampel 1	117
Lampiran B. 5 Grafik P-Lendutan Uji Lentur Baja Sampel 2	118
Lampiran B. 6 Grafik P-Lendutan Uji Lentur Baja Sampel 2	119
Lampiran B. 7 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 1 (Percobaan 1)	120
Lampiran B. 8 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 2 (Percobaan 1)	121
Lampiran B. 9 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 3 (Percobaan 1)	122
Lampiran B. 10 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 1 (Percobaan 2)	123
Lampiran B. 11 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 2 (Percobaan 2)	124
Lampiran B. 12 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 3 (Percobaan 2)	125
Lampiran B. 13 Grafik P-Delta Uji Tekan Rangka Atap Sampel 1	126
Lampiran B. 14 Grafik P-Delta Uji Tekan Rangka Atap Sampel 2	127

ABSTRAK

SNI 1729:2020 merupakan pedoman terbaru saat ini yang dapat digunakan di Indonesia sebagai dasar dalam perancangan struktur konstruksi baja. Sehingga perlu dilakukannya pembuktian tingkat akurasi dari metode DAM berdasarkan SNI 1729:2020 terhadap hasil uji laboratorium. Sehingga dirumuskan masalah pada penelitian bagaimana memodelkan uji tekan profil pada laboratorium dengan metode DAM. Benda uji yang akan digunakan berupa *hollow square* ukuran 20x40 mm dengan kelangsingan sedang serta menggunakan plat dan baut tunggal. Hasil akhir dalam penelitian ini yaitu mendapatkan nilai kapasitas tekan struktur rangka atap dengan metode DAM yang terverifikasi dengan hasil uji tekan profil. Penelitian diawali dengan uji tarik plat, uji lentur baja kemudian uji tekan profil serta uji tekan rangka atap. Setelah dilakukan pengujian kemudian dilakukan analisis metode DAM, dalam metode DAM yang perlu diperhatikan yaitu adanya perhitungan beban notional (N_i) serta adanya nilai reduksi kekakuan yang perlu dilakukan. Dari hasil analisis yang telah dilakukan didapatkan kuat tekan profil metode DAM sebesar 22,95 kN dan nilai kapasitas tekan rangka atap yang hanya sebesar 2,526 kN. Hasil yang jauh dari hasil uji tekan profil dengan hasil uji kuat tekan rangka atap disebabkan elemen batang tekan dengan baut dan pelat tunggal tidak dapat menahan momen. Sedangkan metode ELM memprediksikan struktur rangka atap mempunyai kuat tekan yang tinggi serta terjadi gagal tekuk pada profil.

Kata kunci: DAM, Uji tekan profil, Rangka atap, Konstruksi baja

ABSTRACT

In Indonesia, SNI 1729:2020 are the latest guidelines nowadays that can be used to design steel structure construction. So it is necessary to prove the accuracy of the DAM method based on SNI 1729:2020 with laboratory test results. The research problem was formulated to model the profile compression test in the laboratory using the DAM method. This research uses a 20x40 mm hollow square with medium slimmness applied with single plate and bolt as compression test object. The final result of research is getting the roof truss structure compressive capacity's value using the verified DAM method with compression profile test results. The study began with slab tensile test, steel flexure test, profile and roof truss compression test. Furthermore, in the DAM method what needs to be considered is the calculation of the notional load (N_i), and the stiffness reduction value. Those analyses show the profile of DAM method's compressive strength is 22,95 kN and the steel roof truss compression capacity's value is only 2,526 kN. The difference between the final result of DAM method with the results of roof truss compressive strength laboratory because the compression member elements with bolts and single plates cannot withstand the moment. Meanwhile, ELM method predicts the roof truss structure has high compressive strength and buckling failure occurs in the profile.

Keywords: DAM, Compression profile test, Roof truss, Steel construction

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Atap merupakan bagian penutup atas dari sebuah bangunan, atap berfungsi melindungi bangunan yang berada di bawahnya dari cuaca serta benda lain yang berada pada bangunan. Agar atap tetap berfungsi dengan baik, maka konstruksi pada atap harus mampu menahan semua beban yang sedang bekerja pada struktur rangka tersebut. Untuk menahan semua beban tersebut maka diperlukan konstruksi pendukung berupa rangka atap.

Perencanaan rangka atap baja, secara lebih luasnya perencanaan struktur rangka baja yang ada di Indonesia sebagian besar masih menggunakan SNI 1729:2015, SNI 1729:2015 muncul sebagai pengganti SNI 03-1729-2002. Pada SNI 1729:2015 terdapat metode desain struktur rangka baja yang baru yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai pengganti dari *Effective Length Method* (ELM). Pada saat ini pedoman dalam melakukan perencanaan struktur rangka baja telah diperbarui dengan dipublikasinya SNI 1729:2020. Pada SNI 1729:2020 tetap menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai acuan dalam analisisnya, hanya saja ada beberapa hal yang diperbarui dalam penentuan perhitungannya.

Analisis pada pedoman lama SNI 03-1729-2002 yang menggunakan *Effective Length Method* (ELM) merupakan metode yang digunakan berdasarkan pada analisis struktur elastik. Dimana analisis struktur elastik ini tidak memperhitungkan P-Delta ($P-\Delta$), tidak terdapat reduksi kekakuan untuk memperhitungkan leleh setempat, tidak dilakukannya ketidaksempurnaan geometri pada batang (beban notional), serta perhitungan dalam penentuan nilai faktor panjang efektif (K) selalu diambil konstan dengan nilai 1. Pedoman perancangan struktur baja lalu diperbarui dengan SNI 1729:2015 yang menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM).

Direct Analysis Method (DAM) merupakan metode yang digunakan untuk mengatasi masalah keterbatasan analisis struktur yang tidak dapat mengakses

stabilitas. Penggunaan *Direct Analysis Method* (DAM) dapat menentukan pembebanan pada struktur dengan tepat dan teliti, sebab pada DAM telah memperhitungkan pengaruh ketidaksempurnaan serta reduksi pada kekuatan selama proses analisis itu berlangsung atau bisa juga disebut dengan beban notional. Beban notional sendiri diambil berdasarkan beban kombinasi yang terdiri dari beban mati dan beban hidup. Menurut Wiryanto (2014) cara lama tersebut (ELM) tidak dibuang tetapi dipindah jadi Appendix 7 (AISC 2010), dan dapat dipakai sebagai cara alternatif, khususnya jika tidak tersedia program komputer yang sesuai. Pada saat ini, pedoman dalam perancangan struktur rangka baja telah diperbarui menjadi SNI 1729:2020, hanya saja ada beberapa hal yang diperbarui dalam penentuan perhitungannya.

Berdasarkan hal itu, dengan adanya kemajuan dalam analisis desain struktur rangka baja, maka diperlukan analisis pembuktian terhadap pedoman terbaru yang akan digunakan dimasa mendatang ini. Memang untuk melakukan pembuktian diperlukan analisis struktur menggunakan bantuan komputer, hanya saja pada kesempatan kali ini bukan menggunakan analisis yang rumit *Advanced Analysis*, cukup yang sederhana, yaitu *Second-Order Elastic Analysis*. Dengan variasi pengujian serta strategi perhitungan yang cocok, maka masalah mengenai stabilitas struktur rangka baja dapat diatasi dalam perhitungan analisisnya. Pada kesempatan kali ini peneliti akan membandingkan cara analisis *Direct Analysis Method* (DAM) berdasarkan SNI 1729:2020 dengan hasil uji laboratorium dengan sampel rangka atap baja ringan menggunakan profil *hollow* persegi panjang dengan menggunakan plat buhul tunggal serta menggunakan baut sambung tunggal.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara pemodelan batang tekan metode DAM dengan benda uji plat dan baut tunggal yang terverifikasi pada hasil uji lab?

2. Berapa prediksi nilai kuat tekan struktur rangka atap jika menggunakan parameter pemodelan hasil dari verifikasi uji laboratorium batang tekan berdasarkan metode DAM?
3. Berapakah perbandingan nilai kuat tekan struktur rangka atap antara metode ELM, DAM dan hasil uji laboratorium yang terverifikasi hasil uji laboratorium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari adanya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui cara pemodelan batang tekan dari uji lab yang dimodelkan pada SAP2000 dengan metode DAM.
2. Mengetahui nilai prediksi kuat tekan struktur rangka atap dari hasil uji batang tekan.
3. Mengetahui akurasi dari metode DAM SNI 1729:2020 terhadap hasil uji lab dan metode ELM.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi mengenai proses perencanaan rangka atap baja ringan dengan *Direct Analysis Method* (DAM) SNI 1729:2020 serta dapat mengetahui akurasi dari *Direct Analysis Method* (DAM) SNI 1729:2020 terhadap hasil uji laboratorium, khusus nya pada kasus rangka atap dengan plat buhul tunggal serta menggunakan baut tunggal dan menggunakan kelangsingan menengah pada batang tekannya. Serta dapat digunakan sebagai acuan literatur bagi penelitian berikutnya khususnya terhadap stabilitas rangka atap baja ringan berdasarkan standar SNI.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji yang digunakan rangka atap *hollow* persegi panjang dengan plat buhul tunggal tunggal serta baut sambung tunggal.
2. Analisis menggunakan program SAP2000 serta bantuan program Ms.Excel.
3. Acuan desain serta spesifikasi yang digunakan mengacu pada SNI 1729:2020

4. Acuan beban yang digunakan dalam pengujian mengacu pada SNI 1729:2020
5. Terdapat 3 benda uji yang digunakan untuk uji tekan rangka, uji tarik plat serta uji lentur.
6. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Beban dan Kekuatan dan Ketahanan (DFBT atau LRFD)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Sebagai bahan pertimbangan dalam penelitian, maka penulis akan cantumkan beberapa hasil penelitian terdahulu sebagai berikut.

1. Fendy Phiegiarto, Julio Esra Tjanniadi, Hasan Santoso, dan Ima Muljati (2015) melakukan penelitian tentang “Perencanaan Struktur Elemen Baja Berdasarkan SNI 1729:2015”. Penelitian ini menjelaskan perbedaan pasal-pasal yang ada pada SNI terbaru pada saat itu, yaitu SNI 1729:2015 dengan SNI lama yaitu SNI 03-1729-2002. Selain itu, pada penelitian ini juga memberikan contoh perhitungan antara SNI 03-1729-2002 yang menggunakan metode ELM dengan SNI 1729:2020 yang menggunakan metode DAM. Hasil contoh perhitung menunjukkan bahwa perbedaan rasio kuat kolom metode ELM dengan DAM yaitu 6,7 %. Ini menunjukkan bahwa rancangan kolom dengan cara DAM menghasilkan kapasitas profil yang lebih besar dibandingkan rancangan kolom dengan cara ELM sehingga profil yang digunakan dapat lebih hemat.
2. Cut M.Rani, Muttaqin Muttaqin dan Teuku Budi Aulia (2019) melakukan penelitian dengan judul “Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan *Bracing* Dengan *Effective Length Method* (ELM) Dan *Direct Analysis Method* (DAM)”. Penelitian ini menjelaskan mengenai perbandingan hasil perhitungan antara metode ELM dengan metode DAM pada struktur portal Gedung yang ditambahkan dengan *bracing*. Hasil perhitungan serta analisis lebih dikhususkan pada nilai *stress ratio* setiap elemen. Jadi dilakukan desain struktur portal gedung menggunakan sistem struktur pengaku diagonal atau *diagonal braced CBF* (*Cocentrally Braced Frame*). Hasil dari desain tersebut lalu akan dianalisis menggunakan metode ELM dan metode DAM. Hasil analisis menunjukkan perbedaan antara dua

metode tersebut, hal itu dikarenakan pada metode ELM tidak memperhitungkan beban notional sedangkan pada metode DAM memperhitungkan beban notional yang bekerja secara lateral pada kolom. Selain itu didapatkan Selisih nilai stress ratio antara metode ELM dengan metode DAM memiliki nilai yang bervariasi antara 0,1 – 8,9 %, dimana nilai stress ratio pada metode DAM lebih kecil daripada metode ELM. Hal tersebut menunjukkan bahwasannya metode DAM menunjukkan metode yang lebih efektif serta menghasilkan kapasitas profil yang lebih efisien/lebih tinggi dibandingkan pada metode ELM, hal itu berdampak pada profil yang digunakan akan semakin hemat.

3. Fayang Setiady, Dyah Kusumastuti dan Ediansjah (2018) melakukan penelitian dengan judul “Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan *Direct Analysis Method* dengan *Advanced Analysis* dalam Analisis Efek Orde Kedua”. Pada penelitian ini menjelaskan perbandingan perhitungan analisis antara SNI 03-1729-2002, SNI 1729:2015 dengan *advance analysis* dalam melakukan analisis efek orde kedua. Efek orde kedua merupakan gaya aksial tekan yang bekerja pada elemen yang telah berdeformasi akibat dari simpangan ataupun kurvatur sehingga menyebabkan terjadinya kelengkungan. Dalam studi ini, *Advanced Analysis* akan digunakan sebagai *benchmark* untuk kedua metode lainnya. Pada metode *Advanced Analysis* menggunakan bantuan program compute NIDA, dalam software *NIDA* ini merupakan alat bantu yang digunakan untuk melakukan *second-order inelastic analysis*. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan. SNI-2002 akan sangat berguna apabila tidak ada *software* yang cocok, hanya saja pada struktur yang kompleks serta *irregular*, metode pada SNI-2002 tidak lagi akurat. Dengan struktur yang semakin kompleks serta *irreguler*, metode DAM akan lebih efektif dan akurat. Sebetulnya metode *advance analysis* merupakan metode yang paling akurat, hanya saja minimnya program komputer yang tersedia serta proses analisis yang lama sehingga membuat metode *advance analysis* menjadi kurang efisien.

2.2 Perbandingan Penelitian

Berdasarkan penjelasan sebelumnya mengenai penelitian terdahulu yang pernah dilakukan, terdapat perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Penulis

	Muhammad Naufal Azhar (2022)	Fendy Phiegiarto, Julio Esra Tjanniadi, Hasan Santoso, dan Ima Muljati (2015)
Judul	Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Plat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode Dam	Perencanaan Struktur Elemen Baja Berdasarkan SNI 1729:2015.
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan nilai kuat tekan profil persegi panjang antara hasil uji laboratorium dengan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) SNI 1729:2020 dan mengetahui perbandingan antara hasil pengujian lab terhadap analisis SNI 1729-2020 (DAM) dalam perencanaan struktur rangka atap baja profil persegi panjang dengan plat buhul tunggal serta baut sambung tunggal dengan menggunakan batang tekan kelangsingan menengah	Tujuan dalam penelitian ini guna membuat contoh-contoh perhitungan elemen yang menerima tarik, tekan, lentur, geser, kombinasi gaya dan torsi, sambungan dan membandingkan penerapan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) dan <i>Effective Length Method</i> (ELM) pada struktur sederhana 2D secara LRFD berdasarkan SNI 1729:2015. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman bagi perencana untuk mendesain suatu struktur baja berdasarkan SNI 1729:2015.
Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan benda uji berupa rangka atap baja yang menggunakan profil <i>hollow</i> persegi panjang dengan dimensi 20 x 40 mm, menggunakan plat buhul tunggal serta menggunakan baut sambung tunggal. Dari benda uji tersebut akan dilakukan uji laboratorium serta analisis berdasarkan SNI 1729:2020 dengan bantuan program SAP dan Excel, dari hasil uji lab serta analisis SNI 1729:2020 akan penulis bandingkan. Dari perbandingan tersebut dapat mengetahui akurasi dari pedoman perencanaan baja terbaru yaitu SNI 1729:2020. Uji yang akan dilakukan meliputi pengujian lentur profil, uji kuat tarik plat, pengujian rangka atap baja	Melakukan identifikasi perbedaan antara pedoman lama yaitu SNI 03-1729-2002 dengan pedoman baru SNI 1729:2015. Proses perbandingan akan terbatas pada bab-bab yang dibahas pada SNI 03-1729-2002 dan SNI 1729:2015, serta pada pasal-pasal dimana SNI 03-1729-2002 tidak membahas namun SNI 1729:2015 membahas pasal tersebut
Kesimpulan	Akan didapatkannya perbandingan kuat tekan rangka atap baja dari nilai Analisa SNI 1729:2020 dengan uji laboratorium pada benda uji rangka atap baja dengan baja <i>hollow</i> 20 x 40 mm menggunakan plat buhul tunggal serta baut tunggal, hasil perbandingan akan ditampilkan dalam bentuk persen (%)	Secara umum, peraturan SNI 03-1729-2002 dan SNI 1729:2015 memiliki banyak perbedaan terutama pada desain komponen struktur untuk tekan, lentur, dan sambungan. Selain itu, terdapat metode desain baru pada SNI 1729:2015 yaitu <i>Direct Analysis Method</i> (DAM). Serta Perbedaan rasio kuat kolom antara ELM dan DAM adalah 6.7 %. Ini menunjukkan bahwa rancangan kolom dengan cara DAM menghasilkan kapasitas profil yang lebih besar dibandingkan rancangan kolom dengan cara ELM sehingga profil yang digunakan dapat lebih hemat

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Penulis

	Muhammad Naufal Azhar (2022)	Cut M. Rani, Muttaqin Muttaqin dan Teuku Budi Aulia (2019)
Judul	Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Plat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode Dam	Studi Perbandingan <i>Stress Ratio</i> Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan <i>Effective Length Method</i> (ELM) Dan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM)
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan nilai kuat tekan profil persegi panjang antara hasil uji laboratorium dengan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) SNI 1729:2020 dan mengetahui perbandingan antara hasil pengujian lab terhadap analisis SNI 1729-2020 (DAM) dalam perencanaan struktur rangka atap baja profil persegi panjang dengan plat buhul tunggal serta baut sambung tunggal dengan menggunakan batang tekan kelangsingan menengah	Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai perbandingan antara metode ELM dan DAM SNI 1729:2015 pada gedung portal baja dengan menggunakan <i>bracing</i> . Lebih khususnya perbandingan nilai <i>stress ratio</i> pada setiap elemen.
Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan benda uji berupa rangka atap baja yang menggunakan profil <i>hollow</i> persegi panjang dengan dimensi 20 x 40 mm, menggunakan plat buhul tunggal serta menggunakan baut sambung tunggal. Dari benda uji tersebut akan dilakukan uji laboratorium serta analisis berdasarkan SNI 1729:2020 dengan bantuan program SAP dan Excel, dari hasil uji lab serta analisis SNI 1729:2020 akan penulis bandingkan. Dari perbandingan tersebut dapat mengetahui akurasi dari pedoman perencanaan baja terbaru yaitu SNI 1729:2020. Uji yang akan dilakukan meliputi pengujian lentur profil, uji kuat tarik plat, pengujian rangka atap baja	Metodologi pada penelitian ini terdiri dari dua tahapan, yaitu proses desain dan proses analisa. Denah yang telah ditentukan akan didesain menggunakan sistem struktur pengaku diagonal atau <i>diagonal braced CBF</i> (Cocentrally Braced Frame). Desain struktur kemudian akan dianalisa perilaku dan kinerjanya menggunakan metode ELM dan DAM. Model gedung termasuk kedalam klasifikasi beraturan, dengan jumlah bentang arah-x dan arah-y sama yaitu 5 x 5 bentang, dengan panjang masing-masing bentang 8 meter. Tinggi lantai dasar (lantai 1) adalah 4 meter, selanjutnya tinggi lantai 2 s/d 8 mempunyai tinggi yang sama (tipikal) yaitu dengan tinggi 4 meter.
Kesimpulan	Akan didapatkannya perbandingan kuat tekan rangka atap baja dari nilai Analisa SNI 1729:2020 dengan uji laboratorium pada benda uji rangka atap baja dengan baja <i>hollow</i> 20 x 40 mm menggunakan plat buhul tunggal serta baut tunggal, hasil perbandingan akan ditampilkan dalam bentuk persen (%)	Hasil analisis momen menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara momen pada ELM dan DAM. Hal ini disebabkan pada DAM terdapat beban notional yang bekerja secara lateral pada kolom. Beban notional (Ni) diperhitungkan berdasarkan beban gravitasi yang bekerja pada tiap struktur. Selisih nilai <i>stress ratio</i> antara ELM dan DAM menghasilkan nilai bervariasi antara 0,1 – 8,9 %, dimana nilai <i>stress ratio</i> DAM lebih kecil dibanding ELM. Hal ini menunjukkan bahwa DAM merupakan metode yang lebih efektif dan menghasilkan kapasitas profil yang lebih tinggi (efisien) dibanding ELM sehingga profil yang digunakan dapat lebih hemat.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Penulis

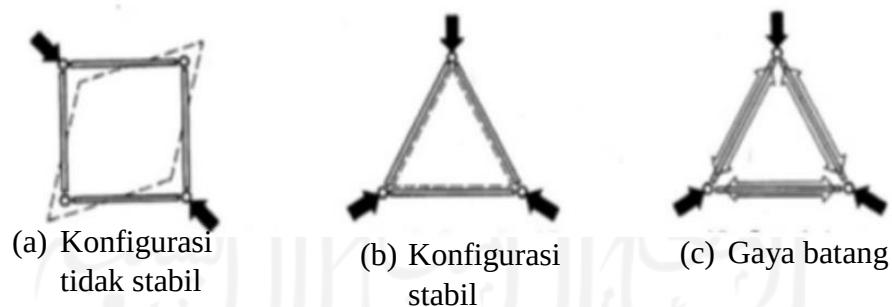
	Muhammad Naufal Azhar (2022)	Fayang Setiady, Dyah Kusumastuti, Ediansjah (2018)
Judul	Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Plat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode Dam	Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan <i>Direct Analysis Method</i> dengan <i>Advanced Analysis</i> dalam Analisis Efek Orde Kedua.
Tujuan Penelitian	Mengetahui perbandingan nilai kuat tekan profil persegi panjang antara hasil uji laboratorium dengan <i>Direct Analysis Method</i> (DAM) SNI 1729:2020 dan mengetahui perbandingan antara hasil pengujian lab terhadap analisis SNI 1729-2020 (DAM) dalam perencanaan struktur rangka atap baja profil persegi panjang dengan plat buhul tunggal serta baut sambung tunggal dengan menggunakan batang tekan kelangsingan menengah	Tujuan pada penelitian ini untuk mengetahui perbandingan hasil dari penggunaan Metode SNI 03-1729-2002, <i>Direct Analysis Method</i> dengan <i>advance analysis</i> . Dalam analisis efek orde kedua. Efek orde kedua merupakan gaya aksial tekan yang bekerja pada elemen yang telah berdeformasi akibat dari simpangan ataupun kurvatur sehingga menyebabkan terjadinya kelengkungan.
Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan benda uji berupa rangka atap baja yang menggunakan profil <i>hollow</i> persegi panjang dengan dimensi 20 x 40 mm, menggunakan plat buhul tunggal serta menggunakan baut sambung tunggal. Dari benda uji tersebut akan dilakukan uji laboratorium serta analisis berdasarkan SNI 1729:2020 dengan bantuan program SAP dan Excel, dari hasil uji lab serta analisis SNI 1729:2020 akan penulis bandingkan. Dari perbandingan tersebut dapat mengetahui akurasi dari pedoman perencanaan baja terbaru yaitu SNI 1729:2020. Uji yang akan dilakukan meliputi pengujian lentur profil, uji kuat tarik plat, pengujian rangka atap baja	Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 3 metode yang berbeda untuk menganalisis orde kedua, yaitu metode SNI-2002, DAM dan <i>Advanced Analysis</i> . Dari ketiga metode ini nantinya akan dibandingkan kinerja dari masing-masing metode. Dalam studi ini, <i>Advanced Analysis</i> akan digunakan sebagai <i>benchmark</i> untuk kedua metode lainnya. Dengan demikian, tingkat keakuratan dari masing-masing metode dapat dinilai relatif terhadap <i>Advanced Analysis</i> . Pada <i>Advanced Analysis</i> menggunakan bantuan program komputer yang lebih canggih yaitu program NIDA.
Kesimpulan	Akan didapatkannya perbandingan kuat tekan rangka atap baja dari nilai Analisa SNI 1729:2020 dengan uji laboratorium pada benda uji rangka atap baja dengan baja <i>hollow</i> 20 x 40 mm menggunakan plat buhul tunggal serta baut tunggal, hasil perbandingan akan ditampilkan dalam bentuk persen (%)	Berdasarkan hasil studi didapatkan SNI-2002 sangat berguna jika tidak tersedia <i>software</i> untuk melakukan analisis orde kedua. Tetapi metode SNI-2002 akan sulit dilakukan pada struktur yang kompleks serta pada struktur <i>irregular</i> karena akan memberikan prediksi yang kurang akurat. Dengan konfigurasi struktur yang semakin kompleks dan <i>irregular</i> , DAM menjadi metode yang paling efektif daripada kedua metode lainnya karena proses analisisnya yang cepat dan hasil yang akurat. Akan tetapi, penggunaan DAM akan sangat bergantung kepada tersedianya bantuan <i>software</i> analisis orde kedua.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Rangka Atap

Rangka atap merupakan suatu struktur yang tersusun dari elemen-elemen batang yang kemudian dihubungkan sehingga membentuk suatu geometri tertentu, Struktur rangka juga merupakan bagian bangunan yang berfungsi menahan serta menyalurkan seluruh beban dari atap. Pada umumnya konfigurasi yang digunakan agar diperoleh struktur rangka yang stabil maka rangka batang disusun berbentuk segitiga, hal itu dikarenakan apabila struktur rangka yang berbentuk segitiga tersebut diberikan beban pada titik buhulnya, maka struktur rangka segitiga dapat menyalurkan beban dengan baik ke tumpuan, sehingga tidak mengalami keruntuhan, berbeda apabila struktur rangka dibuat berbentuk geometri persegi, apabila diberikan, maka akan mudah runtuh. Bahan yang digunakan pada rangka atap juga terdapat beberapa bahan, pada penelitian kali ini digunakan bahan baja ringan dengan bentuk *hollow* 20x40.



Gambar 3.1 Susunan Batang Stabil dan Tidak Stabil

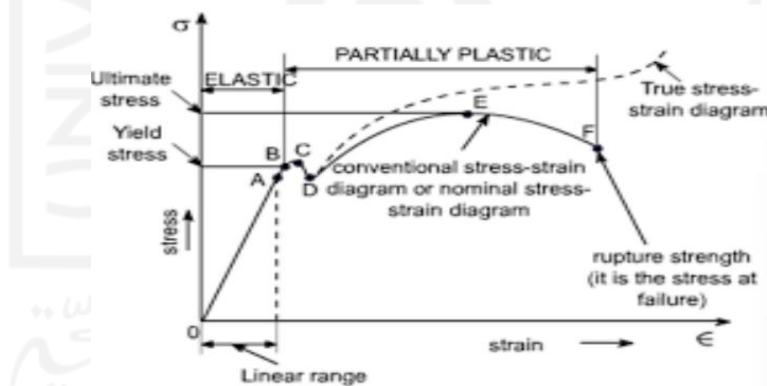
(Sumber: Structures, Daniel L. Schodek)

3.1.1 Bahan Baja

Pemilihan bahan baja dikarenakan baja memiliki beberapa keunggulan daripada bahan rangka atap lainnya. Menurut Daryanto (1998) Baja adalah logam murni dengan unsur paduan Ferro (Besi) dan sedikit zat arang(C), Silisium (Si), Mangan

(Mn), Phospor (P), Belerang (S), dan lain-lain. Baja mempunyai keteguhan yang keras dan memiliki titik lelehnya 1460°C - 1520°C , berat jenis 7,85 dan angka pemuaianya sampai 0,000012 tiap 1°C . Bahan baja mempunyai kekuatan yang tinggi, yang mana dengan dimensi yang lebih kecil dari bahan lainnya baja sudah dapat mencapai kekuatan yang lebih baik, hal itu membuat dimensi bahan baja lebih kecil serta mudah untuk dipasangkan. Hanya saja bahan baja mempunyai beberapa kelemahan seperti dapat berkarat sehingga perlu pemeliharaan, serta baja bahaya akan tekuk karena memiliki penampang yang kecil. Namun hal tersebut dapat diatasi, sehingga baja masih merupakan bahan yang baik untuk digunakan sebagai bahan rangka atap.

Selain itu, baja mempunyai sifat mekanik yang bagus, yaitu kemampuan baja dalam melakukan perlawanan ketika diberikan beban, hal itu dibuktikan ketika baja diberikan beban, baja tidak langsung mengalami keruntuhan. Kemampuan itu dikarena baja mempunyai kuat tarik yang baik, sebelum mengalami keruntuhan baja dapat meregang dengan baik, hal itu dapat dibuktikan dalam diagram tegangan dan regangan baja berikut ini.



Gambar 3.2 Diagram Hubungan Tegangan dan Regangan

(Sumber: Joshi, 2018)

Pada diagram itu menjelaskan bahwasannya, baja mempunyai kemampuan meregang yang baik. Bahkan pada kondisi beban tertentu, baja masih dapat mempertahankan bentuk aslinya atau kembali ke bentuk semula apabila pada saat itu beban dihilangkan atau bisa disebut juga kondisi elastis. Ketika beban terus bertambah, baja juga tidak langsung patah/runtuh, bahkan hingga beban maksimum

baja tidak langsung mengalami patah, kemampuan baja itu lah yang menyebabkan bahan ini sering digunakan pada beberapa rangka struktur.

Tegangan merupakan gaya yang bekerja pada tiap satuan luas penampang, beban yang bekerja dibagi dengan luas penampang yang terkena beban. Tegangan dapat dilihat pada persamaan 3.1

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

Keterangan :

σ = Tegangan (Mpa)

P = Beban/Gaya aksial (N)

A = Luas penampang (mm²)

Sedangkan regangan merupakan rasio perbandingan antara pertambahan panjang dengan ukuran panjang semula. Regangan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.2

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

Keterangan :

ε = Regangan

ΔL = Pertambahan panjang

L = Panjang akhir (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

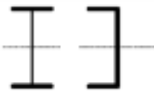
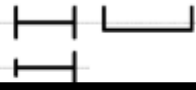
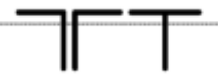
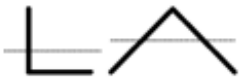
3.1.2 Rangka Batang *Truss*

Struktur truss merupakan struktur yang terdiri dari beberapa batang yang kemudian dirakit menjadi satu blok rangka. Elemen rangka tersebut dapat dibuat dengan menggunakan bahan dari kayu, baja, aluminium, ataupun baja ringan, Skema rangka pada struktur *truss* menggunakan bentuk segitiga, bentuk segitiga merupakan bentuk yang paling stabil, yaitu dengan tiga penyangga di ketiga sisinya. Titik pertemuan antar batang yang terdapat pada struktur rangka atap disebut titik buhul. Dalam rangka batang, titik buhul sebagai sambungan tetap/statis dianggap sebagai tumpuan sambungan. Untuk menghubungkan titik buhul ke struktur rangka baja/baja ringan dapat menggunakan plat buhul, baut atau dapat menggunakan kombinasi diantara itu.

3.2 Kuat Lentur Profil Persegi Panjang

Perilaku lentur pada baja dibedakan berdasarkan bentuk penampang baja, klasifikasi perilaku lentur baja dapat dilihat pada SNI 1729:2020 tabel (F1.1) atau akan saya tampilkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Kondisi Batas Terhadap Klasifikasi Penampang

Pasal dalam Bab F	Penampang Melintang	Kelangsingan Sayap	Kelangsingan Badan	Keadaan Batas
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB, WLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Bentuk Tidak-Simetris, selain siku tunggal	N/A	N/A	Semua keadaan batas

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

(Sumber: SNI 1729:2020)

Pada penelitian ini menggunakan penampang dengan bentuk profil persegi panjang, sehingga berdasarkan klasifikasi penampang berdasarkan SNI 1729:2020, didapatkan penjelasan bahwa nilai kekuatan lentur nominal (M_n), digunakan nilai yang terendah antara kondisi leleh dan kondisi tekuk torsi lateral, penjelasan tersebut akan ditampilkan pada persamaan berikut ini.

1. Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (3.3)$$

Keterangan:

Z = Modulus penampang plastis terhadap sumbu lentur

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

$$M_n = C_b (M_p - (M_p - 0,7F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right)) \leq M_p \quad (3.4)$$

c. Apabila $L_b > L_r$, maka

$$M_n = 2EC_b \frac{\sqrt{JAg}}{L_b/r_y} \leq M_p \quad (3.5)$$

Keterangan

A_g = Luas penampang melintang bruto komponen struktur

L_p = Batas panjang tak terbreis secara lateran untuk keadaan batas leleh, dimana:

$$L_p = 0,133E_r y \frac{\sqrt{JAg}}{M_p} \quad (3.6)$$

dengan;

L_r = batas panjang tak terbreis secara lateral untuk keadaan batas tekuk torsi lateral inelastik, adalah:

$$L_r = 2E_r y \frac{\sqrt{JAg}}{M_p 0,7F_y S_x} \quad (3.7)$$

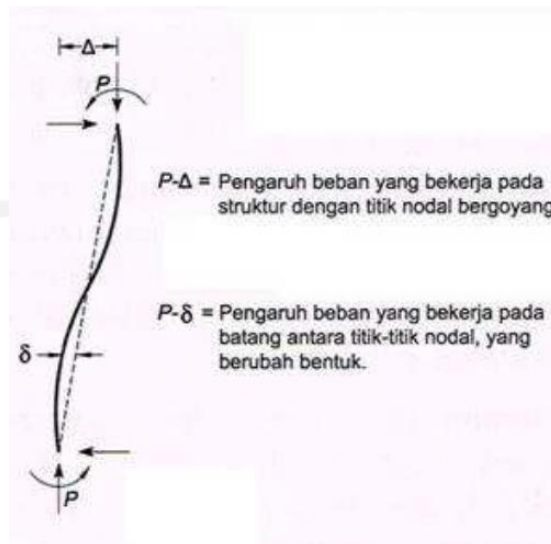
Catatan: tekuk torsi lateral tidak terjadi pada penampang-penampang bujur sangkar atau penampang-penampang yang melentur terhadap sumbu lemahnya. Pada ukuran PSR, defleksi biasanya akan menentukan sebelum ada reduksi yang signifikan dalam kekuatan lentur akibat tekuk torsi lateral.

Hal yang sama berlaku untuk penampang-penampang kotak, dan tekuk torsi lateral yang biasanya hanya akan diperhitungkan untuk penampang-penampang dengan rasio tinggi terhadap lebar yang besar

3.3 *Direct Analysis Method (DAM)*

Direct Analysis Method (DAM) merupakan metode yang digunakan untuk mengatasi masalah keterbatasan analisis struktur yang tidak dapat mengakses stabilitas. Pada struktur yang kompleks serta *irregular* metode lama yaitu ELM sudah tidak lagi mempunyai hasil yang akurat. Sebetulnya analisis yang mempunyai hasil paling akurat yaitu dengan menggunakan *advance analysis* dengan bantuan program komputer yang khusus dan memadai, pada bab sebelumnya menjelaskan bahwasannya pada penelitian Fayang Setiady, Dyah Kusumastuti dan Ediansjah (2018) menggunakan program NIDA untuk melakukan *advance analysis*. Hanya saja penggunaan *advance analysis* tidak cocok digunakan untuk kegiatan yang rutin, karena biasanya berhubungan mengenai kegiatan perencanaan sering digunakan sebagai bisnis, yang mana *advance analysis* memerlukan waktu yang lebih lama serta biaya untuk memiliki program pendukung yang masih mahal dan terbatas.

DAM muncul sebagai solusi, dengan perencanaan yang relatif lebih cepat dibanding *advance analysis* serta mempunyai hasil yang juga akurat. Pada DAM juga memerlukan bantuan komputer dalam analisis nya, hanya saja program yang digunakan relatif lebih sederhana. Metode DAM hanya mensyaratkan program yang akan digunakan dalam analisis mampu memperhitungkan pengaruh orde ke-2 ($P\Delta$ & $P-\delta$) serta mampu memperhitungkan deformasi komponen-komponen struktur dan sambungannya yang mempengaruhi deformasi struktur keseluruhan.



Gambar 3.3 Pengaruh Orde ke-2

(Sumber: AISC 2010)

3.3.1 Memperhitungkan Ketidaksempurnaan

Ketidaksempurnaan geometri dapat diperhitungkan dengan menggunakan beban *notional* (N_i). Beban notional merupakan beban lateral yang diberikan pada titik nodal pada setiap level, berdasarkan proporsi beban vertikal yang bekerja di level tersebut, yang diberikan pada sistem struktur penahan beban gravitasi melalui rangka atau kolom vertikal, atau dinding, untuk mensimulasi pengaruh adanya cacat bawaan (*initial imperfection*).

Penentuan nilai beban *notional* (N_i) dapat ditentukan dengan memperhitungkan beban gravitasi (Y_i) yang bekerja pada setiap tingkatan dari struktur. Besaran beban *notional* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$N_i = 0,002 \alpha Y_i$$

Keterangan:

$\alpha = 1,0$ (untuk DFBT)

N_i = Beban national yang digunakan pada level i , kips (N)

Y_i = Beban gravitasi yang digunakan pada level i dari kombinasi beban, yang sesuai, kips (N)

3.3.2 Penyesuaian Terhadap Kekakuan

Terdapatnya leleh setempat (partial yielding) akibat tegangan sisa pada profil baja (hot rolled atau welded) akan menyebabkan pelemahan kekuatan saat mendekati kondisi batasnya. Kondisi tersebut pada akhirnya menghasilkan efek destabilizing seperti yang terjadi akibat 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 kalibrasi dengan membandingkannya dengan analisa distribusi plastisitas maupun hasil uji tes empiris (Galambos 1998).

$$EI^* = 0.8 \tau_b EI \quad (3.9)$$

Keterangan:

τ_b = Kekakuan lentur

EI^* = Modulus elastisitas setelah reduksi

EI = modulus elastisitas

Pada faktor tambahan, τ_b , harus digunakan pada perhitungan kekakuan lentur setiap komponen struktur yang mana kekakuan lenturnya berkontribusi terhadap stabilitas struktur itu. Untuk komponen struktur non komposit, τ_b dapat didefinisikan menggunakan persamaan berikut ini.

Apabila $\alpha Pr/Pns \leq 0,5$

$$\tau_b = 1 \quad (3.10)$$

Apabila $\alpha Pr/Pns > 0,5$

$$\tau_b = 4(\alpha Pr / Pns) [1-(\alpha Pr / Pns)] \quad (3.11)$$

Keterangan:

$\alpha = 1,0$ (DFBT)

Pr = Kekuatan tekan aksial-perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBT atau kombinasi beban DKI, kips (N)

Pns = kekuatan tekan penampang melintang; untuk penampang dengan elemen-non langsing, $Pns=F_y A_g$, dan untuk penampang dengan elemen-langsing, $Pns=F_y A_e$, yang mana seperti dijelaskan dalam Pasal E7, kips (N)

3.3.3 Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Gaya Aksial

Pada analisis DAM terdapat pengaruh terhadap orde ke-2, dengan perhitungan orde ke-2, batang tekan akan menghasilkan gaya tekan serta *bending momen*, hal itu terjadi dikarenakan gaya yang bekerja pada elemen antara 2 nodal mengalami perubahan bentuk. Oleh karena 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 3.12 dan persamaan 3.13 yang didapat menurut SNI 1729-2020 pada sub bab Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Gaya Aksial, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{apabila } \frac{Pr}{P_c} \geq 0,2 \\ &\frac{Pr}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mr_x}{M_{c_x}} + \frac{Mr_y}{M_{c_y}} \right) \leq 1,0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} &\text{apabila } \frac{Pr}{P_c} \leq 0,2 \\ &\frac{Pr}{2P_c} + \left(\frac{Mr_x}{M_{c_x}} + \frac{Mr_y}{M_{c_y}} \right) \leq 1,0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

Keterangan:

Pr = kekuatan aksial perlu, ditentukan sesuai dengan Bab C, dengan

menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI, kips (N)

P_c = kekuatan aksial tersedia, ditentukan sesuai dengan Bab E, kips (N)

Mr = kekuatan lentur perlu, ditentukan sesuai dengan Bab C, menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI, kip-in. (N-mm)

M_c = kekuatan lentur tersedia, ditentukan sesuai dengan Bab F, kip-in.

(N-mm)

x = indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor

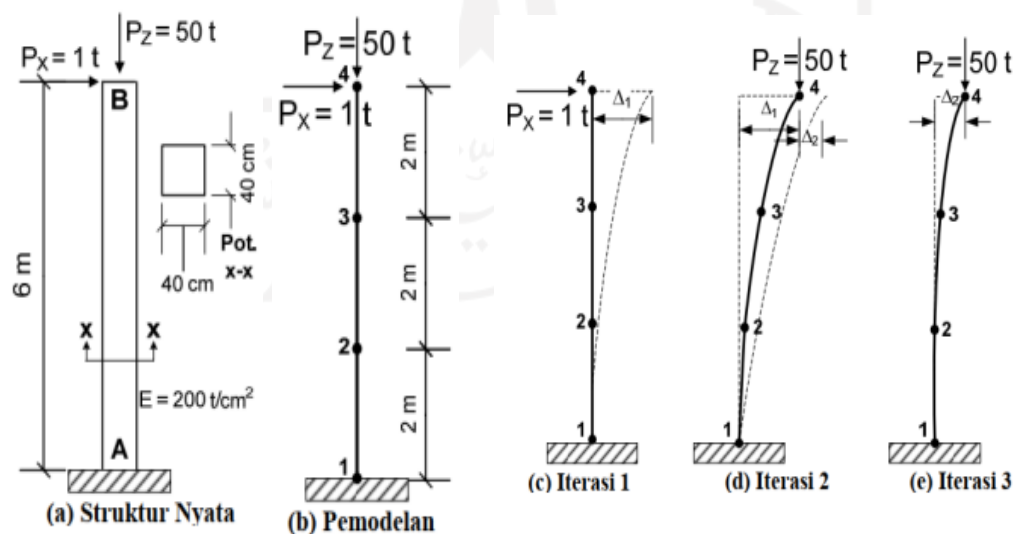
y = indeks sehubungan dengan lentur sumbu minor

3.3.4 Kemampuan SAP2000 Dalam Analisis P- Δ

Pada SAP2000 elemen frame sudah tersedia opsi analisis P-Delta. Ketika opsi tersebut diaktifkan SAP2000 akan menghitung pengaruh dari beban aksial pada momen lentur lateral. Beberapa asumsi & keterbatasan Analisis P-Delta dalam *software* SAP2000 antara lain:

- Pengaruh P-Delta menggunakan SAP2000 hanya dapat dianalisis pada *element frame* saja.
- Untuk perhitungan P-Delta yang mengakibatkan momen tambahan, hanya dari eksentrisitas akibat deformasi transversal saja.
- Pada sepanjang elemen gaya aksial P-Delta dianggap konstan semuanya.
- Bentuk geometri pada struktur sebelum dan setelah dilakukan pembebanan dianggap masih sama atau tidak ada perbedaan.

Analisis P-Delta pada SAP2000 dapat dilakukan dengan 2 cara, cara pertama dengan menambahkan kombinasi gaya statik pada elemen tekan, nilai kombinasi gaya statik dihitung dengan cara iterasi dengan basis komputer., cara yang kedua yaitu dengan *fiture* yang sudah tersedia pada program SAP2000 (otomatis) berikut cara memasukkan gaya aksial pada elemen *frame*, buka menu *Assign* $\rightarrow$ *Frame* $\rightarrow$ *P-Delta Forces*.



Gambar 3.4 Iterasi Manual Untuk Analisis P-Delta

3.4 Batang Tekan

Batang tekan dapat didefinisikan juga sebagai batang pada struktur yang menerima tekan aksial pada kasus struktur Gedung, batang tekan terdapat pada kolom, sedangkan pada rangka atap dapat berupa batang tepi atau juga dapat batang pengekang (bracing). Masalah yang perlu diperhatikan dalam merencanakan batang tekan yaitu perlu memperhatikan masalah stabilitas. Hal itu dikarenakan 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)

3.4.1 Kelangsingan

Kelangsingan pada batang elemen akan berpengaruh pada resiko tekuk. Batang tekan yang mempunyai panjang (L) pendek maka kemungkinan kecil untuk terjadi tekuk, jika diberikan beban aksial tekan tanpa eksentrisitas, maka tegangan akan bertambah dan dapat mencapai kondisi leleh. Perilakunya seperti batang tarik, kekuatannya tersebut tergantung dari luas penampangnya, tetapi bentuk tidak berpengaruh. Berbeda pada batang tekan langsing, jika batang tekan langsung dilakukan pembebanan dengan beban yang sama, maka sebelum leleh bisa terjadi tekuk pada batangnya, 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:

$$\lambda = \sqrt{\frac{KL}{r}} \quad (3.14)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.15)$$

Keterangan:

λ = 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.

Nilai KL/r akan dibatasi pada nilai 200 pada elemen struktur tekan. Harga KL/r yang memisahkan kolom panjang (tekuk elastis) dari kolom pendek (tekuk inelastic) ditentukan nilai secara acak asalkan tidak melebihi nilai 200. Nilai dari KL/r juga dapat disebut dengan C_c , penjelasan dapat dilihat pada gambar 3.5 serta persamaan 3.16 sebagai berikut:

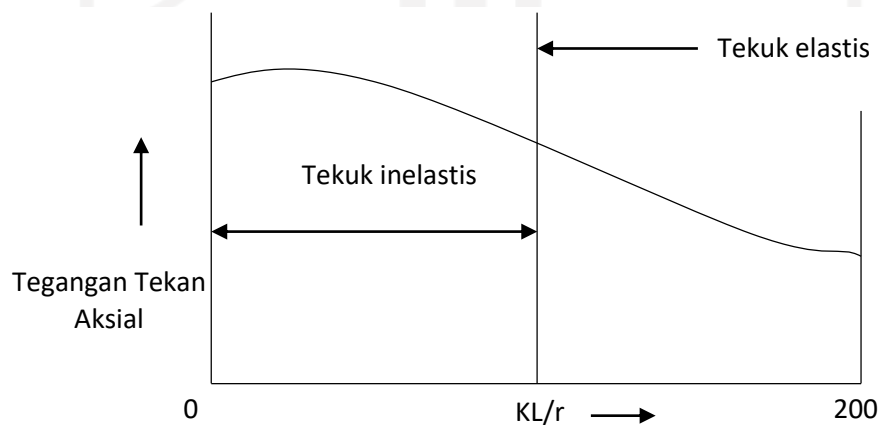
$$C_c = \sqrt{\frac{KL}{r}} = \sqrt{\frac{2\pi r^2}{F_y}} \quad (3.16)$$

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

Batang tekan yang mempunyai panjang (L) pendek serta mempunyai rasio lebar (b/t) yang kecil atau kelangsingan (KL/r) yang kecil dapat dilakukan pembebanan hingga mencapai titik daerah pengerasan regangan (*Strain Hardening*). Hal itu terjadi dikarenakan nilai tegangan kritis (F_{cr}) lebih besar dari pada nilai tegangan leleh (F_y). Biasa keruntuhan jenis ini sering terjadi pada kondisi pada penjelasan karakteristik tersebut.

Menurut Charles G. Salmon dan Johnson (1992) salah satu faktor yang berpengaruh pada kegagalan ini adalah luas penampang dari batang tekan tersebut. Semakin besarnya luas pada penampang melintang maka semakin meningkat pula kapasitas tekannya. Sehingga peluang terjadinya keruntuhan dapat ditekan seminimal mungkin. Berdasarkan SNI 1729:2020 perhitungan kuat tekan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.17)$$

Keterangan:

P_n = Kuat tekan

F_{cr} = Tegangan aksial kritis

A_g = luas penampang gross

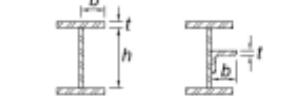
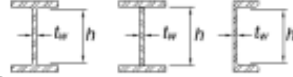
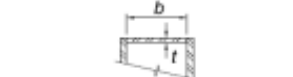
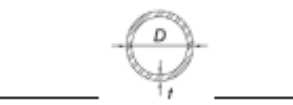
3.4.3 Klasifikasi penampang dan tekuk

Perilaku tekuk pada batang dapat dibedakan menjadi 2, yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Perilaku tekuk dibedakan menjadi 2, yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Perbedaan klasifikasi tersebut didasarkan pada tempat terjadi tekuk pada batang.

Terjadi resiko tekuk dapat diminimalisir dengan pengoptimalan struktur agar strukturnya optimal. Pada SNI 1729:2020 terdapat klasifikasi antara penampang langsing dan tidak langsing, penentuan kelangsingan dengan cara mengevaluasi nilai rasio lebar dan tebal (b/t) pada tiap tiap elemen penampang. maka risiko tekuk lokal harus dihindari. Untuk itu dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing. itu dilakukan dengan cara mengevaluasi rasio lebar-tebal (b/t) tiap-tiap elemen dari penampang. Nilai dari b/t pada klasifikasi SNI 1729:2020 dapat kita lihat pada Tabel 3.1.

Setiap elemen perlu dilakukan peninjauan nilai rasio b/t , apabila nilai tidak melebihi nilai batas rasio yang telah ditentukan pada SNI 1729:2020 maka penampang tersebut dapat diklasifikasikan sebagai penampang yang tidak langsing (penampang ideal) begitu juga sebaliknya untuk penampang langsing.

Tabel 3.2 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio Lebar terhadap Tebal	Batas Rasio Lebar terhadap Tebal λ_r (nonlangsing/langsing)	Contoh
Elemen tidak diperkaku	1	Sayap Profil I gilas panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I gilas panas, kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap kanal, dan sayap T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Sayap profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Kaki siku tunggal, kaki siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tidak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Badan T	d/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Elemen diperkaku	5	Badan profil I simetris ganda dan penampang profil I tersusun dan kanal	h/t_w	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Dinding PSR persegi panjang	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara baris-baris pengencang atau las	b/t	$1,40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	PSR bulat	D/t	$0,11 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, tetapi tidak boleh diambil kurang dari 0,35 atau lebih besar dari 0,76 dalam perhitungan.					

(Sumber: SNI 1729:2020)

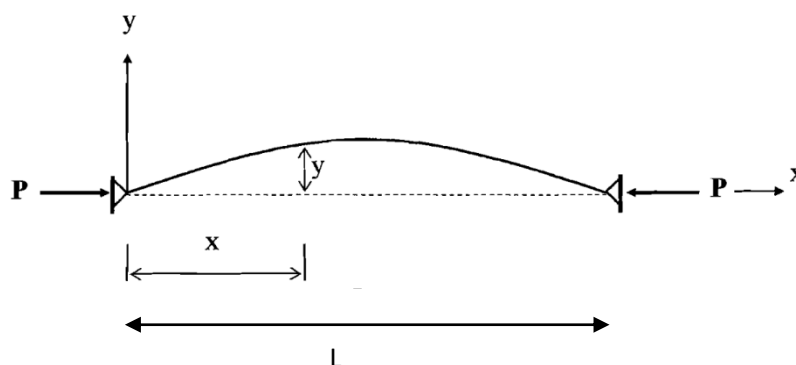
Tabel 3.1 menampilkan klasifikasi berdasarkan profil penampang. Struktur yang efisien terjadi apabila penampangnya tersebut tidak langsing, hal dikarenakan tidak ada risiko tekuk lokal.. Sedangkan apabila terjadi keruntuhan akibat dari tekuk global yang mana tekuk global dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun inelastic dapat dilakukan perhitungan menggunakan persamaan pada penjelasan berikut.

1. Tekuk Elastis

Tekuk elastis terjadi pada kolom langsing. Kolom langsing adalah 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).

Menurut persamaan Euler yang dikemukakan oleh Salmon dan Johnson (1992), Beban kritis batang tekan diturunkan dari persamaan sebuah batang lurus yang semua seratnya tetap elastis sehingga batang tersebut tidak mampu lagi menahan penambahan beban, batang tersebut memiliki dukungan sederhana pada ujung-ujungnya dan diberi gaya aksial tekan sentris.

Kuat tekan kolom langsing dijabarkan secara matematis oleh Euler. Pada sebuah batang lurus yang ujung-ujungnya sendi dikerjakan gaya tekan P , akibatnya batang akan melengkung seperti pada gambar berikut.



Gambar 3.6 Batang Tertekan

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

$$M_x = P \times Y \quad (3.18)$$

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

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M_x}{EI} \quad (3.19)$$

Persamaan diferensialnya menjadi

$$\frac{d^2y}{dz^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.20)$$

Penyelesaian persamaan menghasilkan beban tekuk Euler (Euler buckling load), yaitu

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.21)$$

Bila persamaan (3.24) dibagi dengan luas penampang batang A , maka

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{AKL^2} \quad (3.22)$$

Dimana I adalah inersia bahan, $I = A i$ atau $i = \sqrt{I/A}$, maka diperoleh tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.26) berikut ini:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E}{KL/r^2} \quad (3.23)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas baja,

r = jari-jari inersia minimum

L = panjang tekuk.

Berdasarkan persamaan tersebut dapat dijabarkan bahwasannya kekuatan pada batang tekan berbanding terbalik dengan nilai dari kuadrat kelangsingan (KL/r). Semakin besar nilai kelangsingan dari suatu batang tekan maka nilai tegangan kritisnya akan semakin kecil pula, sehingga beban yang dapat menyebabkan batang tekan terjadi tekuk akan semakin kecil.

2. Tekuk Inelastis

Struktur kolom biasanya terjadi tekuk pada kondisi penampangnya Sebagian dalam keadaan elastis dan sebagiannya tidak elastis, terjadi tekuk pada keadaan kali ini dapat disebut dengan tekuk tidak elastis (*inelastic buckling*). Banyak teori tekuk inelastis, salah satu diantaranya adalah Tangen modulus theory yang dikemukakan oleh Engesser (Salmon dan Johnson, 1992). Berdasarkan teori ini tegangan kritis kolom dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{KL/r^2} \quad (3.24)$$

Dimana E_t merupakan modulus tangen yang nilainya bervariasi dan mempunyai nilai lebih kecil dari modulus elastisitas. Karena $E_t < E$, sehingga nilai tegangan kritis yang didapatkan menggunakan persamaan tersebut selalu lebih kecil dari pada menggunakan persamaan lainnya. Dengan membiarkan tegangan kritis dari komponen struktur tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingan, maka semakin ramping dan batang tegangan kritis akan semakin kecil. Persamaan di atas dapat digunakan jika elemen penampang tidak terjadi tekuk lokal

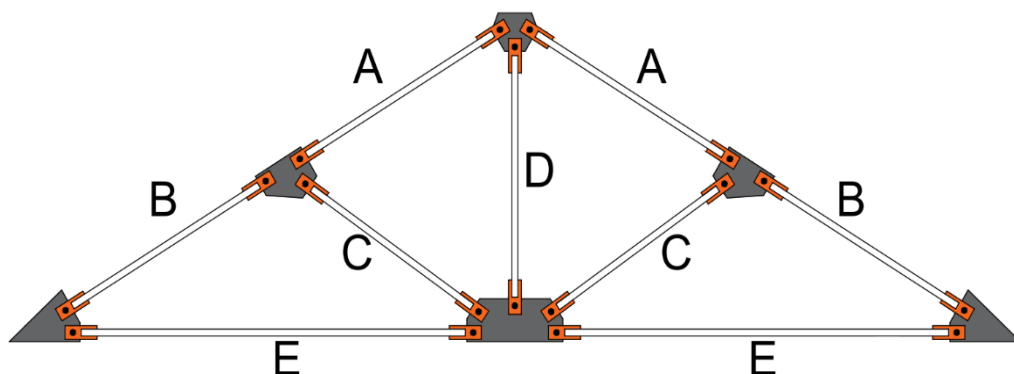
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan langkah yang digunakan dalam mendapatkan jawaban dari permasalahan yang ada. Menurut Sugiyono (2008) menyatakan bahwa metode penelitian adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Pada penelitian ini menggunakan uji di laboratorium kemudian hasil uji laboratorium akan dibandingkan dengan hasil analisis rangka baja dengan menggunakan DAM SNI 1729:2020. Sehingga akan dapat ditarik kesimpulan mengenai akurasi analisis dari SNI 1729:2020 dengan hasil uji laboratorium.

4.2 Objek Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan benda uji rangka atap baja dengan kelangsingan batang tekan (KL/r) = 90. Baja yang digunakan berbentuk *hollow* kotak ukuran 20x40, serta menggunakan plat tunggal dan baut tunggal sebagai sistem sambungannya, gambar objek penelitian dapat kita lihat pada gambar berikut. Plat sambung yang digunakan mempunyai ketebal 5 mm serta diameter baut yang digunakan yaitu 16 mm.



Gambar 4.1 Rangka Atap dengan Plat Sambung Tunggal dan Baut Tunggal

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data didapatkan dari hasil uji laboratorium serta analisis berdasarkan DAM SNI 1729:2020 dengan menggunakan bantuan program SAP2000. Lebih detailnya, mengenai pengumpulan data dapat dibedakan menjadi hal berikut ini:

1. Data primer

Data primer atau data utama, pada penelitian ini didapatkan dari hasil uji laboratorium, yaitu uji tarik, uji geser baut, uji lentur, uji tekan baja serta uji pada struktur rangka atau bisa juga disebut uji tekuk profil.

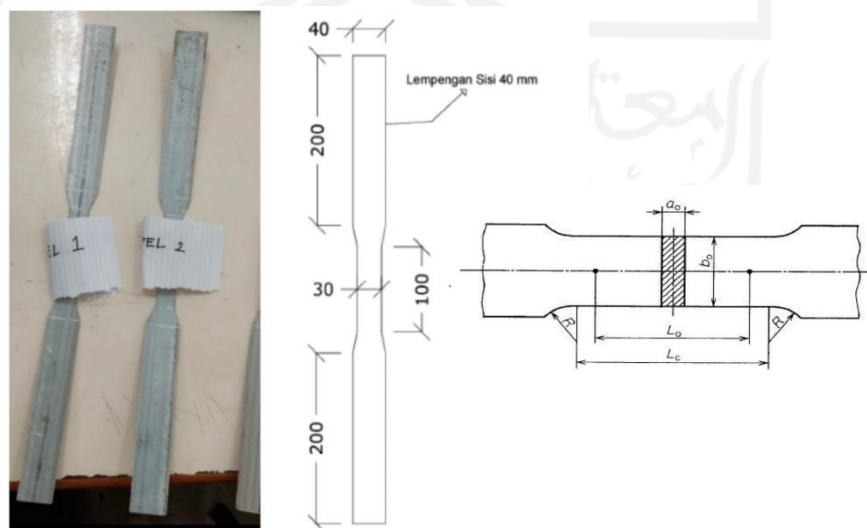
2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang memang sudah ada tanpa perlu adanya perhitungan atau penelitian dan data tersebut dapat diperoleh dari beberapa pedoman perancangan atau sumber lainnya. Dalam hal ini data sekunder didapatkan dari beberapa referensi serta SNI 1729:2020.

4.4 Uji Tarik Plat Baja

4.4.1 Benda Uji

Uji kuat tarik plat profil baja akan menghasilkan nilai tegangan leleh, modulus elastisitas serta kuat tarik maksimum pada plat. Berikut ukuran dari benda uji pada uji tarik plat baja.



Gambar 4.2 Benda Uji Kuat Tarik Plat Baja

4.4.2 Alat Uji

1. Meteran/penggaris

Meteran atau penggaris digunakan sebagai alat ukur yang berguna untuk mengetahui dimensi rangka atap serta mengukur perbedaan benda uji dari sebelum dilakukan pengujian dan sesudah dilakukan pengujian.



Gambar 4.3 Penggaris Uji Tarik Plat Baja

2. Jangka Sorong (Vernier Caliper)

Jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan dari sampel benda uji, hal ini dilakukan guna mengetahui ketebalan benda uji agar mempunyai ketebalan yang sesuai atau mempunyai ukuran ketebalan yang mendekati dari rencana perencanaan.



Gambar 4.4 Jangka Sorong Uji Tarik Plat Baja

3. Universal Testing Machine (UTM)

Universal Testing Machine (UTM) merupakan mesin yang digunakan untuk melakukan uji tarik pada baja, sehingga akan didapatkan kuat tarik baja. Pada

penelitian kali ini menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan merk Shimatsu serta mempunyai kapasitas hingga 30 ton.



Gambar 4.5 *Universal Testing Machine* (UTM) Uji Tarik Plat Baja

4.4.3 *Set Up* Pengujian

Berikut merupakan *set up* pengujian tarik plat baja yang dapat kita lihat pada gambar 4.6 berikut ini.



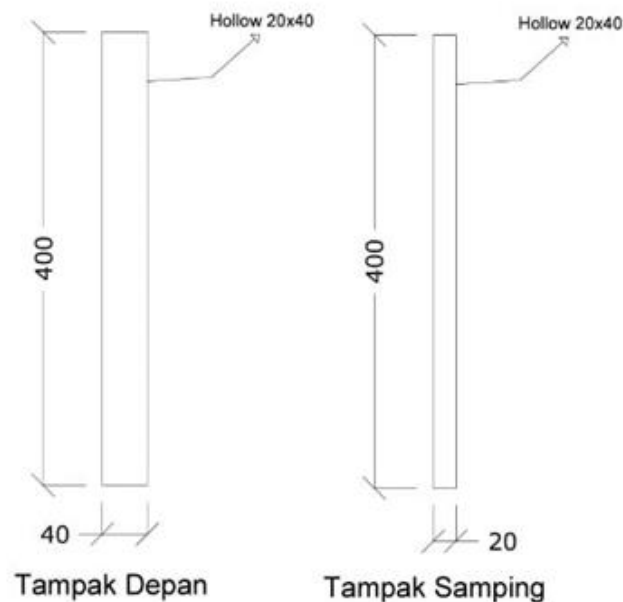
Gambar 4.6 *Set Up* Uji Tarik Plat Baja

4.5 Uji Lentur Baja

Uji lentur pada profil dilakukan guna mendapatkan nilai inersia pada penampang profil serta nilai kapasitas lentur maksimum. Uji lentur akan dilakukan 3 kali dengan sampel ukuran yang sama kemudian diambil rata-rata dari pengujian tersebut, nilai rata-rata dari inersia penampang dan nilai rata-rata dari kapasitas lentur maksimum yang akan digunakan sebagai hasil uji laboratorium.

4.5.1 Benda Uji

Berikut merupakan benda uji yang digunakan dalam uji lentur baja dapat kita lihat pada gambar 4.7 berikut ini

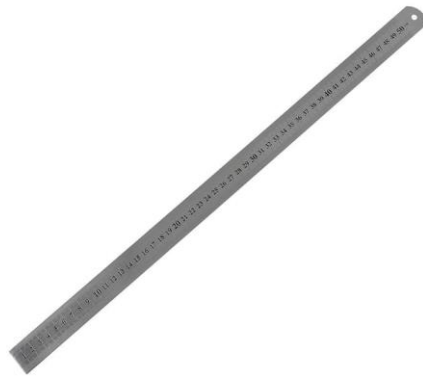


Gambar 4.7 Benda Uji Lentur Baja

4.5.2 Alat Uji

1. Meteran/penggaris

Meteran atau penggaris digunakan sebagai alat ukur yang berguna untuk mengetahui dimensi rangka atap serta mengukur perbedaan benda uji dari sebelum dilakukan pengujian dan sesudah dilakukan pengujian.



Gambar 4.8 Penggaris Uji Lentur Baja

2. Jangka Sorong (*Vernier Caliper*)

Jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan dari sampel benda uji, hal ini dilakukan guna mengetahui ketebalan benda uji agar mempunyai ketebalan yang sesuai atau mempunyai ukuran ketebalan yang mendekati dari rencana perencanaan.



Gambar 4.9 Jangka Sorong Uji Lentur Baja

3. *Universal Testing Machine* (UTM)

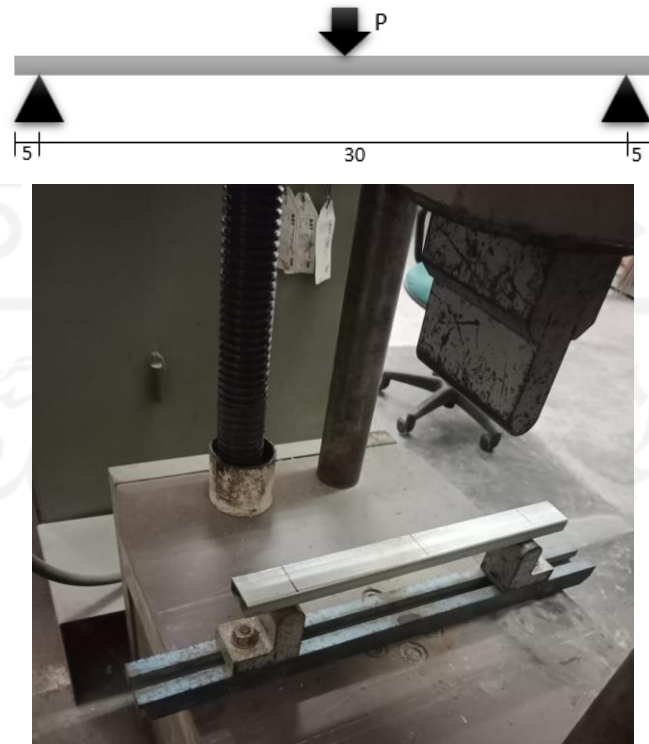
Universal Testing Machine (UTM) merupakan mesin yang digunakan untuk melakukan uji tarik pada baja, sehingga akan didapatkan kuat tarik baja. Pada penelitian kali ini menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan merk Shimatsu serta mempunyai kapasitas hingga 30 ton.



Gambar 4.10 Universal Testing Machine (UTM) Uji Lentur Baja

4.5.3 Set Up Pengujian

Set up benda uji pada pengujian lentur baja dapat kita lihat pada gambar 4.11 berikut ini :



Gambar 4.11 Set Up Benda Uji Lentur Baja

4.6 Perhitungan Desain Batang Tekan Metode ELM

Pada penentuan desain batang tekan akan dilakukan beberapa asumsi spesifikasi dari baja tersebut agar mendapatkan nilai prediksi kuat tekan, kuat tarik profil, dan kuat geser. Berikut perhitungan desain batang tekan.

Lebar Profil (B)	= 20 mm
Tinggi Profil (H)	= 40 mm
Tebal Profil	= 1,8 mm
Modulus elastisitas (E)	= 200000 Mpa
Tegangan Leleh (Fy)	= 250 Mpa
Luas penampang (A)	= 203,04 mm ² (dari SAP2000)
Kelangsingan (L/r)	= 90 (kelangsingan menengah)
Nilai kekakuan (K)	= 1
Tegangan leleh baut (Fy baut)	= 390 Mpa
Jari-jari Girasi Sumbu X (rx)	= 14,1676 mm (dari SAP2000)
Jari-jari Girasi Sumbu Y (ry)	= 8,0895 mm (dari SAP2000)
Kelangsingan (L/r)	= 90 (Kelangsingan menengah)

Dari beberapa asumsi tersebut, dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Menentukan panjang bentang batang tekan (L)

Dengan asumsi nilai kelangsingan sebesar 90, maka akan didapatkan nilai panjang bentang, berikut perhitungannya.

$$\frac{K.L}{r} = 90$$

$$\frac{1.L}{8,0895} = 90$$

$$L = 728,055 \text{ mm}$$

$$L = 728 \text{ mm (Pembulatan)}$$

2. Menghitung rasio kelangsingan efektif (λ)

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

$$90 \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$90 \leq 133,22$$

Berdasarkan nilai diatas yang menyatakan bahwa nilai $\frac{K.L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$, maka diketahui benda uji mengalami tekuk pada kondisi tidak elastis (*inelastic*) sehingga benda uji dapat dikatakan sudah tidak langsing.

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

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

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y$$

Sedangkan nilai F_e didapatkan menggunakan persamaan berikut

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

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(1.728/8,08951)^2}$$

$$F_e = 243,73 \text{ Mpa}$$

Sehingga akan didapatkan nilai tegangan tekuk kritis (F_{cr}) sebagai berikut.

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{250}{243,73}}) \times 250$$

$$F_{cr} = 162,738 \text{ Mpa}$$

4. Menghitung Kapasitas Tekan Profil

Perhitungan nilai kapasitas tekan profil sebagai berikut ini.

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

$$P_n = \frac{162,738 \times 203,04}{1000}$$

$$P_n = 33,0424 \text{ kN}$$

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

$$\phi P_n = 0,9 \times 33,0424 \text{ Kn}$$

$$\phi P_n = 29,738 \text{ kN}$$

5. Menghitung Kuat Geser Baut

Penentuan nilai kuat geser bergantung dengan diameter baut yang digunakan. Penentuan diameter baut yang digunakan tergantung pada kapasitas tekan, dilakukan percobaan dengan memasukkan beberapa diameter baut hingga kapasitas geser melebihi kapasitas tekan profil. Berikut perhitungan nilai kuat geser 1 penampang.

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

$$\phi V_n = \frac{0,75 \times (0,6 \times 390) \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2}{1000}$$

$$\phi V_n = 35,2864 \text{ kN}$$

Dengan nilai prediksi ϕV_n lebih besar dari nilai prediksi ϕP_n maka sambungan baut tidak akan terjadi gagal tekuk.

Pada desain ELM dapat diketahui nilai kapasitas perkiraan yang akan terjadi pada uji laboratorium, hasil uji laboratorium dapat digunakan apabila pada hasil tersebut mendekati asumsi pada metode ELM. Asumsi yang perlu diperhatikan yaitu pada bagian sambungan dapat bekerja dengan sendi sempurna, tidak terjadi tekuk pada plat, tidak terjadi tekuk lokal pada profil dan mempunyai nilai kuat tekan yang mendekati hasil perhitungan ELM. Apabila telah dilakukan pengujian dan tidak ada yang menghasilkan data yang sempurna maka akan digunakan data yang mendekati asumsi pada ELM ini.

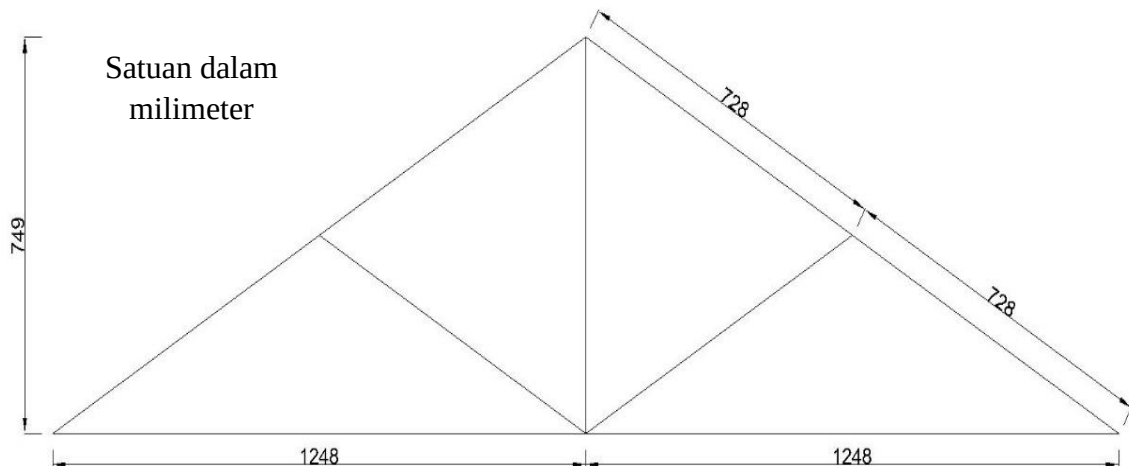
4.7 Perhitungan Desain Rangka Atap Metode ELM

Penentuan ukuran benda uji rangka atap akan bergantung dengan kelangsing dan hasil perhitungan kuat tekan, kuat tarik dan kuat geser pada desain batang tekan. Data tersebut akan digunakan untuk menentukan ukuran baut, ketebalan plat buhul, serta ketebalan profil yang akan digunakan.

4.7.1 Penentuan Ukuran Rangka Baja

Penentuan ukuran panjang rangka atap baja didapat dari klasifikasi kelangsingan yang peneliti telah tentukan yaitu dengan kelangsingan menengah dengan KL/r sama dengan 90. Menggunakan baja *hollow* ukuran 20 mm x 40 mm

dengan ketebalan 1,8 mm maka akan didapat ukuran panjang rangka atap baja sebagai berikut.



Gambar 4.12 Ukuran Benda Uji Rangka Atap Baja

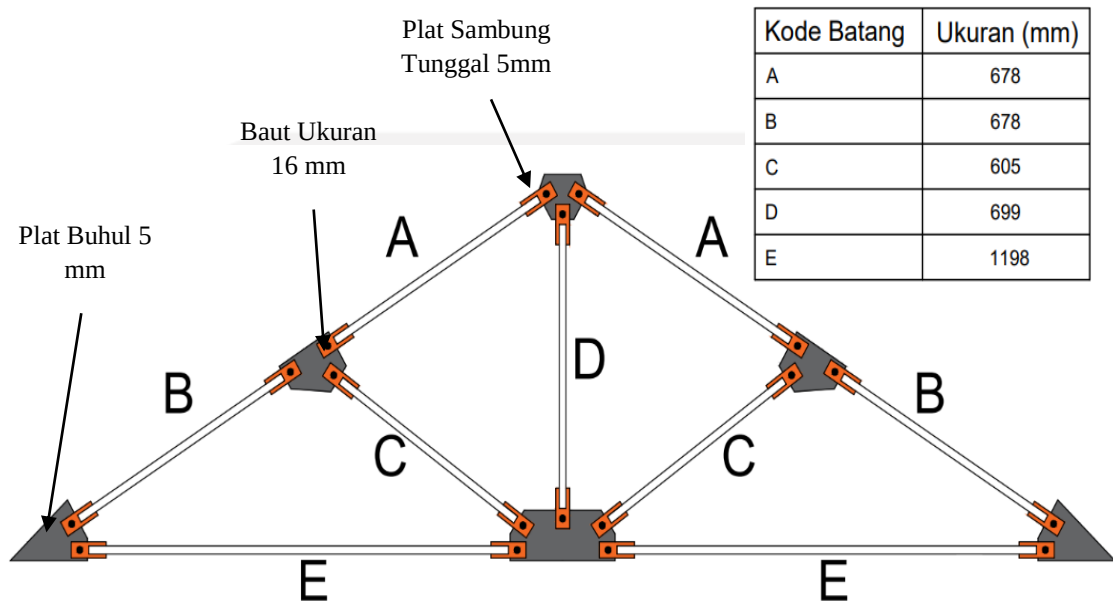
4.7.2 Trial Perhitungan Rencana Rangka Atap Baja

Setelah mendapatkan dimensi panjang rangka atap selanjutnya perlu dilakukan perhitungan dimensi ukuran plat, ukuran baut rencana, dengan data awal yang diasumsikan sebagai berikut.

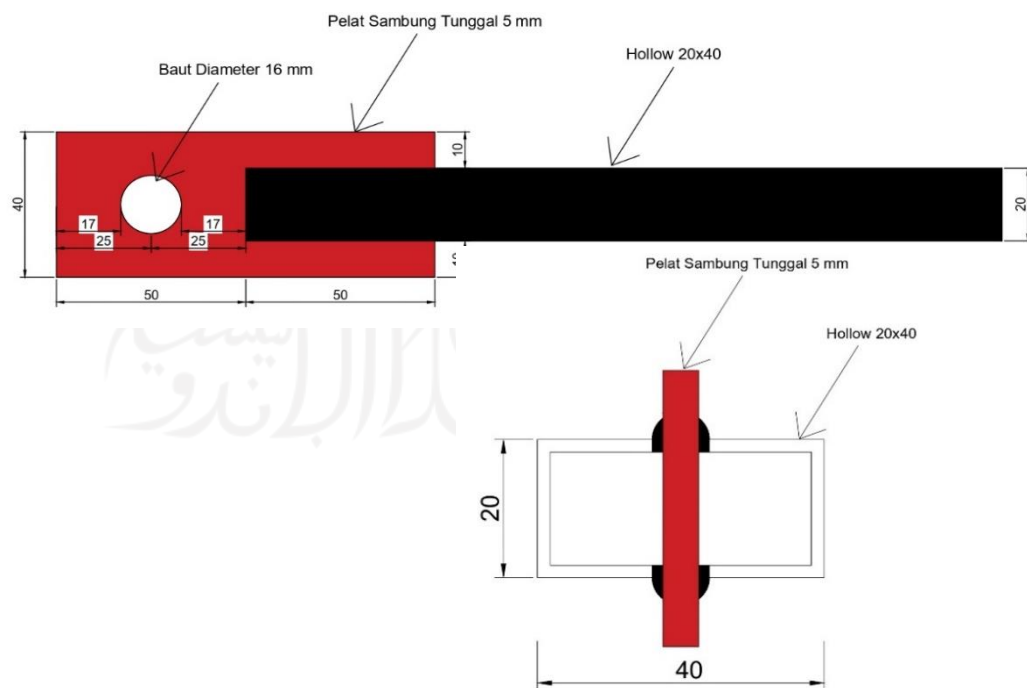
Lebar Profil (B)	= 20 mm
Tinggi Profil (H)	= 40 mm
Tebal Profil	= 1,8 mm
Modulus elastisitas (E)	= 200000 Mpa
Tegangan Leleh (F_y)	= 250 Mpa
Luas penampang (A)	= 203,04 mm ²
Jari-jari Girasi Sumbu X (r_x)	= 14,1676 mm
Jari-jari Girasi Sumbu Y (r_y)	= 8,0895 mm
Kelangsingan (L/r)	= 90 (Kelangsingan menengah)
Panjang Profil Batang tekan (L)	= 728 mm

Berdasarkan data asumsi tersebut maka didapat detail dimensi struktur rangka atap. Kemudian semua detail ukuran yang telah didapatkan dilakukan

pemodelan gambar dengan *software* autocad, berikut detail dimensi struktur rangka atap.



Gambar 4.13 Detail Dimensi Struktur Rangka Atap Baja



Gambar 4.14 Detail Plat Sambung Tunggal

4.7.3 Pembuatan Benda Uji Rangka Atap

Setelah pemodelan pada autocad telah jadi, gambar tersebut kita bawa ke bengkel las untuk pembuatan benda uji, pastikan dalam pembuatan benda uji diperlukan pemantauan supaya tidak ada kesalahan selama proses pengerjaan.



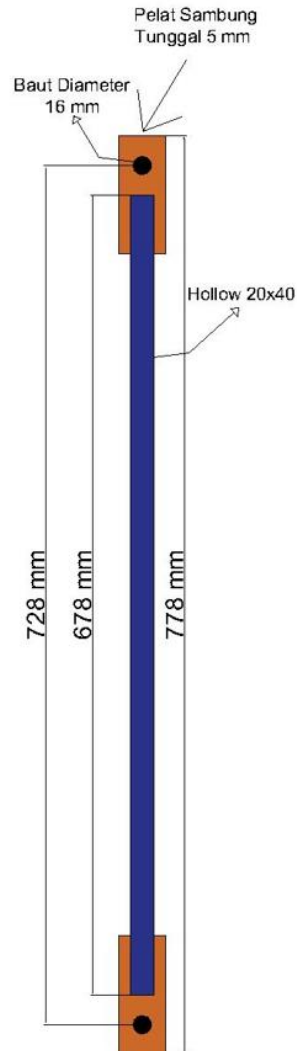
Gambar 4.15 Hasil Pembuatan Bengkel Las

4.8 Uji Tekan Profil

Uji kuat tekan profil baja dilakukan untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan maksimum. Benda uji batang tekan didesain berdasarkan kelangsingan yang sudah penulis tentukan, yaitu dengan kelangsingan $(KL/r) = 90$, dengan asumsi kelangsingan sedang maka pada uji batang tekan menggunakan $L=728$ mm.

4.8.1 Benda Uji

Detail benda uji batang tekan dapat kita lihat pada Gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4.16 Detail Ukuran Batang Tekan

4.8.2 Alat Uji

1. Meteran atau Penggaris

Meteran atau penggaris digunakan sebagai alat ukur yang berguna untuk mengetahui dimensi rangka atap serta mengukur perbedaan benda uji dari sebelum dilakukan pengujian dan sesudah dilakukan pengujian



Gambar 4.17 Meteran Uji Tekan Profil

2. *Loading Frame*

Loading frame merupakan alat yang berbentuk portal serta mempunyai dudukan serta beban untuk melakukan uji tekan pada baja atau rangka baja.



Gambar 4.18 Loading Frame Uji Tekan Profil

3. *Hydraulic Jack*

Hydraulic jack merupakan alat yang digunakan untuk memberikan beban pada benda, beban yang diberikan menggunakan alat ini dapat mencapai hingga 50 ton.



Gambar 4.19 Hydraulic Jack Uji Tekan Profil

4. *Strain Gauge*

Strain gauge merupakan alat yang digunakan untuk mengukur rengangan lentur serta regangan tekan pada batang tekan ketika pengujian. Pada penelitian ini digunakan *strain gauge* dengan kapasitas 2%.



Gambar 4.20 Strain Gauge Uji Tekan Profil

5. *Compression Load cell*

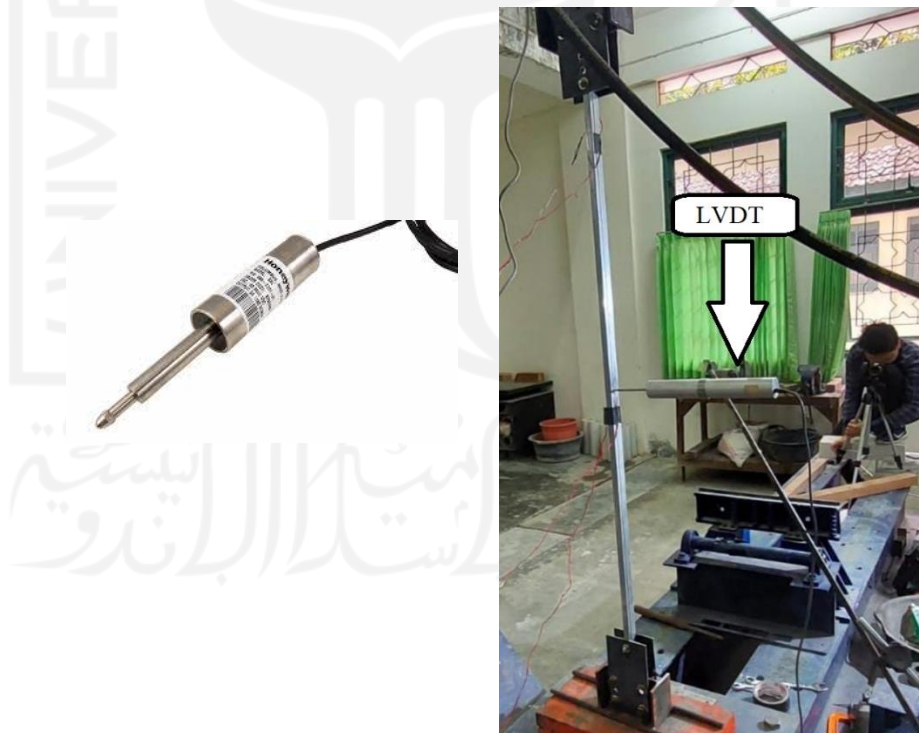
Compression Load cell merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui interval dari pembebanan yang diberikan kepada benda uji yang sedang diujikan. Alat ini dapat melakukan pembebanan hingga kapasitas 50 ton. Berikut merupakan gambar dari *Compression Load Cell*.



Gambar 4.21 Compression Load Cell Uji Tekan Profil

6. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

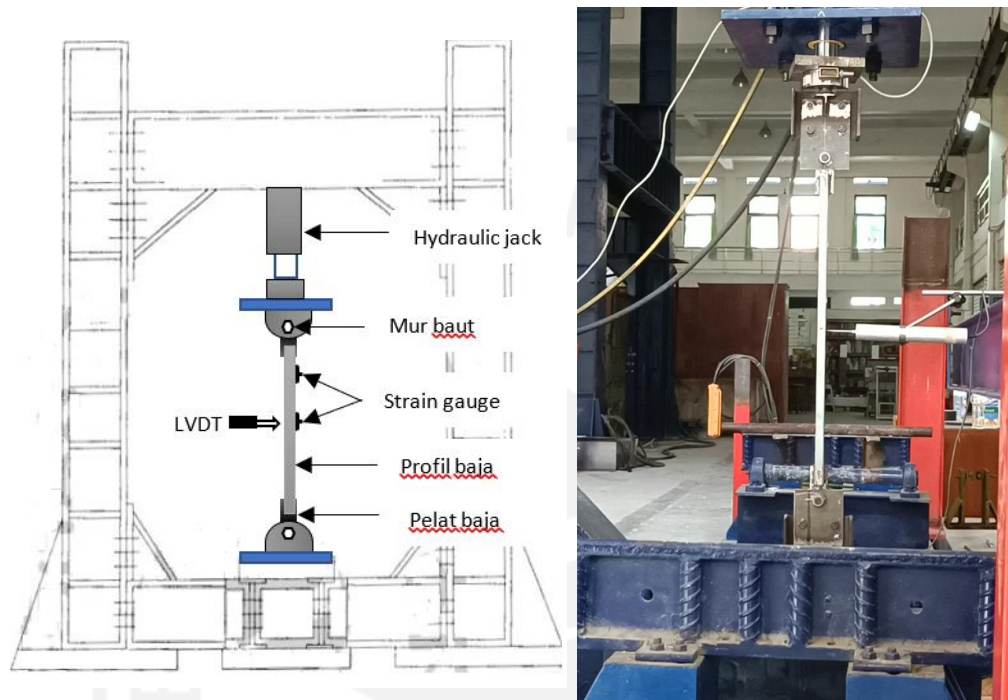
LVDT merupakan yang berguna mengukur lendutan yang terjadi pada benda uji, pada pengujian ini LVDT yang digunakan mempunyai kapasitas hingga 100 mm. Pemasangan LVDT dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 4.22 Linear Variable Differential Transformer Uji Tekan Profil

4.8.3 Set Up Pengujian

Berikut merupakan *set up* uji tekan profil yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.

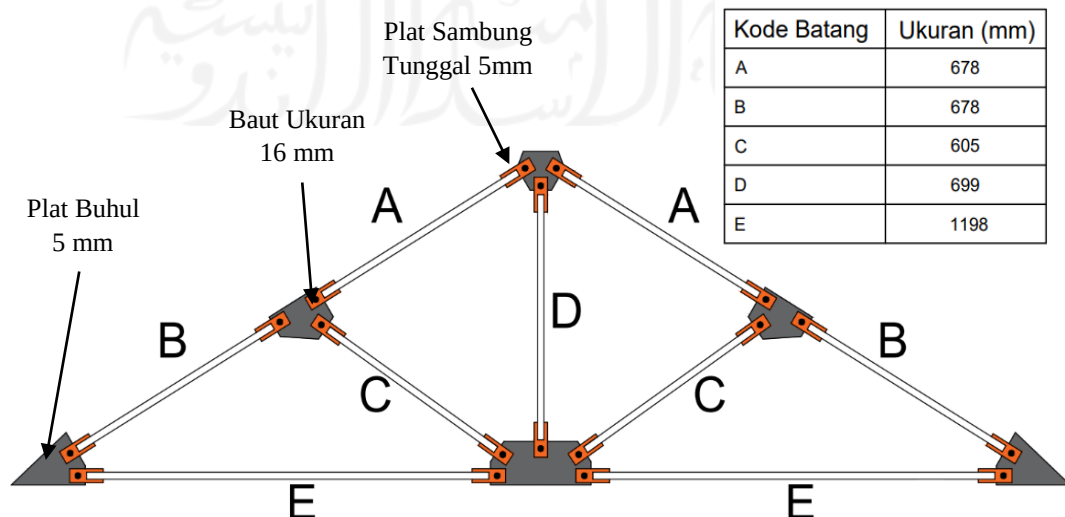


Gambar 4.23 Strain Gauge Uji Tekan Profil

4.9 Uji Tekan Rangka Atap

4.9.1 Benda Uji

Benda uji rangka atap dapat kita lihat pada Gambar 4.16 berikut ini.





Gambar 4.24 Benda Uji Tekan Rangka Atap

4.9.2 Alat Uji

1. Meteran atau Penggaris

Meteran atau penggaris digunakan sebagai alat ukur yang berguna untuk mengetahui dimensi rangka atap serta mengukur perbedaan benda uji dari sebelum dilakukan pengujian dan sesudah dilakukan pengujian



Gambar 4.25 Meteran Uji Tekan Rangka Atap

2. *Loading Frame*

Loading frame merupakan alat yang berbentuk portal serta mempunyai dudukan serta beban untuk melakukan uji tekan pada baja atau rangka baja.



Gambar 4.26 Loading Frame Uji Tekan Rangka Atap

3. *Hydraulic Jack*

Hydraulic jack merupakan alat yang digunakan untuk memberikan beban pada benda, beban yang diberikan menggunakan alat ini dapat mencapai hingga 50 ton .



Gambar 4.27 Hydraulic Jack Uji Tekan Rangka Atap

4. *Strain Gauge*

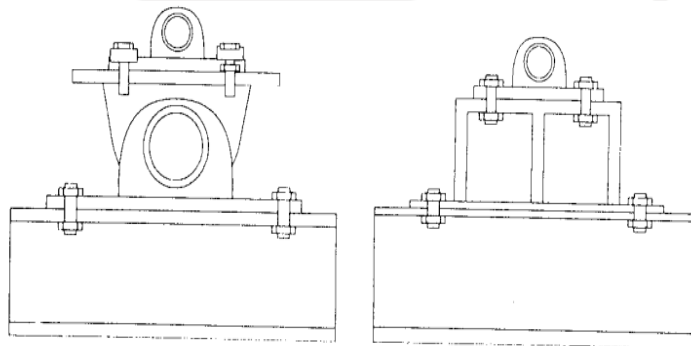
Strain gauge merupakan alat yang digunakan untuk mengukur regangan lentur serta regangan tekan pada batang tekan ketika pengujian. Pada penelitian ini digunakan *strain gauge* dengan kapasitas 2%.



Gambar 4.28 *Strain Gauge* Uji Tekan Rangka Atap

5. Dukungan rol dan sendi

Dukungan rol dan sendi digunakan untuk membuat model rangka atap sederhana dan sama dengan di lapangan dan juga mencegah terjadinya gesekan antara benda uji dengan loading frame pada saat proses pengujian.



Gambar 4.29 Dukungan Rol dan Sendi Uji

6. *Compression Load cell*

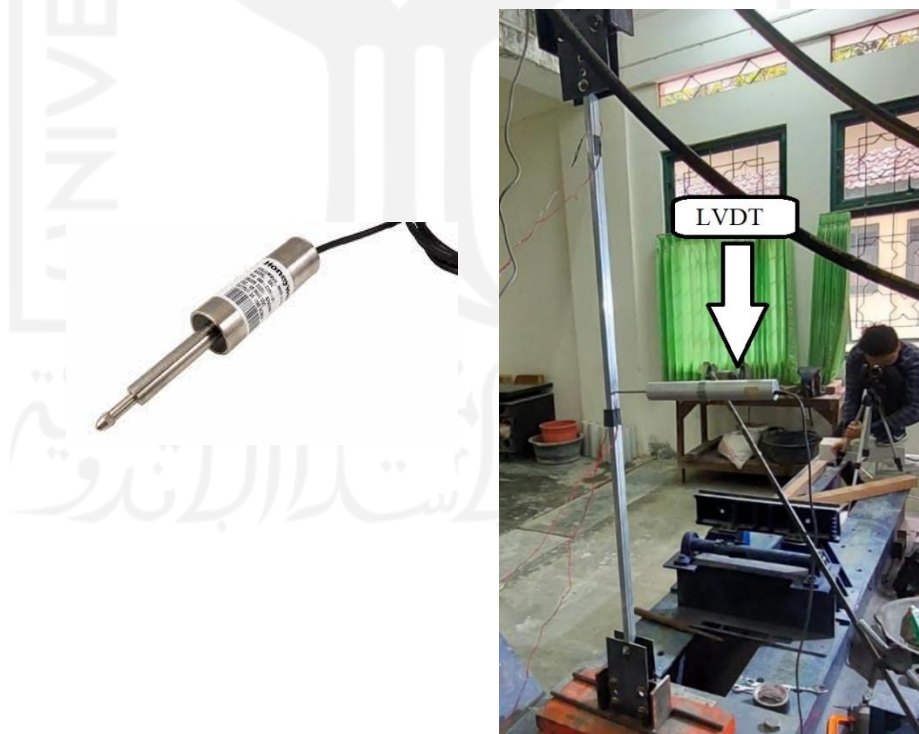
Compression Load cell merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui interval dari pembebanan yang diberikan kepada benda uji yang sedang diujikan. Alat ini dapat melakukan pembebanan hingga kapasitas 50 ton. Berikut merupakan gambar dari *Compression Load Cell*.



Gambar 4.30 Compression Load Cell Uji Tekan Rangka Atap

7. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

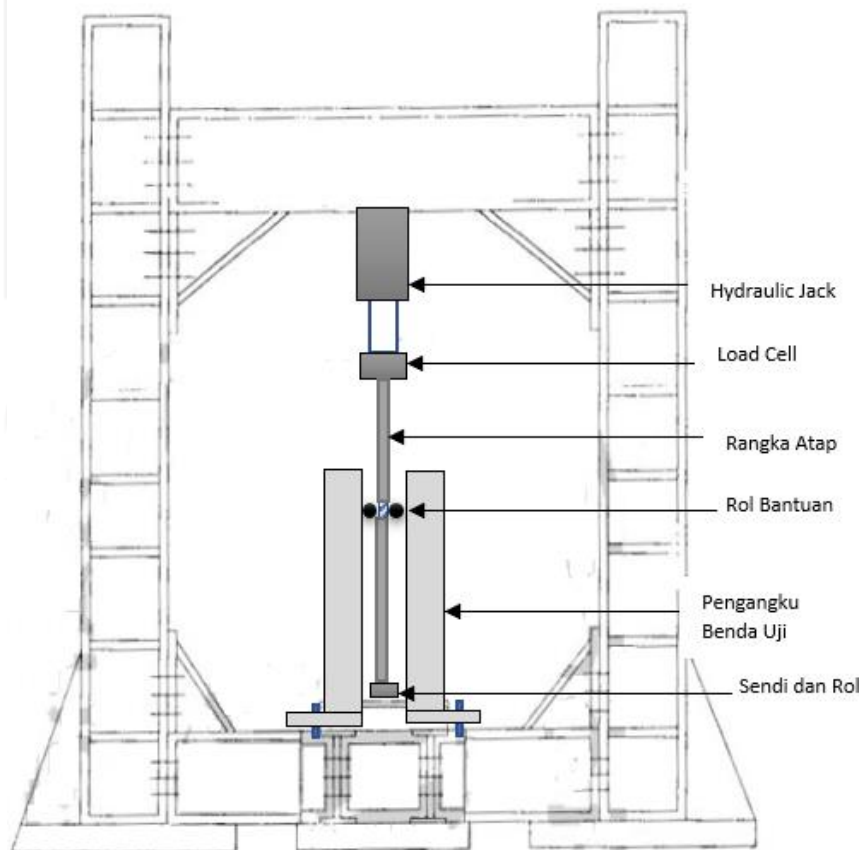
LVDT merupakan yang berguna mengukur lendutan yang terjadi pada benda uji, pada pengujian ini LVDT yang digunakan mempunyai kapasitas hingga 100 mm. Pemasangan LVDT dapat kita lihat pada gambar berikut.

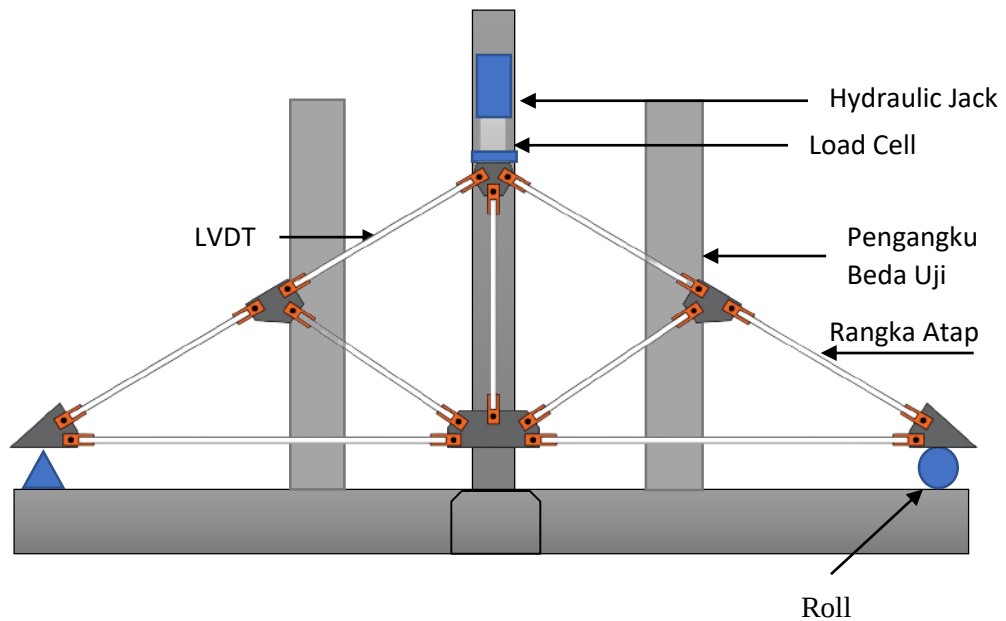


Gambar 4.31 Linear Variable Differential Transformer Uji Tekan Rangka Atap

4.9.3 Set Up Pengujian

Berikut merupakan setting dalam pengujian struktur rangka atap di laboratorium yang dapat kita lihat pada Gambar 4.32 berikut ini

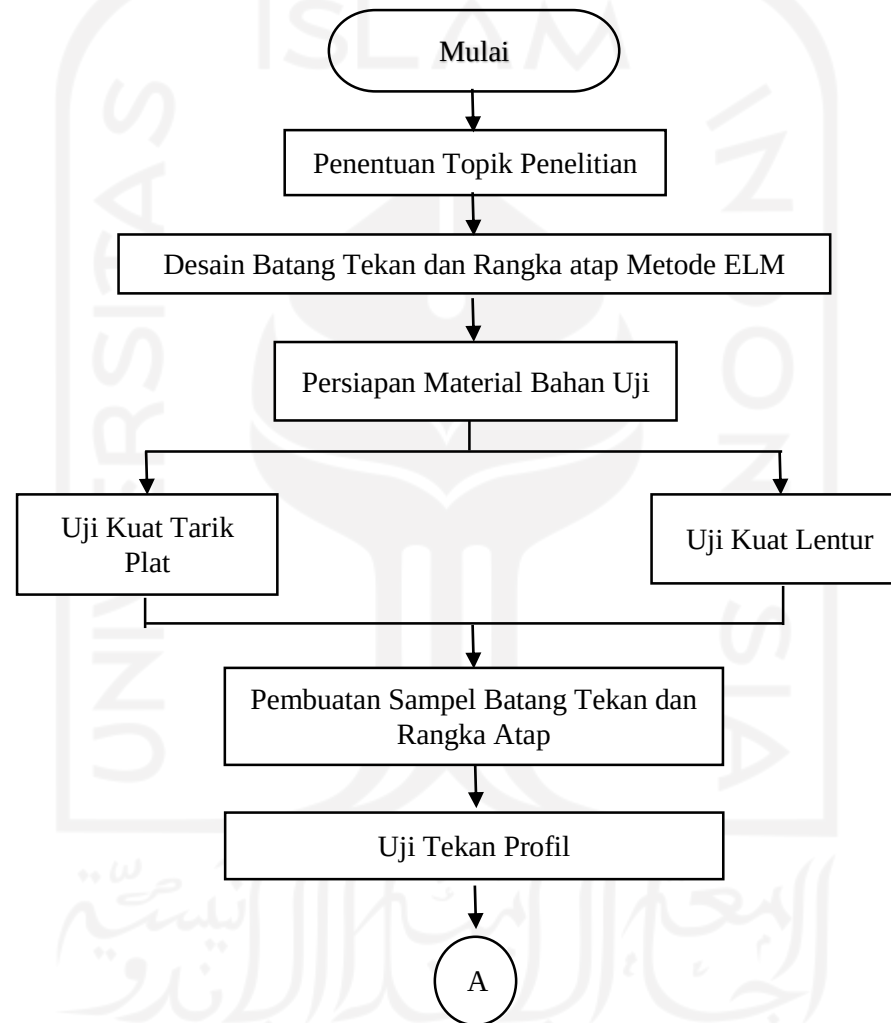


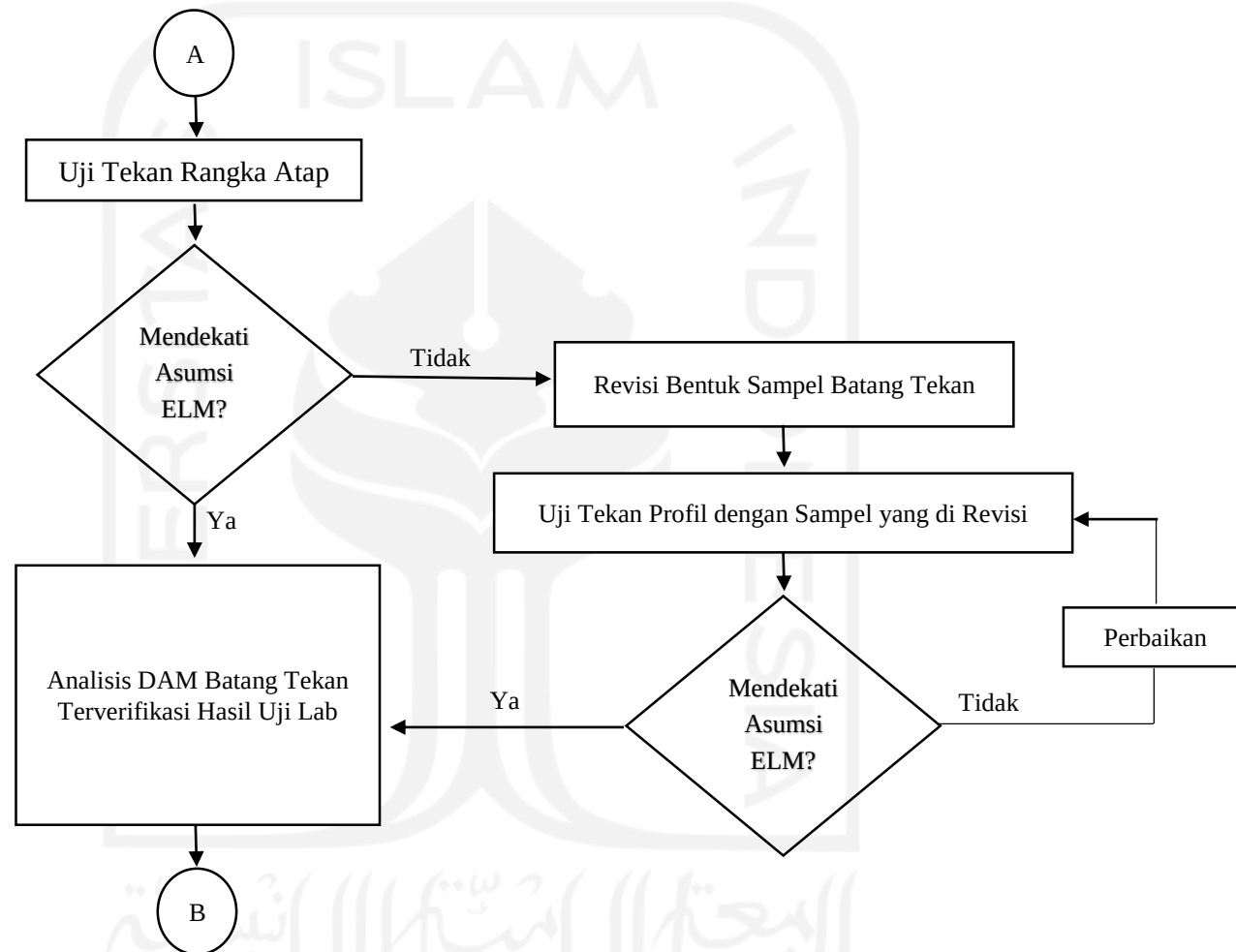


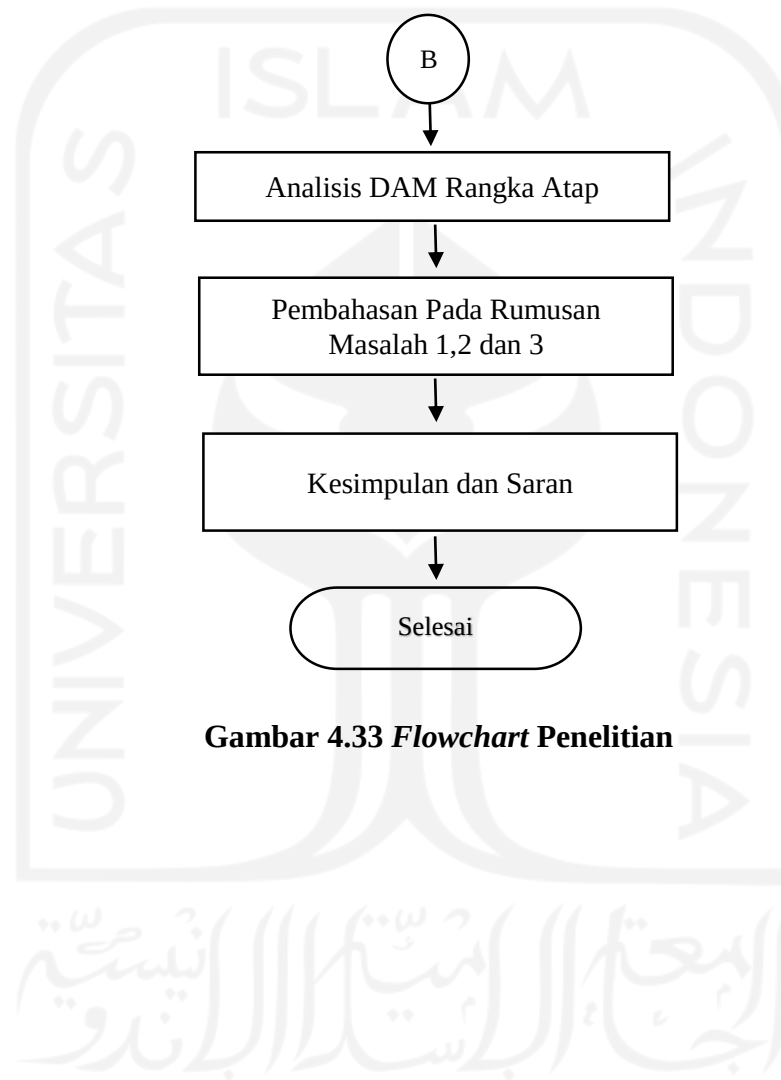
Gambar 4.32 Set Up Uji Tekan angka Atap

4.10 Flowchart

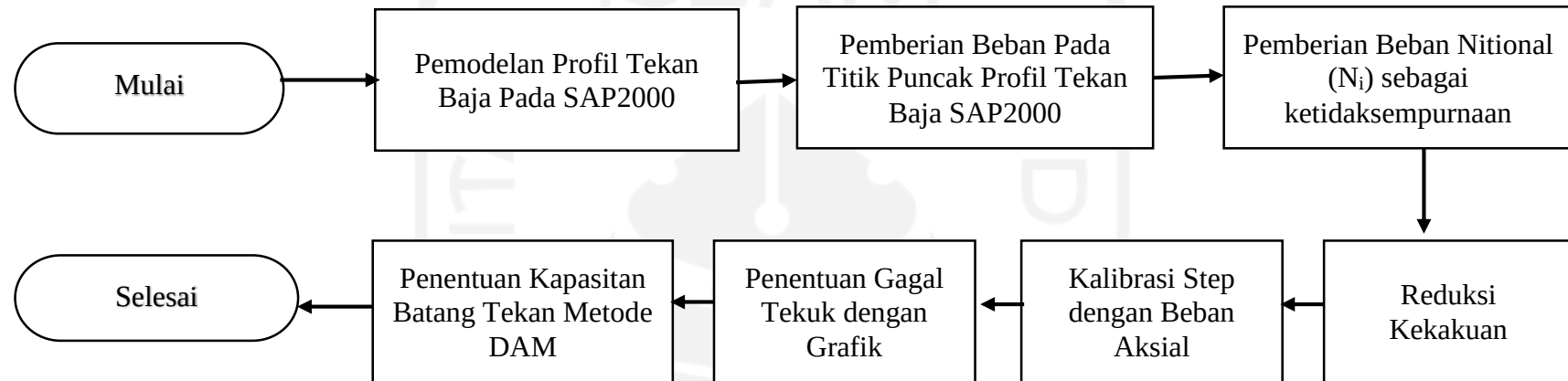
Flowchart atau bagan alir merupakan gambar dari Langkah-langkah yang dilakukan oleh penulis yang kemudian dituangkan dalam bentuk simbol yang dihubungkan dengan arah panah. Fungsi flowchart dibuat untuk mempermudah memahami tahapan penelitian yang dilakukan. Flowchart pada penelitian kali ini dapat kita lihat sebagai berikut.



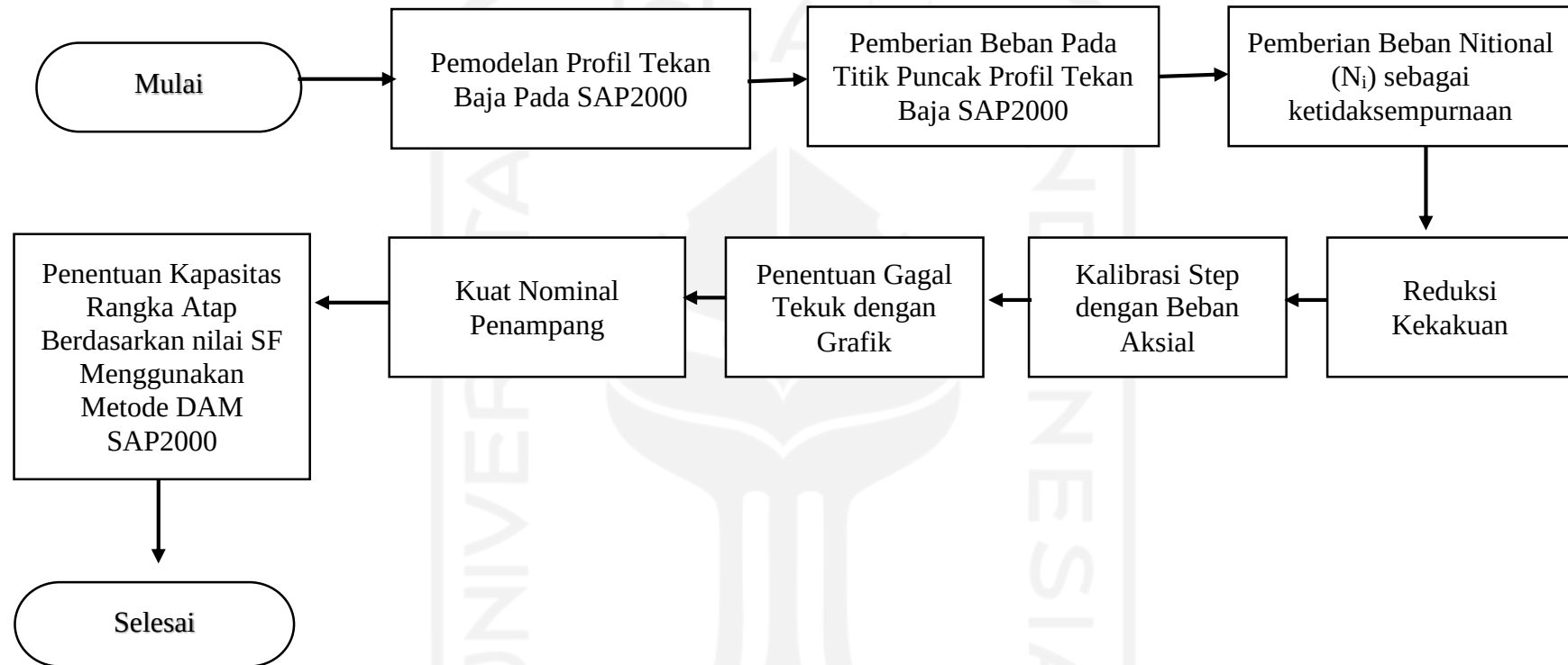




Gambar 4.33 *Flowchart* Penelitian



Gambar 4.34 Flowchart Metode DAM Uji Tekan Profil



Gambar 4.35 Flowchart Metode DAM Uji Rangka Atap

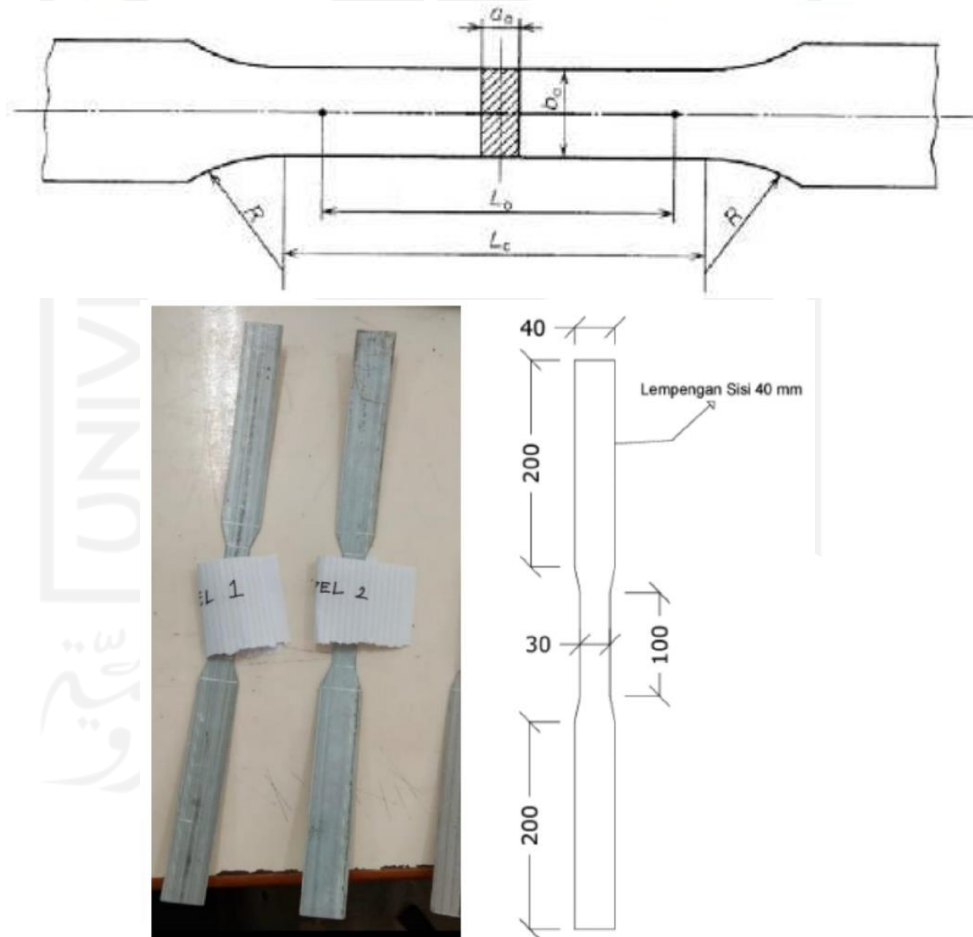
BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Uji Tarik Plat Baja

5.1.1 Sampel Uji Tarik Plat Baja

Berikut merupakan *setting* dalam pengujian struktur rangka atap di laboratorium yang dapat kita lihat pada Gambar 5.1 berikut ini



Gambar 5.1 Sampel Uji Tarik Plat Baja

Berdasarkan gambar diatas didapatkan nilai ukuran dimensi benda uji tarik plat baja sebagai berikut ini.

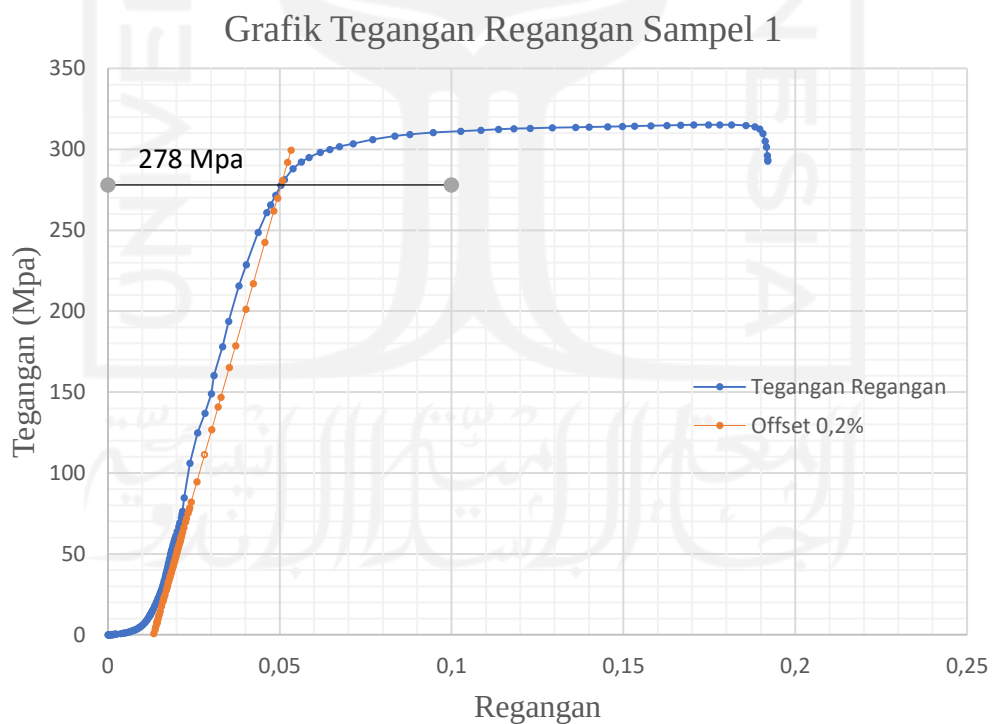
$$L_o = 100mm$$

$$L_c = 120mm$$

$$b_o = 20mm$$

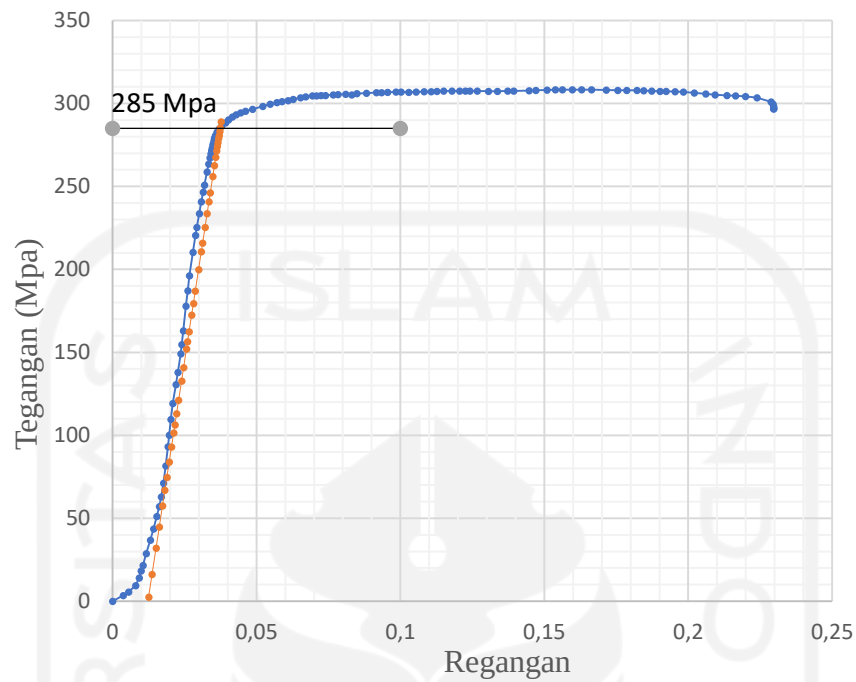
5.1.2 Perhitungan Uji Tarik Plat Baja

Dari benda uji itu setelah dilakukan pengujian akan didapatkan hasil lab nilai tegangan dan regangannya, kemudian dari data tersebut dilakukan analisis dengan membuat grafik tegangan regangan. Grafik tegangan regangan tersebut akan diketahui kuat tarik maksimum (F_u) pada setiap sampel, selain itu juga akan didapat nilai kekuatan leleh (F_y) dari grafik tegangan regangan tersebut. Grafik tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 5.2 sampai dengan Gambar 5.4 sebagai berikut ini.



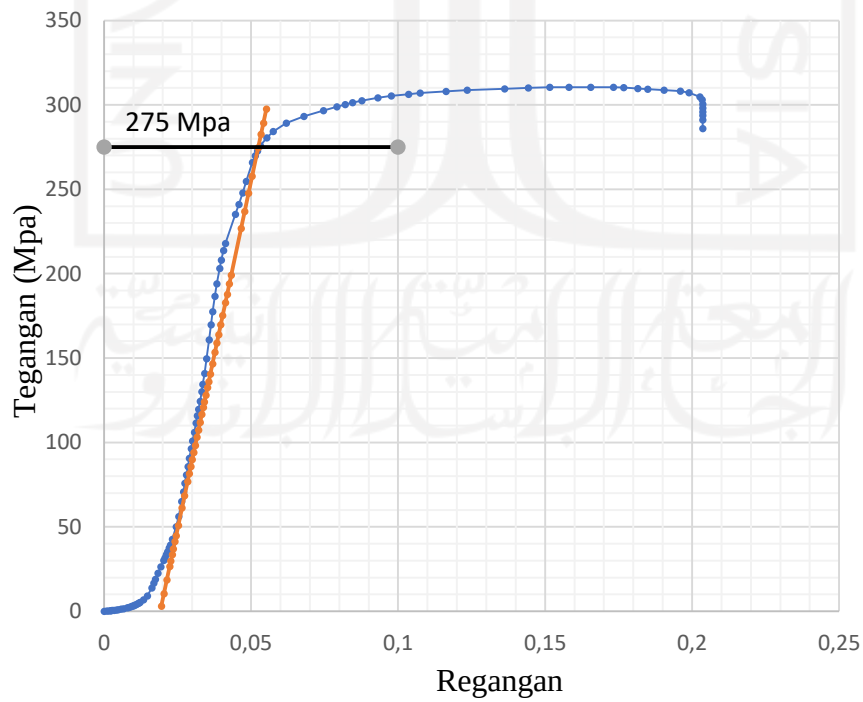
Gambar 5.2 Grafik Tegangan Regangan Sampel 1

Grafik Tegangan Regangan Sampel 2



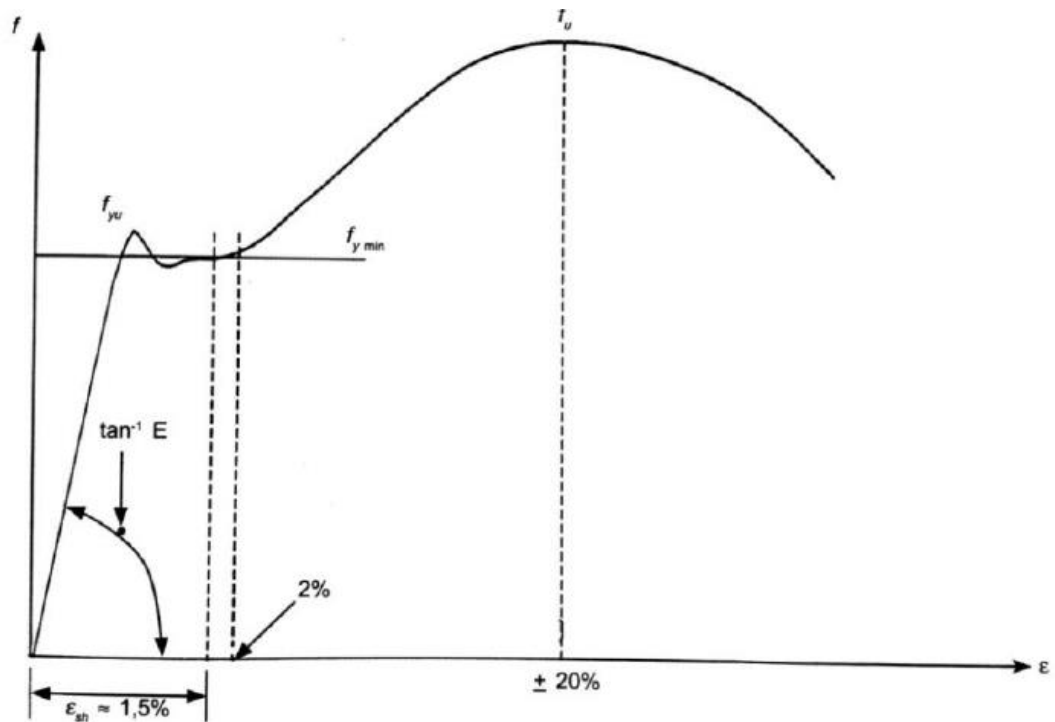
Gambar 5.3 Grafik Tegangan Regangan Sampel 2

Grafik Tegangan Regangan Sampel 3

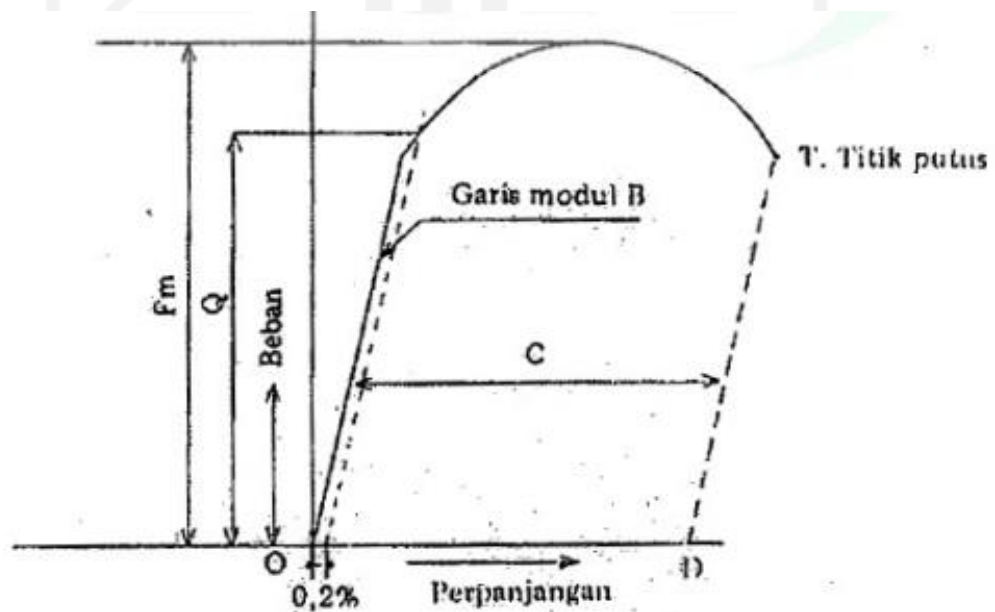


Gambar 5.4 Grafik Tegangan Regangan Sampel 3

Dalam menentukan nilai titik leleh (F_y) dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung dengan bentuk dari grafik tegangan regangan, berikut bentuk grafik yang mungkin bisa terjadi.



Gambar 5.5 Grafik Tegangan Regangan Dengan Batas Proporsional



Gambar 5.6 Grafik Tegangan Regangan Tanpa Batas Proporsional

Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil uji laboratorium, untuk menentukan nilai titik leleh (F_y) digunakan cara metode offset 0,2% seperti pada Gambar 5.6 Grafik Tegangan Regangan Tanpa Batas Proporsional. Hasil data uji tarik plat baja laboratorium dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Nilai F_y dan F_u Hasil Uji Tarik Plat Baja

No	Sampel	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)
1	Sampel 1	278	315,23
2	Sampel 2	285	308,36
3	Sampel 3	275	310,553

Sehingga berdasarkan tabel diatas nilai dari f_y dan f_u didapatkan nilai rerata dari tiga sampel sebagai berikut.

Nilai F_y rata-rata.

$$\begin{aligned}
 F_y &= \frac{fy1 + fy2 + fy3}{3} \\
 &= \frac{278 + 285 + 275}{3} \\
 &= 279,33 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

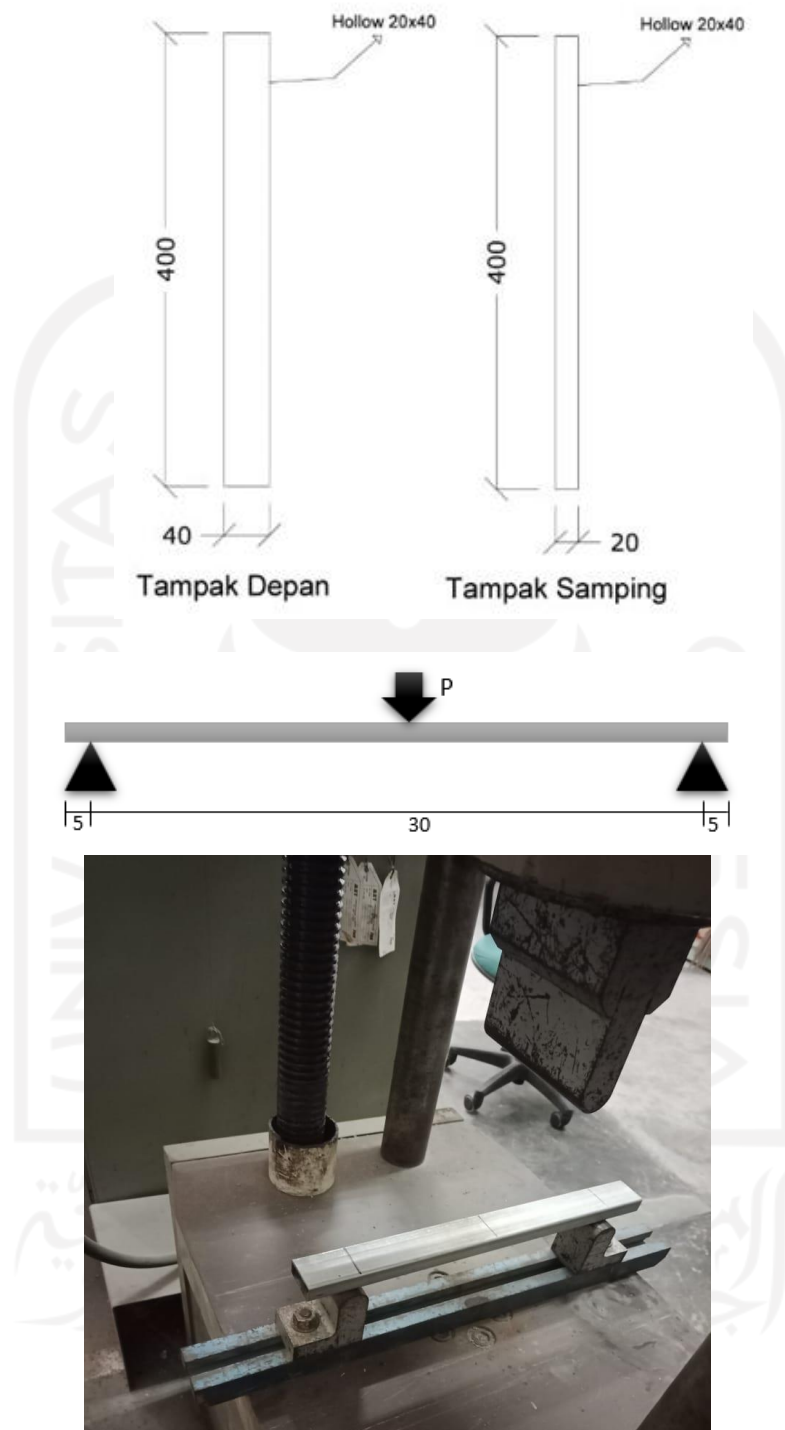
Nilai F_u rata-rata.

$$\begin{aligned}
 F_u &= \frac{fu1 + fu2 + fu3}{3} \\
 &= \frac{315,23 + 308,36 + 310,553}{3} \\
 &= 311,38 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

5.2 Uji Lentur Baja

5.2.1 Sampel Uji Lentur Baja

Berikut merupakan setting dalam pengujian lentur baja yang dapat kita lihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Ukuran dan Set Up Pengujian Lentur Baja

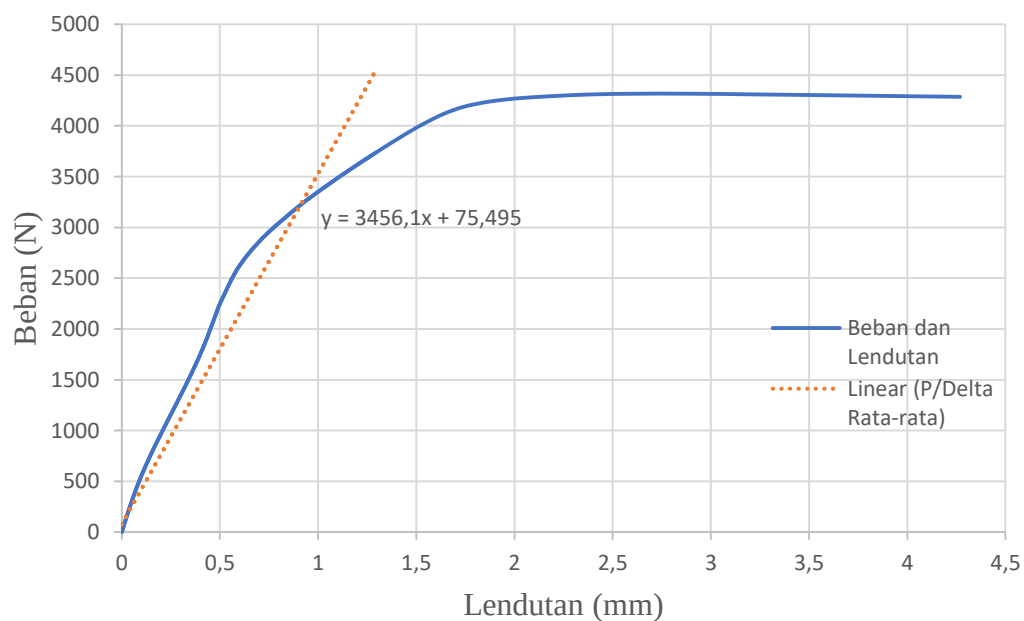
Ketika pengujian batang profil uji lentur dilakukan penarikan garis penanda 5 cm dari masing-masing ujung, sehingga panjang bersih yang dilakukan pada benda uji yaitu sebesar 30 cm. Sehingga didapatkan ukuran detail dalam pengujian sebagai berikut.

Tabel 5.2 Detail Ukuran Benda Uji Lentur Baja

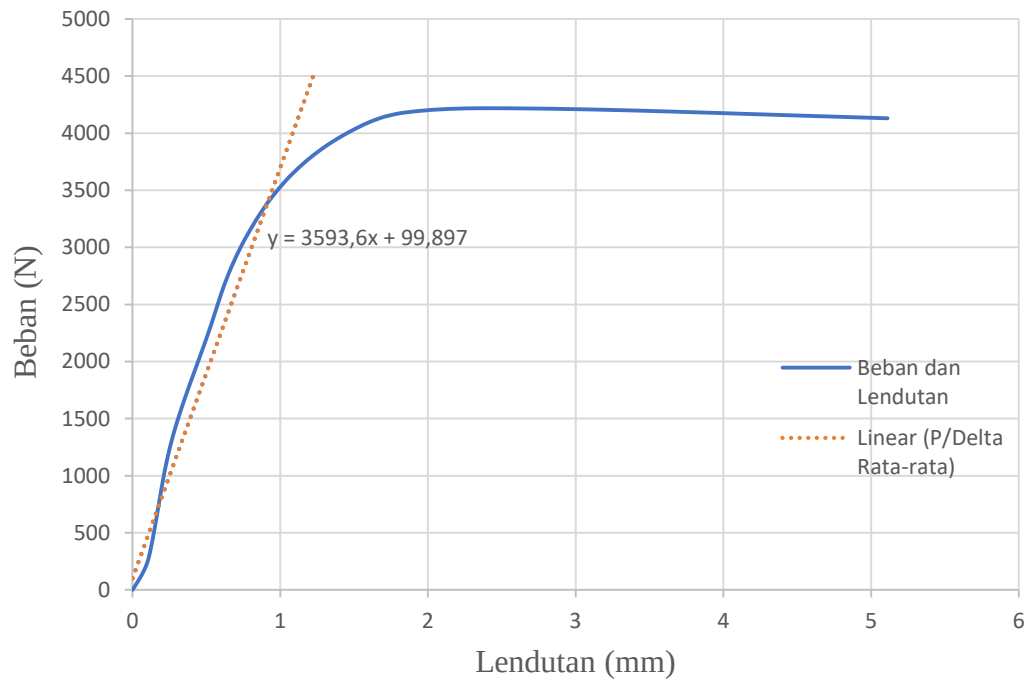
Sampel	Tebal (mm)	Panjang Benda Uji (Lo) mm	Lebar Rata-rata (B) mm	Tinggi Rata-rata (H) mm	Berat (W) gr	Fy Rerata (dari Uji Tarik Plat) Mpa
1	1,67	300	38,95	18,95	531	279,33
2	1,63		38,95	18,967	526	
3	1,63		38,967	18,9	528	
Rata-rata	1,643		38,956	18,939	527,667	

5.2.2 Perhitungan Uji Lentur Baja

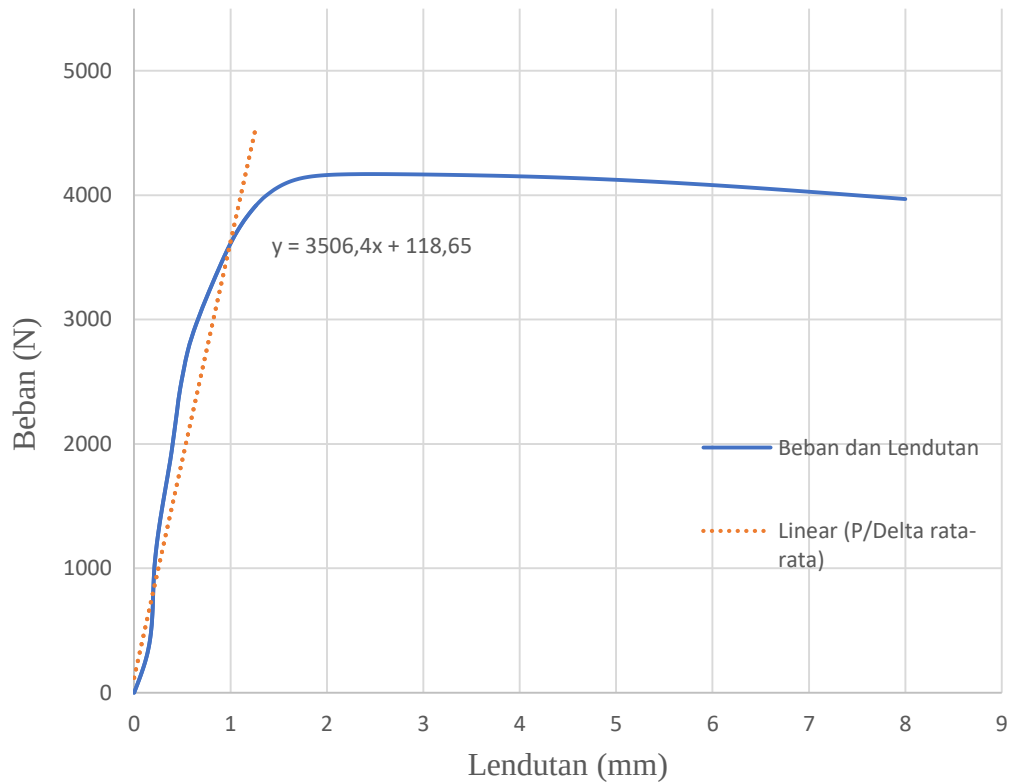
Dari sampel uji diatas, setelah dilakukan pengujian akan didapatkan nilai beban maksimal (Pmaks), momen maksimum (Mmaks) dan inersia Penampang (I). Data hasil pengujian lentur baja dapat dilihat pada Gambar 5.7 hingga 5.9 berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik Beban dan Lendutan Sampel 1



Gambar 5.9 Grafik Beban dan Lendutan Sampel 2



Gambar 5.10 Grafik Beban dan Lendutan Sampel 3

Nilai P/Δ rata-rata dapat kita lihat pada garis yang berwarna jingga pada setiap data yang tersajikan. Selain itu dari data tersebut juga didapatkan nilai beban maksimum yang bekerja. Rangkuman nilai yang didapatkan akan disajikan pada Tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5.3 Nilai P/Δ dan P_{maks} Uji Lentur Baja

No	Sampel	P/Δ	P_{maks} (N)	Panjang Benda Uji (L_0) mm	Modulus Elastisitas (E)
1	Sampel 1	3456,1	4316,4	300	200000
2	Sampel 2	3593,6	4218,3		
3	Sampel 3	3506,4	4169,25		

Dari data tersebut maka dapat dilakukan perhitungan nilai momen maksimum yang bekerja serta nilai inersia penampang. Berikut perhitungan nilai M_{maks} dan inersia penampang.

Nilai Momen maksimum

$$\begin{aligned}
 M_{maks} \text{ Sampel 1} &= P_{maks} \times \left(\frac{1}{4} \times L_0\right) \\
 &= 4326,4 \times \left(\frac{1}{4} \times 300\right) \\
 &= 323730 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{maks} \text{ Sampel 2} &= P_{maks} \times \left(\frac{1}{4} \times L_0\right) \\
 &= 4218,3 \times \left(\frac{1}{4} \times 300\right) \\
 &= 316373 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{maks} \text{ Sampel 3} &= P_{maks} \times \left(\frac{1}{4} \times L_0\right) \\
 &= 4169,25 \times \left(\frac{1}{4} \times 300\right) \\
 &= 312694 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Rerata} &= \frac{323730 + 316373 + 312694}{3} \\
 &= 317598,75 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Nilai Inersia Penampang

$$\Delta = \frac{P \times L o^3}{48 E I}$$

Sehingga didapatkan persamaan untuk mencari inersia penampang sebagai berikut.

$$I = \frac{\frac{P}{\Delta} \times L o^3}{48 \times E}$$

$$\begin{aligned} I \text{ Sampel 1} &= \frac{\frac{P}{\Delta} \times L o^3}{48 \times E} \\ &= \frac{3456,1 \times 300^3}{48 \times 200000} \\ &= 9720,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

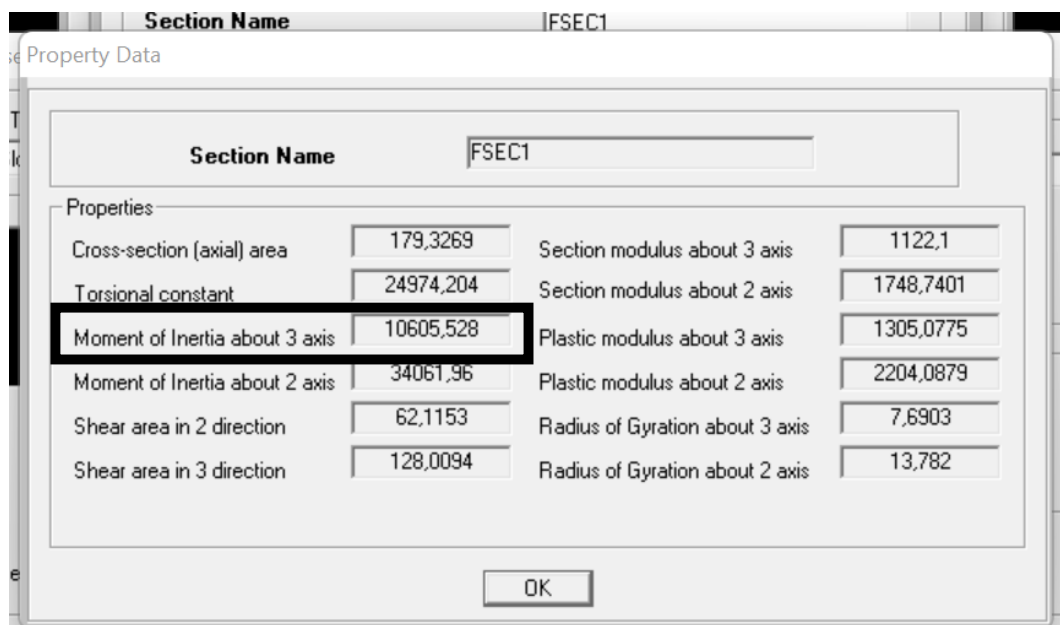
$$\begin{aligned} I \text{ Sampel 2} &= \frac{\frac{P}{\Delta} \times L o^3}{48 \times E} \\ &= \frac{3593,6 \times 300^3}{48 \times 200000} \\ &= 10107 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ Sampel 3} &= \frac{\frac{P}{\Delta} \times L o^3}{48 \times E} \\ &= \frac{3506,4 \times 300^3}{48 \times 200000} \\ &= 9861,8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ rata rata} &= \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \\ &= \frac{9720,3 + 10107 + 9861,8}{48 \times 200000} \\ &= 9890,367 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Kemudian hasil dari inersia penampang rata-rata kita lakukan pengecekan dengan hasil dari program SAP2000, dengan memasukkan spesifikasi profil *hollow* 20x40

dan ketebalan 1,8 mm. Ukuran yang dimasukkan dalam program SAP merupakan ukuran asli hasil uji lab seperti yang tercantum pada Tabel 5.2, berikut hasil pengecekan dari program SAP2000.



The screenshot shows the 'Section Properties' dialog box in SAP2000 for a section named 'FSEC1'. The 'Moment of Inertia about 3 axis' is highlighted with a black box and has a value of 10605,528. Other properties listed include Cross-section (axial) area, Torsional constant, Section modulus about 3 axis, Section modulus about 2 axis, Plastic modulus about 3 axis, Plastic modulus about 2 axis, Radius of Gyration about 3 axis, and Radius of Gyration about 2 axis.

Section Name: FSEC1	
Properties:	
Cross-section (axial) area	179,3269
Torsional constant	24974,204
Moment of Inertia about 3 axis	10605,528
Moment of Inertia about 2 axis	34061,96
Shear area in 2 direction	62,1153
Shear area in 3 direction	128,0094
Section modulus about 3 axis	1122,1
Section modulus about 2 axis	1748,7401
Plastic modulus about 3 axis	1305,0775
Plastic modulus about 2 axis	2204,0879
Radius of Gyration about 3 axis	7,6903
Radius of Gyration about 2 axis	13,782

Gambar 5.11 Nilai Inersia Pada Program SAP2000

Hasil SAP menunjukkan nilai Inersia $10605,528 \text{ mm}^4$, sedangkan hasil pengujian laboratorium menunjukkan nilai Inersia $9890,367 \text{ mm}^4$. Sehingga selisih nilai inersia adalah sebesar $715,1613 \text{ mm}^4$ atau hanya 6,743 %. Maka profil dinyatakan sesuai kriteria dan bisa digunakan sebagai bahan untuk pembuatan benda uji rangka atap.

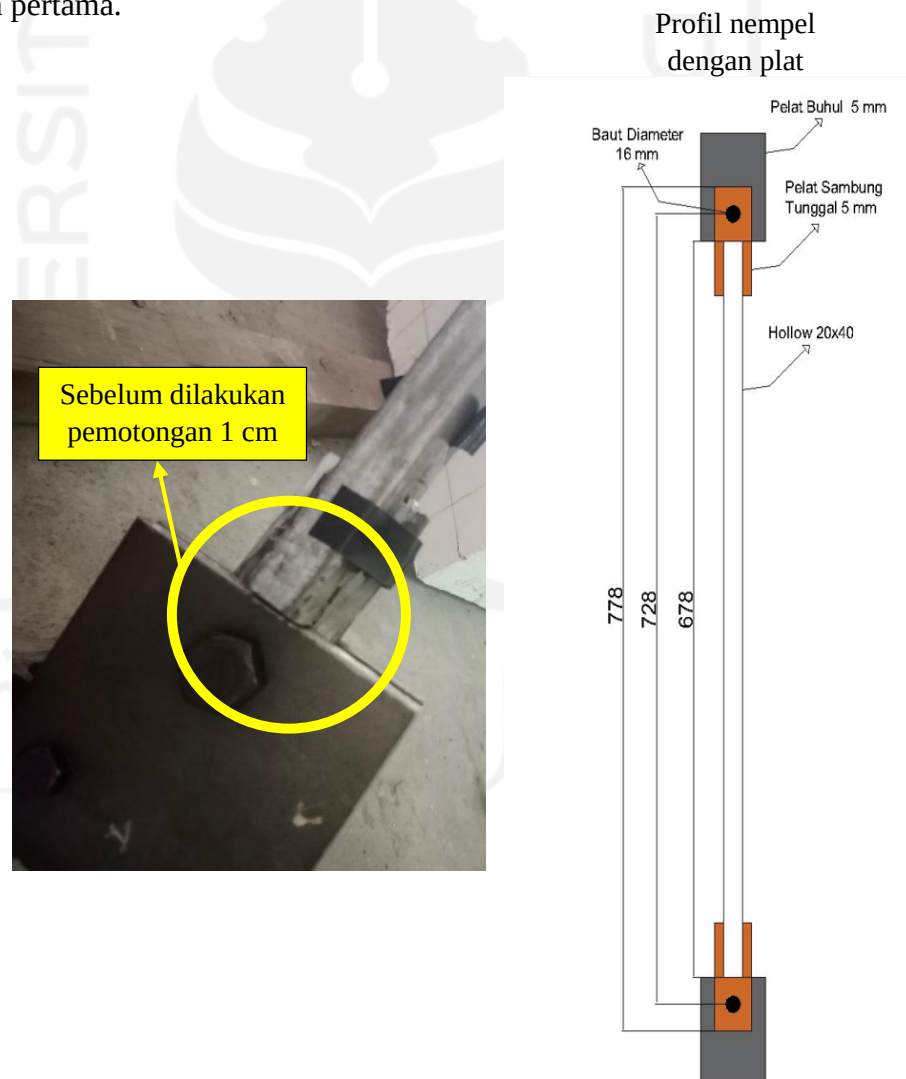
5.3 Hasil Uji Lab Uji Tekan Profil dan Uji Tekan Rangka Atap

Uji tekan profil dilakukan untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan maksimum. Adapun hasil dari uji laboratorium dan hasil dari analisis metode DAM dapat dilihat berikut ini.

5.3.1 Hasil Uji Lab Kuat Tekan Profil (Percobaan 1)

1. Sampel Uji Tekan Profil

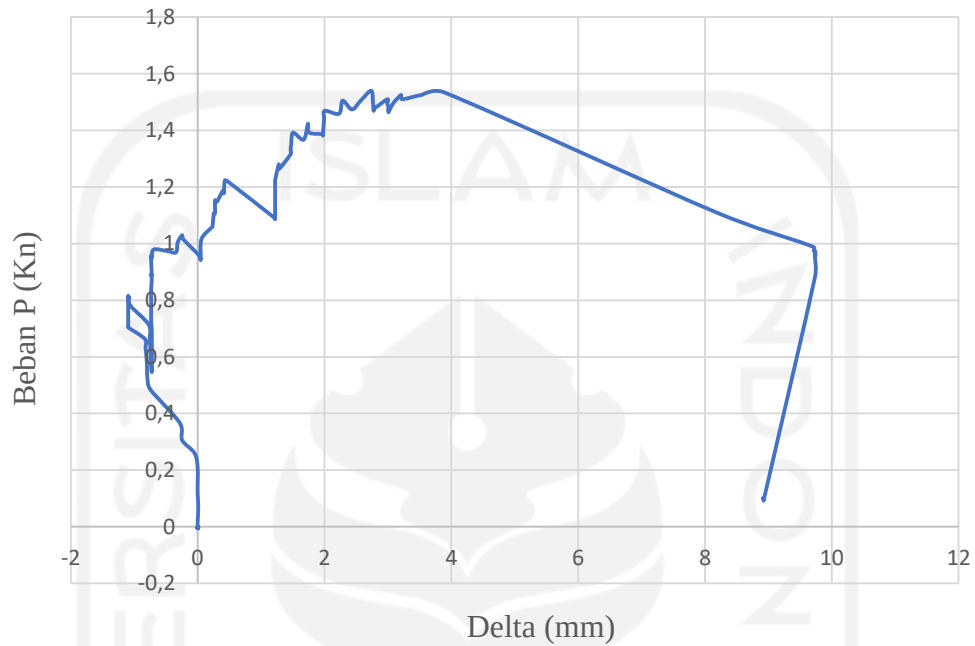
Uji tekan profil dilakukan dua kali sehingga terdapat 2 sampel uji tekan profil, dilakukannya percobaan hingga dua kali dikarenakan pada uji yang pertama hasil tidak sesuai dengan desain. Berikut detail ukuran sampel uji tekan profil pada percobaan pertama.



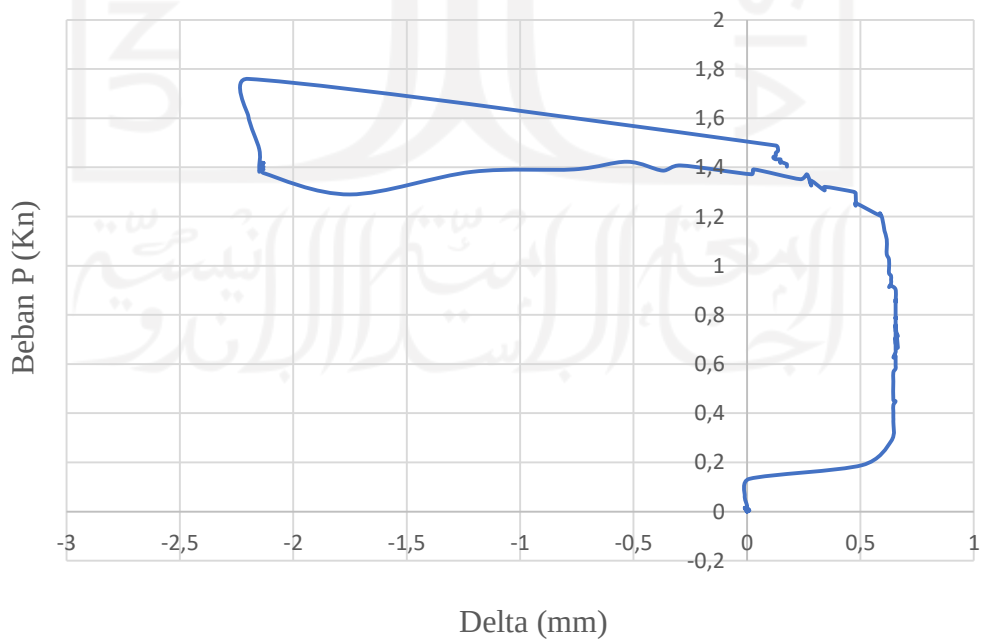
Gambar 5.12 Uji Sampel Tekan Profil (Percobaan 1)

2. Hasil Uji Tekan Profil Laboratorium Percobaan 1

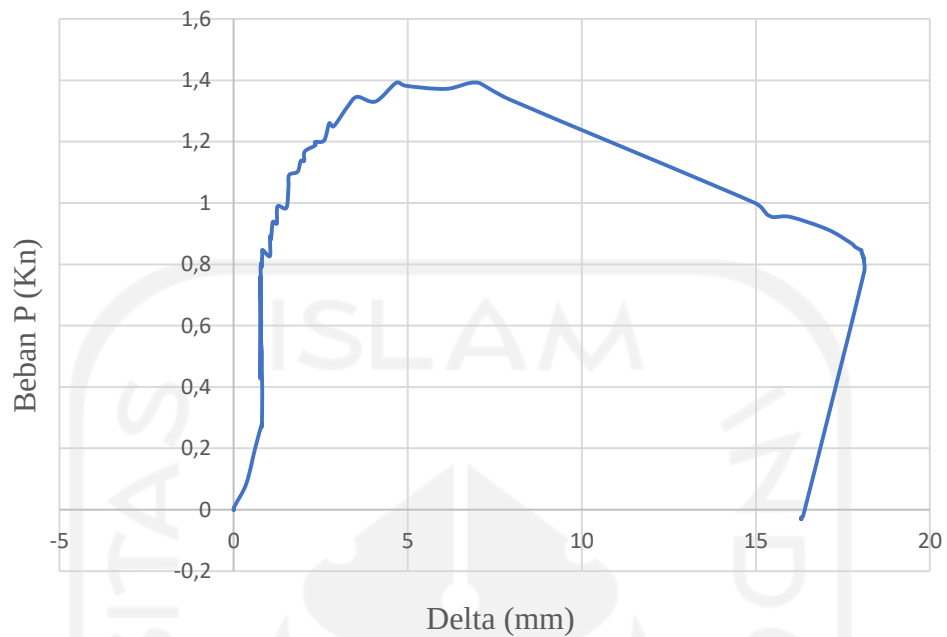
Hasil pengujian tekan profil percobaan pertama pada laboratorium dapat dilihat pada grafik Gambar 5.13 berikut ini.



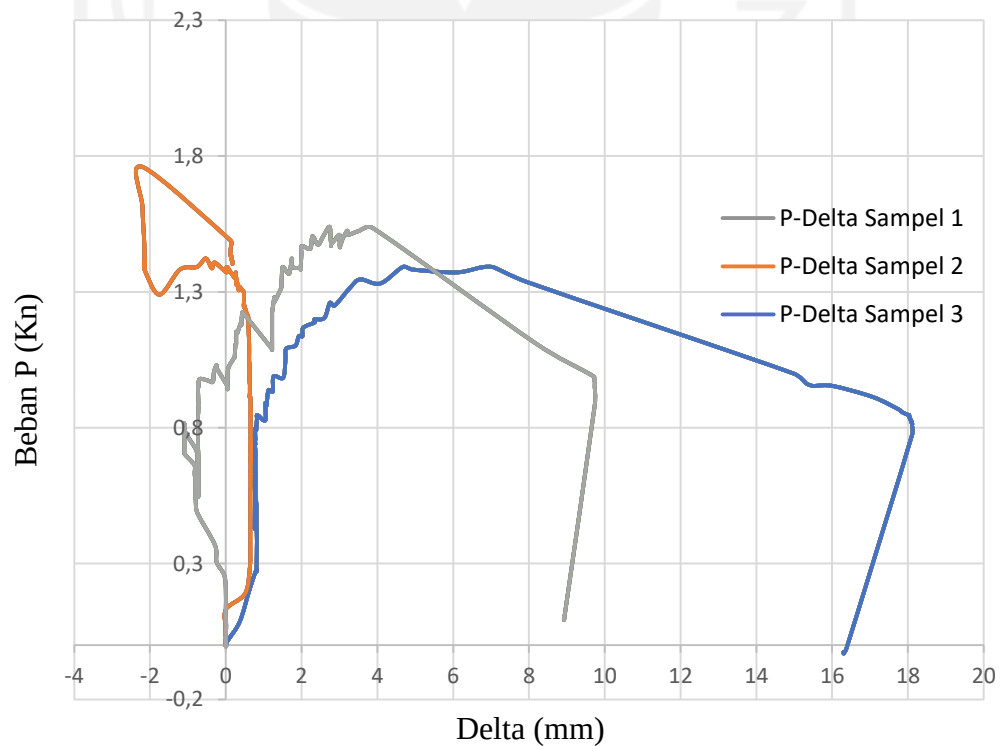
Gambar 5.13 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 1 (Percobaan 1)



Gambar 5.14 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 2 (Percobaan 1)



Gambar 5.15 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 3 Percobaan 1



Gambar 5.16 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Gabungan Sampel 1-3 Percobaan 1

Berdasarkan grafik P-Delta sampel 1 hingga sampel 3 beban maksimum yang dapat dicapai hanya berkisar 1,3 kn – 1,7 kn, namun hasil tersebut jauh dari P maksimum desain yang telah direncanakan pada batang tekan, jika berdasarkan desain, batang tekan seharusnya mempunyai nilai P maksimum sekitar 20 kn. Dikarenakan hal tersebut, perlu dilakukannya evaluasi pada benda uji, penyebab kecilnya nilai beban maksimum yang terjadi. Berikut akan ditampilkan kondisi benda uji setelah dilakukan pengujian.



Gambar 5.17 Kondisi Sampel 1 Percobaan 1 Setelah Pengujian



Gambar 5.18 Kondisi Sampel 2 Percobaan 1 Setelah Pengujian



Gambar 5.19 Kondisi Sampel 3 Percobaan 1 Setelah Pengujian

Berdasarkan kondisi benda uji percobaan 1 setelah dilakukan pengujian, kondisi tekuknya tidak sesuai yang diharapkan. Dari beberapa kondisi gambar

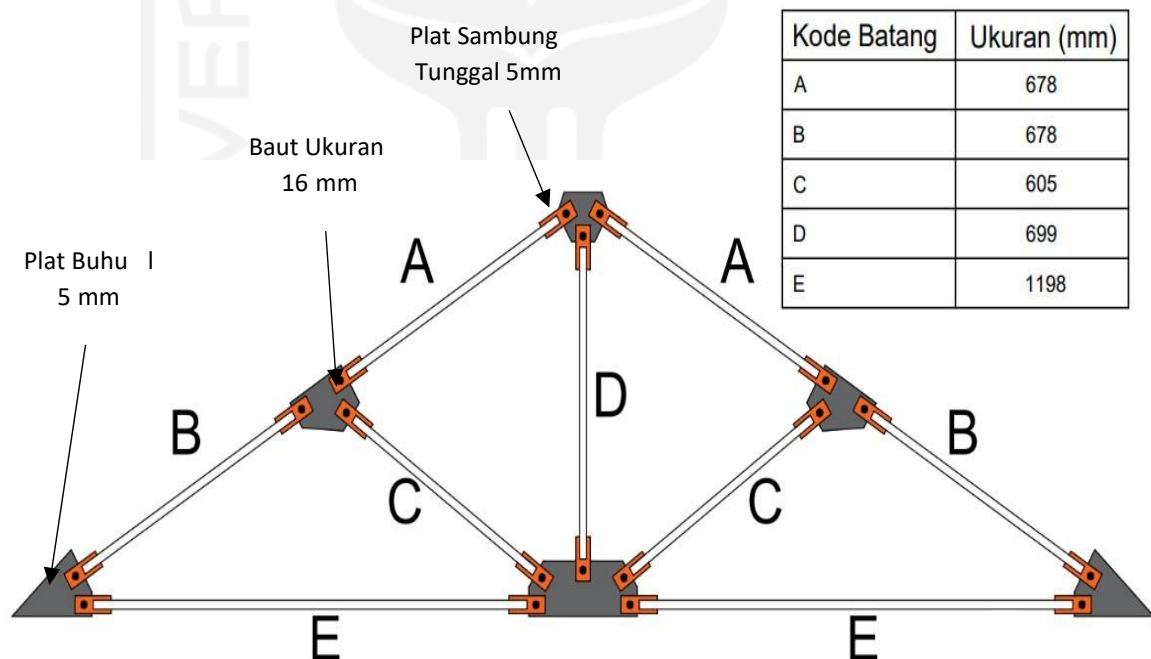
diatas mempunyai pola yang hampir serupa, terjadi tekuk lokal dan terjadi tekuk pada plat. Terdapat beberapa kemungkinan yang mungkin saja dapat menyebabkan hal tersebut, bisa dikarenakan profil benda uji, bisa dikarenakan kesalahan pelaksanaan pengujian dan bisa juga terjadi kesalahan pada area sambungan yang menyebabkan distribusi beban tidak merata atau hal lain mengenai permasalahan pada sambungan. Hasil rekapitulasi uji tekan profil pada percobaan pertama dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 5.4 Hasil Rekapitulasi Hubungan P Delta Percobaan 1

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
P mulai tekuk (kN)	0,943	1,107	0,872	0,974
P max (kN)	1,54	1,76	1,392	1,564

5.3.2 Hasil Uji Lab Kuat Tekan Rangka

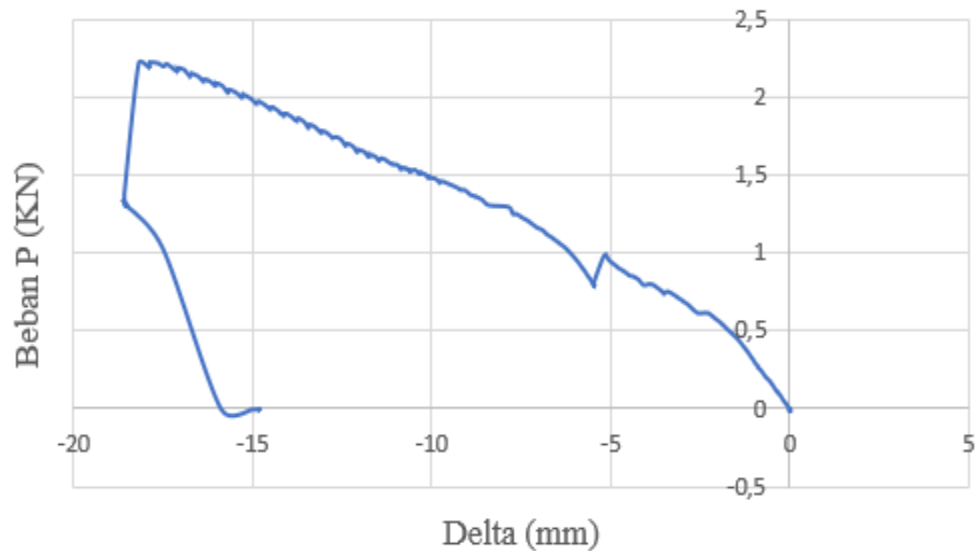
1. Sampel Uji Tekan Rangka



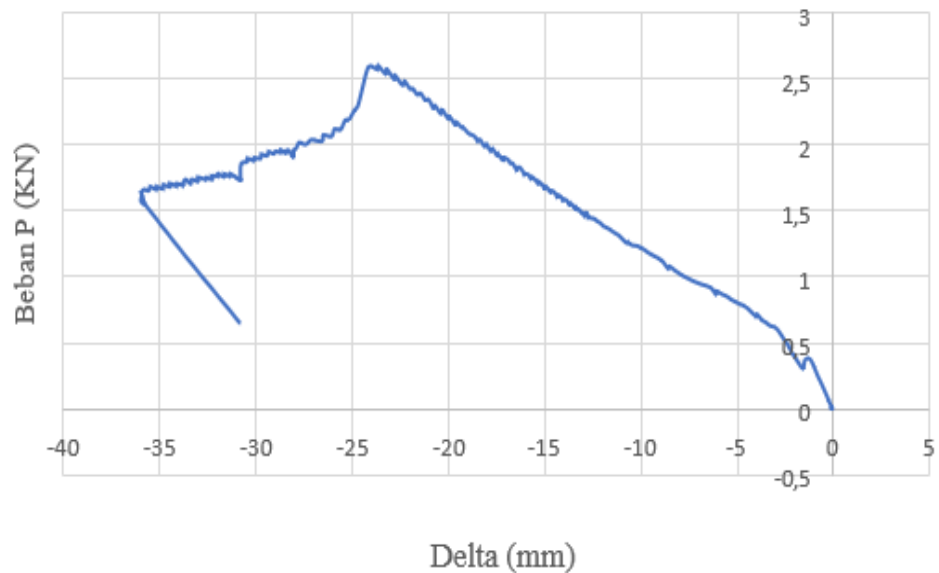
Gambar 5.20 Sampel Uji Tekan Rangka Atap

2. Hasil Uji Lab Tekan Rangka

Pengujian rangka atap dilakukan sebanyak dua kali dengan dua sampel uji. Berikut hasil dari laboratorium uji tekan rangka atap.



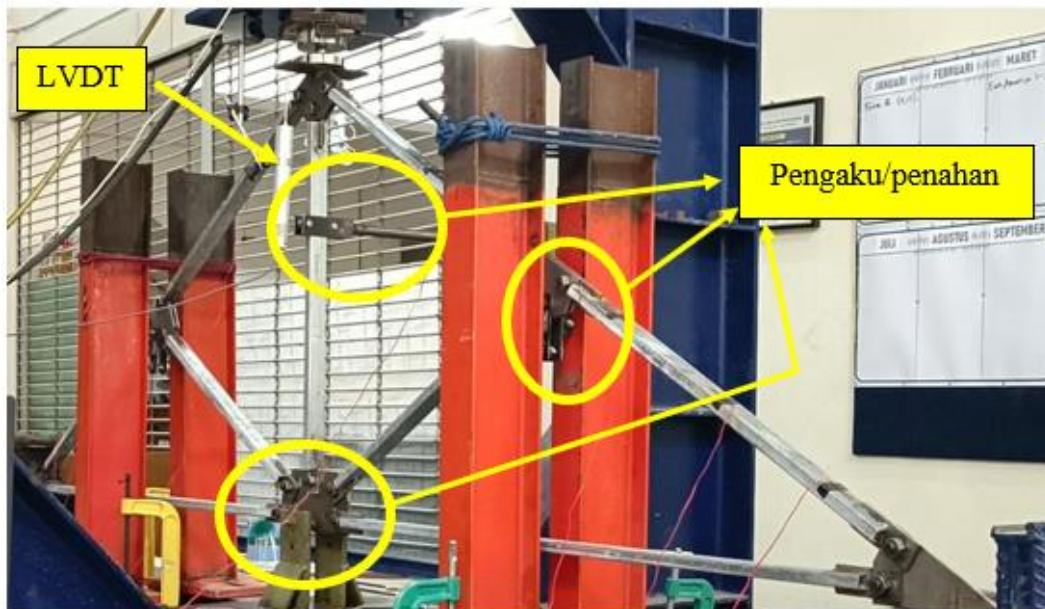
Gambar 5.21 Grafik P-Delta Uji Rangka Atap Sampel 1



Gambar 5.22 Grafik P-Delta Uji Rangka Atap Sampel 2

Set up pengujian pada sampel 1 dan sampel 2 dibuatkan pemegang atau penahan yang bertujuan agar benda uji tidak bergerak searah sumbu dalam sehingga benda

uji dapat lebih maksimal untuk dapat berperilaku 2 dimensi. Berikut gambar pengaku yang dibuat pada sampel 1 dan sampel 2.



Gambar 5.23 Kondisi Set Up Pengujian Setelah Menggunakan Penahan

Setelah dilakukan pengujian dengan dibuatkannya penahan ternyata kenaikan kapasitas tekan rangka tidak signifikan, kapasitas tekan pada sampel 1 dan pada sampel 2 hanya berkisar 2 – 2,5 KN. Hal apakah yang menyebabkan nilai kuat tekan rangka atap dan nilai kuat tekan profil rendah akan dilakukan evaluasi pada sub bab selanjutnya. Kondisi benda uji setelah dilakukannya pengujian dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5.24 Kondisi Benda Uji Sampel 1 Setelah Pengujian



Gambar 5.25 Kondisi Benda Uji Sampel 2 Setelah Pengujian

Pada uji rangka atap didapatkan terjadi tekuk lokal pada sampel 1, hal itu hampir sama seperti yang terjadi pada uji tekan profil, pada sampel 1 rangka atap didapatkan nilai kuat tekan sebesar 2,193 KN. Pada sampel 2 kali ini benda uji tidak mengalami tekuk lokal pada profil, namun yang terjadi benda uji mengalami tekuk pada plat buhul, dengan didapatkan nilai kapasitas tekan sebesar 2,57 KN. Sebab dan akibat terjadinya hal tersebut akan dibahas pada sub bab 5.7 Pembahasan, namun sebelum itu akan dilakukan pemodelan terlebih dahulu menurut metode DAM dengan bantuan program SAP2000.

Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Uji Lab

No	Sampel	Beban P (KN)
1	Sampel 1 Percobaan 2	2,218
2	Sampel 2	2,57
Rata-rata		2,394

5.4 Pengecekan Asumsi Desain ELM dengan Hasil Uji Lab dan Uji Tekan Profil (Percobaan 2)

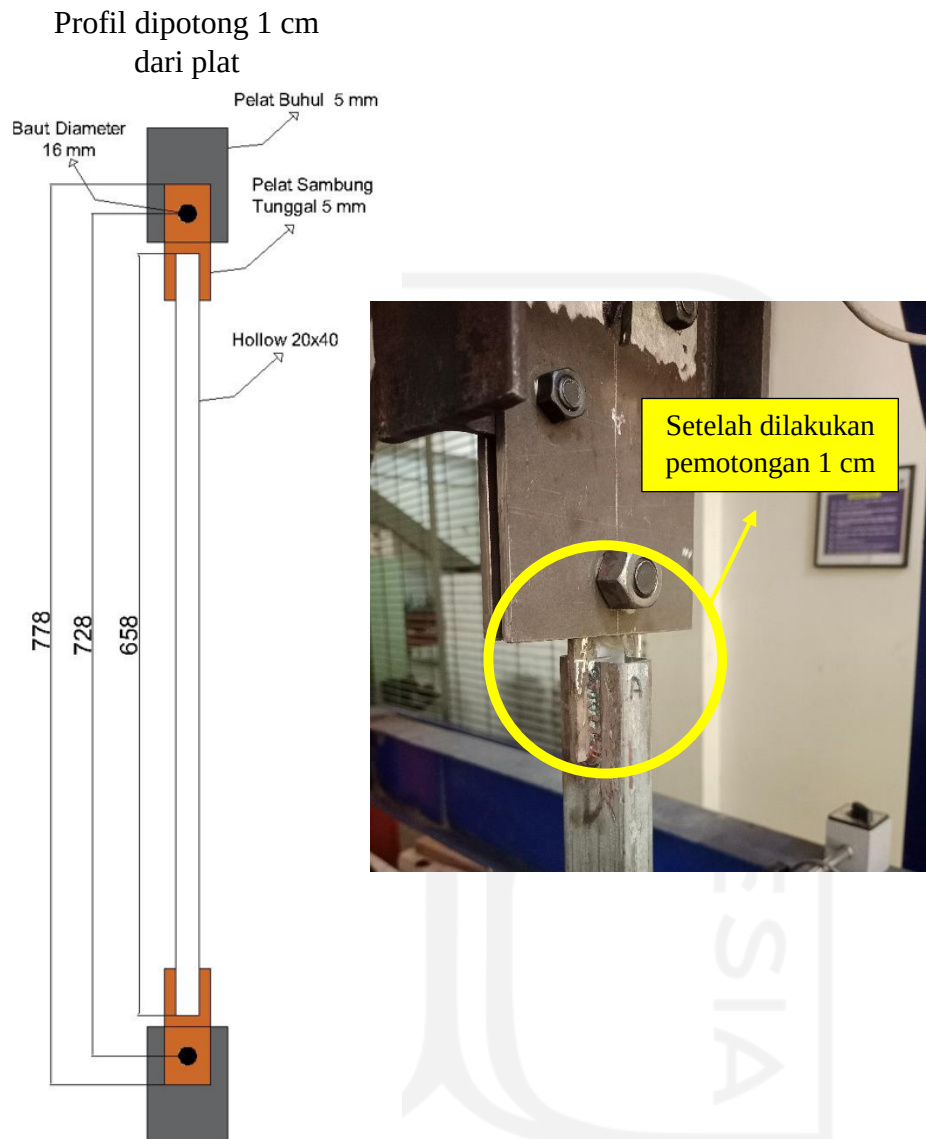
5.4.1 Pengecekan Asumsi Berdasarkan ELM

Pada asumsi desain awal ELM direncanakan kuat tekan profil mempunyai nilai sekitar 29 KN, selain itu beberapa aspek yang menjadi penilaian, antara lain tidak terjadi tekuk lokal, tidak terjadi tekuk pada plat, dan sambungan dapat bersifat sendi sempurna. Berdasarkan hal tersebut pada percobaan 1 uji batang tekan, nilai kuat tekan rendah, mempunyai nilai rata-rata kapasitas hanya 1,564 KN. Selain itu, benda uji juga mengalami tekuk pada plat dan terjadi tekuk lokal pada profil. Serta ada kemungkinan pada percobaan 1 uji batang tekan pada bagian sambungan tidak bersifat sendi sempurna, sehingga menyebabkan nilai tekan yang rendah serta kondisi yang tidak diinginkan. Karena hal tersebut perlu dilakukan percobaan ke 2 uji tekan profil batang.

5.4.2 Revisi Sampel Uji dan Pengujian Kembali Batang Tekan (Percobaan 2)

1. Sampel Uji Tekan Profil

Uji tekan profil dilakukan dua kali sehingga terdapat 2 sampel uji tekan profil, dilakukannya percobaan hingga dua kali dikarenakan pada uji yang pertama hasil tidak sesuai dengan desain. Berikut detail ukuran sampel uji tekan profil pada percobaan ke-2.

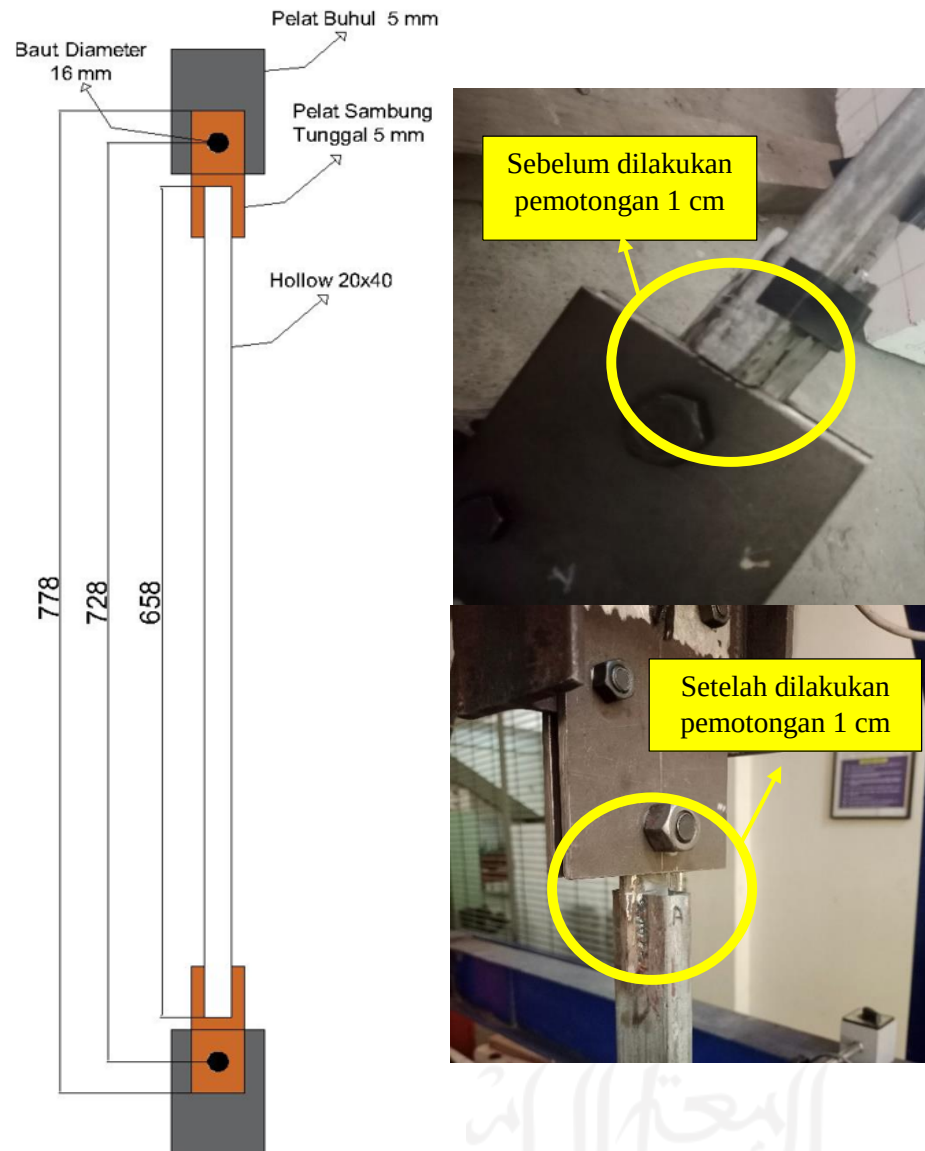


Gambar 5.26 Uji Sampel Tekan Profil (Percobaan 2)

2. Hasil Uji Tekan Profil Laboratorium Percobaan 2

Dikarenakan hasil uji tekan profil pada percobaan pertama mempunyai nilai P maksimum yang kecil dan terpaut jauh, maka dilakukan sedikit modifikasi pada benda uji tekan profil percobaan kedua ini. Berdasarkan pengamatan posisi plat buhul yang menempel pada profil *hollow* merupakan sebab dari hasil nilai tekan yang rendah, hal itu menyebabkan profil *hollow square* mengalami tekuk lokal pada

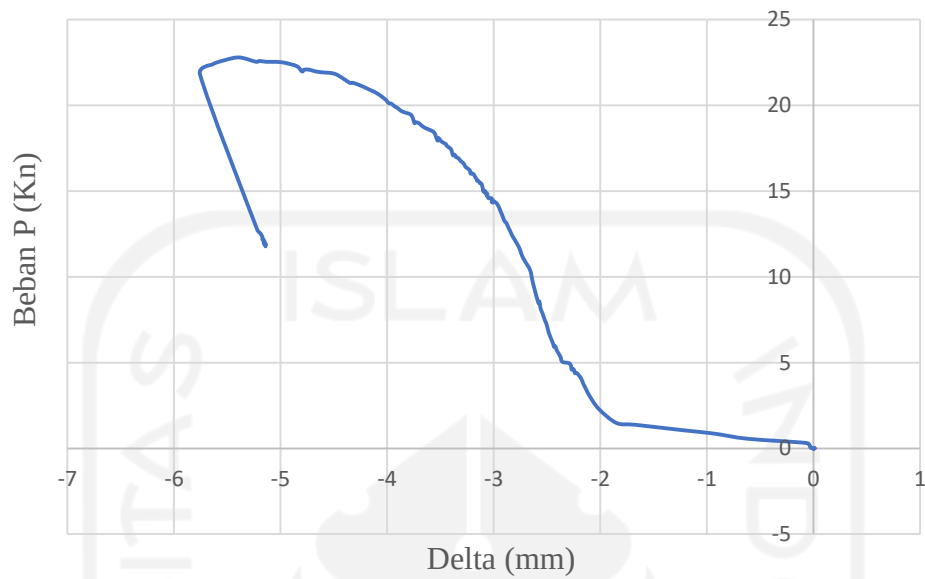
sumbu lemahnya. Berikut detail gambar modifikasi benda uji tekan profil percobaan ke dua.



Gambar 5.27 Detail Benda Uji Tekan Profil Setelah Modifikasi Percobaan 2

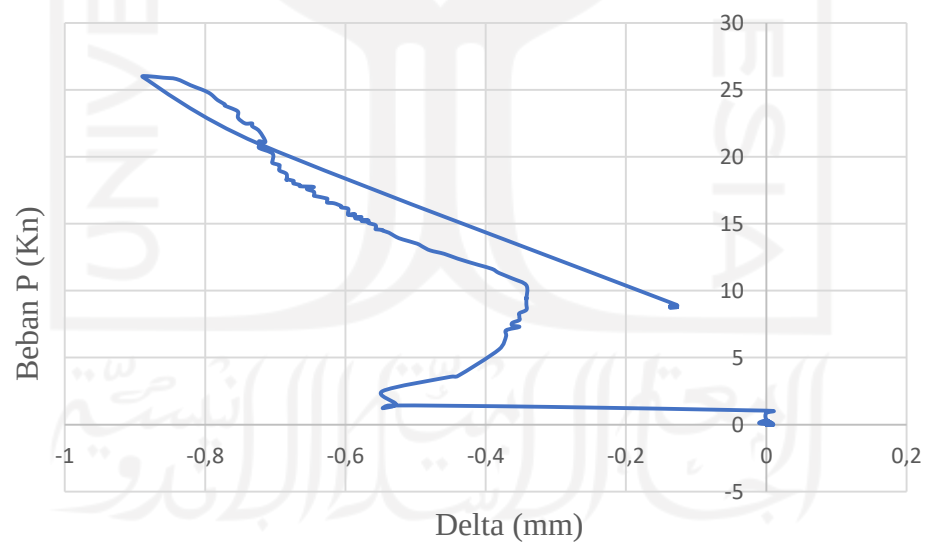
Berikut merupakan hasil dari pengujian tekan profil percobaan kedua setelah dilakukan pemotongan 1 cm pada setiap sisi.

Grafik P-Delta Sampel 1 (Percobaan 2)



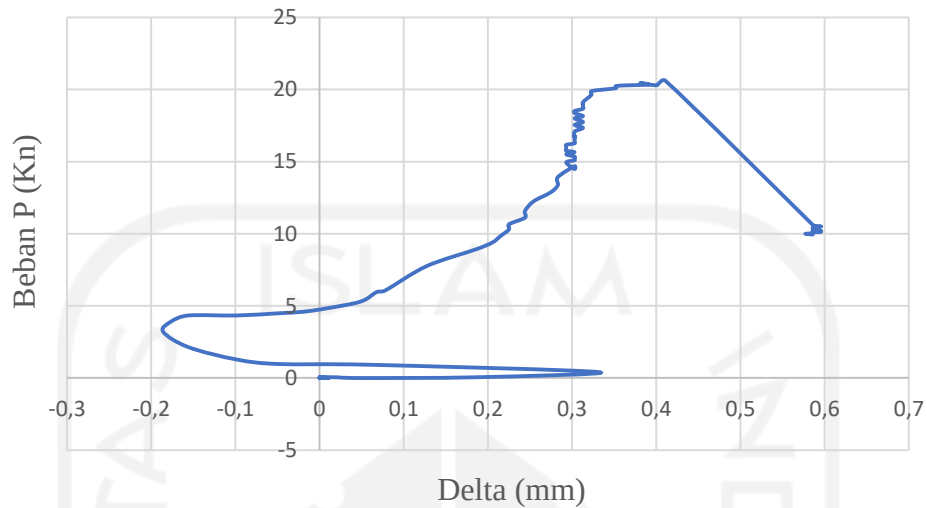
Gambar 5.28 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 1 (Percobaan 2)

Grafik P-Delta Sampel 2 (Percobaan 2)

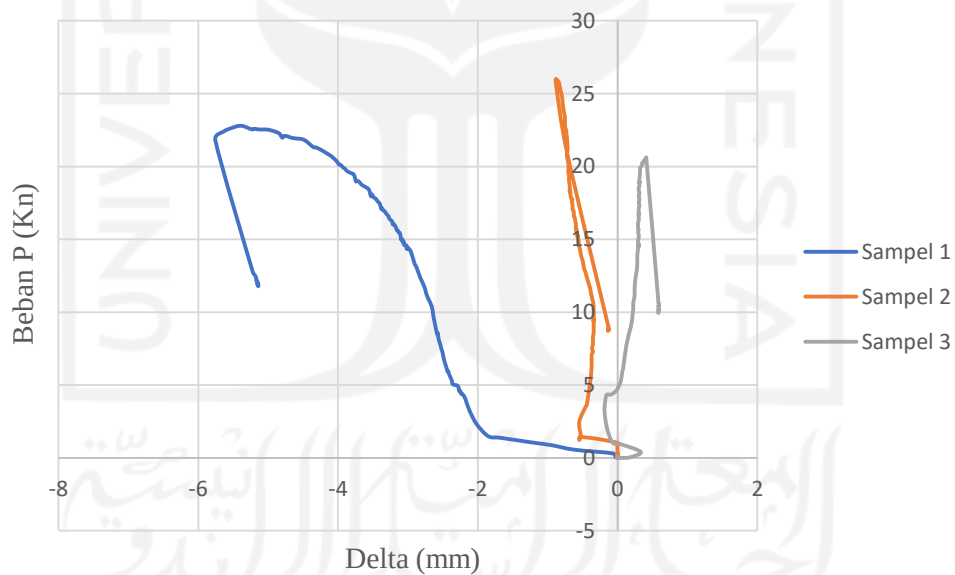


Gambar 5.29 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 2 (Percobaan 2)

Grafik P-Delta Sampel 3 (Percobaan 2)



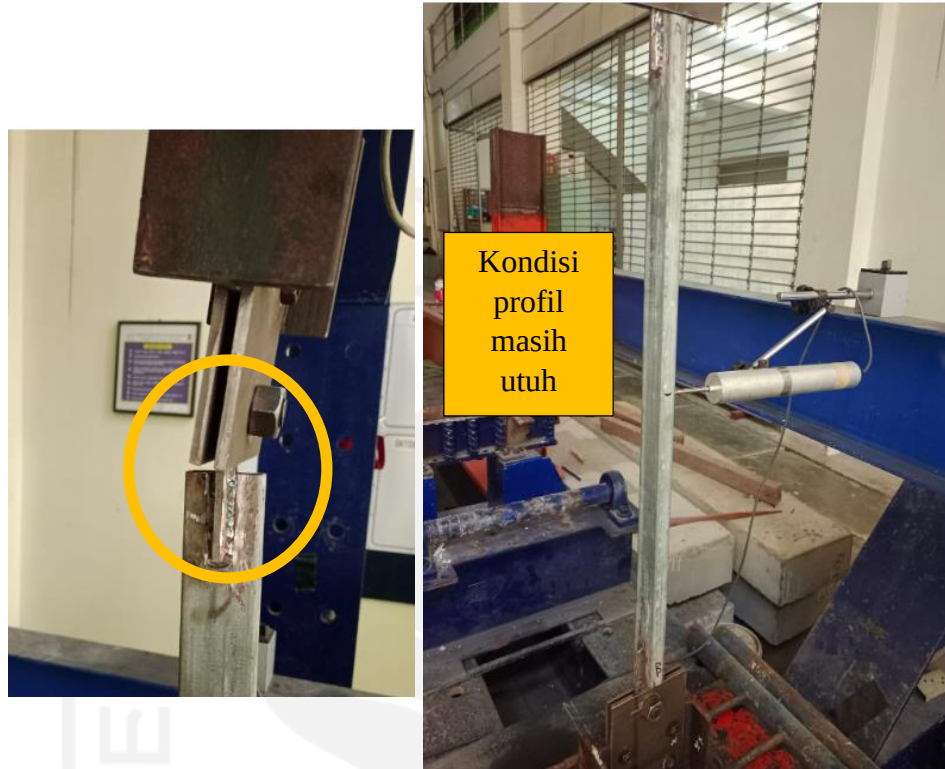
Gambar 5.30 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Sampel 3 Percobaan 2

Grafik P- Δ Uji Tekan Profil Lab Sampel 1-3 (Percobaan 2)

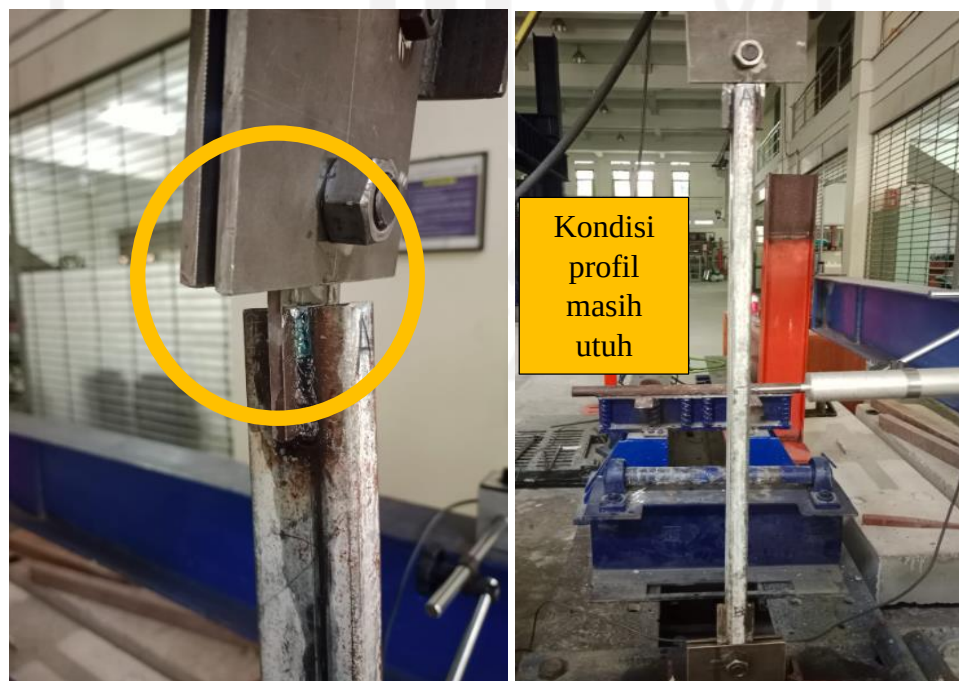
Gambar 5.31 Grafik P-Delta Uji Tekan Profil Gabungan Sampel 1-3 (Percobaan 2)

Dari data grafik uji tekan profil percobaan kedua didapatkan nilai kuat tekan 20 kn hingga 26 kn. Berdasarkan hasil desain awal dengan metode ELM nilai kuat tekan direncanakan sekitar 29 kn, artinya hasil uji lab sudah mendekati nilai desain

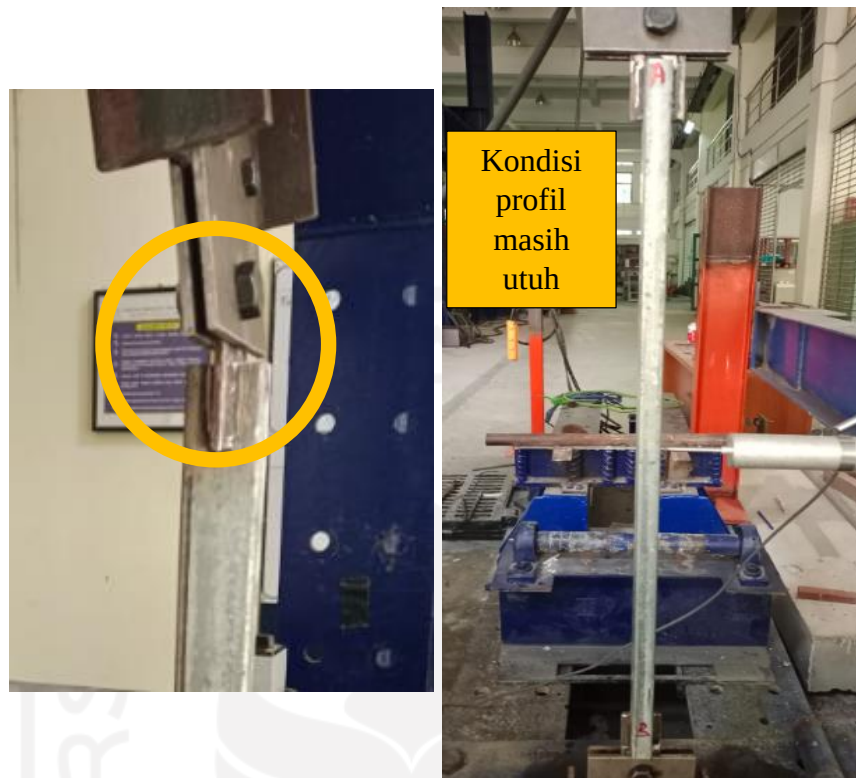
berdasarkan metode ELM, namun hasil kerusakan yang terjadi berada di plat, gambar hasil uji tekan profil dapat kita lihat sebagai berikut.



Gambar 5.32 Kondisi Sampel 1 Percobaan 2 Setelah Pengujian



Gambar 5.33 Kondisi Sampel 2 Percobaan 2 Setelah Pengujian



Gambar 5.34 Kondisi Sampel 3 Percobaan 2 Setelah Pengujian

Semua hasil sampel menunjukkan terjadinya tekuk pada plat serta semua kondisi profil masih utuh. Utuhnya kondisi profil juga dapat dilihat pada data grafik P-Delta, yang mana nilai delta sangat lah kecil, hanya pada sampel 1 yang delta sedikit besar, besarnya nilai delta pada sampel 1 bukan dikarenakan adanya tekuk pada profil, tapi karena adanya tekuk pada plat yang menyebabkan bergesernya posisi profil sehingga LVDT menganggap itu sebuah nilai Delta.

Tabel 5.6 Hasil Rekapitulasi Hubungan P Delta Percobaan 2

Keterangan	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
P mulai tekuk (kN)	1,479	2,499	3,213	2,397
P max (kN)	22,79	26,01	20,604	23,135

5.4.3 Pengecekan Kembali Asumsi Berdasarkan ELM

Kembali lagi pada asumsi desain awal ELM direncanakan kuat tekan profil mempunyai nilai sekitar 29 KN, selain itu beberapa aspek yang menjadi penilaian, antara lain tidak terjadi tekuk lokal, tidak terjadi tekuk pada plat, dan sambungan dapat bersifat sendi sempurna. Berdasarkan hal tersebut pada percobaan ke 2 uji

batang tekan, nilai kuat tekan mempunyai nilai rata-rata 23,135 KN. Selain itu, tidak terjadi tekuk lokal, serta pada bagian sambungan dapat bersifat sendi sempurna. Hanya saja masih terjadi tekuk pada plat, namun hal tersebut dapat dijelaskan, hal tersebut dikarenakan nilai inersia pada plat lebih kecil dibandingkan dengan profil, sehingga sumbu lemah dari plat terjadi tekuk. Namun hal tersebut terkompensasi dengan nilai kuat tekan pada percobaan ke-2 ini cukup besar, hanya saja masih ada selisih berkisar 5 KN dari metode ELM. Dengan selisih yang dapat dikatakan cukup besar, bukan berarti nilai uji lab tidak akurat, hal ini akan dibandingkan dengan metode DAM nantinya. Penjelasan mengenai metode DAM akan dijelaskan pada sub bab setelah ini. Berdasarkan pertimbangan tersebut, nilai pada percobaan ke-2 uji tekan profil laboratorium ini lah yang akan digunakan sebagai pembanding dengan metode DAM yang akan dilakukan.

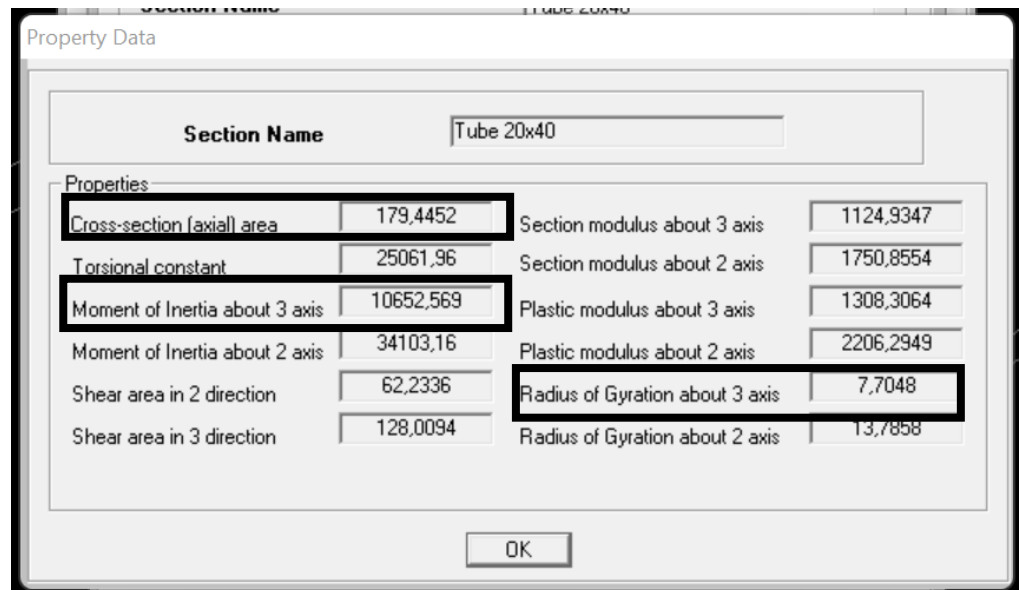
5.5 Analisis DAM Batang Tekan Terverifikasi Hasil Uji Lab

Setelah dilakukannya uji tekan profil hingga dua kali, selanjutnya dilakukan perhitungan DAM, kita lakukan analisis batang tekan profil dengan metode DAM SNI 1729:2020 dengan bantuan program SAP2000. Perhitungan metode DAM dilakukan menggunakan data dari hasil pengukuran serta uji laboratorium, berikut perhitungan uji tekan profil menggunakan metode DAM.

1. Perhitungan Beban Notional dan Reduksi Kekakuan

a. Data penampang profil *hollow*

Data hasil pengujian profil kemudian dimasukkan dalam SAP2000, yaitu dengan cara klik *define* → *section properties* → *frame section* → *Add New Property* → masukkan detail ukuran hasil uji lab → Lalu klik *section properties*, sehingga akan didapatkan nilai sebagai berikut.



Gambar 5.35 Property Data Profil Hollow Square 20 x 40 mm Hasil Uji Lab

Panjang Batang Tekan (L)	= 728 mm
Lebar profil (b)	= 18,939 mm
Tinggi profil (h)	= 38,956 mm
Tebal Profil (t)	= 1,643 mm
Luas area (A_g)	= 179,4452 mm ²
Inersia sumbu y (I_y)	= 10652,569 mm ⁴
Jari-jari girasi (r_y)	= 7,7048 mm
Tegangan lele (F_y)	= 279,333 Mpa

- b. Menghitung rasio kelangsingan efektif (λ)

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

$$\frac{1.728}{7,7048} \leq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{279,333}}$$

$$94,70116 \leq 126,0302$$

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

c. Menghitung Tegangan kritis (F_{cr})

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

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y$$

Sedangkan nilai F_e didapatkan menggunakan persamaan berikut

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

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{(1 \times 728/7,7048)^2}$$

$$F_e = 220,0995 \text{ Mpa}$$

Sehingga akan didapatkan nilai tegangan tekuk kritis (F_{cr}) sebagai berikut.

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{F_y}{F_e}}) \times F_y$$

$$F_{cr} = (0,658^{\frac{279,33}{243,73}}) \times 279,33$$

$$F_{cr} = 164,2212 \text{ Mpa}$$

d. Menghitung Kapasitas Tekan Profil (P_n)

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

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

$$P_n = 164,2212 \times 179,4452$$

$$P_n = 29468,7 \text{ N}$$

$$P_n = 29,4687 \text{ kN}$$

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

$$\phi P_n = 0,9 \times 29,4687$$

$$\phi P_n = 26,522 \text{ kN}$$

e. Beban Notional (N_i)

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

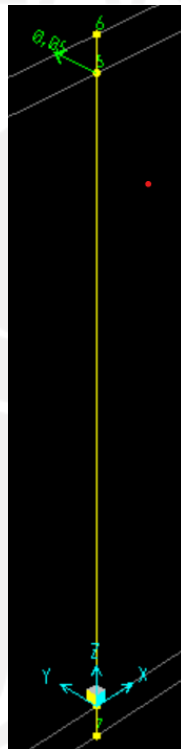
Adapun perhitungan beban notional dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini.

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

$$N_i = 0,002 \times 26,522$$

$$N_i = 0,05304 \text{ kN}$$

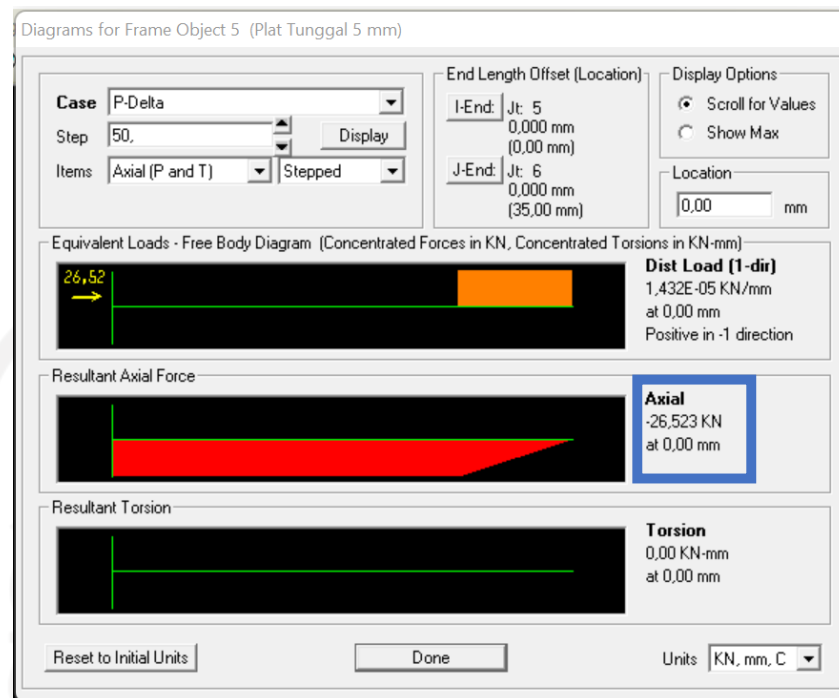
Peletakan beban notional dapat dilihat pada pemodelan SAP2000 Gambar 5.28 berikut ini.



Gambar 5.36 Pemodelan Beban Notional Pada SAP2000

f. Evaluasi Nilai τ_b

Dalam mengevaluasi nilai τ_b diperlukan pembacaan setelah dilakukan *running* SAP2000 yang telah terdapat factor P-Delta pada batang tekan untuk mengetahui gaya aksial tekan terbesarnya. Adapun hasil gaya aksial tekan yang didapatkan dapat dilihat pada gambar 5.37 dibawah ini



Gambar 5.37 Beban Aksial

Dari gambar 5.22 didapatkan nilai gaya aksial tekan yaitu:

$$P_r = 26,523 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \times A_g$$

$$P_y = \frac{279,33 \times 179,4452}{1000}$$

$$P_y = 50,125 \text{ kN}$$

Kemudian dilakukan cek untuk mengevaluasi nilai τ_b yang digunakan.

Adapun persamaan yang digunakan yaitu,

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{26,523}{50,125}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,5291$$

Dikarenakan nilai $\frac{P_r}{P_y} \leq 0,5$, sehingga penentuan nilai τ_b menggunakan

persamaan berikut

$$\tau_b = 4\left(\alpha \frac{P_r}{P_y}\right)\left[1 - \left(\alpha \frac{P_r}{P_y}\right)\right]$$

$$\alpha = 1,0 \text{ (DFBT)}$$

Sehingga nilai τ_b sebagai berikut

$$\tau_b = 4\left(\alpha \frac{P_r}{P_y}\right)\left[1 - \left(\alpha \frac{P_r}{P_y}\right)\right]$$

$$\tau_b = 4 \times (1 \times 0,5291)[1 - (1 \times 0,5291)]$$

$$\tau_b = 0,9966$$

g. Reduksi Kekakuan (EI^-)

Reduksi kekakuan dilakukan untuk menyesuaikan kekakuan karena adanya leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja. Hal tersebut menyebabkan pelemahan kekuatan pada benda uji. Maka, Dari perhitungan evaluasi nilai τ_b diatas diketahui persamaan untuk reduksi kekakuan yaitu,

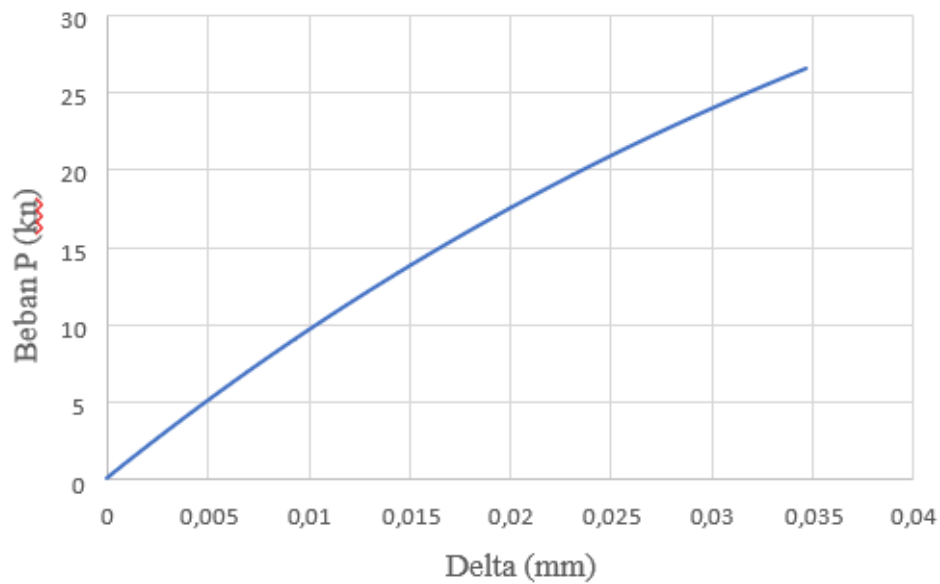
$$EI^- = \varphi \times \tau_b \times E$$

$$EI^- = 0,8 \times 0,9966 \times 200000$$

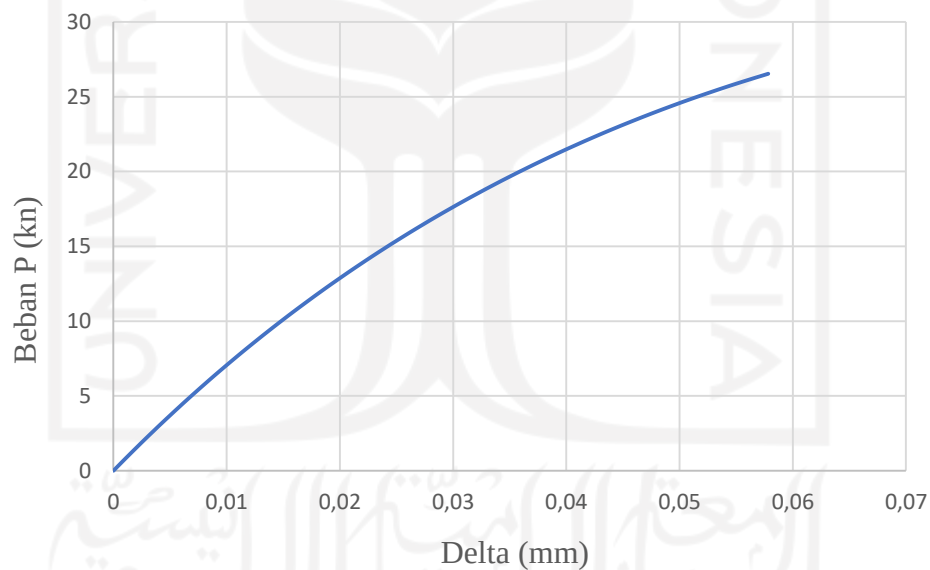
$$EI^- = 159456 \text{ Nmm}^2$$

2. Kalibrasi Pemodelan Batang Tekan Pada SAP2000

Pada pemodelan batang tekan ini perlu dilakukannya percobaan reduksi nilai EI^- , reduksi nilai kekakuan dilakukan untuk mendapatkan kondisi tekuk pada SAP2000. Kondisi tekuk dapat dilihat dari grafik hasil exsport program SAP2000 yang telah dilakukan pemodelan. Kemudian dilakukan *trial* beban SAP2000 dilakukan dengan melakukan percobaan pada jumlah step yang terdapat pada perhitungan non linear. Jumlah step yang digunakan dalam trial yaitu dengan memasukkan step ke-5, 10, 20, 30, 40, 50,100 dan 200 dengan memasukkan nilai kapasitas tekan hasil dari SAP2000. Percobaan step dianggap berhasil jika beban mulai stabil pada step selanjutnya. Berikut hasil grafik percobaan pada pemodelan batang tekan pada SAP2000.

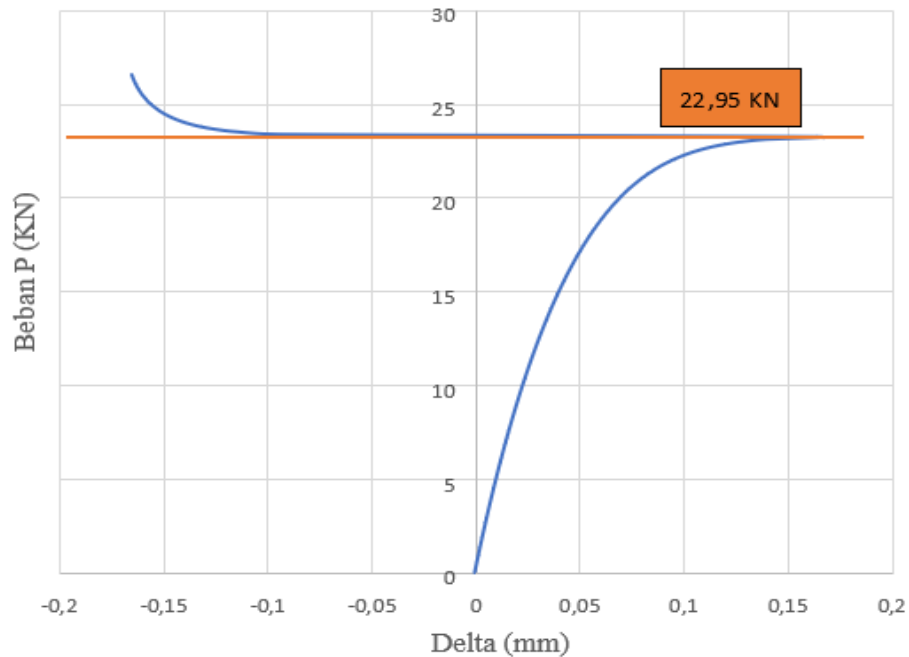


Gambar 5.38 Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ($EI = 0.7 \times E \times 0.7 \times \tau_b$) Pada SAP2000



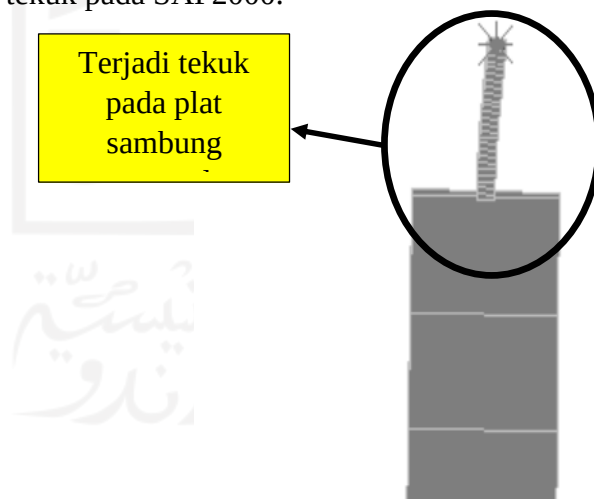
Gambar 5.39 Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ($EI = 0.6 \times E \times 0.6 \times \tau_b$) Pada SAP2000

Pada grafik itu menggunakan nilai reduksi kekakuan $EI^- = 0.7 \times E \times \tau_b$ dan $EI^- = 0.6 \times E \times \tau_b$, terlihat benda uji profil tekan belum terdapat tanda-tanda tekuk. Hal itu dapat dilihat pada grafik Gambar 5.29 dan Gambar 5.29, pada grafik tersebut, nilai p delta masih linier belum terdapat tanda tekuk, sehingga nilai reduksi EI^- diturunkan kembali, lanjutan hasil nilai reduksi dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5.40 Grafik Pengaruh Reduksi Kekakuan dengan Nilai ($EI^- = 0,5 \times E \times 0,5 \times \tau b$) Pada SAP2000

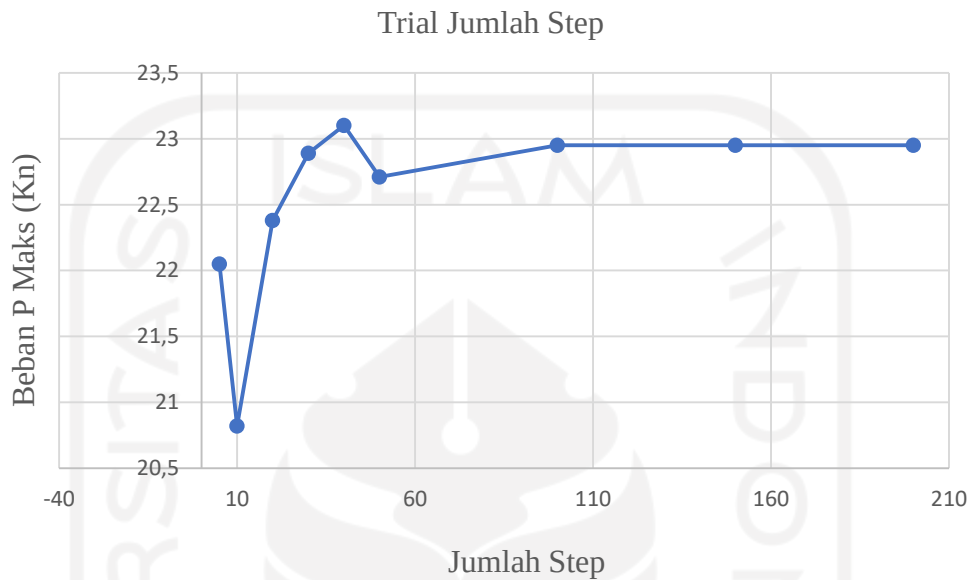
Selain nilai itu akan didapatkan juga kondisi tekuk pada plat seperti pada kondisi pengujian yang ada pada laboratorium, berikut merupakan gambar pemodelan kondisi tekuk pada SAP2000.



Gambar 5.41 Kondisi Tekuk Pada Pemodelan SAP2000

Pada nilai reduksi $EI^- = 0,6 \times E \times 0,6 \times \tau b$, profil sudah mengalami tekuk dengan kapasitas tekan 22,95 KN. Penentuan nilai 22,95 KN juga tidak secara langsung ditentukan, penentuan nilai tersebut dilakukan dengan melakukan *trial* secara terus

menerus pada *step* nya, *trial* dilakukan pada *step* ke 5,10,20,30,40,50,100,150 dan 200. *Trial* tersebut dilakukan hingga didapatkan nilai kuat tekan yang stabil, berikut hasil dari *trial* pada setiap *step* nya.



Gambar 5.42 Grafik Trial Step

Grafik menunjukkan nilai P maks mulai stabil pada *step* 100 keatas, pada *step* 100 ke atas menunjukkan nilai 22,95 KN dan nilai itulah yang digunakan sebagai hasil kapasitas batang tekan pada metode DAM dengan bantuan program SAP2000. Agar lebih ringkas, hasil *trial step* dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini

Tabel 5. 7 Pengaruh Step Kalibrasi Terhadap Nilai Pn Batang Tekan

Step ke-	Pn (kN)
5	22,05
10	20,82
20	22,38
30	22,89
40	23,1
50	22,71
100	22,95
200	22,95

Kegagalan pada uji tekan profil yang pertama dikarenakan plat buhul yang menempel dengan profil *hollow square*, hal itu menyebabkan pada bagian plat akan bekerja sebagai penahan momen, sehingga yang terjadi adalah sumbu lemah dari plat dan profil mengalami tekuk pada beban yang masih rendah. Pada percobaan kedua dapat dibilang cukup berhasil meskipun tetap terjadi tekuk pada plat namun nilai tekan yang dihasilkan mendekati dengan nilai kapasitas desain metode ELM, terjadinya tekuk pada plat juga dapat dijelaskan, hal itu dapat dikarenakan nilai inersia sumbu lemah pada plat jauh lebih rendah daripada inersia sumbu lemah pada balok. Sehingga pada percobaan kedua dari tiga sampel mengalami tekuk pada plat semua, namun yang dapat dilakukan pembahasan, pada percobaan kedua nilai kapasitas tekan sudah mendekati kapasitas tekan desain metode ELM.

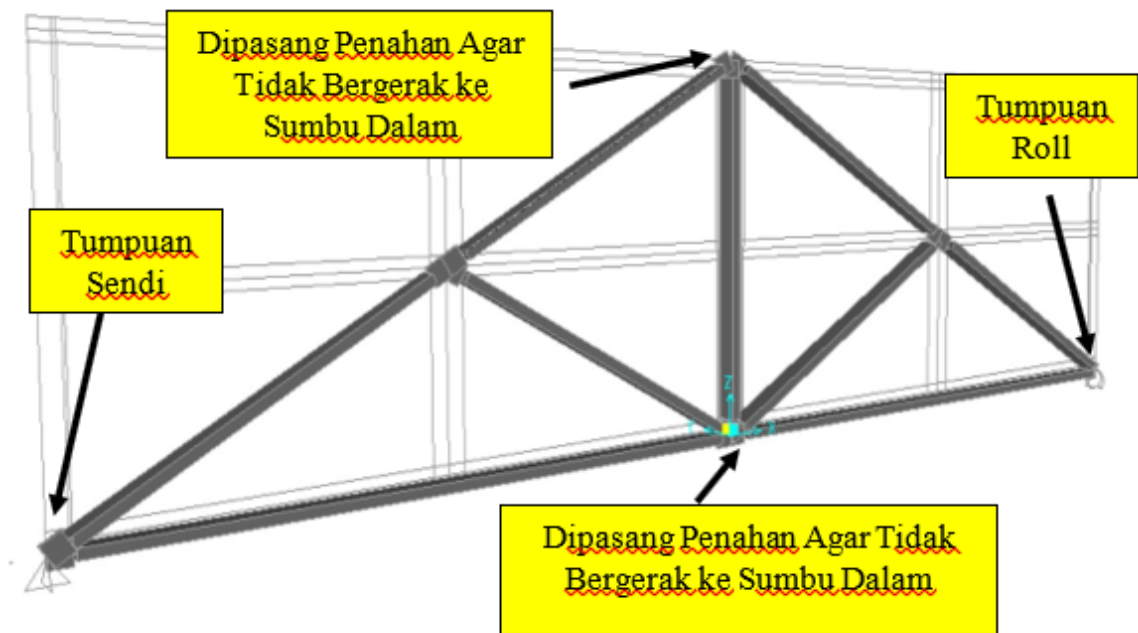
Pada pemodelan metode DAM SAP2000, antara profil *hollow* dan plat digambarkan dua elemen yang berbeda. Hal itu dilakukan agar dapat memodelkan yang semirip mungkin dengan kondisi yang ada pada uji lab. Didapatkan nilai kapasitas tekan hasil DAM sebesar 22,95 KN, nilai tersebut didapatkan pada angka reduksi kekakuan sebesar $EI^- = 0,5 \times E \times 0,5 \times \tau b$ serta pada step ke 100 nilai kapasitas mulai stabil.

Berdasarkan hasil tersebut, metode analisis DAM uji tekan profil terhadap hasil pengujian di laboratorium mempunyai akurasi yang baik. Hasil analisis DAM menunjukkan angka kapasitas tekan sebesar 22,95 KN, sedangkan hasil uji laboratorium pada percobaan kedua menunjukkan angka 23,135 KN, Selisih kapasitas tekan metode DAM dan hasil uji lab sebesar 0,185 KN atau jika ditampilkan dalam bentuk persentase sebesar 0,799%. Dapat disimpulkan bahwasannya analisis pada uji tekan profil baja metode DAM mempunyai akurasi yang tinggi.

5.6 Analisis DAM Rangka Atap Berdasarkan Elemen Tekan yang Berhasil

Pemodelan rangka atap metode DAM dengan bantuan program SAP2000 bertujuan untuk mendapatkan nilai prediksi kapasitas tekan struktur rangka atap. Elemen yang digunakan pada pemodelan ini merupakan elemen yang mempunyai kriteria paling mendekati berdasarkan metode ELM, hal tersebut dapat dilihat pada

sub bab 5.4. Digunakan Elemen dengan percobaan ke-2, apakah nilai yang didapatkan dengan metode DAM akan identik atau mendekati nilai dari hasil uji lab, atau justru berbeda jauh. Berikut hasil dan langkah-langkah perhitungan serta pemodelan metode DAM



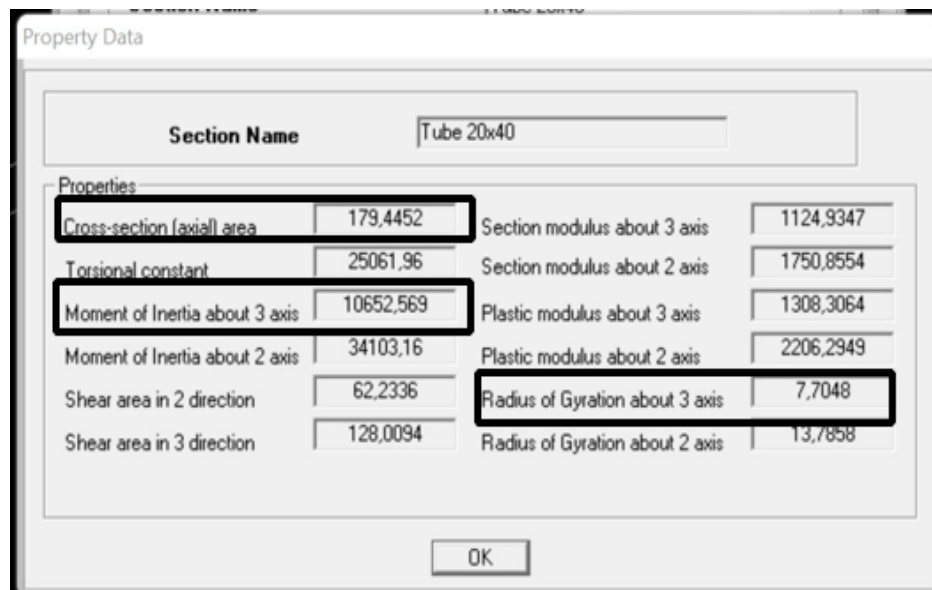
Gambar 5.43 Pemodelan Struktur Rangka Atap SAP2000

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

1. Perhitungan Beban Titik Puncak, Beban Notional dan Reduksi Kekakuan

a. Data penampang profil *hollow*

Data hasil pengujian profil kemudian dimasukkan dalam SAP2000, yaitu dengan cara klik *define* → *section properties* → *frame section* → *Add New Property* → masukkan detail ukuran hasil uji lab → Lalu klik *section properties*, sehingga akan didapatkan nilai sebagai berikut.

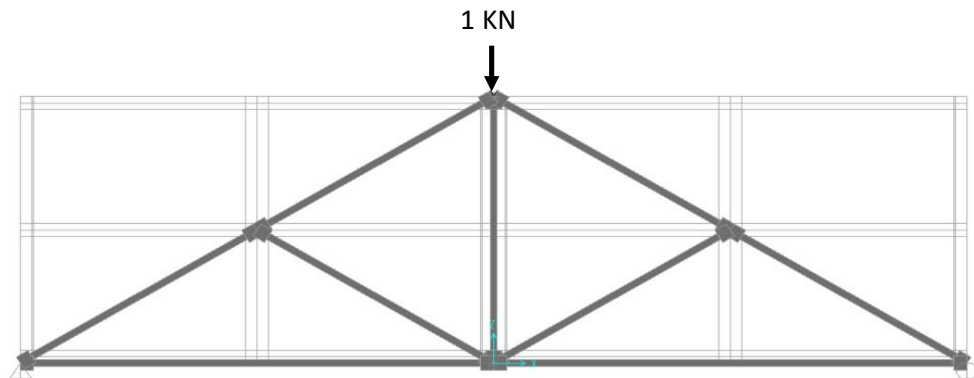


Gambar 5.44 Property Data Profil Hollow Square 20x40 mm

Batang Tekan (L)	= 728 mm
Lebar profil (b)	= 18,939 mm
Tinggi profil (h)	= 38,956 mm
Tebal Profil (t)	= 1,643 mm
Luas area (Ag)	= 179,4452 mm ²
Inersia sumbu y (Iy)	= 10652,569 mm ⁴
Jari-jari girasi (ry)	= 7,7048 mm
Tegangan leleh (Fy)	= 279,333 Mpa

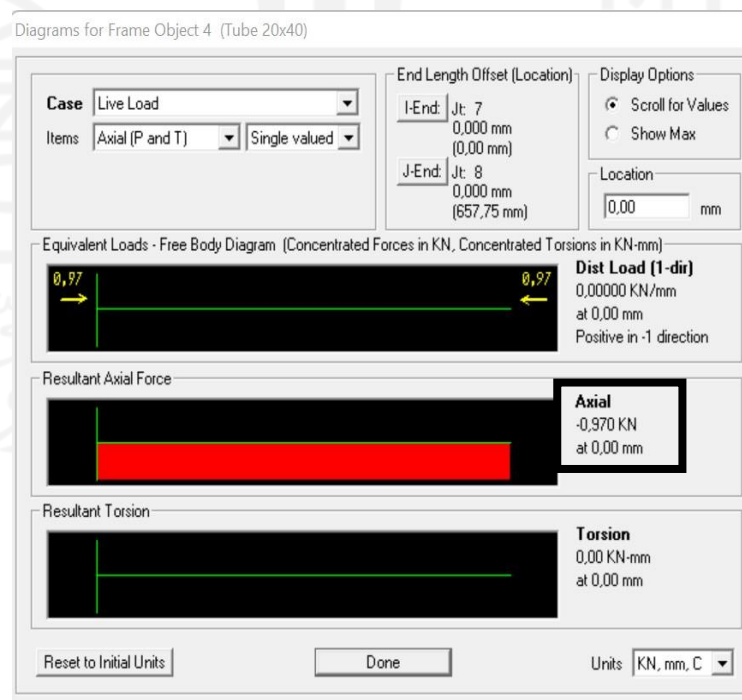
b. Perhitungan Beban Pada Titik Puncak Rangka Atap

Langkah awal dalam mencari beban pada titik puncak yaitu dengan mencari nilai beban aksial ketika rangka dilakukan pembebanan 1 KN. Dari nilai beban aksial itu akan dilakukan perbandingan nilai dengan kapasitas desain metode ELM sehingga akan didapatkan nilai beban pada titik puncak, berikut merupakan posisi peletakkan dari beban 1 KN.



Gambar 5.45 Peletakan Beban 1 kN Untuk Penentuan Beban Puncak

Beban yang akan digunakan dalam pemodelan metode DAM akan ditentukan dengan cara perbandingan segitiga. Langkah awal yaitu dengan memasukkan beban awal 1 kN pada puncak rangka atap seperti Gambar, kemudian akan dapat diketahui nilai beban aksial pada SAP2000. Dari nilai tersebut akan dilakukan perbandingan segitiga, sehingga akan didapat beban yang akan digunakan dalam pemodelan SAP2000. Berikut merupakan perhitungan penentuan nilai beban pada titik puncak.



Gambar 5.46 Gaya Aksial Batang Tekan Rangka Atap Beban 1 kN

Setelah dilakukannya pembebanan sebesar 1 KN maka akan didapat nilai beban aksial yang bekerja pada batang tekan. Nilai tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.46 diatas, didapatkan nilai beban aksial sebesar 0,97 KN, sehingga akan didapatkan nilai beban puncak dengan perhitungan sebagai berikut.

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

$$\frac{1 \text{ KN}}{0,97} = \frac{P}{26,522}$$

$$P = 27,3421 \text{ KN}$$

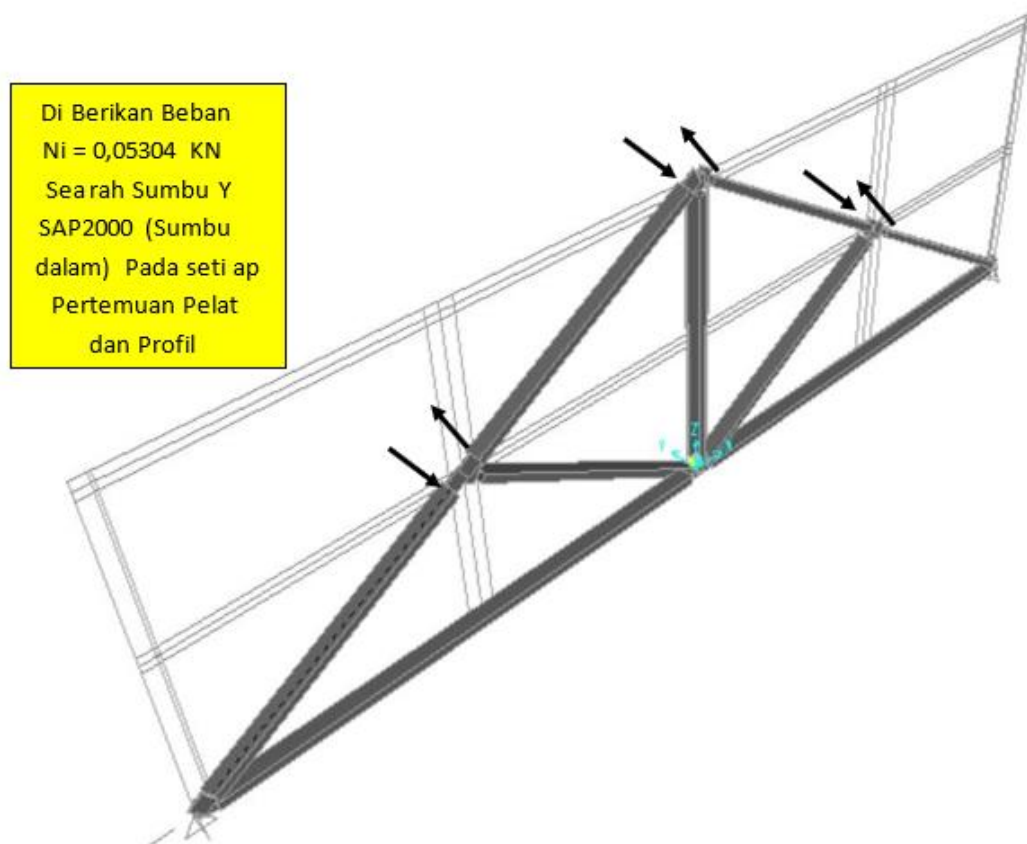
3. Beban Notional (N_i)

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

$$N_i = 0,002 \times 26,522$$

$$N_i = 0,05304 \text{ kN}$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai beban notional (N_i) selanjut, dilakukan peletakkan beban notional pada rangka atap, berikut peletakan beban notional (N_i).



Gambar 5.47 Memasukan Beban Notional Pada Rangka SAP2000

4. Reduksi Kekakuan (EI^-)

Reduksi kekakuan dilakukan untuk menyesuaikan kekakuan karena adanya leleh setempat akibat tegangan sisa pada profil baja. Hal tersebut menyebabkan pelemahan kekuatan pada benda uji. Berikut merupakan persamaan yang digunakan untuk melakukan reduksi kekakuan.

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

$$EI^- = 0,8 \times 0,9966 \times 200000$$

$$EI^- = 159456 \text{ Nmm}^2$$

Namun pada pemodelan kali ini akan digunakan nilai reduksi yang sama pada pemodelan batang tekan sub bab 5.5 sebelumnya, berikut merupakan nilai reduksi kekakuan yang digunakan.

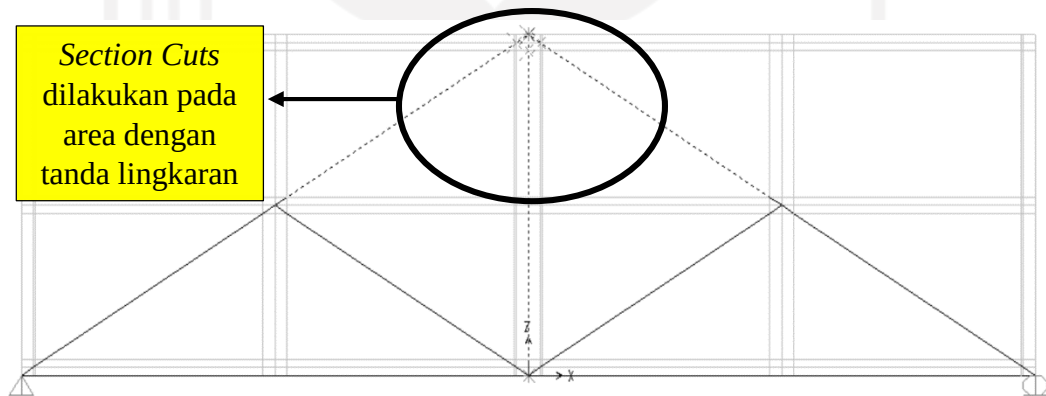
$$EI^- = \varphi \times \tau_b \times \varphi \times E$$

$$EI = 0,5 \times 0,9966 \times 0,5 \times 200000$$

$$EI = 49830 \text{ Nmm}^2$$

5. Pemodelan *Section Cuts* Pada Pembebanan *Load Cell*

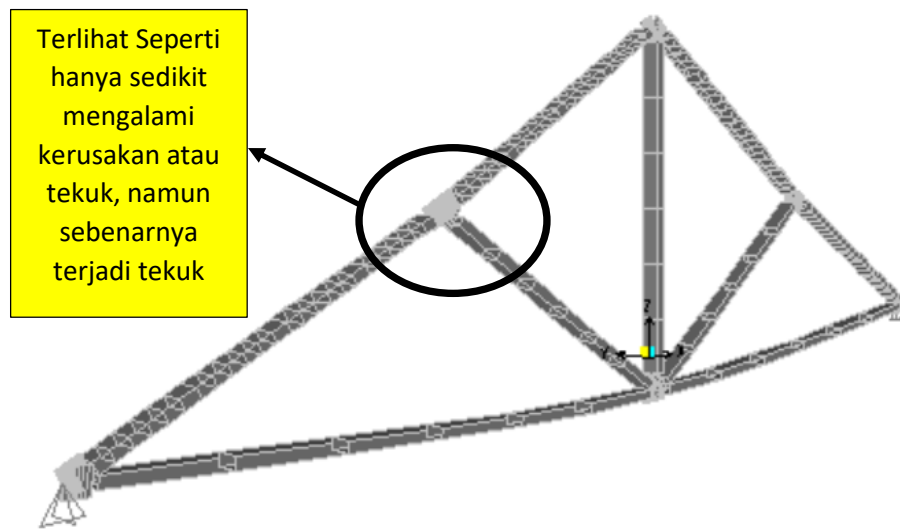
Section cut merupakan perintah yang bertujuan untuk mengetahui beban yang bekerja pada *load cell*, sehingga dilakukannya *grouping* pada elemen yang bersentuhan secara langsung oleh *load cell*. Hal itu bertujuan untuk mendapatkan nilai tekan yang sebenarnya pada *load cell* jika dilakukan pemodelan pada SAP2000. Cara dilakukannya *section cut*, klik pada elemen yang akan dilakukan *grouping* → *Define* → *Group* → *Add New Group* → beri penamaan Group dengan *Load Cell* atau yang lainnya juga bisa → *Ok* → *Assign* → *Assign to Group* → Klik nama *Load Cell* atau nama yang sudah disimpan sebelumnya → *Ok* → *Section Cuts* → *Add Section Cuts* → beri nama dan pada opsi *Section Cuts Group* pilih nama *Load Cell* atau nama yang sama saat dilakukan *grouping* → *Ok*. Berikut gambaran hasil pemodelan *section cuts*.



Gambar 5.48 Section Cuts Rangka Atap

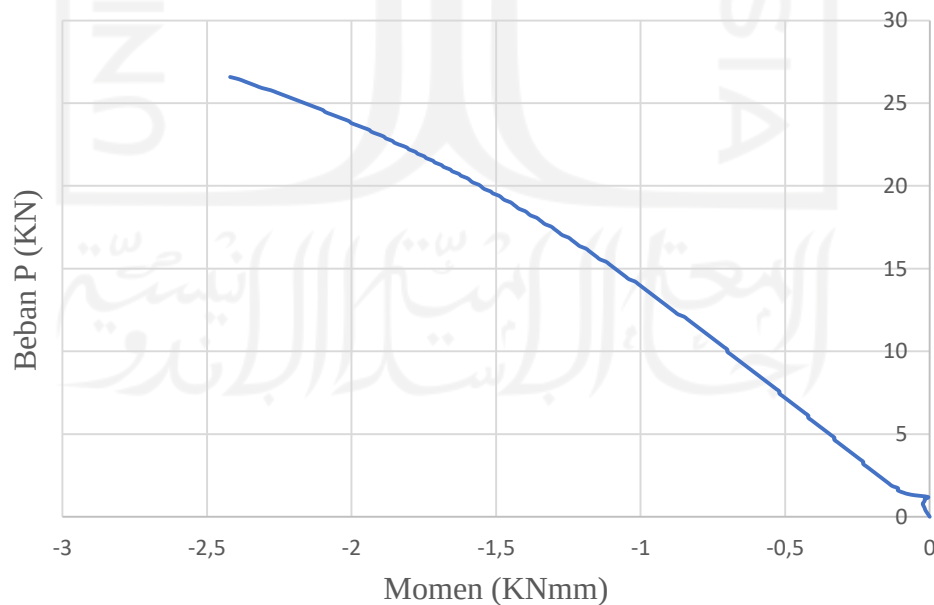
6. Hasil Pemodelan Rangka Atap SAP2000

Gagal tekuk yang terjadi pada pemodelan metode DAM SNI 1729:2020 dengan bantuan program SAP2000 diharapkan mempunyai kondisi gagal tekuk yang sama. Setelah dilakukan penyesuaian nilai kekakuan sehingga metode DAM SAP2000 dapat memodelkan terjadi tekuk yang hampir serupa dengan yang ada pada pengujian laboratorium. Berikut pemodelan terjadinya tekuk pada metode DAM dengan bantuan program SAP2000.



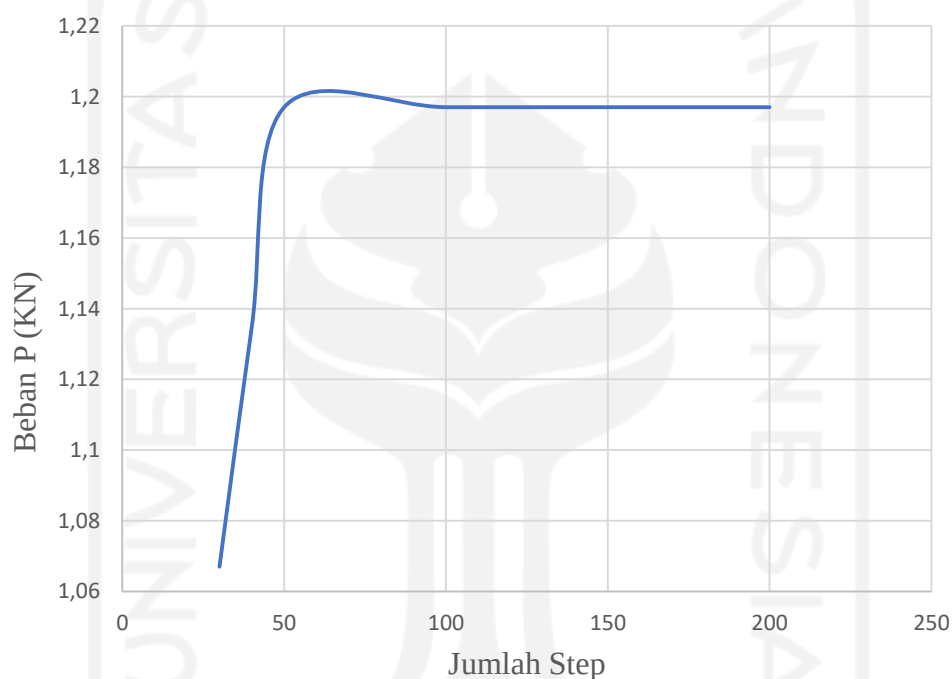
Gambar 5.49 Hasil Pemodelan Tekuk Pada SAP2000

Pada hasil running SAP jika dilihat seperti hanya sedikit terjadi tekuk, namun jika diamati dan dimainkan animasi pemodelan pada SAP2000 akan terlihat pada plat akan mengalami kerusakan. Hal itu dikuatkan dengan hasil ekspor dari SAP2000 kedalam bentuk excel sehingga dapat dibuat grafik beban dan momen, data hasil ekspor SAP2000 ke dalam bentuk excel dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 5.50 Grafik P-M Rangka Atap dengan Nilai ($EI = 0.5 \times E \times 0.5 \times \tau b$) Pada SAP2000

Berdasarkan grafik tersebut rangka atap akan mengalami tekuk pada beban 1,197 KN, namun beban tersebut masih perkiraan, sebab beban sebenarnya yang bekerja pada *load cell* dapat diperhitungkan dengan cara *section cuts* dan beban itulah yang akan digunakan sebagai kapasitas tekan rangka atap. Selain itu dalam penentuan beban juga perlu dilakukannya *trial step*, sehingga akan didapatkan nilai error yang semakin kecil. Berikut hasil *trial step* dan hasil *section cuts* pemodelan rangka atap



Gambar 5.51 Trial Step

Grafik itu menggambarkan kapasitas tekan rangka atap mulai stabil pada step ke 50, 100 dan 150 dengan nilai 1,197 KN. Hanya saja nilai tersebut belum nilai beban sebenarnya, sehingga perlu dilakukan *section cuts*, untuk mengetahui beban yang bekerja pada *load cell*, berikut hasil dari *section cuts* SAP2000

Tabel 5.8 Nilai Kapasitas Tekan Rangka Hasil *Section Cuts*

SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Step Num	F3
Text	Text	Text	Text	Unitless	kN
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	8	1,093
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	9	1,229
Beban Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	10	1,366

Sehingga didapatkan nilai kapasitas tekan rangka atap sebesar 1,229 KN, dengan menggunakan elemen pada benda uji tekan profil berhasil apabila dijadikan sebuah struktur rangka atap maka akan didapatkan nilai kapasitas tekan yang rendah, nilai kuat tekan rangka pada hasil uji lab juga menghasilkan nilai yang rendah. Pembahasan lebih lanjut akan dibahas pada sub bab 5.7 setelah ini.

7. Kuat Nominal Penampang

Pada penentuan desain kapasitas tekan menggunakan metode ELM. Selanjut pada DAM ada pengaruh dari order ke-2. Dengan demikian diperlukan Analisa nilai pembatas nilai kuat nominal penampang struktur itu. Untuk mendapatkan nilai *safety factor* berdasarkan SNI 1729:2020 maka diperlukan *trial step* hingga didapat kuat tekan yang stabil, lalu menentukan nilai P_r dan M_r . *Trial* jumlah *step* yang mendekati nilai kuat tekan dengan syarat $SF \leq 1$ berada pada step 9. Adapun cara perhitungan lebih jelas dapat dilihat sebaga berikut.

$$Z = 1308,306 \text{ mm}^3$$

$$F_y = 279,333 \text{ MPa}$$

$$P_r = 1,197 \text{ KN}$$

$$P_c = 26,522 \text{ KN}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{1,197}{26,522}$$

$$= 0,04513$$

$$M_r = 0,006035 \text{ KNmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_c &= \varphi \times z \times F_y \\
 &= \frac{0,9 \times 1308,306 \times 279,33}{10^3} \\
 &= 328,9082 \text{ KNmm}
 \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan nilai tersebut didapatkan persamaan sebagai berikut.

Apabila nilai $\frac{P_r}{P_c} \leq 0,2$ Maka

$$SF = \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$SF = \frac{1,197}{2 \times 26,522} + \left(\frac{0,006035}{328,9082} \right) \leq 1.0$$

$$SF = 0,02258 \leq 1,0$$

Dikarenakan nilai SF pada step ke 9 mempunyai nilai yang jauh dibawah dari nilai 1, maka akan diambil nilai SF yang paling mendekati dengan nilai $SF \leq 1$. Rekapitulasi perhitungan SF dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF

Station	OutputCase	CaseType	StepType	Beban P	StepNum	Pr	Mr	SF
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,127	16	2,127	0,15	0,040555
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,26	17	2,26	0,16	0,043093
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,393	18	2,393	0,17	0,045631
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,526	19	2,526	0,18	0,048168
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,659	20	2,659	0,19	1,945257
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,792	21	2,792	0,2	1,95248
0	P Delta Analysis	NonStatic	Step	2,925	22	2,925	0,21	1,959275

Berdasarkan data tersebut, nilai SF secara langsung mengalami loncatan hingga melebihi 1 pada step ke 20, Sehingga nilai kapasitas tekan rangka atap digunakan sebesar 2,526 KN dengan nilai SF sebesar $0,048168 \leq 1$ yang terjadi pada step 19.

5.7 Pembahasan

5.7.1 Pembahasan Berdasarkan Rumusan Masalah 1

Pemodelan tekan profil menggunakan metode DAM telah dijelaskan pada sub bab 5.5. Pada sub bab itu telah dijelaskan langkah-langkah pemodelannya. Pemodelan ini menggunakan verifikasi dari hasil laboratorium pada percobaan uji tekan profil yang ke-2. Pada pemodelan ini didapatkan nilai kuat tekan senilai 22,95 KN. Dengan hasil tersebut dapat dikatakan pemodelan dengan metode DAM mempunyai hasil yang akurat, yaitu hanya mempunyai selisih sebesar 0,799% dari hasil uji lab. Namun yang masih menjadi pertanyaan yaitu pada percobaan yang kedua pada uji tekan profil, walaupun mempunyai nilai kuat tekan yang cukup tinggi, namun benda uji masih mengalami tekuk pada plat. Tekuk pada plat dapat terjadi dikarenakan inersia pada plat lebih besar daripada inersia pada profil, sehingga menyebabkan plat mengalami tekuk pada sumbu lemah. Namun itu bukan menjadi persoalan sebab pada metode DAM juga mengalami hal yang sama yaitu terjadi nya tekuk pada plat. Metode DAM dapat menggambarkan serta melakukan analisis yang hampir serupa dengan yang terjadi pada uji lab, sedangkan pada metode ELM batang tekan diasumsikan pada kondisi sempurna ketika menerima beban. Sedangkan pada percobaan uji tekan profil yang ke-1 tidak dimodelkan dengan metode SAP karena hasil uji lab masih jauh dari asumsi desain awal pada metode ELM, selain itu nilai kuat tekan yang didapatkan juga rendah. Rendahnya nilai kuat tekan pada uji tekan profil yang ke-1 dikarenakan pada sambungan bersifat menahan momen, hal itu karena pada plat buhul menempel secara langsung dengan profil, jadi ketika dilakukan pembebanan, pada sambungan tidak dapat bersifat sendi sempurna.

5.7.2 Pembahasan Berdasarkan Rumusan Masalah 2

Pemodelan rangka atap metode DAM sudah dilakukan pada sub bab 5.6, pada sub bab tersebut juga sudah dijelaskan langkah-langkah cara pemodelannya. Pada pemodelan tersebut didapatkan nilai kuat tekan rangka atap 2,526 KN. Nilai tersebut cukup kecil dibandingkan dengan hasil uji tekan profil yang mampu mencapai lebih dari 20 KN. Kecilnya nilai kuat tekan rangka atap dikarenakan pada bagian plat sambung tidak mampu menahan momen, sehingga terjadi tekuk pada plat lebih awal sebelum terjadinya gagal tekuk pada profil yang sebenarnya. Selain itu terdapat hal yang menyebabkan nilai prediksi dari kuat tekan tekan itu kecil, ada kemungkinan bahwasannya elemen dengan batang tekan plat tunggal tidak cocok untuk dibuat sebagai struktur rangka atap, nilai inersia yang kecil pada plat sambung dibandingkan dengan inersia profil, sehingga plat tidak mampu mempertahankan posisi akibat adanya momen, lalu plat mengalami tekuk pada sumbu lemah, yang terjadi adalah demikian. Sehingga pada metode DAM akhirnya juga mempunyai nilai prediksi kuat tekan rangka atap yang rendah.

5.7.3 Pembahasan Berdasarkan Rumusan Masalah 3

Sebelum dilakukan pembahasan mengenai perbedaan atau perbandingan hasil uji tekan rangka atap metode DAM, ELM dan hasil uji ab maka akan ditampilkan rekapitulasi kuat tekan dari masing-masing sebagai berikut.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Kuat Tekan Rangka Atap Metode DAM, ELM dan Hasil Uji Lab

Metode DAM Terverifikasi Uji Tekan Profil	Metode ELM	Hasil Uji Lab
2,526 KN	29,738 KN	2,394 KN

Berdasarkan data tersebut metode ELM memperhitungkan nilai kuat tekan rangka atap yang paling besar, pada metode ELM diasumsikan benda uji mampu berperilaku 2D (dua dimensi) secara sempurna, sehingga tidak terdapat ketidak sempurnaan dalam set up pengujian maupun dalam proses pembuatan benda uji. Pada Metode DAM mempunyai nilai kuat tekan rangka atap yang paling kecil, salah

satu penyebabnya yaitu nilai reduksi kekakuan yang digunakan pada pemodelan rangka atap sama dengan nilai reduksi yang digunakan pada uji tekan profil.

Selain itu bisa saja nilai yang kecil ini lah yang merupakan nilai prediksi kuat tekan rangka yang sebenarnya. Sebab pada uji lab yang dilakukan telah dibuatkan penahan pada beberapa titik agar benda uji dapat perilaku 2D dengan baik sehingga akan didapatkan nilai kuat tekan rangka yang tinggi. Ekspektasi awal pada uji lab ternyata tidak sesuai, benda uji mengalami tekuk lokal pada profil (sampel 1), dan tekuk pada plat (sampel 2). Sampel 1 mempunyai nilai kuat tekan yang lebih rendah daripada sampel 2. Setelah dilakukan analisis pada profil tekannya, penyebab tekuk lokal pada sampel 1 uji tekan rangka atap terjadi karena plat buhul menempel secara langsung dengan profil, sehingga pada bagian tersebut akan bersifat sebagai penahan momen. Kemungkinan yang terjadi pada kondisi tersebut, jika tidak terjadi tekuk lokal pada sumbu lemah profil maka akan terjadi tekuk pada plat dengan nilai tekan yang rendah. Lalu pada Sampel 2 uji tekan rangka atap mengalami tekuk pada plat buhul, kemungkinan hal tersebut terjadi dikarenakan, meskipun dibuatkan penahan atau pengaku pada benda uji, namun benda uji tetap tidak dapat berperilaku 2D secara baik, sehingga ada sedikit pergeseran pada benda uji yang menyebabkan plat buhul mengalami tekuk. Dengan didapatkan nilai yang hampir sama antara analisis DAM dan hasil uji lab, hasil dari dua nilai tersebut mempunyai nilai error sebesar 5,226 %, sehingga dapat dikatakan DAM mempunyai akurasi yang cukup baik dengan didapatkan nilai kapasitas tekan rangka berkisar 2,394 KN hingga 2,526 KN

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian serta analisis yang telah dilakukan metode DAM dengan program SAP200 didapatkan beberapa point kesimpulan sebagai berikut.

1. Permodel pada batang tekan dilakukan dengan nilai reduksi kekakuan sebesar $EI = 0.5 \times E \times 0.5 \times \tau b$ dan didapatkan nilai kuat tekan profil 22,95 KN dan dihasilkan nilai error dengan hasil uji lab sebesar 0,799 %. Selama proses pemodelan batang tekan pada kasus plat tunggal serta pada kelangsingan menengah didapatkan posisi peletakkan beban notional (N_i) berada pada plat mengarah keluar dan masuk sumbu dalam profil. Untuk penjelasan gambar dapat dilihat pada sub bab 5.5. Serta Pada perangkaian rangka atap atau elemen tekan dengan plat sambung tunggal perlu diperhatikan pada bagian sambungannya, pastikan plat buhul tidak menempel dengan profil, hal tersebut akan bersifat sebagai penahan momen, sehingga dapat mengurangi kapasitas tekannya
2. Prediksi kuat tekan rangka atap dengan profil *hollow square* plat sambung tunggal kelangsingan menengah, setelah terverifikasi oleh data hasil profil tekan uji lab. didapatkan nilai kuat tekan prediksi sebesar 2,526 KN yang dilakukan dengan bantuan pemodelan program SAP2000
3. Nilai kapasitas tekan rangka metode DAM sebesar 2,526 KN, pada metode ELM memprediksikan dengan nilai kapasitas tekan rangka sebesar 29,738 KN, sedangkan pada hasil uji laboratorium didapatkan nilai kapasitas tekan rangka sebesar 2,394 KN. Jika hasil Lab dibandingkan dengan metode ELM maka akan didapatkan nilai error sebesar 1142,18 %, sedangkan jika hasil uji lab tekan rangka dibandingkan dengan metode DAM yang senilai 2,526 KN maka akan didapatkan nilai error sebesar 5,226 %. Nilai error yang sangat antara metode ELM dengan metode DAM dan hasil uji lab

dikarenakan pada metode ELM mengasumsikan benda uji berada pada kondisi uji yang sempurna menahan beban 2 dimensi, sedangkan pada uji lab digunakan penahan yang berjumlah banyak untuk menjaga benda uji tidak keluar dari *set up* pengujian sehingga akan didapatkan nilai kuat tekan yang tinggi dan pada metode DAM jika dimodelkan sama seperti uji lab maka tidak akan terjadi tekuk dan akan mempunyai asumsi yang seperti metode ELM, namun kenyataannya memang benda uji tidak mampu menahan momen yang besar sehingga mengalami tekuk terlebih dahulu pada bagian plat.

6.2 Saran

Berikut merupakan saran penulis yang mungkin akan dibutuhkan pada penelitian selanjutnya.

1. Lebih teliti ketika memilih profil yang akan digunakan, disarankan perlu membawa jangka sorong.
2. Dapat dicoba bentuk struktur lain namun dengan menggunakan plat sambung tunggal, karena pada pengujian ini didapatkan kapasitas tekan rangka yang kecil, ada kemungkinan tipe elemen tekan dengan plat sambung tunggal dan kelangsingan menengah tidak cocok digunakan sebagai struktur rangka atap, hal tersebut dikarena pada elemen ini jika dirangkai menjadi rangka atap tidak mampu menahan momen besar sehingga terjadi tekuk terlebih dahulu pada plat sambung.
3. Dapat juga digunakan dengan variasi jenis profil lainnya.
4. Lebih dimatangkan lagi rencana penelitian serta jumlah sampel yang akan digunakan

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
- Dewobroto, Wiryanto. (2014). Direct Analysis Methode (AISC 2010). Kuliah Tamu, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Dewobroto, Wiryanto. (2011). Era Baru Perancangan Struktur Baja Berbasis Komputer Memakai Direct Analysis Method (AISC 2010), Konstruksi Indonesia Melangkah ke Masa Depan. Jurnal, Universitas Pelita Harapan.
- Phiegiarto, Fendy., Tjanniadi, Esra. J., Santoso, Hasan., dan Muljati, Ima. (2015). Perencanaan Struktur Elemen Baja Berdasarkan SNI 1729:2015. Jurnal, Universitas Kristen Petra.
- Rani, M. C., Muttaqin, M., dan Aulia Budi, T. (2019). Studi Perbandingan Stress Ratio Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan Effective Length Method (ELM) Dan Direct Analysis Method (DAM). Jurnal, Universitas Syiah Kuala.
- Setiady, Fayang., Kusumastuti, Dyah., dan Ediansjah. (2018). Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan Direct Analysis Method dengan Advanced Analysis dalam Analisis Efek Orde Kedua. Jurnal, Institut Teknologi Bandung.
- SNI, 1729. (2020). Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI, 07-0371. (1998). Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI, 06-0571. (1989). Cara Uji Mekanis Mur & Baut. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.



LAMPIRAN

Lampiran A.1 Surat Izin Pemakaian Laboratorium

Nomor : 154/Ka. Prodi/20/PSTS/V/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:

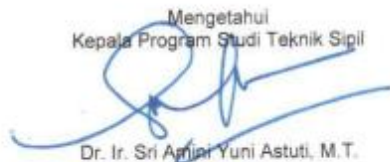
Nama	: Muhammad Naufal Azhar
NIM	: 16511125
Program Studi	: Teknik Sipil
Dosen pembimbing TA	: Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.
Judul Tugas Akhir	: Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Yang Dianalisis Menggunakan Direct Analysis Method SNI 1729:2020 Menggunakan Pelat Buhul Tunggal Serta Baut Sambung Tunggal

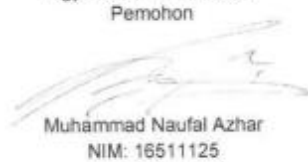
Sehubungan dengan penelitian yang saya lakukan pada mata kuliah Tugas Akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta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

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

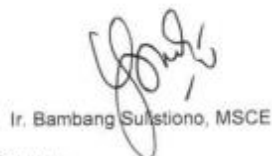
Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 17 Mei 2022
 Pemohon

Mengetahui
 Kepala Program Studi Teknik Sipil

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


 Muhammad Naufal Azhar
 NIM: 16511125

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 Bahan Konstruksi Teknik menyetujui permohonan mahasiswa untuk melakukan pengujian dalam rangka penyelesaian tugas akhir pada:

1. Uji properties dan pembuatan sampel : 13 Juni - 13 Juli 2022
2. Pengujian sampel : dijadwalkan oleh lab struktur

Lampiran A.2 Proses Uji Lab Tarik Plat



Lampiran A.3 Proses Uji Lentur Baja



Lampiran A.4 Proses Uji Tekan Profil



Lampiran A.5 Proses Uji Tekan Rangka Atap



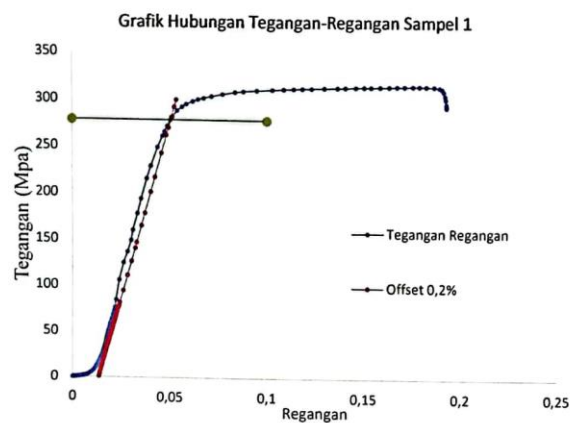
Lampiran B.1 Grafik P-Regangan Uji Tarik Plat Sampel 1



LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA
Kampus Terpadu : jalan kalurang Km.14.4 telp. (0274) 898471, 898472 Yogyakarta

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
NIM : 16511125
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Pelat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
Diuji Tanggal : 30 Mei 2022
Sampel : Uji Tarik Pelat Baja Sampel 1



Nilai F_y diperoleh = 278 MPa
Nilai F_u diperoleh = 315,228 MPa

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Bahan
Konstruksi Teknik (BKT)

Yogyakarta, 21 Agustus 2022
Pranata Laboratorium Pendidikan,

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



Darusalam

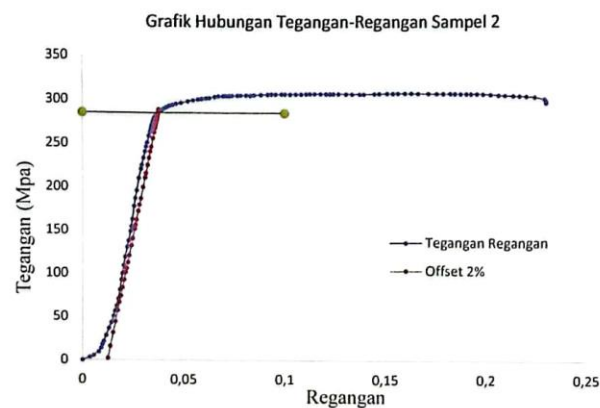
Darusalam, A.Md.

Lampiran B.2 Grafik P-Regangan Uji Tarik Plat Sampel 2



HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
NIM : 16511125
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Pelat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
Diuji Tanggal : 30 Mei 2022
Sampel : Uji Tarik Pelat Baja Sampel 2

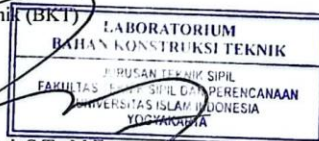


Nilai F_y diperoleh = 285 MPa

Nilai F_u diperoleh = 308,357 MPa

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Bahan
Konstruksi Teknik (BKT)

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



Yogyakarta, 21 Agustus 2022
Pranata Laboratorium Pendidikan,

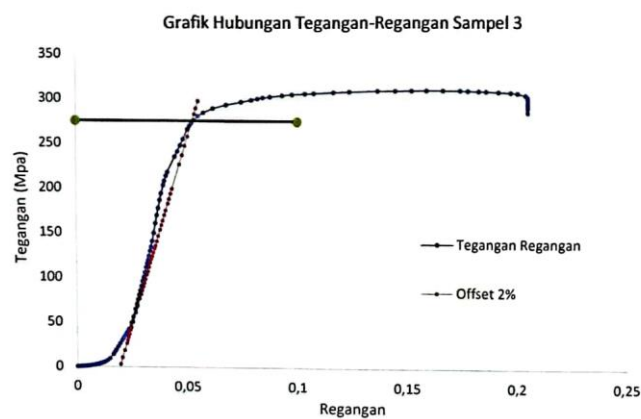
Darusalam, A.Md.

Lampiran B.3 Grafik P-Regangan Uji Tarik Plat Sampel 3



HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
NIM : 16511125
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Pelat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
Diuji Tanggal : 30 Mei 2022
Sampel : Uji Tarik Pelat Baja Sampel 3



Nilai F_y diperoleh = 275 MPa

Nilai F_u diperoleh = 310,553 MPa

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Bahan

Konstruksi Teknik (BKT)

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



Yogyakarta, 21 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Darusalam, A.Md.

Lampiran B.4 Grafik P-Lendutan Uji Lentur Baja Sampel 1

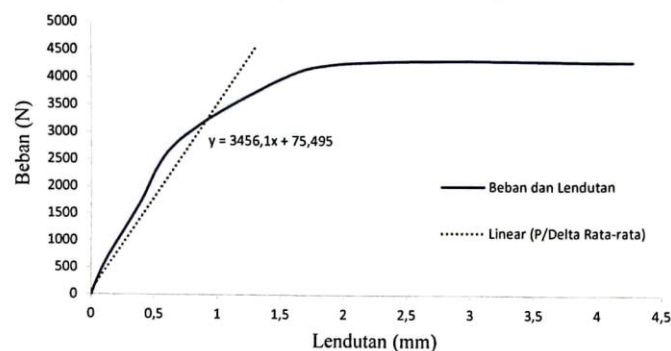


LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA
Kampus Terpadu : jalan Kalurang Km 14,4 telp. (0274) 898471, 898472 Yogyakarta

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
NIM : 16511125
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Pelat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
Diuji Tanggal : 30 Mei 2022
Sampel : Uji Lentur Baja Sampel 1

Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Sampel 1



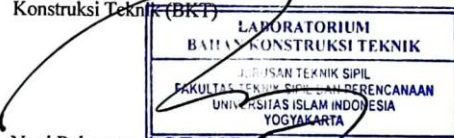
Nilai Pmax diperoleh = 4316,4 N

Nilai P/Δ rerata diperoleh = 3456,1 N/mm

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Bahan

Konstruksi Teknik (BKT)



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

Yogyakarta, 21 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

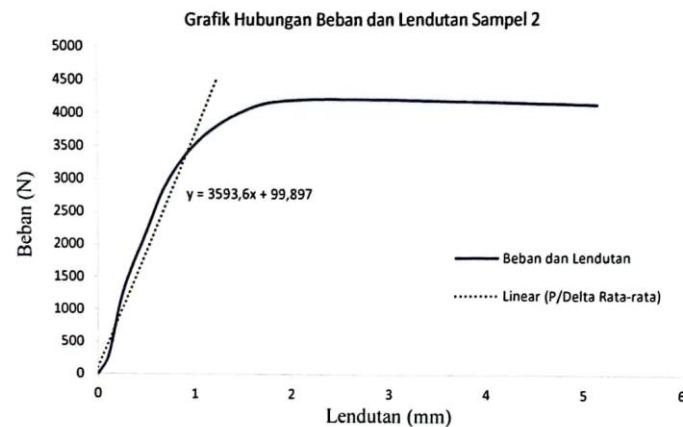
Darusalam, A.Md.

Lampiran B.5 Grafik P-Lendutan Uji Lentur Baja Sampel 2



HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
NIM : 16511125
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Pelat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
Diuji Tanggal : 30 Mei 2022
Sampel : Uji Lentur Baja Sampel 2



Nilai Pmax diperoleh = 4218,3 N

Nilai P/Δ rerata diperoleh = 3593,6 N/mm

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Bahan
Konstruksi Teknik (BKT)

Novi Rahmayanti



Yogyakarta, 21 Agustus 2022
Pranata Laboratorium Pendidikan,

Darusalam, A.Md.

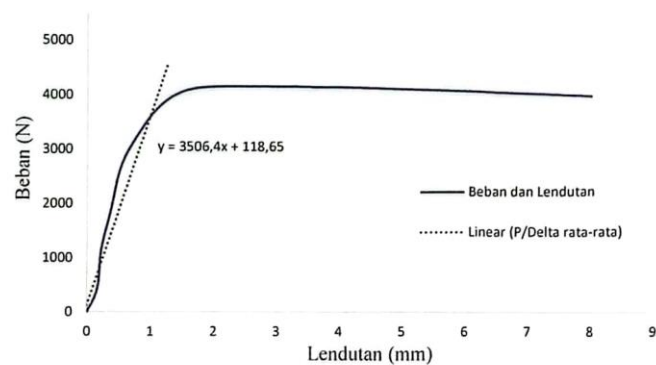
Lampiran B.6 Grafik P-Lendutan Uji Lentur Baja Sampel 3



HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
NIM : 16511125
Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah Dengan Baut Tunggal Dan Pelat Buhul Tunggal Yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
Diuji Tanggal : 30 Mei 2022
Sampel : Uji Lentur Baja Sampel 3

Grafik Hubungan Beban dan Lendutan Sampel 3



Nilai Pmax diperoleh = 4169,25 N

Nilai P/Δ rerata diperoleh = 3506,4 N/mm

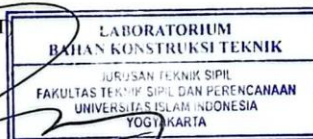
Mengetahui,

Kepala Laboratorium Bahan
Konstruksi Teknik (BKT)

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

Yogyakarta, 21 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,



[Signature]

Darusalam, A.Md.

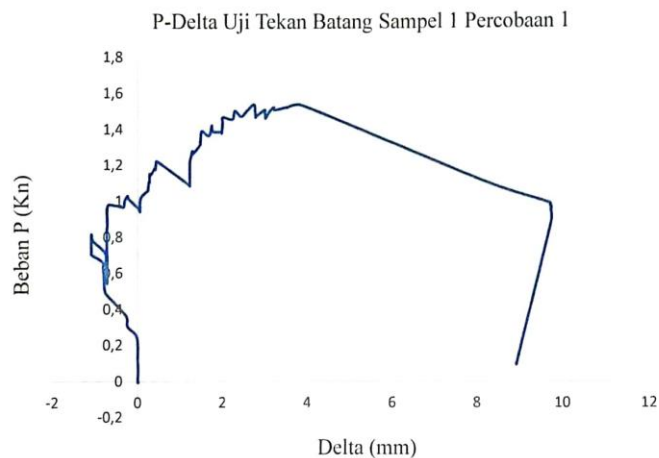
Lampiran B.7 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 1 (Percobaan 1)



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

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 8 Juni 2022
 Sampel : Uji Tekan Batang Sampel 1 (Percobaan 1)



Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa

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

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

Lampiran B.8 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 2 (Percobaan 1)

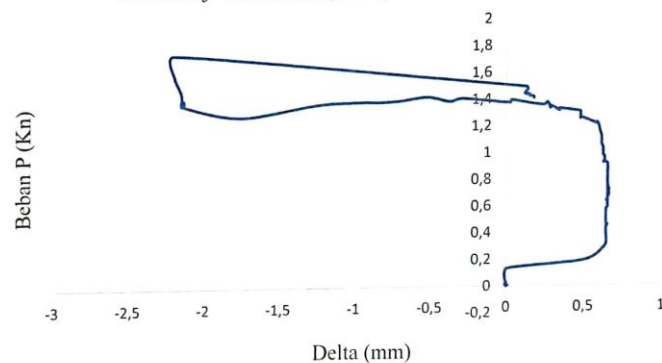


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 8 Juni 2022
 Sampel : Uji Tekan Batang Sampel 2 (Percobaan 1)

P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 2 Percobaan 1



Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa

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

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

Lampiran B.9 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 3 (Percobaan 1)

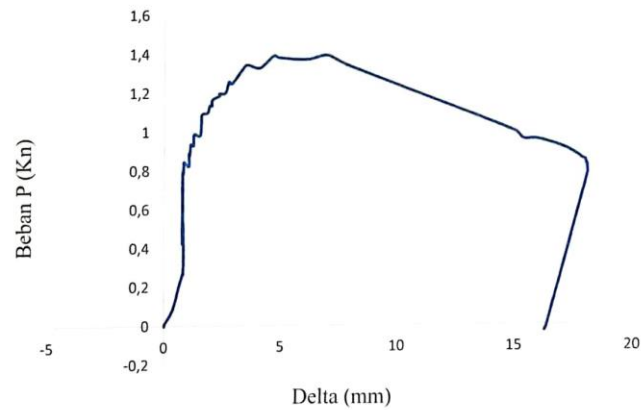


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 8 Juni 2022
 Sampel : Uji Tekan Batang Sampel 3 (Percobaan 1)

P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 3 Percobaan 1



Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa

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

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

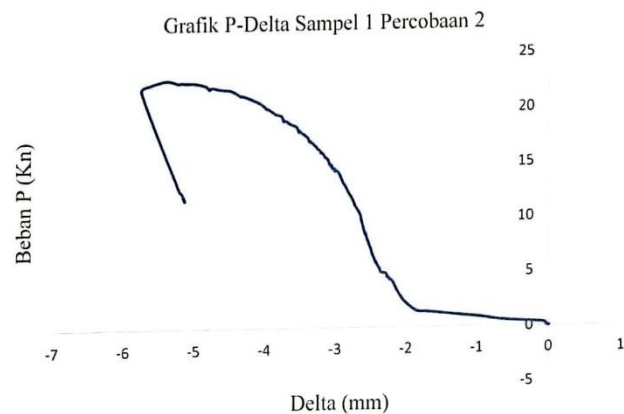
Lampiran B.10 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 1 (Percobaan 2)



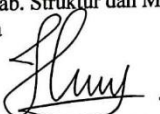
LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 9 Juni 2022
 Sampel : Uji Tekan Batang Sampel 1 (Percobaan 2)



Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa


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

Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,


 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

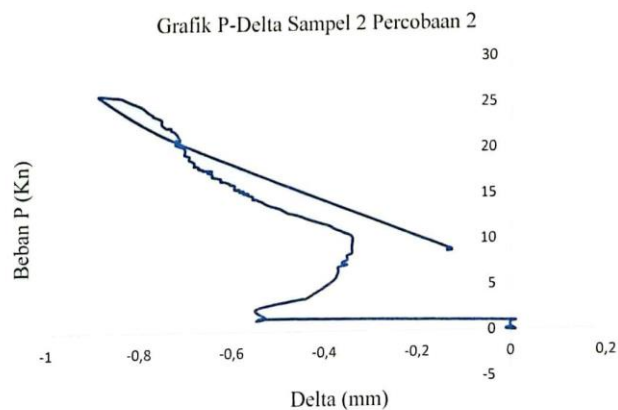
Lampiran B.11 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 2 (Percobaan 2)



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

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 9 Juni 2022
 Sampel : Uji Tekan Batang Sampel 2 (Percobaan 2)



Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa

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

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

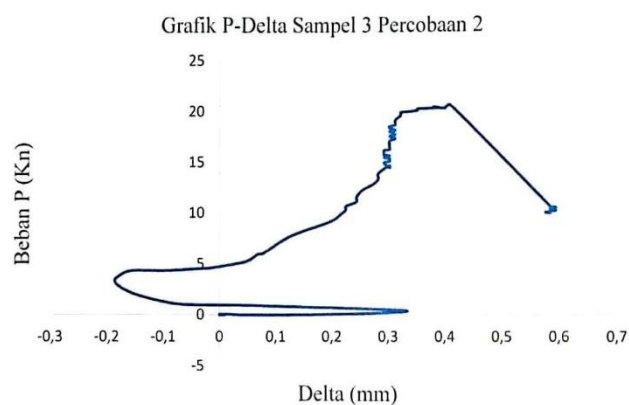
Lampiran B.12 Hasil Grafik P-Delta Uji Tekan Batang Sampel 3 (Percobaan 2)



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

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 9 Juni 2022
 Sampel : Uji Tekan Batang Sampel 3 (Percobaan 2)



Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa

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

Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Pranata Laboratorium Pendidikan,

Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

Lampiran B.13 Grafik P-Delta Uji Tekan Rangka Atap Sampel 1

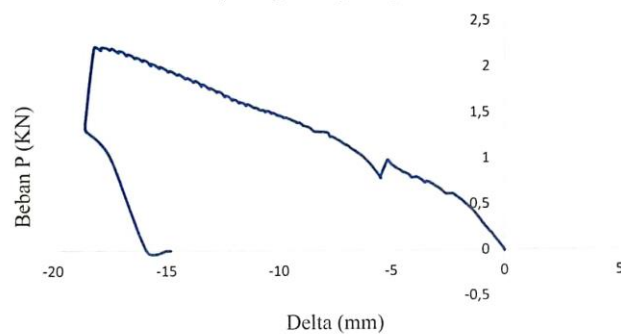


LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN - UII
 Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta 55584

HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 21 Juni 2022
 Sampel : Uji Rangka Atap Sampel 1 (Percobaan 2)

Grafik P-M Uji Rangka Atap Sampel 1 Percobaan 2



Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa

[Signature]
 Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng.

Pranata Laboratorium Pendidikan,

[Signature]
 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.

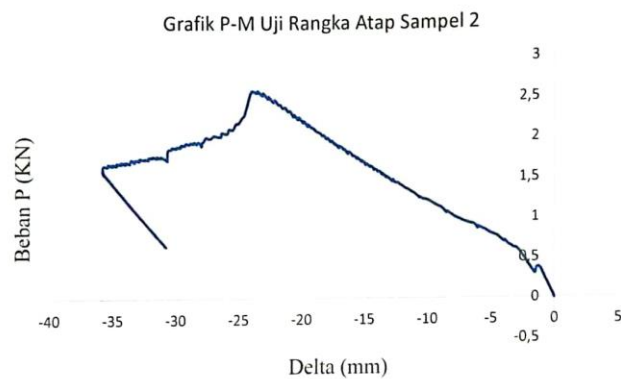
Lampiran B.14 Grafik P-Delta Uji Tekan Rangka Atap Sampel 2



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

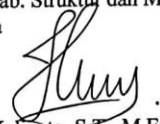
HASIL DATA PENGUJIAN SAMPEL TUGAS AKHIR

Peneliti : Muhammad Naufal Azhar
 NIM : 16511125
 Judul Penelitian : Studi Eksperimental Uji Rangka Atap Baja Kelangsingan Menengah dengan Baut Tunggal dan Pelat Buhul Tunggal yang Dianalisis Menggunakan Metode DAM
 Diuji Tanggal : 21 Juni 2022
 Sampel : Uji Rangka Atap Sampel 2 (Percobaan 1)



Yogyakarta, 22 Agustus 2022

Mengetahui,
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
 Rekayasa


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

Pranata Laboratorium Pendidikan,


 Muchamad Amirul Yachya, S.Pd.