

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KEKUATAN TEKAN STRUKTUR RANGKA ATAP BAJA
KELANGSINGAN TINGGI DENGAN PLAT BUHUL DAN VARIASI
BAUT TUNGGAL MENGGUNAKAN METODE ANALISIS LANGSUNG
YANG TERVERIFIKASI PENGUJIAN LABORATORIUM TERHADAP
HASIL ANALISIS MENGGUNAKAN METODE PANJANG EFEKTIF
(*EVALUATION OF COMPRESSIVE STRENGTH VALUE OF HIGH
SLABILITY STEEL ROOF FRAME STRUCTURE WITH SINGLE BOLTS
AND PLATE VARIATION USING DIRECT ANALYSIS METHOD
VERIFIED BY LABORATORY EXPERIMENT TOWARDS ANALYSIS
RESULT USING EFFECTIVE LENGTH METHOD*)**

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



الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

**GANANG RAIS SARJUNA
16511177**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**EVALUASI KEKUATAN TEKAN STRUKTUR RANGKA ATAP BAJA
KELANGSINGAN TINGGI DENGAN PLAT BUHUL DAN VARIASI
BAUT TUNGGAL MENGGUNAKAN METODE ANALISIS LANGSUNG
YANG TERVERIFIKASI PENGUJIAN LABORATORIUM TERHADAP
HASIL ANALISIS MENGGUNAKAN METODE PANJANG EFEKTIF
(*EVALUATION OF COMPRESSIVE STRENGTH VALUE OF HIGH
SLABILITY STEEL ROOF FRAME STRUCTURE WITH SINGLE BOLTS
AND PLATE VARIATION USING DIRECT ANALYSIS METHOD
VERIFIED BY LABORATORY EXPERIMENT TOWARDS ANALYSIS
RESULT USING EFFECTIVE LENGTH METHOD*)**

Disusun oleh

**Ganang Rais Sarjuna
16511177**

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

Diuji pada tanggal 28 Februari 2023

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



**Malik Mushthofa, S.T.,
M.Eng.**
NIK : 185111302

Penguji I



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

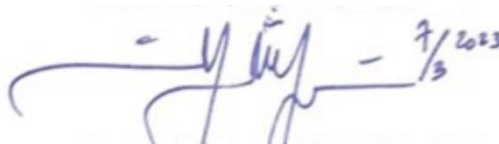
Penguji II



**Astriana Hardawati, S.T.,
M.Eng.**
NIK : 165111301

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi S.T, M.T., Ph.D.
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Proposal 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 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 Proposal 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, 28 Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Ganang Rais Sarjuna

(16511177)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang sehingga berkat rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Evaluasi Struktur Rangka Atap Baja Kelangsingan Tinggi dengan Variasi Baut Tunggal dan Jamak Menggunakan *Direct Analysis Method*. 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.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdapat beberapa hambatan yang dihadapi penulis. Namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan hal tersebut, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sepenuh hati kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala program studi Teknik Sipil UII.
2. Bapak Hariadi Yulianto, S.T., M.Eng. dan bapak Malik Mushthofa, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberi banyak ilmu dengan saran, kritik, dan diskusi yang membangun selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Hari dan Mas Yahya selaku petugas di Laboratorium MR & Struktur yang telah membantu saya dalam menyiapkan kebutuhan saya semasa melakukan eksperimen di laboratorium.
4. Ibu yang selalu memberi dukungan baik doa dan dorongan semangat untuk penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen, karyawan, dan asisten Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah membarikan ilmu dan menyediakan fasilitas penunjang selama masa perkuliahan penulis.
6. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan kesehatan bagi kita semua serta melimpahkan berkah, rahmat dan karunianya bagi bapak, ibu, kerabat, saudara dan teman-teman yang telah membantu saya tanpa pamrih. Penulis sangat berterimakasih atas kebaikan-kebaikan yang telah diberikan semoga kebaikan yang diberikan dibalas oleh Allah SWT dan berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan membantu bagi diri penulis dan buat kepentingan lainnya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir yang dibuat penulis jauh dari kata-kata sempurna dan disebabkan karena keterbatasan pengetahuan. Maka dari itu penulis mengharap saran dan kritik yang dapat membangun Tugas Akhir ini agar menjadi sempurna dan memberikan output bagi ilmu keteknik sipilan khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 28 Februari 2023

Penulis,



Ganang Rais Sarjuna

(16511177)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
TUGAS AKHIR.....	i
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
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 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	9
BAB III LANDASAN TEORI.....	12
3.1 Struktur Atap	12
3.1.1 Rangka atap.....	12
3.2 Baja.....	13
3.2.1 Sifat mekanik baja.....	14
3.3 Batang Tekan.....	17
3.3.1 Kelangsingan.....	18
3.3.2 Keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui	20
3.3.3 Klasifikasi penampang dan tekuk	21

3.4	<i>Direct Analysis Method</i>	26
3.4.1	Pengaruh cacat bawaan (<i>Initial Imperfection</i>)	28
3.4.2	Penyesuaian Kekakuan.....	29
3.4.3	Kuat nominal penampang	30
3.5	Sambungan Rangka Baja.....	32
3.5.1	Kuat tumpu baut.....	33
3.5.2	Kuat geser baut.....	33
BAB IV METODE PENELITIAN		35
4.1	Gambaran Umum	35
4.2	Variabel Penelitian	35
4.3	Teknik Pengumpulan Data	36
4.4	Bahan-Bahan yang Digunakan	37
4.5	Peralatan Penelitian	38
4.6	Tahapan Penelitian	42
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		51
5.1	Uji Kuat Tarik Plat Baja.....	51
5.2	Uji Kuat Geser Baut	55
5.3	Hasil Uji Laboratorium Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap.....	56
5.4	Analisis DAM Rangka Atap Berdasarkan Pengujian Laboratorium Yang Berhasil	62
5.5	Pembahasan	72
5.5.1	Pembahasan berdasarkan rumusan masalah 1.....	72
5.5.2	Pembahasan berdasarkan rumusan masalah 2.....	73
5.5.3	Pembahasan berdasarkan rumusan masalah 3.....	73
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		75
6.1	Kesimpulan.....	75
6.2	Saran	76
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Komponen Penyusun Rangka Atap.....	13
Gambar 3. 2	Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Baja.....	15
Gambar 3. 3	Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai KL/r	20
Gambar 3. 4	Batang Tertekan	24
Gambar 3. 5	Pengaruh Orde ke-2.....	28
Gambar 3. 6	Sambungan Baut	32
Gambar 4. 1	Baja Profil <i>Hollow Square Section</i> 15 x 30 x 1,6 mm.....	37
Gambar 4. 2	Mur Baut $\varnothing 10$ mm	37
Gambar 4. 3	Plat Baja Tebal 6 mm	38
Gambar 4. 4	<i>Loading Frame</i>	39
Gambar 4. 5	<i>Hydraulic Jack</i>	39
Gambar 4. 6	<i>Strain Gauge</i>	40
Gambar 4. 7	Dukungan Rol dan Sendi.....	40
Gambar 4. 8	<i>Load Cell</i>	41
Gambar 4. 9	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>	41
Gambar 4. 10	Sampel Uji Kuat Tarik Pelat Baja	44
Gambar 4. 11	<i>Set Up</i> Pengujian Kuat Geser Baut	45
Gambar 4. 12	Sampel Uji Rangka Atap Baut Tunggal.....	46
Gambar 4. 13	<i>Set Up</i> Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap	47
Gambar 4. 14	Tampak Depan <i>Set Up</i> Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap Baut Tunggal	47
Gambar 4. 15	<i>Flowchart</i> Penelitian	50
Gambar 5. 1	Sampel Uji Kuat Tarik Baja.....	51
Gambar 5. 2	Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1	52
Gambar 5. 3	Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2	52
Gambar 5. 4	<i>Offset</i> 0,2%	53
Gambar 5. 5	Grafik Tegangan-Regangan Terkoreksi.....	54
Gambar 5. 6	Pengujian Kuat Geser Baut Sampel 1	55
Gambar 5. 7	Pengujian Kuat Geser Baut Sampel 2	56
Gambar 5. 8	Sampel Uji Rangka Atap.....	57
Gambar 5. 9	Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Sampel 1.....	57
Gambar 5. 10	Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Sampel 2.....	58
Gambar 5. 11	<i>Set Up</i> Pengujian Dengan Menggunakan Penahan	59
Gambar 5. 12	Kondisi Sampel Uji 1 Setelah Pengujian	60
Gambar 5. 13	Kondisi Sampel Uji 2 Sayap Kanan Setelah Pengujian	60
Gambar 5. 14	Kondisi Sampel Uji 2 Sayap Kiri Setelah Pengujian	61
Gambar 5. 15	Permodelan Struktur Rangka Atap Pada Software SAP 2000	62
Gambar 5. 16	Data Properti Profil <i>Hollow Square Section</i> 30x15 mm	63
Gambar 5. 17	Peletakan Beban 1 kN Pada Permodelan	65
Gambar 5. 18	Gaya Aksial Yang Diperoleh Dari Software SAP 2000	65
Gambar 5. 19	Peletakkan Beban Notional Permodelan SAP 2000.....	66
Gambar 5. 20	Section Cut Pada Struktur Rangka Atap	68

Gambar 5. 21 Hasil Permodelan Tekuk Pada SAP 2000	69
Gambar 5. 22 Grafik P-M Rangka Atap Dengan Nilai $(EI = 0.8 \times E \times I_b)$ Pada SAP 2000	69
Gambar 5. 23 Grafik Trial Step Permodelan Rangka Atap SAP 2000	70
Gambar 5. 24 Permodelan Metode DAM Memperhitungkan Beban Notional Karena Cacat Bawaan	74
Gambar 5. 25 Permodelan Metode ELM Kondisi Pada Bidang 2 Dimensi Sempurna.....	74



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian-Penelitian Sebelumnya dan Perbandingannya dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan	9
Tabel 3. 1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial.....	22
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Baja.....	54
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Pengujian Kuat Geser Baut	56
Tabel 5. 3 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap.....	61
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF.....	71
Tabel 5. 5 Rekapitulasi Permodelan <i>Section Cut</i>	72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Tugas Akhir	79
Lampiran 2 Proses Uji Tarik Plat Baja	79
Lampiran 3 Proses Uji Kuat Geser Baut	80
Lampiran 4 Proses Uji Kuat Tekan Rangka Atap Sampel 1	80
Lampiran 5 Proses Uji Kuat Tekan Rangka Atap Sampel 2	81
Lampiran 6 Surat Peminjaman Laboratorium	82
Lampiran 7 Hasil Pengujian Tekan Rangka Atap Sampel 1	83
Lampiran 8 Hasil Pengujian Tekan Rangka Atap Sampel 2	84
Lampiran 9 Kwitansi Pembayaran Peminjaman Laboratorium	85



ABSTRAK

Terbitnya SNI terbaru yaitu SNI 1729:2020 yang di dalamnya tercantum metode analisis baru yang bernama *Direct Analysis Method* (DAM), menggantikan peran metode analisis sebelumnya pada SNI 1729:2002 yaitu metode *Effective Length Method* (ELM). Terdapat beberapa perbedaan pada metode DAM yang perlu memperhitungkan efek cacat bawaan dan pengaruh orde kedua terhadap analisisnya, berbeda dengan metode sebelumnya yang memperhitungkan nilai KL/r dengan nilai $K = 1$. Hal tersebut menjadi acuan dalam penelitian ini untuk menguji seberapa besar tingkat akurasi metode DAM terhadap hasil pengujian tekan rangka atap profil *hollow square section* 15x30x1,6 mm kelangsingan tinggi di laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari metode DAM dan metode ELM terhadap hasil pengujian di laboratorium. Penelitian ini menggunakan struktur rangka atap baja dengan plat sambung tunggal dan jumlah baut sambungan sebanyak 1 buah. Penelitian ini menghasilkan nilai *error* pada metode DAM sebesar 15,410% dan pada metode ELM sebesar 58,293%. Maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini bahwa metode DAM terbilang lebih akurat dalam memprediksi nilai kapasitas tekan rangka atap baja dengan kelangsingan tinggi dibandingkan metode ELM.

Kata kunci: *Direct Analysis Method*, Kapasitas Tekan, Rangka Atap

ABSTRACT

The publication of the latest SNI, named SNI 1729:2020, contains new analytical method called Direct Analysis Method (DAM), replacing the role of the previous analytical method in SNI 1729:2020, named Effective Length Method(ELM). There are several differences in DAM method which need to calculate the effects of birth defects and second-order effects on the analysis, different from the previous method which calculate the KL/r value with a value of $K = 1$. This became a reference in this study to check the accuracy of DAM method towards the compressive test results of hollow square section $15 \times 30 \times 1,6$ mm high slender roof truss in laboratory. This study aims to find out the accuracy of DAM method and ELM method towards laboratory test results. This study used a steel roof truss structure with a single plate connection and 1 bolt connection. This study resulted an error value for the DAM method in the amount of 15,410 % and 58,293% for the ELM method. This research was conducted on a steel roof truss structure that uses a single connection plate with a total of 4 bolts. As a result, the error value for the DAM method is 5.01% and the ELM method is 1,584%. So, the conclusion from this study is the DAM method is somewhat more accurate in predicting the compressive capacity values of high slender steel roof truss rather than the ELM method.

Keywords: *Compressive Capacity, Direct Analysis Method, Roof Truss*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan zaman, perencanaan desain terhadap stabilitas struktur baja mengalami perubahan. Sebelumnya perencanaan desain ini dilakukan menggunakan metode panjang efektif berdasarkan SNI 1729-2002, namun saat ini sudah mulai menggunakan metode analisis langsung. Walaupun pada hakikatnya metode panjang efektif sudah tidak digunakan lagi dan diubah menggunakan AISC 2010, metode tersebut tetap masih bisa digunakan dalam perancangan bangunan gedung terutama apabila tidak tersedianya program computer yang kompatibel. (Wiryanto, 2014).

Dalam metode panjang efektif terdapat beberapa kekurangan, seperti pada kecepatan serta tingkat ketelitian analisisnya terhadap sifat alami struktur yang terdapat di lapangan. Hal tersebut terjadi dikarenakan, dalam metode panjang efektif tidak disertakan faktor ketidaksempurnaan geometri serta nilai reduksi kekuatan pada saat proses analisis struktur terjadi. Maka pembaharuan kode desain tersebut menghasilkan keuntungan terhadap perencana, karena metode tersebut mampu menangani masalah keterbatasan analisis struktur elastik yang belum bisa mengakses nilai stabilitasnya.

Sebelumnya, perancangan gedung dengan struktur baja harus direncanakan sesuai dengan metode perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung yang terdapat pada SNI 1729:2002. Namun seiring dengan terbitnya SNI terbaru yaitu SNI 1729:2020, yang mengacu kepada aturan *American Institute of Steel Construction* (AISC 2010), maka metode perencanaannya pun ikut berubah. Sementara itu, pada SNI 1729:2020, memiliki metode perancangan terbaru berupa *Direct Analysis Method* (DAM) yang bisa digunakan dalam perancangan stabilitas struktur baja. Metode tersebut direkomendasikan untuk merancang stabilitas

struktur baja yang memperhitungkan pengaruh efek orde kedua melalui bantuan dari perangkat lunak.

Menurut Sugawa, A. A. (2017) model struktur yang sebelumnya harus melewati pengklasifikasian menjadi dua kategori dengan nilai K yang berupa : Rangka tidak-bergoyang : $0.5 \leq K \leq 1.0$ serta Rangka Bergoyang : $1.0 \leq K \leq \infty$. Dalam hal ini, parameter tersebut harus ditentukan oleh praktisi melalui analisa perilaku struktur selama pembebanan terjadi. Hal tersebut tentunya memiliki nilai ketelitian yang berdasarkan kepada *engineering judgement* dari tiap praktisi melalui penilaian deformasi struktur dalam kondisi tekuk guna menentukan nilai K , serta dalam keadaan model struktur yang terbilang besar serta kompleks tentu terdapat kendala waktu bagi tiap praktisi dalam melakukan perumusan dan perencanaan. Sementara itu, ada metode manual yang lain dalam penentuan nilai K . Seperti di struktur portal yang biasanya menggunakan metode *Alignment Chart*. Namun, penggunaan *Alignment Chart* sebagai penentu nilai K saat ini sudah tidak relevan, hal tersebut dikarenakan tiap praktisi harus melakukan *plotting* garis secara manual ke dalam chart yang sudah tersedia sebelumnya. Sementara pada metode perencanaan langsung terhadap batang tekan dinilai efisien, karena, penentuan nilai K cukup dengan $K=1$, namun efek P-delta dalam perilaku struktur tersebut harus diperhitungkan.

Dalam perencanaan ini peneliti akan melakukan perbandingan antara kedua metode tersebut terhadap sampel uji rangka atap baja *hollow square section*. Perbandingan tersebut ditinjau dari nilai kuat tekan dan kuat tarik di setiap elemen.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini berupa:

1. Bagaimanakah proses permodelan struktur rangka atap baja *hollow square section* menggunakan metode analisis langsung yang diverifikasi melalui pengujian di laboratorium?

2. Berapakah besaran nilai kuat tekan struktur rangka atap baja *hollow square section* yang dianalisis menggunakan metode analisis langsung yang diverifikasi melalui pengujian di laboratorium?
3. Berapakah perbandingan besaran nilai kuat tekan yang dianalisis menggunakan metode analisis langsung terhadap hasil uji laboratorium dan yang dianalisis menggunakan metode panjang efektif?

1.3 Tujuan Penelitian

Sementara tujuan dilakukannya penelitian ini berupa:

1. Mengetahui proses permodelan struktur rangka atap baja *hollow square section* menggunakan metode analisis langsung yang diverifikasi melalui pengujian di laboratorium.
2. Mengetahui besaran nilai kuat tekan struktur rangka atap baja *hollow square section* menggunakan metode analisis langsung yang diverifikasi melalui pengujian di laboratorium.
3. Mengetahui perbandingan besaran nilai kuat tekan yang dianalisis menggunakan metode analisis langsung terhadap hasil pengujian di laboratorium dan yang dianalisis menggunakan metode panjang efektif.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini berupa mengetahui informasi mengenai perbedaan antara proses perencanaan menggunakan metode analisis langsung pada rangka atap baja ringan. Sementara acuan literatur bagi penelitian ini khususnya pada perencanaan stabilitas rangka atap baja ringan berdasarkan standar SNI 1729:2020.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian diperlukan agar tujuan penelitian ini mampu dicapai oleh peneliti dan agar pembahasannya bisa tetap berada pada ruang lingkup

permasalahan dalam penelitian ini. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini berupa:

1. Analisis struktur dengan bantuan *software* SAP2000 dan analisis perhitungan secara manual menggunakan perangkat lunak microsoft excel.
2. Penelitian terhadap perbandingan dua metode tersebut dilakukan pada sampel uji struktur rangka atap baja *hollow square section*.
3. Pengujian yang dilakukan terhadap sampel uji berupa pengujian struktur rangka atap baja *hollow square section*.
4. Acuan perencanaan dan spesifikasi rangka atap baja ringan berdasarkan SNI 1729:2020.
5. Beban yang diberikan pada proses pengujian berdasarkan SNI 1729:2020.
6. Desain kekuatan berdasar kepada Desain Faktor Kekuatan dan Ketahanan (DFBK).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada tahun 2012, Fayang Setiady dkk melakukan penelitian yang bertajuk “Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan *Direct Analysis Method* dengan *Advanced Analysis* dalam Analisis Efek Orde Kedua”. Penelitian tersebut dilakukan guna mencari hasil perbandingan antara nilai *stress ratio* dari ketiga metode tersebut. Selain itu penelitian ini juga dapat digunakan untuk mengetahui metode apa yang cocok digunakan untuk mendesain profil dan mengevaluasi desain profil pada struktur eksisting.

Penelitian tersebut diaplikasikan pada struktur *regular* dan juga struktur *irregular*. Dalam analisis menggunakan metode ELM, peneliti menggunakan nilai rasio kelangsingan atau K yang diperoleh dari *alignment chart* yang merupakan nilai perbandingan antara kekakuan komponen struktur dengan tekan dominan terhadap kekakuan komponen struktur yang relative bebas tekan dalam hal ini berupa G_A dan G_B . Sementara itu beban *notional* yang digunakan dalam metode *Advance Analysis* dan DAM merupakan hasil dari 0,002 kali nilai beban gravitasinya. Pada metode *Advance Analysis* menggunakan nilai modulus tangensial yang didapatkan dari *Parabolic Function* yang merupakan perbandingan nilai E_t dibagi E terhadap nilai P dibagi P_y . Hipotesis yang diutarakan oleh peneliti adalah nilai *stress ratio* yang dihasilkan dari metode *Advance Analysis* akan lebih akurat dibanding dengan metode ELM dan juga DAM.

Dari penelitian tersebut didapatkan hasil berupa nilai *stress ratio* pada profil balok WF di tiap contoh kasus dengan konfigurasi yang berbeda antar ketiga metode tersebut memiliki perbedaan. Peneliti menyimpulkan bahwa metode analisis SNI-2002 dan metode DAM merupakan metode dengan fungsi desain, sementara metode *Advance Analysis* akan lebih cocok digunakan dalam investigasi pada kondisi struktur eksisting.

Kesimpulan dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Nilai *stress ratio* yang dihasilkan terhadap struktur *regular*, *single-story*, dan *multi-story* memiliki nilai yang identik dalam kondisi elastis.
2. Nilai *stress ratio* yang dihasilkan terhadap struktur *irregular* baik dalam kondisi ketidakberaturan vertikal dan horizontal memiliki nilai yang berbeda.
3. Nilai *stress ratio* balok terkecil terhadap struktur *irregular* didapatkan pada metode SNI-2002.
4. Nilai *stress ratio* kolom terbesar terhadap struktur *irregular* didapatkan pada metode SNI-2002 sementara nilai *stress ratio* terkecil dihasilkan oleh metode *Advance Analysis*.
5. Metode SNI-2002 dan metode DAM merupakan metode dengan fungsi desain, sementara metode *Advance Analysis* lebih cocok digunakan dalam investigasi kondisi struktur eksisting.
6. Metode SNI-2002 akan sangat berguna dalam kondisi tidak tersedianya *software* dalam melakukan analisis.
7. Metode DAM merupakan metode yang paling efektif di antara ketiga metode tersebut, karena metode tersebut merupakan yang paling cepat dan mendapatkan hasil yang relatif akurat saat kondisi konfigurasi struktur makin rumit dan semakin tidak *regular*.
8. Metode *Advance Analysis* merupakan metode yang paling cocok digunakan dalam investigasi guna menunjukkan adanya *reserve capacity* dengan memperhitungkan kondisi elastis struktur.

Pada tahun 2015, Fendy Phiegiarto dkk melakukan penelitian yang bertajuk “Perencanaan Elemen Struktur Baja Berdasarkan SNI 1729:2015”. Penelitian tersebut dilakukan guna mencari hasil perbandingan antara nilai *stress ratio* dari metode ELM yang terdapat pada SNI 1729:2002 terhadap metode DAM (*Direct Analysis Method*) yang terdapat pada SNI 1729:2015. Penelitian tersebut juga dimaksudkan untuk mencari perbedaan analisis yang terdapat dalam metode DAM (*Direct Analysis Method*) terhadap metode ELM (*Effective Length Method*).

Penelitian tersebut diaplikasikan pada struktur sederhana 2D secara LFRD (*Load and Resistance Factor Design*). Pada metode ELM yang terdapat dalam SNI 1729:2002 memerlukan perhitungan nilai *P-delta* yang digunakan untuk melakukan analisis orde pertama, yang selanjutnya perlu memperhitungkan analisis efek orde kedua menggunakan nilai G_A dan G_B dari suatu komponen struktur pada rangka portal. Sementara metode DAM menggunakan nilai beban *notional* yang merupakan 0,002 kali beban gravitasinya dan tidak perlu memperhitungkan faktor k ($k = 1$). Pada penelitian ini dilakukan guna mencari nilai *stress ratio* pada tiap metode lalu setelahnya akan didapatkan nilai perbandingan antara dua metode tersebut.

Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai *stress ratio* yang berbeda yaitu sebesar 0,547 pada metode ELM dan sebesar 0,480 pada metode DAM. Sementara perbandingan *stress ratio* dari kedua metode tersebut sebesar 6,7%. Dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa metode DAM menghasilkan nilai kapasitas profil yang lebih besar dibandingkan metode ELM, sehingga profil yang digunakan lebih hemat. Maka penelitian ini dapat menghasilkan kesimpulan bahwa:

1. Secara umum metode desain dalam SNI 1729:2002 berbeda dengan metode desain dalam SNI 1729:2015 terutama pada bagian desain komponen struktur untuk tekan, lentur, dan sambungan.
2. Nilai *stress ratio* dengan metode ELM lebih besar dibandingkan dengan metode DAM.
3. Perbedaan *stress ratio* antara metode ELM dengan metode DAM sebesar 6,7%.

Pada tahun 2019, Cut M. Rani dan kawan-kawan melakukan penelitian yang bertajuk “Studi Perbandingan *Stress Ratio* Pada Portal Baja Menggunakan Bracing Dengan *Effective Length Method* (ELM) dan *Direct Analysis Method* (DAM)”. Dalam peraturan SNI 1729:2015 terbaru yang mengacu kepada *American Institute of Steel Construction* (AISC 2010) terdapat metode desain yang baru yaitu *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai alternatif dari metode *Effective Length Method* (ELM) yang selama ini digunakan. Metode tersebut

direkomendasikan dalam perencanaan stabilitas struktur baja yang memperhitungkan efek orde kedua dengan bantuan perangkat lunak. Dalam studi ini akan difokuskan untuk membandingkan antara nilai *stress ratio* yang terdapat pada masing-masing elemen.

Penelitian ini dilakukan pada struktur gedung portal baja bertingkat dengan *bracing*. Pada portal *bracing*, balok dan kolom mendukung beban gravitasi yang disalurkan oleh sistem lantai dan atap yang bersinggungan, sedangkan sistem bresing vertikal mendukung beban lateral yang bekerja pada struktur (Cut M. Rani dkk, 2019).

Pada SNI 1729:2002 direkomendasikan penggunaan *alignment chart* guna mencari nilai faktor panjang efektif dengan mencari nilai G_A dan G_B terlebih dahulu kemudian langsung diplot ke nomogram sehingga menghasilkan garis yang memotong nilai k . Penggunaan beban *notional* pada AISC 2010 terhadap metode ELM diperbolehkan tetapi hanya pada kombinasi beban yang terdapat beban gravitasinya saja dan tidak pada kombinasi beban yang terdapat beban lateral di dalamnya. Sementara metode DAM menggunakan perhitungan beban *notional* guna memperhitungkan efek ketidaksempurnaan geometrinya.

Dari penelitian ini didapatkan nilai perbandingan *stress ratio* yang bervariasi antara 0,1 hingga 8,9 persen. Metode DAM memiliki nilai *stress ratio* yang relatif lebih kecil dengan nilai yang bervariasi dari 0,416 hingga 0,904 dibanding metode ELM yang memiliki nilai *stress ratio* relatif lebih besar dengan nilai antara 0,457 hingga 0,910. Maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini menghasilkan.

1. Nilai *stress ratio* metode DAM lebih kecil dibanding metode ELM.
2. Perbandingan *stress ratio* metode DAM terhadap metode ELM bervariasi antara 0,1-8,9 %.
3. Terdapat perbedaan momen pada metode DAM dengan metode ELM.
4. Metode DAM menghasilkan kapasitas profil yang lebih tinggi dan metodenya yang lebih efektif.
5. Metode DAM merupakan metode perencanaan stabilitas struktur yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode ELM.

2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan dijelaskan di atas, terdapat beberapa perbedaan terhadap studi yang nantinya akan dilaksanakan. Rangkuman dari beberapa penelitian-penelitian sebelumnya dan juga perbandingannya terhadap studi yang akan dilaksanakan nanti terdapat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian-Penelitian Sebelumnya dan Perbandingannya dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneliti	Fayang Setiady, Dyah Kusumastuti, Ediansjah (2012)	Fendy Phiegiarto, Julio Esra Tjanniadi, Hasan Santoso, Ima Muljati (2015)	Cut M. Rani, Muttaqin, Teuku Budi Aulia (2019)	Ganang Rais Sarjuna (2022)
Judul	Evaluasi Penggunaan Metode SNI-2002 dan <i>Direct Analysis Method</i> dengan <i>Advanced Analysis</i> dalam Analisis Efek Orde Kedua	Perencanaan Elemen Struktur Baja Berdasarkan SNI 1729:2015	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)	Evaluasi Kekuatan Tekan Struktur Rangka Atap Baja Kelangsingan Tinggi Dengan Plat Buhul Dan Variasi Baut Tunggal Menggunakan Metode Analisis Langsung Terhadap Pengujian Laboratorium Yang Dianalisis Menggunakan Metode Panjang Efektif.
Tujuan	Mengetahui hasil perbandingan nilai <i>stress ratio</i> dan untuk mengetahui metode mana yang efektif digunakan untuk perencanaan dan investigasi struktur eksisting	Membandingkan hasil <i>stress ratio</i> pada perencanaan <i>Effective Length Method</i> dengan <i>Direct Analysis Method</i> sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien khususnya pas struktur 2 dimensi.	Membandingkan hasil <i>stress ratio</i> pada perencanaan <i>Effective Length Method</i> dengan <i>Direct Analysis Method</i> sehingga dapat dipilih metode yang lebih efektif dan efisien khususnya pas struktur portal yang menggunakan <i>bracing</i> .	Mencari nilai perbandingan antara pengujian laboratorium terhadap analisis menggunakan metode analisis langsung pada SNI 1729-2020 dalam perencanaan struktur rangka atap baja profil kotak dengan batang tekan kelangsingan tinggi.
Parameter	<i>Effective Length Method, Direct Analysis Method, Advanced Analysis, Stress ratio.</i>	<i>Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress ratio, Load and Resistance Factor Design.</i>	<i>Effective Length Method, Direct Analysis Method, Stress ratio.</i>	Metode analisis Langsung, ratio kelangsingan tinggi.

Lanjutan Tabel 2. 1 Rangkuman Penelitian-Penelitian Sebelumnya dan Perbandingannya dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneliti	Fayang Setiady, Dyah Kusumastuti, Ediansjah (2012)	Fendy Phiegiarto, Julio Esra Tjanniadi, Hasan Santoso, Ima Muljati (2015)	Cut M. Rani, Muttaqin, Teuku Budi Aulia (2019)	Ganang Rais Sarjuna (2022)
Metode	Benda uji penelitian ini adalah rangka bangunan workshop yang meliputi bermacam-macam profil balok dan kolom WF dengan 4 macam kondisi yaitu struktur portal sederhana, struktur <i>regular</i> dengan konfigurasi struktur simetri, struktur <i>irregular</i> kondisi ketidakberaturan vertikal, dan struktur <i>irregular</i> kondisi ketidakberaturan horizontal. Benda uji tersebut kemudia didesain dan dianalisis menggunakan software SAP2000 dengan metode ELM dan metode DAM, dan software NIDA dengan metode <i>Advance Analysis</i> . Dalam mendesain benda uji di SAP2000 pada tiap kondisi diberikan konfigurasi yang berbeda-beda dan kemudian dibandingkan dengan ketiga metode tersebut.	Benda uji menggunakan balok dengan profil WF 400.200.8.13 dan kolom dengan profil WF 450.200.9.14. Pengujian ini dilakukan dengan aplikasi SAP2000 dengan mendesain struktur 2 dimensi dengan konfigurasi beban <i>Load and Resistence Factor Design</i> . Pada analisis dilakukan pembebanan sesuai dengan standar SNI 1729:2015. Untuk <i>Direct Analysis Method</i> dimasukkan beban ultimit vertikal, beban ultimit horizontal serta beban <i>notional</i> , sedangkan untuk <i>Effective Length Method</i> dimasukkan beban mati, beban hidup dan beban angin.	Perbandingan nilai stress ratio dalam perhitungan penelitian ini dilakukan pada struktur portal 8 lantai dengan <i>braced frame</i> dan mutu baja yang digunakan adalah BJ41. Permodelan Strukturnya menggunakan ETABS untuk metode ELM dan DAM. Analisis struktur untuk metode ELM dan DAM dengan meng- <i>input</i> kombinasi beban berupa beban mati, beban hidup, dan beban angin serta beban gempa sesuai SNI 1726:2012.	Penelitian ini dilakukan melalui studi eksperimen di laboratorium untuk membandingkan kekuatan struktur rangka atap baja yang dianalisis menggunakan <i>Direct Analysis Method</i> (SNI 1729-2020) melalui aplikasi SAP2000 terhadap hasil pengujian laboratorium. Sampel uji dalam penelitian ini berupa struktur rangka atap baja <i>hollow square section</i> dengan kelangsingan (KL/r) batang tekan yang tinggi dengan variasi baut tunggal. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tekan struktu rangka atap baja. Setelah pengujian dilakukan, maka data hasil pengujian dianalisis dan dibandingkan antara hasil analisis dengan metode <i>Direct Analysis Method</i> (SNI 1729-2020) terhadap hasil eksperimen di laboratorium. Sehingga kemudian dapat ditarik kesimpulan berupa perbandingan nilai akurasi kuat tekan struktur rangka atap baja yang dianalisis menggunakan <i>Direct Analysis Method</i> berdasarkan SNI 1729:2020 dan perbandingan antara pengaruh jumlah baut sambungan terhadap nilai akurasi dari hasil analisis menggunakan <i>Direct Analysis Method</i> SNI 1729:2020 dengan hasil studi eksperimen di laboratorium.

Lanjutan Tabel 2. 2 Rangkuman Penelitian-Penelitian Sebelumnya dan Perbandingannya dengan Penelitian yang Akan Dilaksanakan

Peneliti	Fayang Setiady, Dyah Kusumastuti, Ediansjah (2012)	Fendy Phiegiarto, Julio Esra Tjanniadi, Hasan Santoso, Ima Muljati (2015)	Cut M. Rani, Muttaqin, Teuku Budi Aulia (2019)	Ganang Rais Sarjuna (2022)
Hasil	<p>Nilai <i>stress ratio</i> yang dihasilkan terhadap struktur <i>irregular</i> baik dalam kondisi ketidakberaturan vertikal dan horizontal memiliki nilai yang berbeda, Nilai <i>stress ratio</i> balok terkecil terhadap struktur <i>irregular</i> didapatkan pada metode SNI-2002, Nilai <i>stress ratio</i> kolom terbesar terhadap struktur <i>irregular</i> didapatkan pada metode SNI-2002 sementara nilai <i>stress ratio</i> terkecil dihasilkan oleh metode <i>Advance Analysis</i>, Metode SNI-2002 dan metode DAM merupakan metode dengan fungsi desain, sementara metode <i>Advance Analysis</i> lebih cocok digunakan dalam investigasi kondisi struktur eksisting, Metode SNI-2002 akan sangat berguna dalam kondisi tidak tersedianya <i>software</i> dalam melakukan analisis, Metode DAM merupakan metode yang paling efektif di antara ketiga metode tersebut, karena metode tersebut merupakan yang paling cepat dan mendapatkan hasil yang relatif akurat saat kondisi konfigurasi struktur makin rumit dan semakin tidak <i>regular</i>. Metode <i>Advance Analysis</i> merupakan metode yang paling cocok digunakan dalam investigasi guna menunjukkan adanya <i>reserve capacity</i> dengan memperhitungkan kondisi elastis struktur.</p>	<p>Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai <i>stress ratio</i> yang berbeda yaitu sebesar 0,547 pada metode ELM dan sebesar 0,480 pada metode DAM. Sementara perbandingan <i>stress ratio</i> dari kedua metode tersebut sebesar 6,7%. Dimana dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa metode DAM menghasilkan nilai kapasitas profil yang lebih besar dibandingkan metode ELM, sehingga profil yang digunakan lebih hemat. Serta secara umum metode desain dalam SNI 1729:2002 berbeda dengan metode desain dalam SNI 1729:2015 terutama pada bagian desain komponen struktur untuk tekan, lentur, dan sambungan.</p>	<p>Dari penelitian ini didapatkan nilai perbandingan <i>stress ratio</i> yang bervariasi antara 0,1 hingga 8,9 persen. Metode DAM memiliki nilai <i>stress ratio</i> yang relatif lebih kecil dengan nilai yang bervariasi dari 0,416 hingga 0,904 dibanding metode ELM yang memiliki nilai <i>stress ratio</i> relative lebih besar dengan nilai antara 0,457 hingga 0,910. Metode DAM menghasilkan kapasitas profil yang lebih tinggi dan metodenya yang lebih efektif serta merupakan metode perencanaan stabilitas struktur yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode ELM.</p>	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Struktur Atap

Struktur atap merupakan komponen penting dalam suatu bangunan yang berfungsi sebagai penopang beban dari atap yang selanjutnya akan disalurkan ke bagian-bagian struktur lain yang terletak di bawahnya. Struktur atap sendiri terbagi menjadi 2 bagian yaitu berupa rangka atap dan penopang rangka atap. Berdasar pembagian tersebut, maka kita pun mengenal istilah kuda-kuda, gording, kaso dan juga reng. Gording, kaso dan reng berfungsi sebagai pembentuk rangka atap tersebut dan nantinya akan menyalurkan beban-beban yang terjadi ke struktur lainnya yang terletak di bawahnya. Sementara kuda-kuda, berfungsi sebagai penopang rangka atap yang berguna sebagai penerima dan penahan beban dari rangka atap yang nantinya akan disalurkan ke struktur yang terletak di bawahnya.

Sistem struktur atap sendiri memiliki beberapa prinsip. Berikut merupakan prinsip-prinsip yang terdapat pada struktur rangka atap:

1. Rangka atap selalu berbentuk segitiga atau kombinasinya.
2. Batang dianggap lurus dan hanya dapat menerima beban aksial berupa gaya tarik maupun gaya tekan, dimana gaya batang yang terjadi hanya bekerja di sepanjang sumbu.
3. Joint pada rangka atap menghubungkan tiap batang yang dianggap sebagai sendi, sehingga tidak ada momen yang terjadi pada joint.
4. Beban yang terjadi hanya bekerja pada joint.

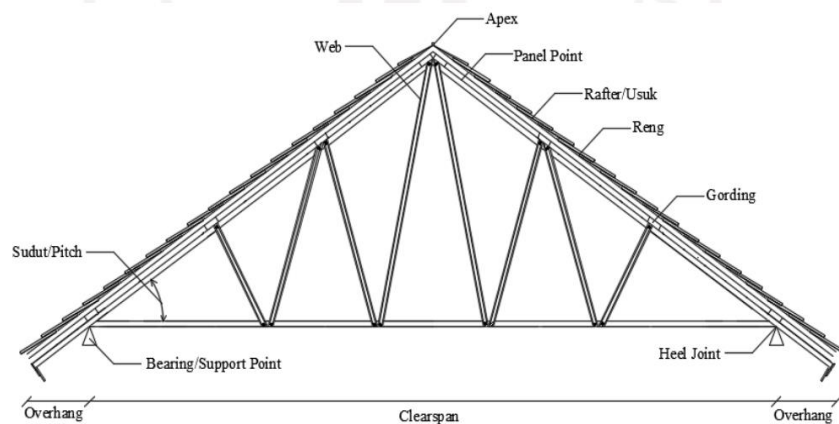
Beban aksial yang diterima oleh struktur rangka nantinya akan diterima oleh 2 jenis batang yaitu batang tarik dan batang tekan.

3.1.1 Rangka atap

Rangka atap difungsikan sebagai penahan beban dari bagian penutup atap karena itu pada umumnya rangka atap terdiri dari beberapa susunan baja atau kayu yang disusun secara tegak lurus dan memanjang. Terdapat

satu istilah yang dikenal sebagai pengaruh eksentrisitas pada struktur rangka atap, hal tersebut merupakan suatu kondisi dimana tiap batang sambungan saling *over-lapping* satu sama lain, sehingga sumbu tidak segaris (Dewobroto 2006). Akibat adanya eksentrisitas yang terjadi, batang baut akan mengalami gaya geser yang ditimbulkan oleh momen sebidang yang dihasilkan dari eksentrisitas tersebut, sementara gaya tekan akan terjadi pada tepi lubang, hal tersebut diakibatkan karena terdapat kontak tumpu dari batang baut.

Secara umum komponen penyusun rangka atap dapat dibagi menjadi 3 bagian utama berupa penutup atap, gording, dan rangka kuda-kuda. Rangka atap juga terdiri dari beberapa komponen lain yang dapat dilihat pada



Gambar 3.1 sebagai berikut.

Gambar 3. 1 Komponen Penyusun Rangka Atap

3.2 Baja

Baja merupakan logam murni yang terdiri dari unsur campuran berupa Ferro (Besi) serta sedikit zat arang(C), Silisium (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Belerang (S), dan lain-lain. Baja merupakan suatu bahan yang unik karena memiliki keteguhan yang keras serta ke-liatannya, titik leleh baja sebesar $1460^{\circ}\text{C} - 1520^{\circ}\text{C}$, sementara berat jenisnya sebesar 7850 kg/m^3 dengan angka pemuaiannya yang mencapai angka 0,000012 setiap 1°C

(Daryanto, 1998). Baja memiliki beberapa kelebihan di antaranya adalah sebagai berikut :

1. Memiliki kekuatan yang cukup tinggi
2. Ukuran batang relatif kecil jika dibanding dengan bahan konstruksi yang lain
3. Sangat baik digunakan untuk bentang berukuran panjang
4. Mudah dibongkar dan juga cenderung ringan
5. Pengangkutan elemen struktur mudah dikerjakan.

Jika baja memiliki kelebihan maka bahan konstruksi tersebut pun memiliki kekurangan, berikut beberapa kekurangan baja seperti di bawah ini:

1. Ukuran penampang yang relatif kecil, sehingga angka kelangsingannya tergolong besar dan dapat mengakibatkan bahaya pada tekuk
2. Kurang tahan terhadap suhu tinggi
3. Pemeliharannya harus konsisten, dan memerlukan biaya perawatan yang besar.

3.2.1 Sifat mekanik baja

Sifat mekanik baja merupakan kemampuan baja dalam menahan serta melawan apabila diberikan pembebanan tertentu. Dengan kekuatan tarik yang terbilang tinggi maka sifat mekanik baja mampu didapatkan melalui pengujian tarik baja. Pengujian tersebut akan menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang dapat dihitung menggunakan rumus tertentu.

Tegangan merupakan besarnya gaya yang bekerja di setiap satuan luas penampang tersebut. Tegangan dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.

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

Keterangan

σ = Tegangan (Mpa)

P = Beban/Gaya aksial (N)

A = Luas penampang (mm^2)

Regangan merupakan perubahan ukuran pada benda yang diakibatkan oleh adanya perbandingan nilai antara gaya dalam keseimbangan terhadap ukuran semula. Regangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.2.

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

Keterangan:

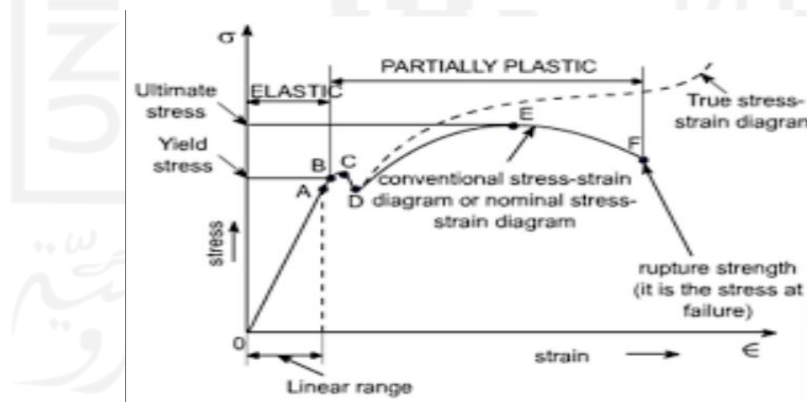
ε = regangan

ΔL = Pertambahan panjang (mm)

L = Panjang akhir (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Hubungan tegangan-regangan dapat diketahui melalui diagram tegangan dan regangan. Diagram tersebut memberikan informasi terkait sifat dan perilaku dari suatu bahan konstruksi. Diagram hubungan tegangan-regangan dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Diagram Hubungan Tegangan-Regangan Baja

(sumber : Joshi, 2018)

Berdasarkan diagram tersebut hubungan tegangan-regangan baja berawal dari titik 0 kemudian diteruskan dengan garis lurus menuju titik A. Garis tersebut merupakan daerah proporsional dimana terjadinya

penambahan nilai tegangan baja yang diikuti oleh penambahan regangan bajanya secara proporsional dan linear. Titik A merupakan batas proporsional baja dimana pada kondisi ini terdapat tegangan maksimum dan tidak memberikan perubahan bentuk apabila diberikan pembebanan. Dari Titik O sampai dengan titik A merupakan batas elastis baja yang merupakan daerah dimana baja akan kembali ke bentuk semula apabila tegangannya dihilangkan. Apabila nilai tegangan yang diberikan terus meningkat sampai melewati batas elastisnya, maka nilai regangannya akan ikut meningkat secara lebih cepat pada setiap pertambahan tegangan yang diberikan serta baja tidak akan kembali ke bentuk awalnya. Deformasi akan terus terjadi meskipun tidak dilakukan penambahan beban karena titik A di sini sebagai batas. Selanjutnya kurva tersebut akan mengalami kemiringan yang berangsur-angsur semakin kecil hingga mencapai titik B.

Sementara pada titik B hingga titik C kurva akan membentuk garis horizontal yang relatif panjang. Garis horizontal tersebut menunjukkan bahwa daerah ini terdapat nilai regangan yang relatif panjang serta tidak mengalami kenaikan gaya tarik. Titik B merupakan titik luluh, maka daerah B-C merupakan daerah luluh atau daerah plastis sempurna dimana deformasi akan terus terjadi meskipun tidak terdapat kenaikan beban. Nilai tegangan yang mengakibatkan baja dalam kondisi luluh dinamakan tegangan luluh (*yield stress*).

Akibat adanya pertambahan nilai regangan yang cukup panjang di daerah B-C, baja selanjutnya akan mengalami kondisi pengerasan regang (*strain hardening*). Pada kondisi ini baja membutuhkan kenaikan beban tarik, sehingga nantinya akan membentuk kurva dengan nilai kemiringan positif yang dimulai dari titik C hingga mencapai titik maksimumnya di titik D. Pada titik D akan muncul nilai tegangan ultimit dimana tegangan tersebut merupakan nilai tegangan maksimum yang mampu ditanggung oleh baja. Kondisi patah akan terjadi pada titik E dimana setelah baja mencapai titik maksimumnya di titik D baja akan mengalami penciutan atau proses *necking*

dimana nilai tegangan akan menurun secara perlahan sampai pada kondisi patah (*fracture*).

3.3 Batang Tekan

Batang tekan terdapat pada komponen struktur yang memikul beban tekan sentris yang bekerja tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial saja. Anggapan tersebut bisa terbilang ideal, karena pada umumnya pasti akan terdapat eksentrisitas oleh ketidak-lurusan batang, maupun oleh ketidak-tepatan pembebanan, serta adanya momen yang disebabkan oleh kekangan dari tumpuannya. Namun apabila besaran momen relatif kecil maka dapat diabaikan, dan dapat digunakan prosedur desain berikut. Batang tekan biasanya ditempatkan pada konfigurasi geometri dengan pola bentuk segitiga supaya tetap stabil. Jenis struktur yang secara keseluruhan terbentuk dalam pola segitiga biasanya disebut struktur *truss* atau rangka batang.

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

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

Keruntuhan batang tekan dapat diklasifikasikan menjadi 2 kategori, yaitu :

1. Keruntuhan yang terjadi akibat dari nilai tegangan lelehnya sudah terlampaui. Hal tersebut dapat terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*) dan penampangnya kompak. Penampang kompak merupakan penampang yang memiliki rasio kelangsingan atau rasio

lebar terhadap tebal (*bit*) yang kecil sehingga penampang tersebut tidak mengalami tekuk setempat (*local buckling*).

2. Keruntuhan akibat tekuk (*buckling*). Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*). Kegagalan tekuk dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu tekuk lokal dan tekuk total (*overall buckling*); Tekuk total (*overall buckling*), batang tekan mengalami tekuk total bila penampang batang kompak dan langsing (KL/r besar). Tekuk lokal (*local buckling*), batang yang mengalami tekuk lokal memiliki penampang yang tidak kompak dan elemen penampangnya langsing (rasio *bit* besar). (Kusuma, 1983).

3.3.1 Kelangsingan

Batang tekan yang berukuran pendek tidak akan mengalami tekuk, apabila diberikan beban aksial tekan tanpa eksentrisitas, tegangan bertambah dan mampu mencapai kondisi leleh. Perilakunya sama seperti batang tarik, besar kekuatannya tergantung dari luas penampangnya, namun bentuknya tidak mempengaruhi apapun. Hal tersebut berbeda dengan batang tekan yang langsing, apabila diberi pembebanan dengan beban yang sama, sebelum kondisi leleh bisa terjadi tekuk, yang ditandai oleh adanya perpindahan lateral, seperti efek lentur balok yang besar pada kondisi konstan.

Nilai kelangsingan suatu kolom dapat dinyatakan melalui suatu rasio yang disebut rasio kelangsingan. Rasio kelangsingan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = \sqrt{\frac{KL}{r}} \quad (3.3)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

λ = rasio kelangsingan

K = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

L = panjang struktur tekan yang tidak ditopang (mm)

r = jari-jari putaran (radius of gyration) potongan lintang komponen struktur tekan. (mm)

I = momen inersia penampang struktur tekan (mm⁴)

A = luas penampang struktur tekan (mm²)

Besaran KL/r dibatasi pada angka 200 untuk elemen struktur tekan. Harga KL/r yang memisahkan tekuk elastis (perilaku kolom panjang) dari tekuk inelastis (perilaku kolom pendek) ditentukan secara sembarang sebagai harga dimana tegangan tekuk Euler (f_e) sama dengan $F_y / 2$. Harga KL/r ini disebut C_c dapat dilihat pada gambar 3.3 ditentukan sebagai berikut:

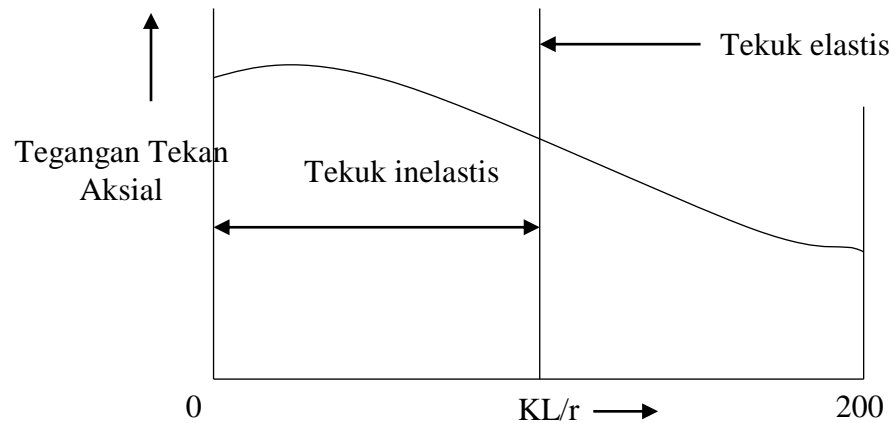
$$C_c = \sqrt{\frac{KL}{r}} = \sqrt{\frac{2\pi r^2}{F_y}} \quad (3.5)$$

Keterangan:

C_c = batas tekuk elastis

E = modulus elastisitas (MPa)

F_y = tegangan leleh (MPa)



Gambar 3. 3 Kurva Tegangan Tekan Aksial dengan Nilai KL/r

3.3.2 Keruntuhan akibat tegangan leleh terlampaui

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

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam kegagalan ini adalah luas penampang dari batang tekan tersebut (Charles G. Salmon dan Johnson, 1992). Semakin besar nilai luas penampang melintang batang maka besaran kapasitas tekannya akan semakin tinggi, sehingga resiko keruntuhan dapat diminimalisir dan sebaliknya. Berdasarkan SNI 1729-2015 nilai kuat tekan dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (3.6)$$

Keterangan:

- P_n = Kuat tekan (kN)
 F_{cr} = Tegangan aksial kritis (MPa)
 A_g = luas penampang gross (mm^2)

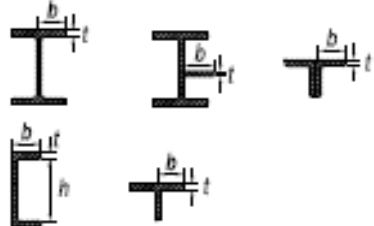

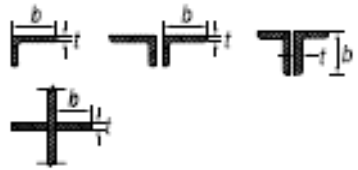
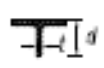
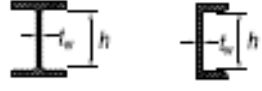

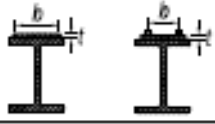


3.3.3 Klasifikasi penampang dan tekuk

Berdasarkan tempat kejadian dan solusi penyelesaiannya, maka perilaku tekuk dapat dibagi menjadi 2, yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Solusi penyelesaian masalah akibat adanya tekuk lokal lebih kompleks dibandingkan tekuk global, yang terakhir ini sudah dirumuskan oleh Euler (1757), dan dapat dijadikan pengetahuan dasar dalam perancangan kolom untuk berbagai *design-code* di dunia. Apabila terjadi tekuk lokal, selain penyelesaiannya yang terbilang rumit, pemakaian penampangnya akan tidak efisien karena terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh).

Agar kekuatan strukturnya bisa optimal, maka resiko tekuk lokal harus dihindari. Maka dari itu perlu dibuat klasifikasi sesuai jenis penampangnya, yaitu tidak langsing dan langsing. Hal tersebut dilakukan melalui evaluasi nilai rasio lebar-tebal (b/t) dari setiap elemen pada penampang. Elemen-elemen tersebut dibagi berdasarkan kondisi kekangannya, apakah kedua sisinya tersambung ke elemen lain; atau masih ada sisi yang bebas. Nilai b/t setiap elemen profil penampang selanjutnya dibandingkan dengan nilai batas rasio bit dari Tabel 3.1.

Masing-masing elemen penampang perlu ditinjau, jika semua elemen tidak melebihi nilai batas rasio b/t di Tabel 3.1, maka penampang diklasifikasikan sebagai penampang tidak langsing (ideal) begitupun sebaliknya.

Tabel 3. 1 Klasifikasi Elemen Pada Batang Tekan Aksial

Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_c (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1	b/t	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	b/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	b/t	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	d/t	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5	h/t_w	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	b/t	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	b/t	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	D/t	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

(Sumber: AISC 2010)

Tabel 3.1 mengklasifikasikan profil penampang batang menjadi tidak langsing dan langsing. Struktur akan efisien jika penampangnya tidak langsing, karena tidak ada resiko tekuk lokal yang terjadi pada struktur

tersebut. Solusi penyelesaian AISC (2010) untuk batang tekan dengan klasifikasi langsing, juga sekadar memberikan faktor reduksi, sehingga beban kritis yang terjadi terhadap tekuk lokal tidak tercapai terlebih dahulu. Jadi pada dasarnya strategi perencanaan batang tekan AISC (2010) adalah berdasarkan pada kondisi tekuk global.

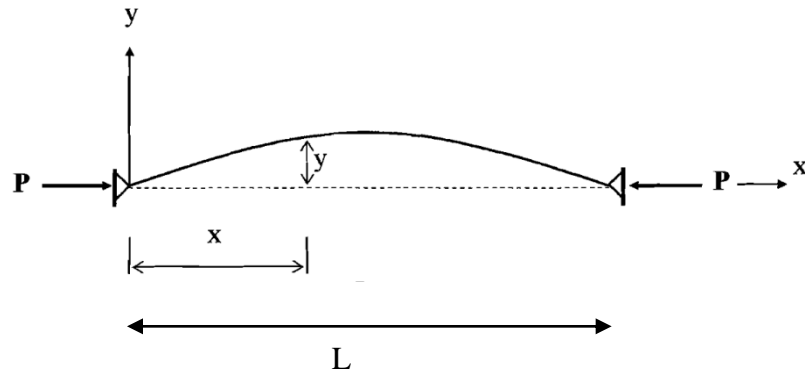
Pada keruntuhan akibat tekuk global dapat terjadi dalam keadaan elastis maupun inelastis.

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. (Padosbajayo, 1992).

Menurut persamaan Euler yang dikemukakan oleh Charles G. 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 diurai secara matematis oleh Euler. Pada sebuah batang lurus yang ujung-ujungnya bertumpuan sendi dikerjakan sebuah gaya tekan P , akibatnya batang akan melengkung seperti pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Batang Tertekan

Di satu titik dengan jarak sebesar x , Momen lentur M_x yang bekerja terhadap sumbu x pada batang yang sedikit melengkung (batang tertekan) sebesar:

$$M_x = P \times Y \quad (3.7)$$

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

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{Mx}{EI} \quad (3.8)$$

Persamaan diferensialnya menjadi

$$\frac{d^2y}{dz^2} + \frac{P}{EI}y = 0 \quad (3.9)$$

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

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (3.10)$$

Bila persamaan (3.11) dibagi dengan luas penampang batang A, maka

$$F_e = \frac{\pi^2 EI}{AKL^2} \quad (3.11)$$

Dimana I merupakan inersia bahan, $I = A_i$ atau $i = I/A$, maka diperoleh tegangan tekan kritis Euler seperti terlihat pada Persamaan (3.12) berikut:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{KL/r^2} \quad (3.12)$$

Keterangan:

- E = modulus elastisitas baja (MPa)
- r = jari-jari inersia minimum (mm)
- L = panjang tekuk (mm)

Mengacu kepada persamaan di atas, terlihat bahwa besaran kekuatan batang tekan berbanding terbalik dengan nilai kuadrat kelangsingan-nya (KL/r). Semakin besar nilai kelangsingan elemen tekan-nya maka nilai tegangan kritisnya akan semakin kecil, sehingga nilai beban yang dapat mengakibatkan elemen tekan mengalami tekuk akan semakin kecil.

2. Tekuk Inelastis

Struktur kolom umumnya mengalami tekuk dalam keadaan sebagian penampangnya elastis dan bagian lain-nya lagi tidak elastis. Kondisi tekuk batang pada keadaan tersebut dinamakan tekuk tidak elastis (*inelastic buckling*). Banyak teori tekuk inelastis, salah satu diantaranya adalah Tangen modulus theory yang diperkenalkan oleh Engesser (Charles G. Salmon dan Johnson, 1992). Berdasarkan teori tersebut, nilai tegangan kritis kolom dinyatakan melalui persamaan 3.13 berikut.

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 Et}{KL/r^2} \quad (3.13)$$

E_t merupakan nilai modulus tangent yang besarnya selalu berubah-ubah dan nilainya lebih kecil dibanding modulus elastis. Karena $E_t < E$, maka tegangan kritis yang didapatkan melalui persamaan tersebut selalu lebih kecil dibanding persamaan yang lain, dimana persamaan tersebut menginformasikan bahwa nilai tegangan kritis batang tekan berbanding terbalik dengan kuadrat kelangsingannya, serta semakin langsing suatu batang maka nilai tegangan kritisnya akan semakin kecil. Persamaan di atas berlaku pada batang tekan yang elemen-elemen penampangnya tidak mengalami tekuk lokal.

3.4 *Direct Analysis Method*

Analisis stabilitas baja umumnya diperlukan terhadap perencanaan struktur baja yang umumnya pada kondisi langsing. Hal tersebut akan mengakibatkan perencanaan struktur baja dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor *imperfection (non-linear geometric)* serta faktor kondisi inelastis (*non-linear material*). Karena keadaan non-linear tersebut, maka analisisnya harus dilaksanakan secara *incremental* dan iterasi. Dengan dukungan teknologi komputer yang semakin canggih serta mampu dijangkau banyak kalangan, analisis non-linier sudah tidak menjadi kendala lagi. Berbagai jenis analisis berbasis komputer mulai dikembangkan seperti analisis tekuk elastis, analisis elastis orde ke-2, analisis plastis, analisis elastis-plastis, serta analisis inelastis orde ke-2, yang dikenal dengan *Advance Analysis*. Pada analisis struktur di zaman modern, berbagai jenis analisis tersebut pada umumnya sudah tersedia dan dapat digunakan sebagai opsi.

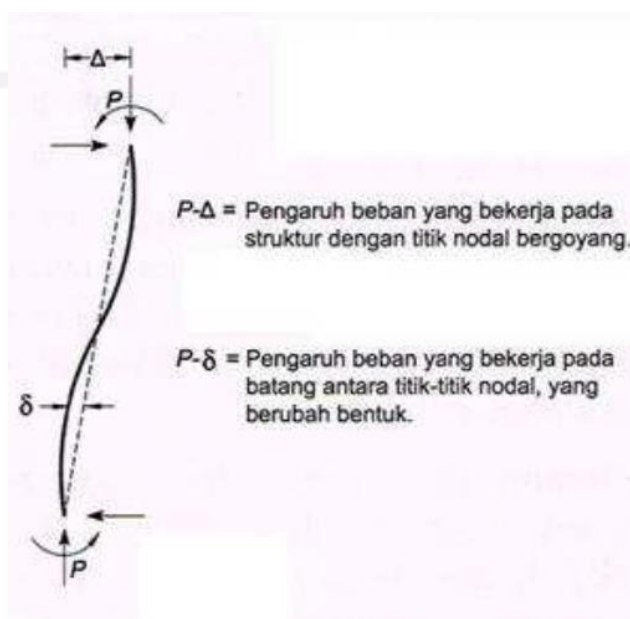
Semakin canggih jenis analisisnya maka semakin banyak data yang diperlukan, sehingga hal tersebut membutuhkan pemahaman atau kompetensi tertentu agar menghasilkan analisis yang efektif. Apabila menggunakan *Advance Analysis* maka hasilnya pun akan mencukupi dalam analisis stabilitas struktur baja. Namun, apabila digunakan dalam perencanaan struktur baja secara konvensional yang bukan merupakan riset,

maka hal itu tidak diperlukan karena tidak praktis dan kurang efektif. Hal tersebut dikarenakan adanya pertimbangan dari segi bisnis dimana dalam kondisi seperti itu tidak memerlukan kerja yang banyak untuk menghasilkan keuntungan yang banyak pula.

Direct Analysis Method (DAM) diciptakan untuk mengatasi keterbatasan yang terdapat pada *Effective Length Method* (ELM) dimana metode tersebut merupakan strategi penyederhanaan analisis yang dilakukan secara manual (Wiryanto, 2015). Tingkat akurasi DAM mampu diandalkan karena metode tersebut sudah berbasis komputer, dan terdapat beberapa persyaratan program analisis struktur yang digunakan, seperti :

1. Deformasi tiap komponen-komponen struktur serta sambungan-nya dapat diperhitungkan, dimana deformasi tersebut mempengaruhi deformasi strukturnya secara keseluruhan. Deformasi tiap komponen yang dimaksud berupa deformasi akibat lentur, aksial dan geser. Menurut Dewobroto (2013), persyaratan ini cukup mudah, dan hampir sebagian besar program komputer analisa struktur berbasis metode matriks kekakuan, apalagi metode elemen hingga yang merupakan algoritma dasar analisa struktur berbasis komputer dan sudah memperhitungkan pengaruh deformasi pada elemen formulasinya.
2. Pengaruh *orde ke- 2* ($P\Delta$ & $P-\delta$) perlu diperhitungkan dalam melakukan analisis gaya-gaya internal batangnya. Meskipun dalam beberapa kesempatan hasilnya masih bisa berbeda satu sama lain, secara umum program komersil mampu digunakan dalam pengerjaan analisis struktur orde ke-2. Oleh karena itu, verifikasi terhadap kemampuan program yang digunakan perlu dilakukan untuk mencari nilai *error* yang terjadi yang diakibatkan oleh kesalahan program. Ketidak-sempurnaan tersebut biasanya diakibatkan oleh kemampuan program yang hanya dapat memperhitungkan pengaruh nilai $P-\Delta$ -nya saja, sementara nilai $P-\delta$ -nya tidak diperhitungkan. Sementara itu, definisi $P-\Delta$ sendiri merupakan besaran pengaruh beban yang bekerja akibat adanya perpindahan titik di tiap nodal elemen, sedangkan $P-\delta$

merupakan besaran pengaruh beban akibat adanya deformasi yang terjadi di setiap elemen (diantara dua titik nodal), seperti yang terdapat pada Gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3. 5 Pengaruh Orde ke-2

(sumber: AISC, 2010)

3.4.1 Pengaruh cacat bawaan (*Initial Imperfection*)

Ada asumsi bahwa setiap perhitungan gaya batang dihasilkan dari analisis struktur elastis orde ke-2, yang memenuhi kondisi seimbang setelah adanya pembebanan akibat dari deformasi. Hal tersebut lah yang melatarbelakangi adanya perhitungan stabilitas struktur modern. Efek *destabilizing* dapat terjadi karena adanya ketidak-sempurnaan dari elemen struktur, seperti ketidak-lurusan batang karena proses fabrikasi maupun adanya nilai toleransi dalam pelaksanaan lapangan. Sementara itu terdapat beban lateral yang bekerja di titik nodal pada setiap level tertentu. Hal tersebut didasari oleh nilai persentase beban vertikal yang bekerja di setiap level, dan diteruskan ke sistem struktur penahan beban gravitasi melalui rangka maupun kolom vertikal, atau dinding yang difungsikan sebagai

simulasi pengaruh adanya cacat bawaan (*initial imperfection*). Beban lateral yang bekerja dalam kondisi tersebut dikenal sebagai beban *notional*.

Beban *notional* harus diberikan bersamaan dengan beban lateral yang lain di seluruh kombinasi, kecuali dalam kasus khusus yang memenuhi kriteria pada Section 2.2b(4) (AISC, 2010). Besarnya beban *notional* yang bekerja dapat dihitung dengan persamaan yang terdapat pada AISC 2010 berikut ini.

$$N_i = 0.002 Y_i \quad (3.14)$$

Keterangan:

N_i = beban *notional* di level i (kN)

Y_i = beban gravitasi di level i hasil beban kombinasi LRFD (kN)

Oleh karena itu, *notional load* diatur dan ditempatkan sedemikian rupa agar hasil akhir kombinasinya tidak menjadi lebih ringan. Hal tersebut dilakukan karena *notional load* merupakan beban yang diperlukan dalam permodelan ke-tidaksempurnaan.

3.4.2 Penyesuaian Kekakuan

Pelemahan kekuatan pada saat mendekati kondisi batas disebabkan karena, terdapat leleh setempat (*partial yielding*) yang terjadi akibat dari tegangan sisa di profil baja (*hot rolled* atau *welded*). Dalam kondisi tersebut, efek *destabilizing* pada akhirnya dapat terjadi seperti pada kondisi *geometrical imperfection*. Karena itu, penyesuaian struktur pada *Direct Analysis Method* (DAM) harus dilakukan dengan memperhitungkan faktor reduksi kekakuannya untuk mengatasi kondisi tersebut. Menurut Galambos (1998), nilainya dapat didapat melalui cara kalibrasi dengan membandingkannya dengan analisa distribusi plastisitas maupun hasil uji tes empiris.

Persamaan modulus elastisitas setelah disesuaikan dengan nilai faktor reduksi kekakuan:

$$EI^* = 0.8 \tau_b EI \quad (3.15)$$

Keterangan:

τ_b = Kekakuan lentur

EI^* = Modulus elastisitas setelah reduksi (Nmm^2)

EI = modulus elastisitas (Nmm^2)

Faktor τ_b mirip dengan reduksi kekakuan inelastis kolom akibat hilangnya kekakuan batang.

Jika besaran gaya tekannya lebih besar dibandingkan setengah dari nilai kuat tekuk lentur-nya ($P_r > 0.5 P_y$) maka persamaan yang dipakai adalah:

$$\tau_b = 4 \frac{P_r}{P_y} \left(1 - \frac{P_r}{P_y}\right) \quad (3.16)$$

Keterangan:

P_r = Gaya tekan hasil perlu kombinasi LRFD (kN)

P_y = Kuat tekuk lentur (kN)

Penggunaan nilai reduksi kekakuan hanya berlaku dalam perhitungan kondisi batas kekuatan dan stabilitas struktur baja, serta tidak diaplikasikan dalam perhitungan *drift* (pergeseran), lendutan, vibrasi dan penentuan periode getar.

3.4.3 Kuat nominal penampang

Perhitungan kuat struktur nominal pada *Direct Analysis Method* (DAM), menggunakan prosedur yang sama seperti *Effective Length Method* (ELM), yaitu dimana prosesnya menggunakan faktor K yang konstan pada kelangsingan batang (KL/r) dengan nilai $K=1$.

Penentuan tekuk global ditentukan oleh besaran nilai kelangsingan elemen penampang dan bentuknya. Tekuk global maupun tekuk lokal dapat

terjadi tergantung klasifikasi penampangnya. Apabila klasifikasi penampangnya tidak langsing maka tidak akan terjadi tekuk lokal, begitupun sebaliknya apabila klasifikasi penampangnya langsing, maka akan beresiko tekuk lokal terlebih dahulu.

Pengaruh orde ke-2 dalam *Direct Analysis Method* terdapat pada batang tekannya, dimana batang tekan akan menghasilkan gaya tekan serta *bending moment* akibat dari gaya yang bekerja pada batang antara 2 nodal yang berubah bentuk seperti yang terdapat dalam Gambar 3.5. Maka dari itu, interaksi lentur dan gaya tekan diperlukan pada komponen struktur simetris ganda dan komponen simetris tunggal yang melentur terhadap sumbu geometris h dan/atau y serta harus dibatasi oleh persamaan 3.6 dan 3.7 yang terdapat pada SNI 1729-2020 dalam sub-bab “Komponen Struktur Simetris Ganda dan Tunggal yang Memikul Lentur dan Gaya Aksial”, sebagai berikut:

$$\text{apabila } \frac{Pr}{Pc} \geq 0,2$$

$$\frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \quad (3.17)$$

$$\text{apabila } \frac{Pr}{Pc} \leq 0,2$$

$$\frac{Pr}{Pc} + \left(\frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0 \quad (3.18)$$

Keterangan:

Pr = Kekuatan aksial perlu (kN)

Pc = Kekuatan aksial tersedia (kN)

Mr = Kekuatan lentur perlu (kN.mm)

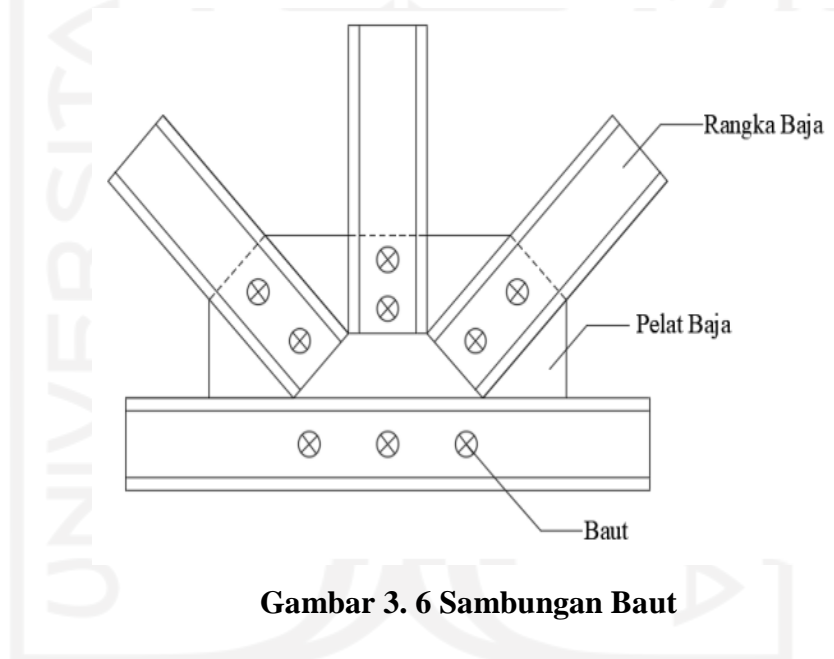
Mc = Kekuatan lentur tersedia (kN.mm)

x = Indeks sehubungan dengan lentur sumbu mayor

y = Indeks sehubungan dengan lentur sumbu minor

3.5 Sambungan Rangka Baja

Sambungan pada setiap elemen struktur yang diaplikasikan pada struktu baja berupa sambungan yang menggunakan baut. Apabila elemen yang digunakan semakin tebal maka diameter baut yang diperlukan akan semakin besar. Elemen penyambung yang digunakan berupa pelat baja dengan tebal dan luasan pelat tertentu. Sementara itu, bentuk dari tiap sambungan baut pada elemen struktur rangka baja dapat dilihat pada Gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3. 6 Sambungan Baut

Desain sambungan rangka baja mempunyai prinsip bahwa sistem sambungannya harus lebih kuat dibandingkan elemen yang disambung. Sistem sambungan akan dievaluasi sebagai sambungan baut tipe geser dengan mekanisme tumpu, dan dianggap memenuhi syarat jika kekuatannya lebih besar dari batang tarik atau tekan tergantung dari batang tersebut terdapat kuat tarik atau tekan. Analisis yang diperlukan pada sambungan rangka baja berupa analisis kuat tumpu profil, kuat geser baut dan kuat geser blok.

3.5.1 Kuat tumpu baut

Kuat tumpu pelat sambungan memperhitungkan pengaruh besaran deformasi yang terjadi. Jika nilai deformasi mempengaruhi fungsi struktur sehingga kekuatannya perlu dibatasi, maka dapat digunakan persamaan 3.19 dengan mengambil nilai terkecil seperti di bawah ini:

$$R_n = 1,2lctFu \leq 2,4dtFu \quad (3.19)$$

Jika terjadi deformasi pada sambungan yang dianggap tidak mempengaruhi fungsinya, maka kuat tumpu ditingkatkan dengan menggunakan nilai terkecil dari persamaan 3.20 berikut:

$$R_n = 1,5lctFu \leq 3dtFu \quad (3.20)$$

Untuk kuat tumpu dengan lubang baut tipe slot panjang yang arahnya tegak lurus terhadap arah gayanya, maka kekuatannya berkurang dan dapat dihitung dengan persamaan 3.21 berikut:

$$R_n = 1lctFu \leq 2dtFu \quad (3.21)$$

Keterangan:

R_n = Kuat tumpu lubang baut (N)

d = Diameter baut (mm)

lc = Jarak bersih (mm)

F_u = tegangan tarik (Mpa)

t = Ketebalan material yang disambung (mm)

3.5.2 Kuat geser baut

Kuat geser per satu baut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.22 di bawah ini:

$$R_n = F_n v A_b \quad (3.22)$$

Keterangan:

R_n =Kuat geser desain (N)

F_{nv} = Tegangan geser nominal baut (Mpa)

A_b = Luasan baut (mm^2)



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum

Studi eksperimental ini dilakukan untuk membandingkan kekuatan rangka baja yang dianalisis menggunakan *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020 terhadap hasil pengujian di laboratorium. Pada studi eksperimental ini benda uji yang digunakan berupa struktur rangka atap baja profil hollow yang memiliki kelangsingan (KL/r) batang tekan dengan kategori kelangsingan tinggi. Adapun variasi benda uji pada studi eksperimental ini terletak pada penggunaan ragam jumlah baut sambungan.

Secara umum terdapat pengujian pendahuluan dan utama. Pengujian pendahuluan berupa uji tarik pelat baja, dan uji geser baut, sementara pengujian utama berupa uji rangka atap baja *hollow square section* plat sambung tunggal dengan variasi 1 baut dan 3 baut. Setelah dilakukan pengujian, data yang dihasilkan dari pengujian tersebut selanjutnya akan dianalisis dan dibandingkan antara hasil analisis metode *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020 dengan hasil uji laboratorium, sehingga, bisa dilakukan penarikan kesimpulan yang berupa pengaruh jumlah baut sambungan terhadap nilai akurasi kekuatan rangka baja yang dianalisis dengan *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020 terhadap hasil uji laboratorium.

4.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan segala bentuk karakteristik umum yang akan diidentifikasi oleh peneliti yang dapat diukur maupun dimodifikasi dalam objek studi eksperimental guna dipahami dan dipelajari guna mengumpulkan informasi yang relevan tentang topik pembahasan. Sementara itu pada penelitian ini terdapat dua variabel yang berupa:

1. Variabel bebas (*independent variable*) dalam studi eksperimental ini berupa jumlah baut dalam benda uji rangka atap yang dalam studi ini menggunakan 1 baut pada bagian sambungannya. Selain itu, metode analisis yang berupa *Direct Analysis Method* juga termasuk variabel bebas pada studi ini.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) pada studi eksperimental ini berupa metode analisis *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020, ratio kelangsingan batang tekan (KL/r) = 185 yang dalam hal ini termasuk ke dalam kategori kelangsingan tinggi. Selain itu, penggunaan profil *hollow square section* serta penggunaan pelat tunggal pada tiap sambungannya juga termasuk dalam variabel terikat.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang akan dilakukan dalam studi eksperimental ini berupa:

1. Data primer
Dalam studi eksperimental ini, data primer yang digunakan berupa data yang diperoleh dari hasil pengujian. Sementara data yang dimaksud berupa data dari hasil pengujian kuat tarik plat baja *hollow*, pengujian geser baut, pengujian tekan struktur rangka atap *hollow square section*, serta nilai lendutan yang terjadi pada batang tekan struktur rangka atap *hollow square section*.
2. Data sekunder
Data sekunder merupakan data yang bisa dihasilkan dari bermacam sumber seperti media ataupun sumber literasi lain, di dalamnya meliputi yang sudah dipublikasikan maupun yang tidak. Sementara itu, data sekunder yang dipakai dalam studi eksperimental ini berupa *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020 dan nantinya akan digunakan sebagai pembandingan terhadap studi eksperimen yang dilakukan di laboratorium.

4.4 Bahan-Bahan yang Digunakan

Penggunaan profil baja kotak dengan ukuran tebal 1,6 mm, lebar 30 mm dan tinggi 15 mm, mur baut $\text{\O}10$ mm, dan pelat sambung berukuran 6 mm sebagai bahan dalam studi eksperimental ini dimaksudkan guna mencapai maksud dan tujuan.



Gambar 4. 1 Baja Profil *Hollow Square Section* 15 x 30 x 1,6 mm



Gambar 4. 2 Mur Baut $\text{\O}10$ mm



Gambar 4. 3 Plat Baja Tebal 6 mm

4.5 Peralatan Penelitian

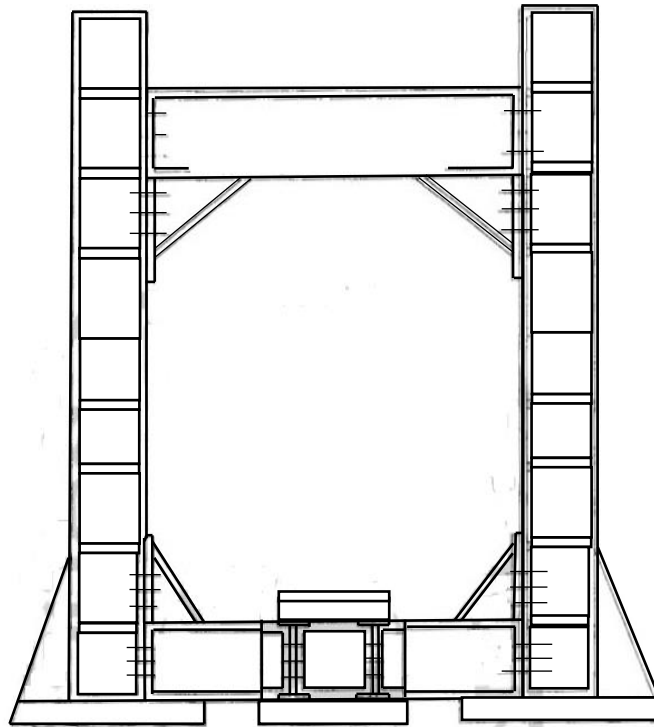
Peralatan dalam studi eksperimental yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. *Alat Ukur*

Alat ukur diperlukan dalam pengukuran dimensi rangka atap dan pengukuran dimensi lendutan yang terjadi akibat dari pembebanan secara berkala.

2. *Loading Frame*

Loading frame diperlukan sebagai tempat benda uji diletakkan dalam studi eksperimental ini. *Loading frame* tersebut terdiri dari bahan profil WF 450x200x9x14.



Gambar 4. 4 Loading Frame

3. *Hydraulic Jack*

Hydraulic jack diperlukan sebagai alat yang memberi pembebanan terhadap benda uji dalam proses uji lentur pada kuda-kuda rangka atap. Sementara *hydraulic jack* yang dipakai dalam penelitian memiliki kapasitas maksimum beban 30 ton.



Gambar 4. 5 Hydraulic Jack

4. *Strain Gauge*

Strain gauge diperlukan sebagai alat ukur regangan tekan dan regangan lentur pada batang tekan dari rangka atap yang akan terjadi pada saat pengujian. Dalam penelitian ini, *strain gauge* yang digunakan memiliki kapasitas regangan maksimum sebesar 2%.



Gambar 4. 6 Strain Gauge

5. Dukungan rol dan sendi

Dukungan rol dan sendi diperlukan sebagai pembuat model rangka atap sederhana yang sama dengan yang ada di lapangan dan juga sebagai pencegah terjadinya gesekan antara benda uji dengan *loading frame* pada proses pengujian.

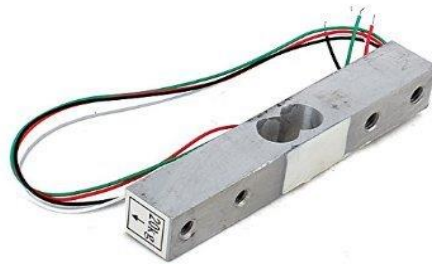


Gambar 4. 7 Dukungan Rol dan Sendi

6. *Load cell*

Load cell diperlukan sebagai alat pembaca beban yang nantinya akan diberikan ke benda uji rangka atap. Sedangkan, *load cell* yang dipakai

dalam pengujian ini memiliki kapasitas pembaca beban sebesar 20-50 ton.



Gambar 4. 8 Load Cell

7. *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*

LVDT merupakan sensor linear yang berguna sebagai *transducer* elektromagnetik yang dapat mengkonversi gerak lurus pada satu material dan diubah menjadi sinyal listrik. Dalam penelitian ini LVDT diperlukan guna melakukan pengukuran lendutan yang akan terjadi di posisi tengah bentang profil. Sementara, LVDT yang digunakan dalam penelitian memiliki kapasitas pengukur lendutan sebesar 100 mm.



Gambar 4. 9 Linear Variable Differential Transformer

4.6 Tahapan Penelitian

Adapun di bawah ini merupakan tahapan-tahapan dalam proses studi eksperimental:

1. Tahap Persiapan

Dalam tahap persiapan akan dilakukan persiapan akan bermacam hal yang berkaitan dengan penelitian dengan pelaksanaannya sebagai berikut:

- a. Melakukan perancangan dimensi rangka atap yang nantinya akan dipakai. Sementara itu, penentuan dan perhitungan dimensi rangka atap dilakukan dengan melakukan penggunaan nilai tegangan kritis tekuk lentur yang akan didapat dari nilai rasio kelangsingan.
- b. Melakukan persiapan alat dan bahan penelitian

2. Tahap Desain Rangka Atap

Dalam tahap ini akan dilakukan perhitungan desain rangka atap baja sesuai SNI 1729:2020 agar sampel uji sesuai dengan nilai kelangsingan yang diinginkan yaitu kelangsingan tinggi. Berikut merupakan perhitungan desain rangka atap baja ringan tersebut:

a. Penentuan panjang batang tekan

Dengan kelangsingan batang tekan tinggi, maka diasumsikan besar rasio kelangsingan sebesar ≥ 180 .

$$\text{Lebar profil} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal profil} = 1,6 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis} = 200.000 \text{ MPa}$$

$$A_g = 133,76 \text{ mm}^2$$

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$b/t < 1.4 (\sqrt{E/F_y}) = 30/1,6 < 1.4 (\sqrt{200.000/240})$$

$$= 18,75 < 40,41$$

(OK)

$$r_y = 5,97 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$(k \times L)/r = 180$$

$$L = (180 \times 5,97) / 1$$

$$\begin{aligned}
 L &= 1074.6 \text{ mm} \\
 L_c &= 1100 \text{ mm (Pembulatan)} \\
 \lambda > 4.71(\sqrt{E/F_y}) &= (k \times L)/r_y > 4.71 \times (\sqrt{E/F_y}) \\
 &= (1 \times 1100) / 5.97 > 4.71 \times (\sqrt{200.000/240}) \\
 &= 184,25 > 135,97 \qquad \qquad \qquad \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diketahui bahwa rasio kelangsingan efektif bernilai $\lambda > 4.71(\sqrt{E/F_y})$, maka dapat diketahui bahwa kondisi sampel uji mengalami tekuk elastik.

b. Prediksi kapasitas tekan profil

$$\begin{aligned}
 F_e &= \pi^2 \times E \lambda^{-2} \\
 &= \pi^2 \times 200.000 / 184,25^2 \\
 &= 58,14 \text{ MPa} \\
 F_{cr} &= 0,877 \times F_e \\
 &= 0.877 \times 58,14 \\
 &= 50,99 \text{ MPa} \\
 \phi P_n &= (0,9 \times F_{cr} \times A_g)/1000 \\
 &= (0,9 \times 50,99 \times 133,76)/1000 \\
 &= 6,138 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka dapat diketahui bahwa kapasitas tekan profil yang didapatkan sebesar 6, 138 kN.

c. Prediksi kuat tarik profil rangka atap

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal pelat} &= 3 \text{ mm} \\
 A_n &= A_g - (2 \times t_{\text{pelat}} \times t_{\text{profil}}) \\
 &= 133,76 - (2 \times 3 \times 1,6) \\
 &= 124,16 \text{ mm}^2 \\
 F_u &= 310 \text{ Mpa} \\
 \text{Tinggi profil} &= 15 \text{ mm} \\
 \text{Panjang pelat} &= 30 \text{ mm} \\
 x &= (B^2 + (2 \times B \times H))/4 \times (B + H) \\
 &= 30^2 + (2 \times 30 \times 15))/4 \times (30 + 15) \\
 &= 905 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$U = 1 - (x/L_{\text{batang tekan}})$$

$$= 1 - (905/1100)$$

$$= 0,18$$

$$T_u = (\emptyset \times A_n \times F_u \times U)/1000$$

$$= (0,75 \times 124,16 \times 310 \times 0,18)/1000$$

$$= 5,12 \text{ kN}$$

d. Prediksi kuat geser baut

$$\emptyset V_n = (0,9 \times (0,6 \times F_y) \times A_g)/1000$$

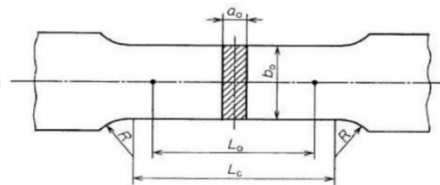
$$= (0,9 \times (0,6 \times 390) \times (\frac{1}{4} \pi 10^2)) / 1000$$

$$= 16,541 \text{ kN}$$

Karena nilai $\emptyset V_n$ lebih besar dari $\emptyset P_n$, maka tidak akan terjadi gagal tekuk pada sambungan baut.

3. Tahap Pengujian Tarik Pelat Baja

Sampel uji yang digunakan dalam pengujian ini merupakan profil baja *hollow* kotak dengan tebal profil sebesar 1,6 mm yang diujungnya diberikan pelat sambung dengan tebal kurang dari 3 mm. Pengujian ini dimaksudkan untuk mencari nilai tegangan leleh, serta nilai kuat tarik maksimum pada profil baja yang telah disambung dengan pelat sambung yang nantinya akan dianalisis dalam tahap analisis data. Sampel uji yang dipakai dalam pengujian tarik profil mengacu kepada standar ASTM E8 yang dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini



Gambar 4. 10 Sampel Uji Kuat Tarik Pelat Baja

4. Pengujian Geser Baut

Uji geser baut dilakukan untuk mengetahui kekuatan baut untuk menerima beban maksimal jika baut berada dalam satu kesatuan

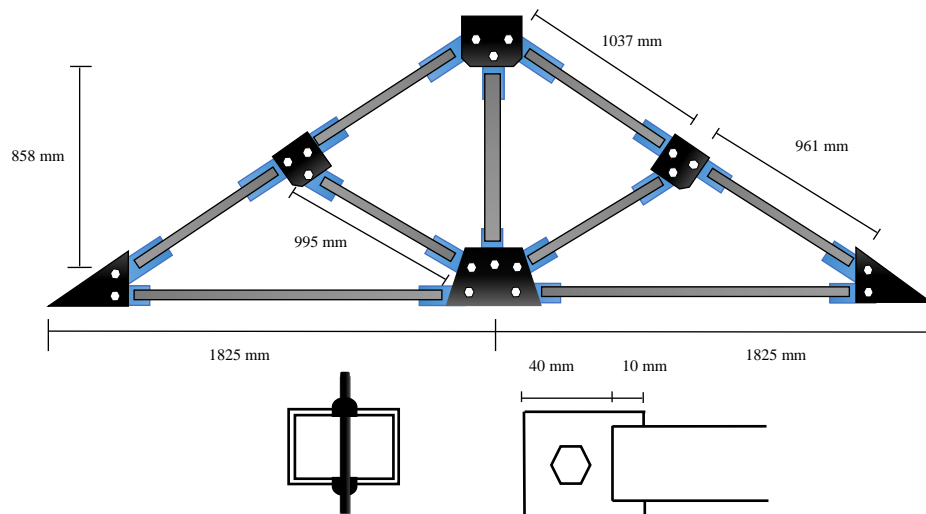
struktur rangka atap baja. Agar baut bekerja dengan baik maka diperlukan pengencangan pada baut sedemikian rupa sehingga baut mengalami prategang tarik.



Gambar 4. 11 Set Up Pengujian Kuat Geser Baut

5. Tahap Pembuatan Sampel Uji

Tahap pembuatan sampel uji dilakukan di laboratorium bahan konstruksi teknik UII. Dalam hal ini, peneliti memberikan hasil desain yang telah didapatkan dari hasil perhitungan rencana kepada pekerja pembuat sampel uji kemudian melakukan pengawasan terhadap proses pembuatan sampel uji rangka atap. Desain salah satu dari beberapa sampel uji berupa rangka atap dengan tipe baut tunggal dan baut jamak bisa dilihat pada gambar 4.9 & 4.10 di bawah ini. (Gambar autocad)

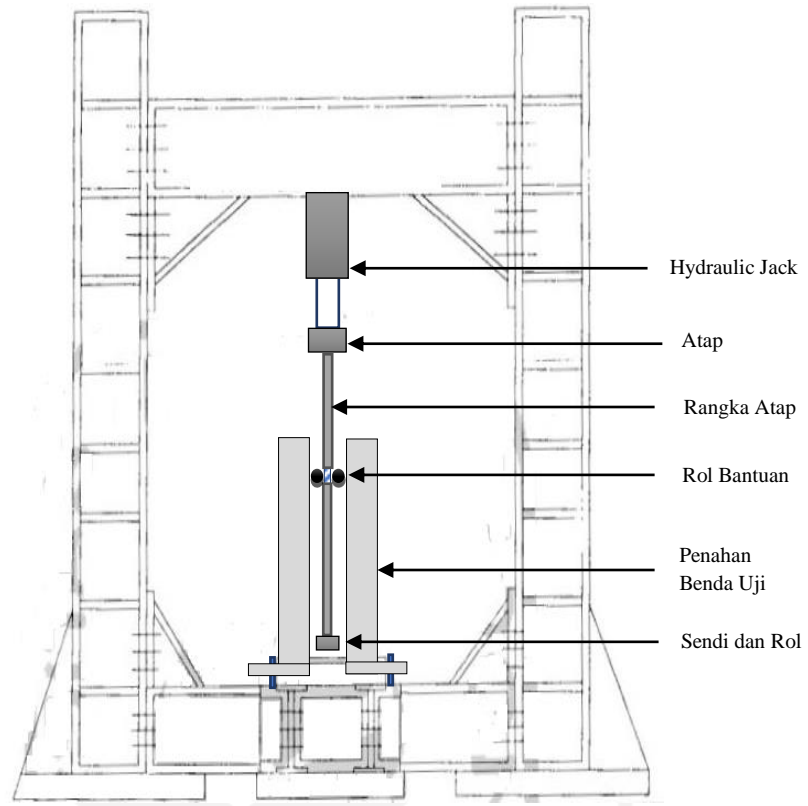


Gambar 4. 12 Sampel Uji Rangka Atap Baut Tunggal

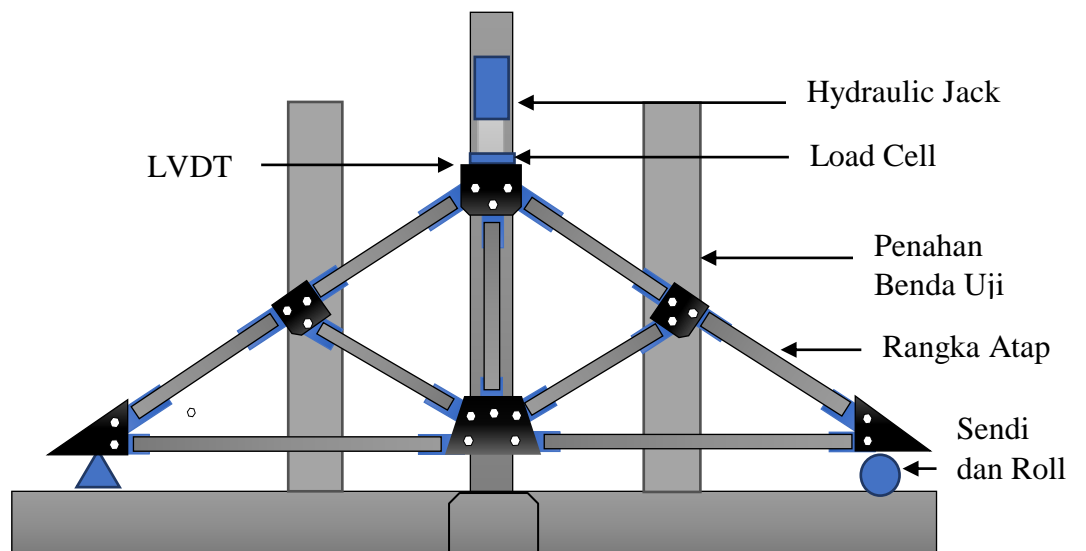
6. Tahap Pengujian Sampel Uji Rangka Atap

Pengujian yang akan dilakukan terhadap sampel uji rangka atap merupakan pengujian kuat lentur struktur rangka atap tersebut. Tahapan yang dilakukan nantinya berupa:

- a. Melakukan pemasangan dukungan di setiap ujung rangka atap tersebut yang dalam kondisi ini berupa sendi dan rol.
- b. Melakukan peletakan sampel uji rangka atap ke atas sendi dan rol, lalu memastikan sampel uji rangka atap tidak miring dan bergeser selama pengujian berjalan.
- c. Melakukan pemasangan *hydraulic jack* dan *load cell* di puncak bagian tengah dengan bantuan dukungan yang telah tersedia, kemudian melakukan pemasangan alat *strain gauge* di tiap titik yang memungkinkan terjadinya lekukan. Sebelum pemasangan LVDT dilakukan, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap benda uji terlebih dahulu. Bila benda uji tidak mengalami perubahan posisi, selanjutnya LVDT dapat dipasang pada bagian yang memungkinkan terjadinya lendutan. Setelah itu *hydraulic jack* dipompa untuk memberikan pembebanan secara perlahan. Berikut merupakan set up pengujian kekuatan rangka atap



Gambar 4. 13 Set Up Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap



**Gambar 4. 14 Tampak Depan Set Up Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap
Baut Tunggal**

7. Tahap Analisis Data

Dalam tahap ini, akan dilakukan analisis data menggunakan metode *Direct Analysis Method* dengan bantuan *software* SAP2000. Data yang digunakan merupakan data yang didapat dari tiap-tiap pengujian dilakukan terhadap sampel uji yang telah dilakukan sebelumnya. Nantinya hasil dari analisis tersebut akan dilakukan pembahasan yang lebih detail guna mendapatkan kesimpulan yang tepat. Berikut merupakan tahap analisis dan data yang dihasilkan dari masing-masing pengujian.

a. Analisis kuat tarik plat baja

Dalam pengujian kuat tarik plat baja, dimaksudkan untuk mencari nilai kekuatan tarik pada profil yang telah dipasang plat sambung di tiap ujung profilnya. Sampel uji yang digunakan dalam pengujian ini yaitu 3 batang profil baja *hollow* kotak dengan tebal profil sebesar 1,6 mm dengan masing-masing ujung profil diberi plat sambung dengan tebal kurang dari 3 mm dan Panjang pelat 30 mm. Kekuatan tarik sendiri dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar kekuatan profil baja *hollow* dalam menahan gaya tarik yang terjadi akibat dari penarikan dalam proses pengujian. Sampel uji yang digunakan nantinya akan dibentuk sesuai dengan standar SNI 8389-2017. Data yang dihasilkan dalam pengujian ini berupa nilai perubahan panjang dan perubahan beban yang terjadi yang nantinya akan disajikan dalam bentuk grafik tegangan-regangan.

b. Analisis kuat geser baut

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban terhadap penampang baut yang terletak pada sambungan. Sampel uji yang digunakan pada pengujian ini menggunakan baut dengan diameter 10 mm. Data yang dihasilkan dalam pengujian ini berupa beban maksimal yang mampu ditahan oleh penampang baut sambungan yang digunakan nantinya.

c. Analisis kuat tekan rangka atap baja

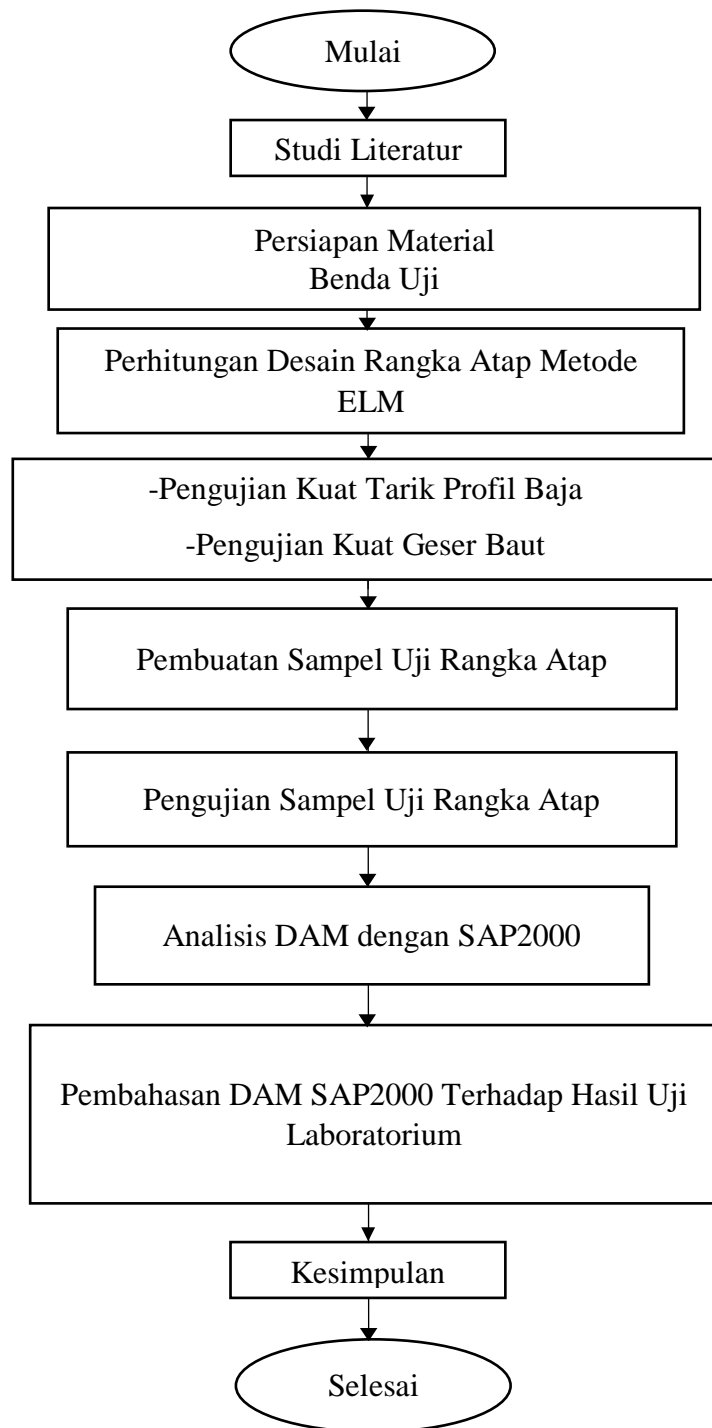
Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pemberian beban terpusat terhadap rangka atap baja yang berupa beban statis yang akan diletakkan di puncak rangka atap. Nilai lendutan yang dihasilkan akibat dari pembebanan statis yang dilakukan secara bertahap kemudian dibaca. Nilai kekuatan lentur penampang profil nantinya akan diperiksa dalam kondisi leleh serta kondisi tekuk. Pengujian ini dilakukan terhadap 2 sampel uji yang berbeda, di mana perbedaannya terletak pada jumlah baut yang terdapat di tip sambungannya. Sehingga data yang akan dianalisis nantinya berupa nilai perbandingan antar masing-masing sampel uji.

8. Tahap Pembahasan

Dalam tahap pembahasan, pengerjaannya dilakukan setelah tahap pengujian dan analisis data. Hal ini perlu dilakukan secara terperinci. Sementara itu, hal yang akan dibahas berupa kekuatan tekan rangka atap baja yang dianalisis menggunakan metode *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020 melalui bantuan *software* SAP2000, lalu nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium dan desain rangka atap menggunakan metode panjang efektif.

9. Tahap Penarikan Kesimpulan

Dalam tahap kesimpulan, pengerjaannya dilakukan setelah segala tahapan penelitian dan pembahasan sudah selesai. Penarikan kesimpulan dari penelitian ini berupa nilai akurasi kuat tekan rangka atap baja antara analisis metode *Direct Analysis Method* berdasarkan SNI 1729-2020 melalui bantuan *software* SAP2000 terhadap hasil uji laboratorium dan desain rangka atap menggunakan metode panjang efektif.

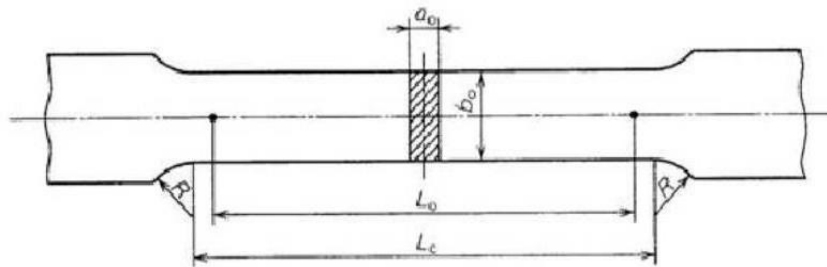


Gambar 4. 15 *Flowchart* Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Uji Kuat Tarik Plat Baja

Pengujian kuat tarik plat baja menggunakan sampel uji profil *Hollow Square Section* dengan bentuk dan dimensi berdasarkan persyaratan SNI 8389:2017 seperti gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5. 1 Sampel Uji Kuat Tarik Baja

Dimensi yang digunakan pada sampel uji kuat tarik plat baja direncanakan sesuai dengan SNI 8389:2017, berupa:

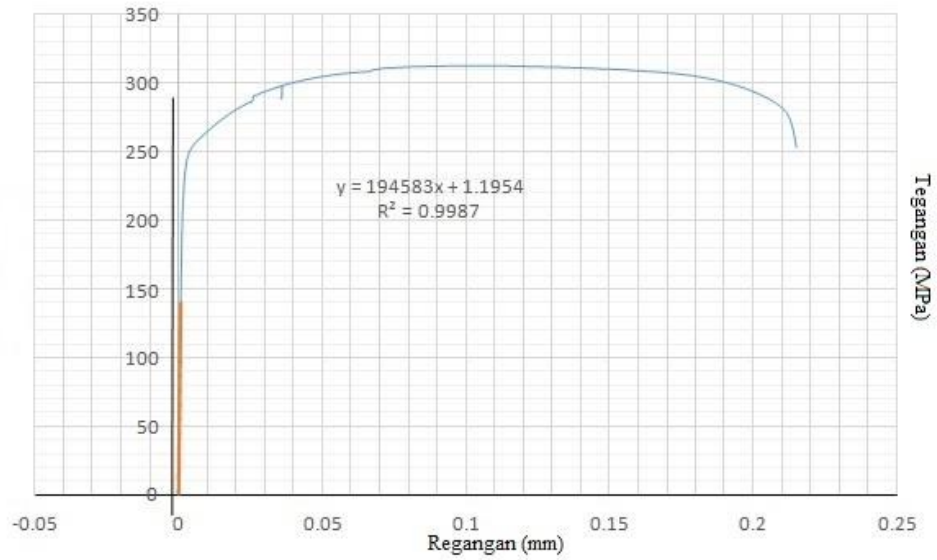
$$L_0 = 100mm$$

$$L_c = 120mm$$

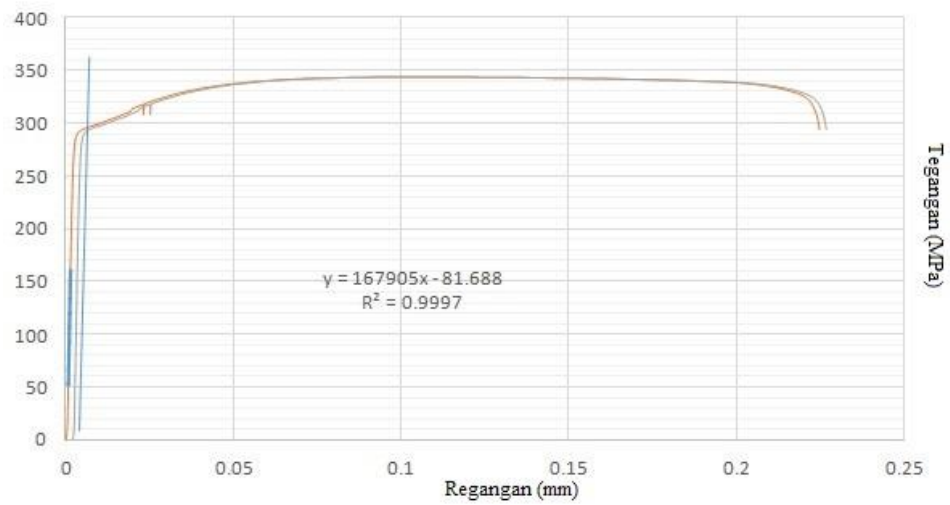
$$R = 25^\circ$$

$$b_0 = 20mm$$

Pengujian ini dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dan dilaksanakan di laboratorium bahan konstruksi Teknik, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai tegangan leleh (f_y) dan nilai kuat tarik maksimum (f_u) yang ditampilkan pada gambar 5.2 dan 5.3 yang berupa grafik tegangan-regangan di bawah ini.



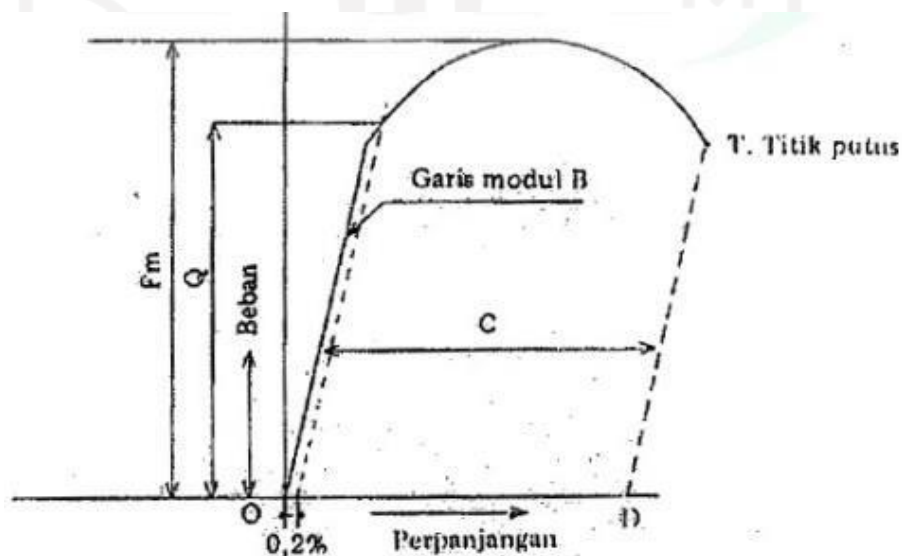
Gambar 5. 2 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 1



Gambar 5. 3 Grafik Tegangan-Regangan Sampel 2

Dari grafik yang telah disajikan sebelumnya grafik tegangan-regangan sampel uji 1 tidak perlu dilakukan koreksi, sementara pada grafik tegangan-regangan sampel uji 2 perlu dilakukan koreksi. Koreksi tersebut diperlukan apabila nilai modulus elastisitas yang terdapat dalam grafik tegangan-regangan tidak memenuhi standar SNI. Sementara nilai modulus elastisitas yang sesuai dengan standar SNI yaitu sebesar 200000 Mpa – 210000 MPa.

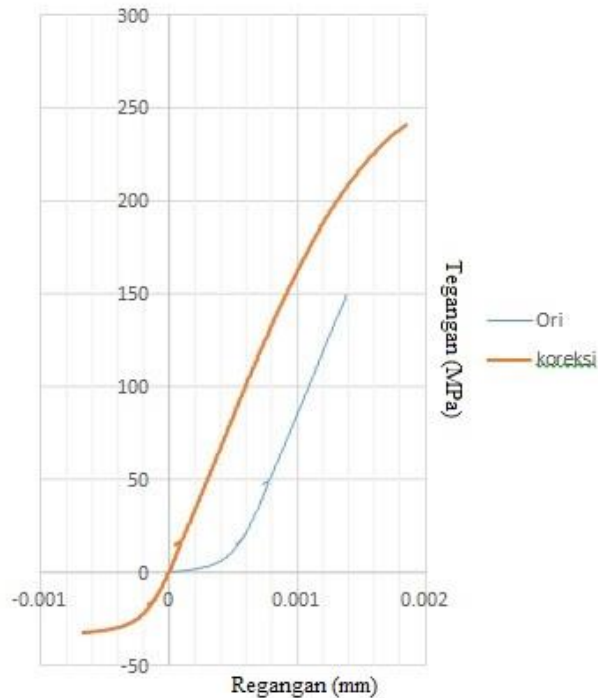
Sementara itu, nilai modulus elastisitas yang terdapat dalam grafik tegangan-regangan sampel uji 2 tidak sesuai dengan standar SNI disebabkan oleh slip yang terdapat pada awal pengujian. Maka dari itu, diperlukan koreksi untuk menentukan titik leleh pada grafik tegangan-regangan sampel uji 2 menggunakan teknik *offset* 0,2%. Teknik *offset* 0,2% dilakukan dengan mengurangi besaran data awal dimana diperkirakan terdapat slip pada pengujian. Teknik *offset* 0,2% diambil dari SNI 0408 seperti gambar di bawah ini.



Gambar 5. 4 Offset 0,2%

Setelah melakukan teknik offset 0,2% terhadap grafik tegangan-regangan sampel uji 2, dimana menghasilkan detail slip awal pada grafik tegangan-regangan di bawah ini, serta nilai modulus elastisitas yang

sesuai dengan SNI 1729. Nilai modulus elastisitas didapatkan dari regresi (nilai kemiringan grafik) yang terdapat pada grafik tegangan-regangan yang telah dikoreksi.



Gambar 5. 5 Grafik Tegangan-Regangan Terkoreksi

Sementara dari pengujian tersebut diperoleh nilai kuat tarik baja yang terdapat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Material Baja

NO	Benda Uji	Fy (MPa)	Fu (MPa)
1	Sampel 1	271	343.748
2	Sampel 2	237	312.389
	Rata-rata	254	328.069

Nilai Fy rata-rata :

$$F_y = (271 + 237) / 2 = 254 \text{ MPa}$$

Nilai F_u rata-rata :

$$F_u = (343,748 + 312,069) / 2 = 328,069 \text{ MPa}$$

5.2 Uji Kuat Geser Baut

Uji geser baut diperlukan guna mengetahui nilai kuat geser maksimum pada baut. Pengujian ini diperlukan karena sambungan yang digunakan pada pengujian rangka atap ini menggunakan variasi baut tunggal. Pengujian ini dilaksanakan sebanyak 2 kali menggunakan sampel baut dengan diameter 10 mm. Pengujian kuat geser baut dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5. 6 Pengujian Kuat Geser Baut Sampel 1



Gambar 5. 7 Pengujian Kuat Geser Baut Sampel 2

Hasil dari pengujian kuat geser baut dapat dilihat pada tabel 5.2 di bawah ini.

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Pengujian Kuat Geser Baut

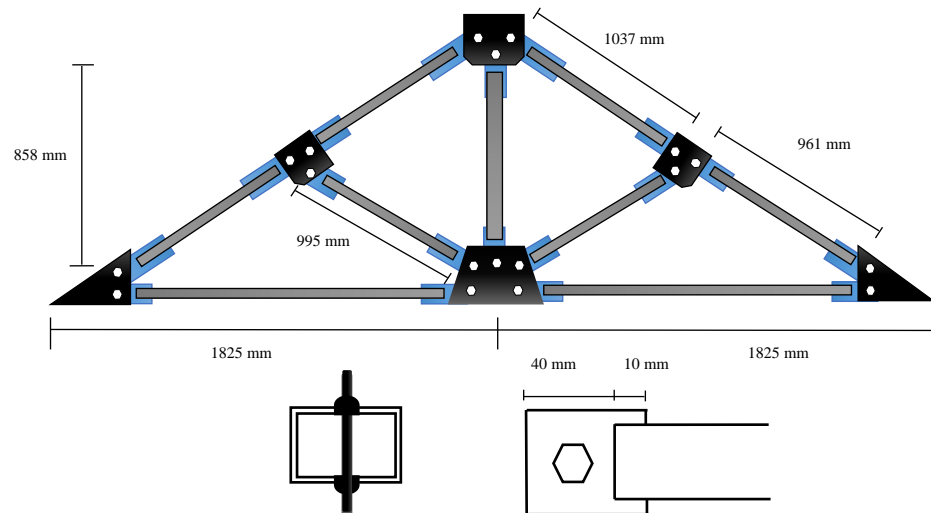
Keterangan	Baut Sampel 1	Baut Sampel 2
Diameter Baut (mm)	10	10
Berat Baut (gram)	37	38
P max (kN)	18	20

Dari hasil pengujian di atas, maka baut yang akan digunakan dalam pengujian sudah sesuai dan aman digunakan dan tidak akan terjadi gagal tekuk karena nilai kuat geser baut yang diperoleh bernilai lebih besar dari nilai kuat tekan yang sudah didesain sebelumnya.

5.3 Hasil Uji Laboratorium Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

Pengujian kuat tekan rangka atap dilakukan guna mencari nilai kapasitas tekan rangka atap. Berikut merupakan hasil pengujian laboratorium kuat tekan rangka atap.

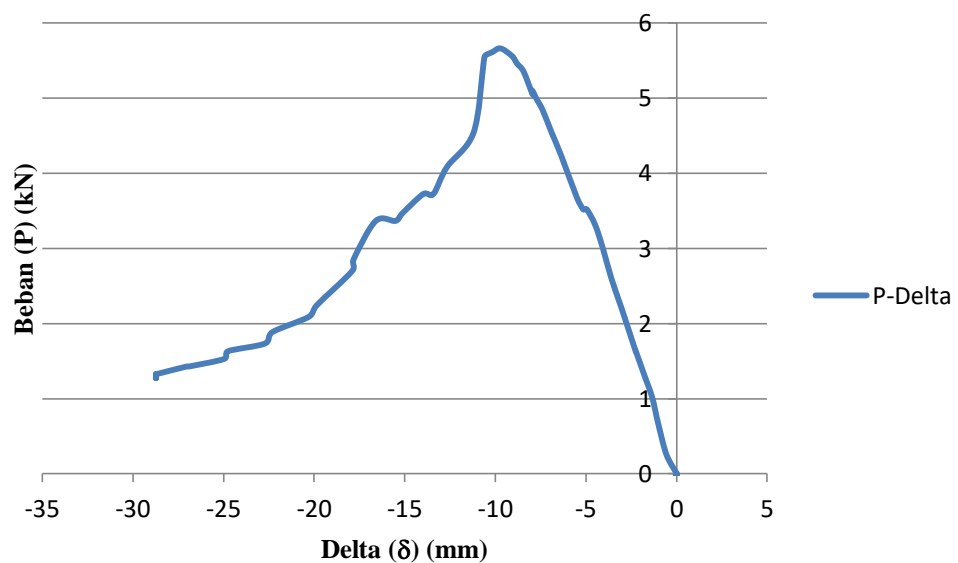
1. Sampel uji tekan rangka atap



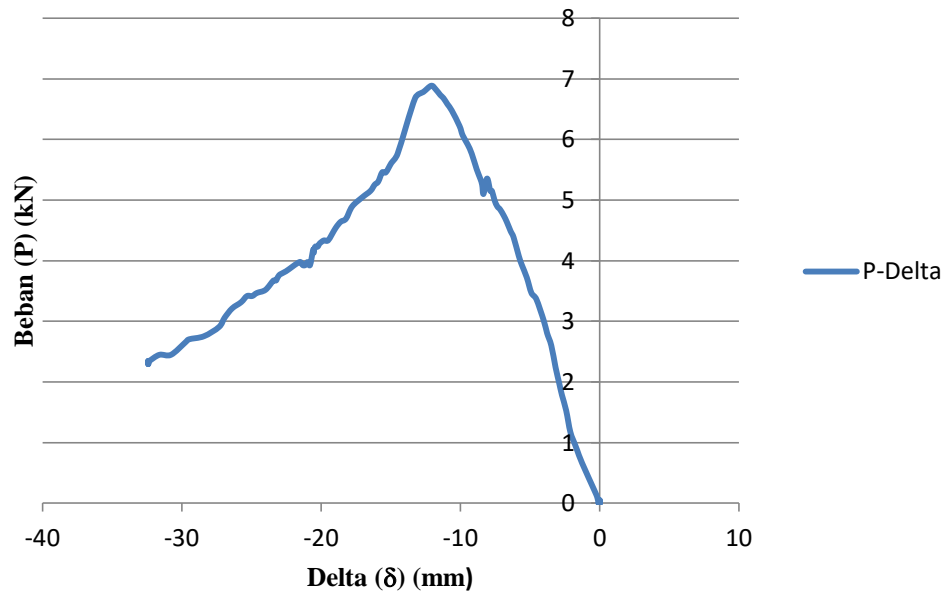
Gambar 5. 8 Sampel Uji Rangka Atap

2. Hasil uji kuat tekan rangka atap

Dari pengujian rangka atap yang telah dilakukan di laboratorium, maka didapatkan hasil berupa grafik P-delta yang terlampir di bawah ini.

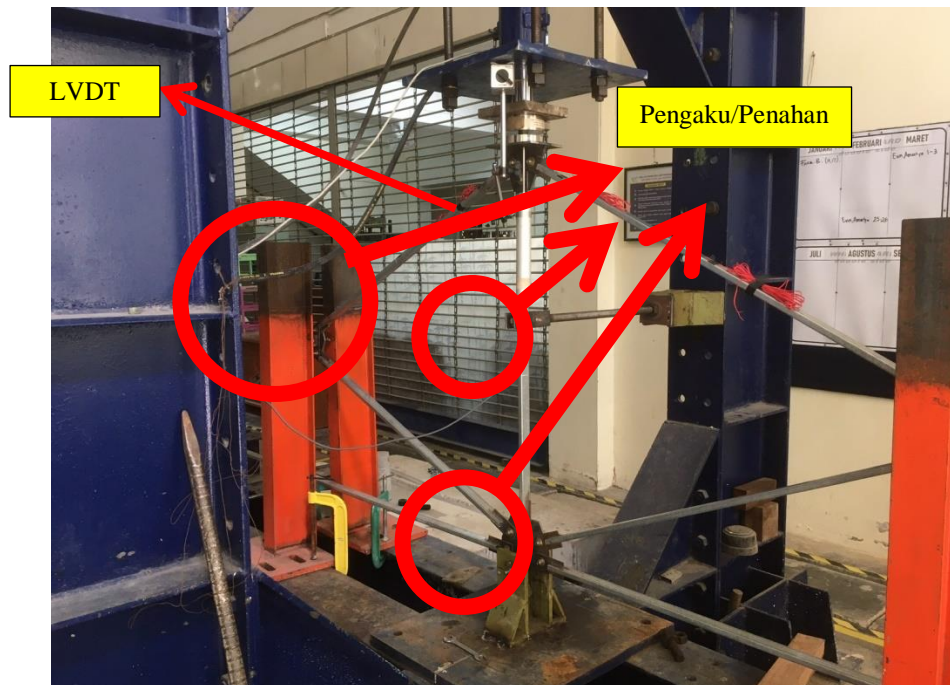


Gambar 5. 9 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Sampel 1



Gambar 5. 10 Grafik Hubungan P-Delta Rangka Atap Sampel 2

Dalam pengujian kuat tekan rangka atap, sampel uji disetting agar tetap maksimal bekerja secara 2 dimensi. Oleh karena itu perlu diletakkan pengaku agar mampu menahan sampel uji agar tidak bergerak ke arah sumbu dalam dan mampu bekerja secara maksimal. Berikut merupakan *settingan* pengaku yang dipasang pada pengujian rangka atap di laboratorium.

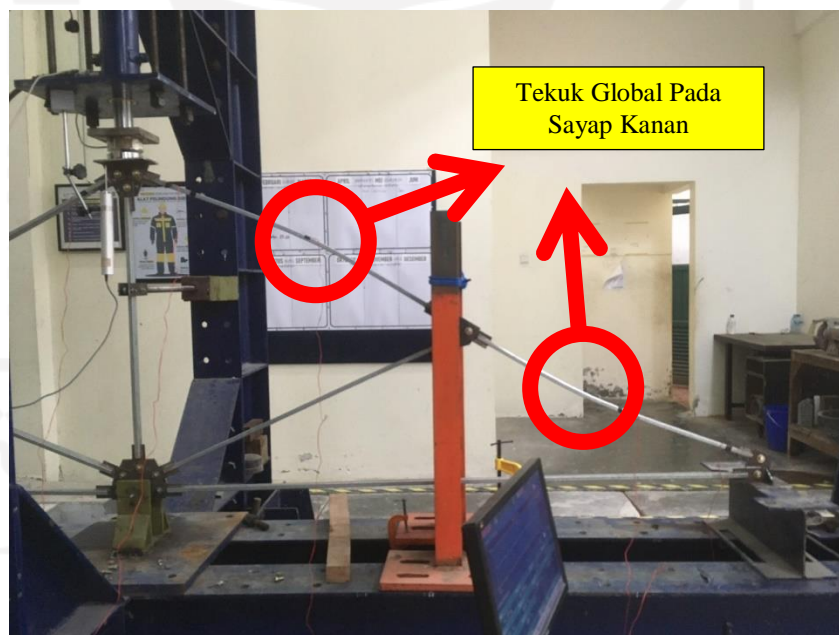


Gambar 5. 11 Set Up Pengujian Dengan Menggunakan Penahan

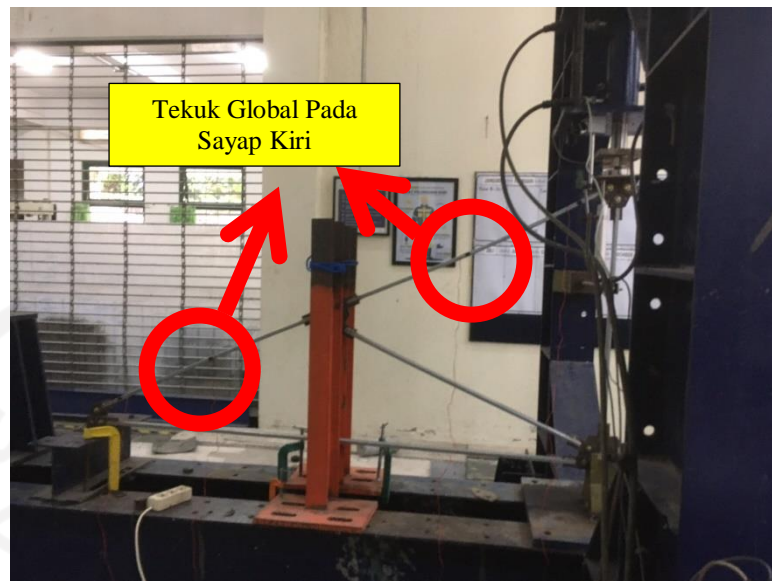
Setelah pengujian dilakukan, benda uji pada sampel 1 dan sampel 2 mengalami perubahan. Pada sampel uji 1 didapatkan terjadinya tekuk lokal pada salah satu batang tekan. Sementara pada sampel uji 2 didapatkan terjadinya tekuk global pada setiap batang tekannya. Hal tersebut dikarenakan perbedaan *settingan* baut penahan pada tiap sambungan sampel uji. Pada sampel uji 1 baut penahan dipasang dengan sangat kencang sehingga kondisi batang tekannya cenderung kaku. Sementara pada sampel uji 2, baut penahan sambungannya dipasang tidak terlalu kencang sehingga kondisinya di tiap batang tekannya tidak kaku. Berikut merupakan kondisi masing-masing sampel uji setelah dilakukan pengujian.



Gambar 5. 12 Kondisi Sampel Uji 1 Setelah Pengujian



Gambar 5. 13 Kondisi Sampel Uji 2 Sayap Kanan Setelah Pengujian



Gambar 5. 14 Kondisi Sampel Uji 2 Sayap Kiri Setelah Pengujian

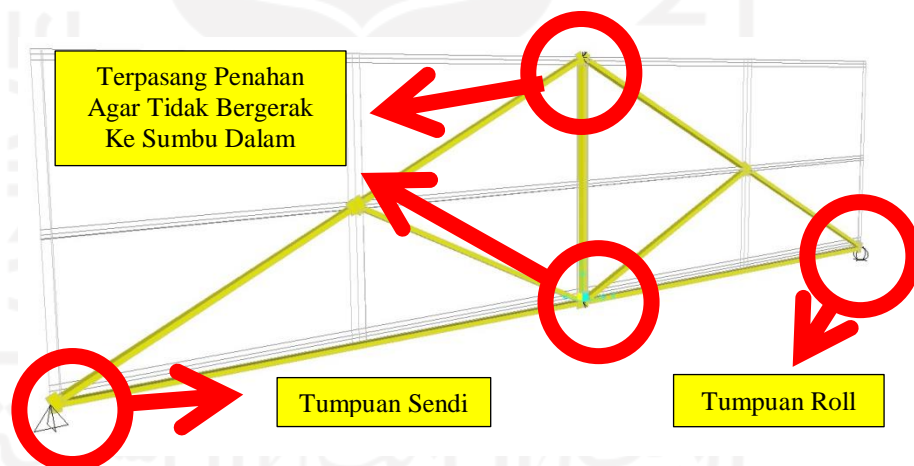
Setelah pengujian dilakukan, maka didapatkan besaran kuat tekan pada masing-masing sampel uji. Sampel uji 1 yang mengalami tekuk lokal mendapatkan besaran nilai kuat tekan sebesar 5,661 kN. Sementara pada sampel uji 2 yang mengalami tekuk global, besaran nilai kuat tekannya lebih besar, di mana sampel uji 2 menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 6,885 kN. Dari hasil tersebut bisa terbilang sampel uji kedua merupakan hasil pengujian yang sukses dan nantinya akan dimodelkan dalam permodelan analisis DAM dan menjadi nilai pembanding terhadap metode DAM dan metode ELM di sub-bab selanjutnya. Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan rangka atap pada tabel 5.3 berikut ini.

Tabel 5. 3 Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan Rangka Atap

No	Sampel Uji	Beban Maksimum (P Maks) (kN)
1	Sampel 1	5,661
2	Sampel 2	6,885

5.4 Analisis DAM Rangka Atap Berdasarkan Pengujian Laboratorium Yang Berhasil

Permodelan rangka atap dilakukan menggunakan bantuan software SAP 2000. Permodelan tersebut bertujuan untuk dapat mengetahui besaran nilai kapasitas tekan rangka atap. Permodelan dilakukan berdasarkan hasil pengujian rangka atap, di mana sampel uji yang berhasil merupakan sampel uji yang kedua dengan kondisi tekuk global pada sampel uji. Permodelan tersebut nantinya perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap metode ELM yang perlu disesuaikan dengan kondisi pengujian di lapangan guna mendapatkan nilai kapasitas tekan nominal sesuai dengan metode ELM. Berikut merupakan tahapan desain metode ELM sesuai dengan hasil uji laboratorium dan juga langkah-langkah analisis DAM rangka atap berdasarkan sampel uji yang berhasil (sampel uji 2).



Gambar 5. 15 Permodelan Struktur Rangka Atap Pada Software SAP 2000

1. Menghitung kapasitas tekan dan beban titik pada rangka menggunakan metode panjang efektif.
 - a. Data properti

Data yang diperlukan dalam perhitungan kapasitas tekan, beban *notional* dan reduksi kekakuan dimasukkan ke dalam SAP 2000 dengan cara, klik *define* lalu selanjutnya klik *section properties*

klik *frame section* lalu klik *Add New Property* dan masukkan semua data properti yang dibutuhkan sesuai dengan hasil pengujian laboratorium. Berikut merupakan data yang dibutuhkan untuk mencari nilai kapasitas tekan, beban *notional*, dan reduksi kekakuan metode panjang efektif.

Property Data

Section Name: Profil Hollow 30 x 15 mm

Properties			
Cross-section (axial) area	172.	Section modulus about 3 axis	884.9804
Torsional constant	16409.302	Section modulus about 2 axis	1280.6222
Moment of Inertia about 3 axis	7522.3333	Plastic modulus about 3 axis	1069.
Moment of Inertia about 2 axis	19209.333	Plastic modulus about 2 axis	1628.
Shear area in 2 direction	68.	Radius of Gyration about 3 axis	6.6132
Shear area in 3 direction	120.	Radius of Gyration about 2 axis	10.568

OK

Gambar 5. 16 Data Properti Profil Hollow Square Section 30x15 mm

Panjang Batang Tekan (L) = 1037 mm

Lebar profil (b) = 17 mm

Tinggi profil (h) = 30 mm

Tebal Profil (t) = 2 mm

Luas area (Ag) = 172 mm²

Inersia sumbu y (Iy) = 7522,3333 mm⁴

Jari-jari girasi (ry) = 6,6132 mm

Tegangan leleh (Fy) = 254 Mpa

b. Menghitung rasio kelangsingan efektif

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

$$\frac{1 \times 1037}{6,6132} \geq 4.71 \sqrt{\frac{200000}{254}}$$

$$156,8076 \geq 132,1658$$

Dari hasil tersebut diketahui bahwa sampel uji mengalami tekuk elastis

c. Menghitung tegangan kritis

Karena benda uji mengalami tekuk elastis, maka digunakan persamaan sebagai berikut.

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

Maka selanjutnya tegangan kritis elastis dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

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

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 200000}{\left(\frac{1 \times 1037}{6,6132}\right)^2}$$

$$F_e = 80,2778 \text{ MPa}$$

Maka nilai F_{cr} nya sebesar:

$$F_{cr} = 0,877 \times 80,2778$$

$$F_{cr} = 70,4036 \text{ MPa}$$

d. Menghitung kapasitas tekan profil

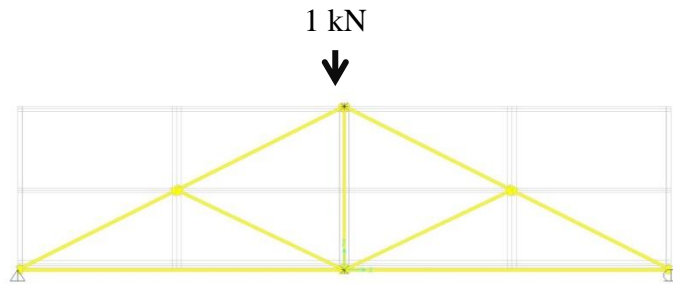
$$\phi P_n = (0,9 \times F_{cr} \times A_g)/1000$$

$$\phi P_n = (0,9 \times 70,4036 \times 172)/1000$$

$$\phi P_n = 10,8985 \text{ kN}$$

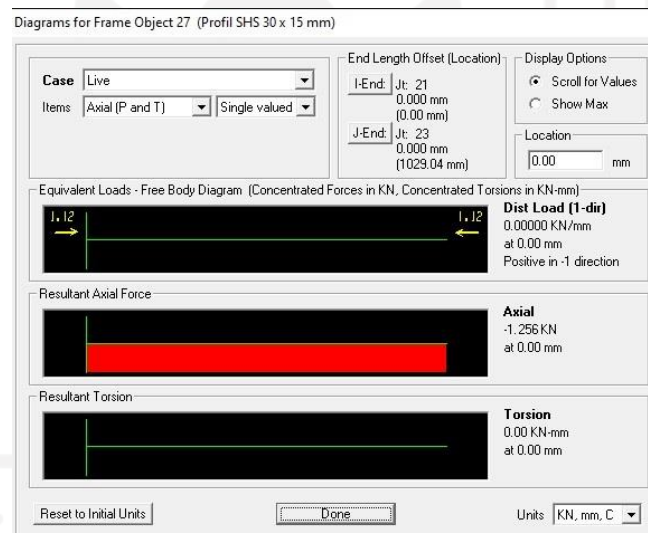
e. Menghitung beban titik puncak rangka atap

Penentuan beban pada titik puncak rangka atap dilakukan dengan pemberian beban 1 kN pada titik puncak rangka atap. Pemberian beban tersebut guna mengetahui nilai beban aksial yang terjadi dan selanjutnya dilakukan perbandingan nilai kapasitas tekan metode panjang efektif. Berikut peletakkan beban 1 kN pada puncak rangka atap.



Gambar 5. 17 Peletakan Beban 1 kN Pada Permodelan

Setelah beban 1 kN diberikan, maka nantinya akan mendapat nilai beban aksial dari *software* SAP 2000. Setelah itu dilakukan perhitungan dengan perbandingan segitiga. Setelah perhitungan telah dilakukan maka akan didapatkan nilai beban pada titik puncak rangka atap tersebut. Berikut merupakan besaran beban aksial yang didapatkan dari SAP 2000.



Gambar 5. 18 Gaya Aksial Yang Diperoleh Dari Software SAP 2000

Setelah beban aksial didapatkan, maka selanjutnya bisa dilakukan perhitungan untuk mencari besaran beban titik yang diperlukan. Berikut merupakan perhitungan beban titik puncak pada rangka atap.

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

$$\frac{1 \text{ KN}}{1,256} = \frac{P}{10,8984}$$

$$P = 13,6885 \text{ kN}$$

2. Menghitung beban *notional*

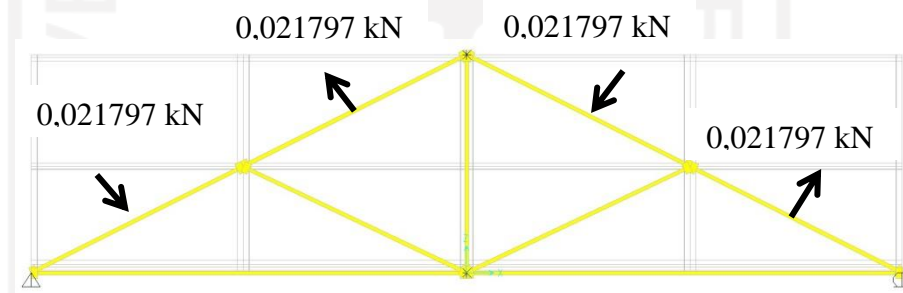
Dalam metode DAM, pengaruh cacat bawaan perlu diperhitungkan dalam permodelannya. Hal tersebut diperlukan karena setiap sampel uji memiliki ketidaksempurnaan pada tiap sampel uji. Oleh karena itu, ketidaksempurnaan tersebut perlu diperhitungkan dalam permodelan SAP 2000 pada metode analisis langsung (DAM). Berikut merupakan perhitungan beban *notional* yang diperlukan dalam permodelan.

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

$$N_i = 0,002 \times 10,8984$$

$$N_i = 0,021797 \text{ kN}$$

Setelah nilai beban *notional* diperoleh, maka beban *notional* diberikan terhadap model SAP 2000. Beban *notional* disesuaikan dengan kondisi tekuk yang terjadi pada sampel uji laboratorium. Berikut merupakan peletakkan beban *notional* sesuai dengan hasil uji laboratorium.



Gambar 5. 19 Peletakkan Beban Notional Permodelan SAP 2000

3. Evaluasi nilai τ_b

Nilai τ_b diperoleh untuk mengetahui nilai gaya aksial tekan terbesarnya. Setelah melakukan analisis P-delta maka nantinya akan didapatkan nilai gaya aksial terbesarnya dan selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai P_y .

$$P_r = 13,6884 \text{ kN}$$

$$P_y = F_y \times A_g$$

$$P_y = 254 \times 172$$

$$P_y = 43,688 \text{ kN}$$

Setelah diketahui nilai P_y , maka evaluasi nilai τ_b dapat dilakukan melalui persamaan berikut ini.

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

$$\frac{P_r}{P_y} = \frac{13,6884}{43,688}$$

$$\frac{P_r}{P_y} = 0,3133, \text{ maka}$$

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

hasil perhitungan di atas menunjukkan nilai P_r/P_y lebih kecil dari 0,5; maka sesuai AISC (2010) digunakan persamaan berikut untuk menghitung nilai τ_b .

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

$$\tau_b = 4 (0,3133) [1 - (0,3133)]$$

$$\tau_b = 0,8606$$

4. Reduksi kekakuan (EI)

Reduksi kekakuan diperlukan guna memperhitungkan adanya leleh setempat akibat dari tegangan sisa pada profil baja. Hal tersebut menyebabkan terjadinya pelemahan pada sampel uji akibat adanya tegangan sisa pada profil. Berikut perhitungan reduksi kekakuan dapat dilihat di bawah ini.

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

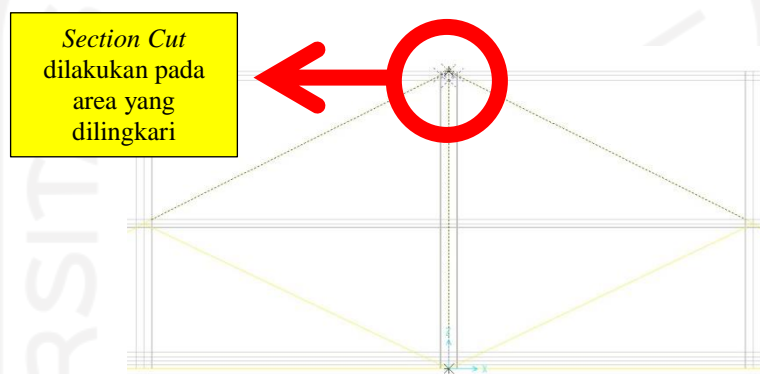
$$EI^- = 0,8 \times 0,8606 \times 200000$$

$$EI^- = 137697,3092 \text{ Nmm}^2$$

5. Permodelan *section cut* pada pembebanan *load cell*

Section cut merupakan perintah yang berguna untuk mengetahui besaran beban yang bekerja pada *load cell*, sehingga perlu dilakukan *grouping* terhadap elemen yang bersentuhan secara langsung oleh *load cell*. Hal tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kapasitas tekan yang

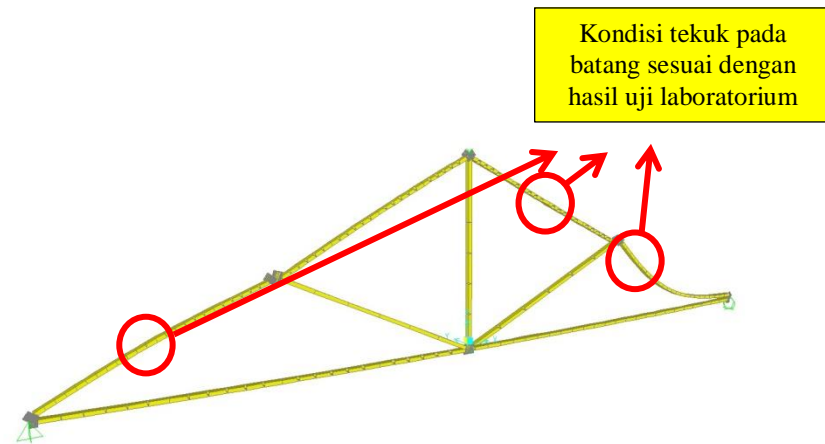
sebenarnya pada *load cell*, pada pemodelan SAP2000. Permodelan *section cut* dilakukan dengan cara klik pada elemen yang akan dilakukan *grouping* → *Define* → *Group* → *Add New Group* lalu beri penamaan pada *group* dengan nama *Load Cell* lalu klik *Ok* → *Assign* → *Assign to Group* → Klik nama *Load Cell* lalu klik *Ok* → *Section Cuts* → *Add Section Cuts* → beri nama dan pada opsi *Section Cuts Group* pilih nama *Load Cell* terakhir klik *Ok*. Hasil pemodelan *section cut* bisa dilihat dalam gambar berikut ini.



Gambar 5. 20 Section Cut Pada Struktur Rangka Atap

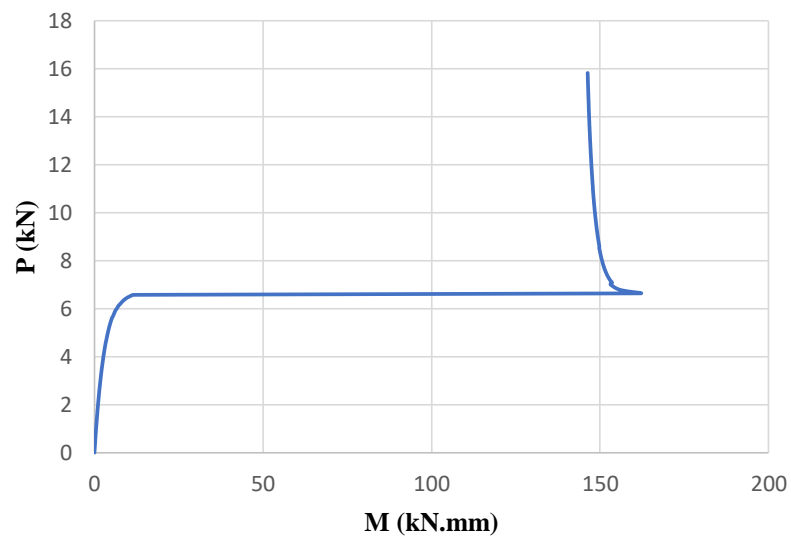
6. Hasil permodelan rangka atap SAP 2000

Tekuk global yang terjadi pada metode DAM SNI 1729:2020 dengan bantuan *software* SAP 2000 diharapkan sesuai dengan kondisi tekuk global pada hasil pengujian laboratorium. Setelah penyesuaian kekakuan dilakukan, maka permodelan rangka atap SAP 2000 dapat dilakukan sehingga kondisi tekuk pada permodelan SAP 2000 bisa serupa dengan hasil uji laboratorium. Berikut merupakan hasil tekuk yang terjadi pada permodelan rangka atap SAP 2000.



Gambar 5. 21 Hasil Permodelan Tekuk Pada SAP 2000

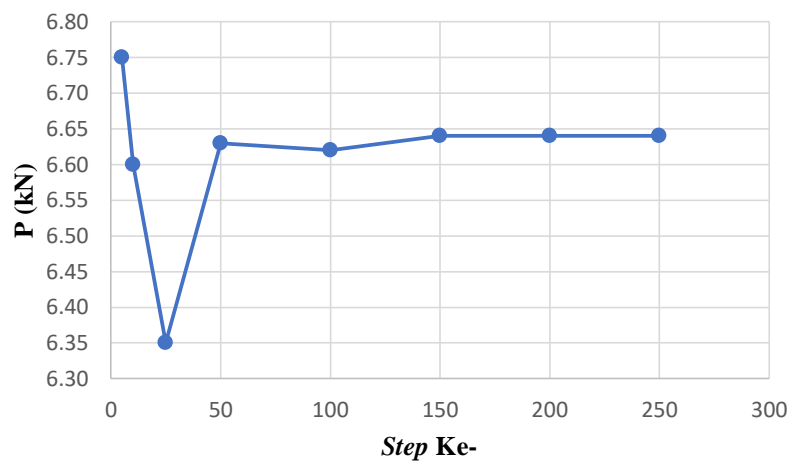
Jika dilihat pada hasil permodelan di atas, batang pada sayap kanan mengalami tekuk seperti pada hasil uji laboratorium. Hal tersebut diperkuat oleh hasil *export* data dari SAP 2000 ke Microsoft Excel. Hasil *export* dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan beban terhadap momen seperti berikut.



Gambar 5. 22 Grafik P-M Rangka Atap Dengan Nilai ($EI = 0.8 \times E \times \tau b$) Pada SAP 2000

Berdasarkan grafik di atas, kondisi tekuk pada rangka atap dimulai pada saat pembebanan sebesar 6,64 kN. Namun hasil tersebut merupakan hasil perkiraan, sehingga perlu mencari beban yang sebenarnya terjadi pada pembebanan di *load cell* melalui hasil dari permodelan *section cut*. Beban

yang dihasilkan dari permodelan *section cut* nantinya akan digunakan sebagai nilai kapasitas tekan rangka atap. Selain itu, perlu dilakukannya *trial step* untuk menentukan nilai error yang nantinya akan semakin kecil. Berikut merupakan grafik *trial step* pada permodelan rangka atap SAP 2000.



Gambar 5. 23 Grafik Trial Step Permodelan Rangka Atap SAP 2000

Grafik tersebut menggambarkan nilai kapasitas tekan rangka atap yang mulai stabil pada *step* ke 150, 200 dan 250 dengan nilai sebesar 6,64 kN. Namun nilai tersebut bukan merupakan nilai beban yang sebenarnya, sehingga perlu dilakukan *section cut*, guna dapat mengetahui nilai beban yang terjadi pada *load cell*.

7. Kuat nominal penampang

Dalam penentuan desain kapasitas tekan menggunakan metode DAM ada pengaruh dari order ke-2. Oleh karena itu diperlukan analisis nilai pembatas kuat nominal penampang struktur itu. Untuk mendapatkan nilai *safety factor* berdasarkan SNI 1729:2020 maka diperlukan *trial step* sehingga didapatkan nilai kuat tekan yang stabil, lalu menentukan nilai P_r dan M_r . Berikut ini merupakan perhitungan *safety factor*.

$$Z = 1069 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned}
 F_y &= 254 \text{ MPa} \\
 P_r &= 21,641 \text{ kN} \\
 P_c &= 10,8985 \text{ kN} \\
 \frac{P_r}{P_c} &= \frac{21,641}{10,8985} \\
 &= 1,9857
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= 11,75 \text{ kN.mm} \\
 M_c &= \varphi \times z \times F_y \\
 &= \frac{0,9 \times 1069 \times 254}{10^3} \\
 &= 244,3734 \text{ kN.mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga berdasarkan nilai tersebut didapatkan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 SF &= \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \\
 SF &= \frac{21,641}{2 \times 10,8985} + \left(\frac{11,75}{244,3734} \right) \leq 1.0 \\
 SF &= 0,6458 \leq 1,0
 \end{aligned}$$

Karena nilai $SF \leq 1,0$ didapatkan pada step ke-104, maka berikut merupakan rekapitulasi perhitungan SF.

Tabel 5. 4 Rekapitulasi Perhitungan Nilai SF

Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	Pr	Mr	SF
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	101	6,382	8,98	0,6183
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	102	6,446	9,62	0,6265
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	103	6,509	10,48	0,6354
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	104	6,572	11,75	0,6458
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	105	6,635	161,95	1,1979
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	106	6,699	159,13	1,1935
5	514,52	P Delta Analysis	NonStatic	Step	107	6,762	156,43	1,1895

8. Penentuan kapasitas tekan rangka atap

Untuk memperoleh nilai kuat tekan rangka atap, maka diperlukan besaran gaya yang bekerja pada titik puncak rangka atap ketika terjadi pembebanan tekuk kritis (Step ke-104). Untuk mendapatkan besaran gaya tersebut maka perlu dilakukan permodelan *section cut*. Permodelan *section cut* dilakukan pada step ke-104 pada saat kondisi tekuk kritis. Berikut merupakan hasil rekapitulasi permodelan *section cut* yang telah di ekspor ke *microsoft excel* dari *step* 102 sampai *step* 106.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Permodelan Section Cut

SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	StepNum	F3
Text	Text	Text	Text	Unitless	kN
Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	102	5,712
Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	103	5,768
Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	104	5,824
Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	105	5,880
Loadcell	P Delta Analysis	NonStatic	Step	106	5,936

Berdasarkan hasil rekapitulasi di atas, maka nilai kapasitas tekan yang digunakan sebesar 5,824 kN.

5.5 Pembahasan

5.5.1 Pembahasan berdasarkan rumusan masalah 1

Permodelan rangka atap menggunakan metode DAM sebelumnya sudah dijelaskan pada sub bab 5.4. Pada sub bab tersebut sudah dijelaskan langkah-langkah permodelannya. Permodelan tersebut menggunakan verifikasi dari hasil uji laboratorium pada pengujian tekan rangka atap sampel uji 2. Hal tersebut dikarenakan pada sampel uji 1 hanya terjadi tekuk lokal pada salah satu batang tekannya dikarenakan pada sampel uji 1 yang

bersifat kaku, sehingga terdapat beban tambahan di tiap sambungannya. Pada permodelan rangka atap tersebut didapatkan nilai kuat tekan sebesar 5,824 kN. Dengan hasil tersebut dapat dikatakan pemodelan dengan metode DAM mempunyai hasil yang cukup akurat, dengan selisih nilai terhadap pengujian laboratorium sebesar 15,410 %. Hasil dari permodelan tersebut pun mengalami tekuk yang sama terhadap hasil pengujian laboratorium setelah mengalami proses reduksi kekakuan. Reduksi kekakuan yang digunakan dalam permodelan tersebut sesuai dengan SNI 1729:2020 dengan nilai $EI^- = 0,8 \times 0,8606 \times 200000$.

5.5.2 Pembahasan berdasarkan rumusan masalah 2

Sebelumnya permodelan rangka atap pada SAP2000 sudah dijelaskan pada sub bab 5.4. Menurut hasil permodelan tersebut diperoleh nilai kapasitas tekan pada rangka atap sebesar 5,824 kN. Hasil tersebut lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengujian lab sebesar 6,885 kN. Hal tersebut dikarenakan nilai reduksi kekakuan sesuai SNI 1729:2020 sebesar $EI^- = 0,8 \times 0,8606 \times 200000$. Namun hal tersebut terbilang masih cukup baik apabila dibandingkan dengan prediksi metode ELM dengan nilai sebesar 10, 8985 kN. Hal ini terbilang cukup akurat apabila ditinjau dari nilai *error* yang terbilang kecil sebesar 15, 410 % apabila hasil prediksi metode DAM dengan hasil pengujian laboratorium dibandingkan.

5.5.3 Pembahasan berdasarkan rumusan masalah 3

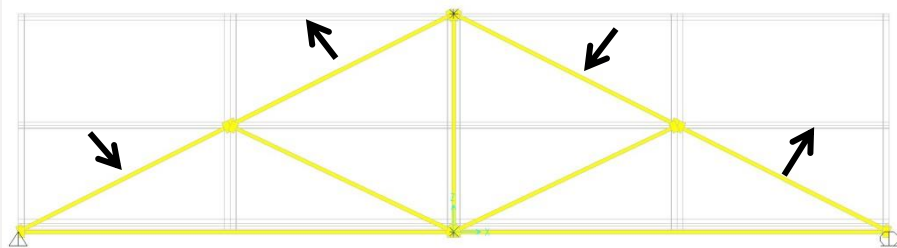
Sebelum melakukan perbandingan terhadap ketiga metode, berikut merupakan hasil rekapitulasi metode ELM, metode DAM dan hasil pengujian laboratorium.

Tabel 5. 5 Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan Metode DAM, ELM Dan Hasil Uji Laboratorium

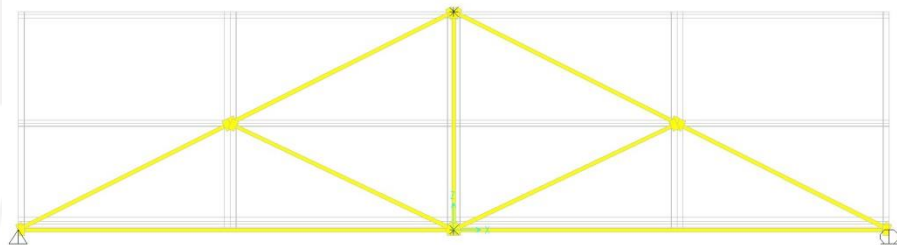
Metode DAM	Metode ELM	Hasil Uji Lab
5,824 kN	10,8985 kN	6,885 kN

Berdasarkan hasil rekapitulasi tersebut, metode ELM pada dasarnya hanya memperhitungkan nilai kuat tekan rangka atap yang mengalami

kondisi tekuk sempurna, sehingga nilai yang dihasilkan melalui metode ELM cukup besar. Hal tersebut dikarenakan metode ELM tidak memperhitungkan adanya ketidaksempurnaan geometri dan adanya orde ke-2, sehingga metode ELM hanya mampu menganalisis kuat tekan rangka atap dengan perilaku pada bidang dua dimensi (2D) secara sempurna. Berbeda dengan metode ELM, metode DAM memperhitungkan beban *notional* dan reduksi kekakuannya untuk memperkirakan kondisi dan letak tekuk pada rangka atap, sehingga metode DAM dapat memprediksi nilai kuat tekan rangka atap yang terbilang mendekati hasil pengujian laboratorium.



Gambar 5. 24 Permodelan Metode DAM Memperhitungkan Beban Notional Karena Cacat Bawaan



Gambar 5. 25 Permodelan Metode ELM Kondisi Pada Bidang 2 Dimensi Sempurna

Tingkat akurasi metode ELM dan DAM terhadap hasil uji laboratorium sendiri lebih baik akurasi dari metode DAM. Hal ini dibuktikan oleh nilai *error* terhadap uji laboratorium pada metode DAM sebesar 15,410 %. Sementara nilai *error* metode ELM terhadap hasil uji lab sebesar 58,293 %. Hasil tersebut membuktikan bahwa metode DAM lebih akurat dalam memprediksi nilai kuat tekan dibandingkan metode ELM.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemodelan batang tekan dilakukan dengan nilai reduksi kekakuan sebesar $EI^* = 0,8 \times \tau_b \times E$ dan didapatkan nilai kuat tekan profil sebesar 5,824 kN dan menghasilkan nilai error terhadap hasil pengujian laboratorium sebesar 15,410 %. Nilai tersebut didapatkan setelah dilakukan reduksi kekakuannya. Dalam proses pemodelan batang tekan untuk kasus pelat tunggal dan kelangsingan tinggi, didapatkan posisi peletakkan beban *notional* (N_i) pada batang tekan yang menuju ke dalam dan ke luar bidang gambar (sumbu Y). Sementara pada proses perangkaian rangka atap atau elemen tekan dengan plat sambung tunggal perlu diperhatikan pada bagian sambungannya, pastikan pelat buhul tidak menempel dengan profil, karena hal tersebut akan mengakibatkan pelat buhul sebagai penahan momen, sehingga kapasitas tekannya akan berkurang.
2. Prediksi kuat tekan rangka atap kelangsingan tinggi dengan plat sambung tunggal sebesar 5,824 kN. Hasil tersebut didapatkan setelah mengalami reduksi kekakuan.
3. Nilai kapasitas tekan rangka atap metode DAM sebesar 5,824 kN, sementara nilai kapasitas tekan rangka atap metode ELM sebesar 10,8985 kN, dan hasil pengujian di laboratorium sebesar 6,885 kN. Dengan nilai *error* yang terjadi pada metode DAM terhadap hasil pengujian laboratorium sebesar 15,410 % dan nilai *error* metode ELM terhadap hasil pengujian laboratorium sebesar 58,293 %. Nilai yang lebih besar pada metode ELM disebabkan oleh asumsi pada metode ELM terjadi pada bidang 2 dimensi yang sempurna.

Sementara metode DAM memperhitungkan cacat bawaan serta pengaruh orde ke-2. Maka dari itu nilai kapasitas tekan yang dihasilkan dari metode DAM lebih mendekati hasil dari pengujian di laboratorium.

6.2 Saran

Berikut merupakan saran dari penulis yang dapat diberikan terhadap pengujian ini.

1. Pastikan pada saat membeli profil baja, dimensi diukur secara detail karena apabila dimensi profil yang dibeli berbeda, akan mempengaruhi hasil dari desain tersebut.
2. Dapat dicoba dengan variasi baut yang lain, karena pada pengujian ini diperoleh nilai kapasitas tekan yang terbilang kecil, karena apabila hanya memakai baut tunggal tidak cocok untuk digunakan sebagai rangka atap.
3. Lebih teliti lagi dalam *setting* baut rangka atapnya, karena di pengujian ini diperoleh kondisi tekuk yang berbeda diakibatkan perbedaan *settingan* baut sambungannya.
4. Perlu dimatangkan lagi sebelum melakukan pengujian, seperti mempersiapkan jumlah sampel dan dalam proses pengerjaan sampel uji.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC.(2010). “An American National Standard ANSI/AISC 360-10 : Load Specification for Structural Steel Buildings”, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. Cara Uji Mekanis Mur & Baut SNI 06-0571-1989 ICS. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1998. Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam SNI 07-0371-1998. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 03-1729-2015. BSN. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729-2020. BSN. Jakarta.
- Dewobroto, W., (2014). “Rekayasa Komputer dalam Analisis dan Desain Struktur Baja Studi Kasus Direct Analysis Method (AISC 2010)”, Seminar dan Lokakarya Rekayasa Struktur, Universitas Kristen Petra.
- Dewobroto, W.. (2015). Struktur Baja – Perilaku, Analisis, & Desain – AISC 2010. Lumina Press. Jakarta.
- Salmon, C.G., John E. Johnson dan Faris A.Malhas.(2009).”*Steel Structures : Design and Behaviour 4th Ed*”, Pearson Education, Inc.
- Sugawa, A. A., (2017).” Evaluasi Stress Ratio Dengan Metode Panjang Efektif Dan Metode Perencanaan LANGsung Pada Portal Gable”, Jurnal Sipil Statik Vol. 5, No.8, Universitas Sam Ratulangi Manado



Lampiran 1 Jadwal Tugas Akhir

Bulan Ke-			1				2				3				4	
Minggu Ke-			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	
Kegiatan	Jam	Bobot (%)														
Studi Literatur	12	8.759	2	2	3	5										
Pembuatan Benda Uji	36	19.708					6	9	6	6	9					
Pengujian	9											9				
Analisis Data		14.599														
Menghitung hasil pengujian	20	14.599										12	8			
Membuat permodelan dengan SAP2000	20	14.599										14	6			
Analisis Perbandingan hasil eksperimen laboratorium dengan hasil permodelan Analisis SAP2000	20	14.599											16	4		
Pembahasan dan Kesimpulan	8	5.839											6	2		
Penyusunan Laporan	10	7.299										2	2	4	2	
	135	100														
			2	2	5	8	6	9	6	6	9	37	32	10	2	
			1.49	2.98	6.71	12.68	17.2	23.9	28.4	32.9	39.6	67.2	91.1	98.6	100	

Lampiran 2 Proses Uji Tarik Plat Baja



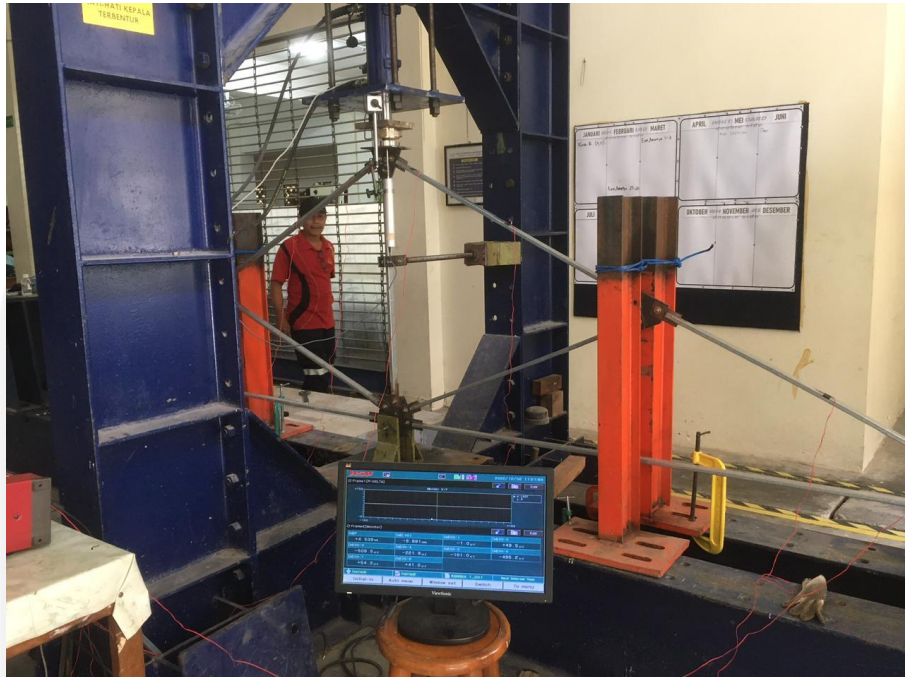
Lampiran 3 Proses Uji Kuat Geser Baut



Lampiran 4 Proses Uji Kuat Tekan Rangka Atap Sampel 1



Lampiran 5 Proses Uji Kuat Tekan Rangka Atap Sampel 2



Lampiran 6 Surat Peminjaman Laboratorium



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

PROGRAM STUDI
TEKNIK SIPIL

Yogyakarta, 24 Oktober 2022

Nomor : 269/Sek.Prod/20/10/10/2022
 Lampiran :
 Hal : Permohonan Izin Pemakaian Lab

Kepada Yth:
 Kepala Lab. Struktur dan Mekanika Reayasa
 Prodi Teknik Sipil FTSP
 Universitas Islam Indonesia
 di Yogyakarta
 Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : GANANG RAIS SARJUNA
 No. Mhs : 16511177
 Prodi : Teknik Sipil

Sehubungan dengan Penelitian yang saya lakukan guna menyusun mata kuliah tugas akhir, maka bersama ini mengajukan permohonan untuk meminjam peralatan beserta fasilitas laboratorium guna mendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir.

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 24 Oktober 2022

Sekretaris Prodi Teknik Sipil



Dinia Anggraheni



Pemohon




GANANG RAIS SARJUNA
16511177

Gedung Ek. Rek. Nalir Lt.1 Saqq Timur
 Jl. Kaliurang Km 14.5 Yogyakarta
 T. (0274) 89444 ext. 325
 F. (0274) 89338

اجتازت الامتحان

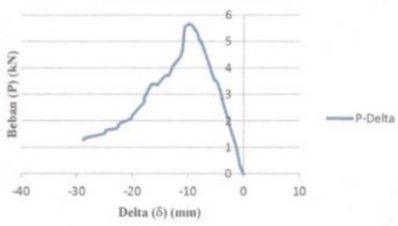
Lampiran 7 Hasil Pengujian Tekan Rangka Atap Sampel 1

 **LABORATORIUM BAHAN KONSTRUKSI TEKNIK**
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Kampus Depok, Jalan Sekeloa Indah 1, Blok 10, Depok 16132, Indonesia

HASIL DATA PENGUJIAN TUGAS AKHIR

Peneliti : Ganang Rais Sarjuna
NIM : 16511177
Judul Penelitian : Evaluasi Kekuatan Tekan Struktur Rangka Atap Baja Kelangsingan Tinggi Dengan Plat Buhul Dan Variasi Baut Tunggal Menggunakan Metode Analisis Langsung Yang Terverifikasi Pengujian Laboratorium Terhadap Hasil Analisis Menggunakan Metode Panjang Efektif
Diuji Tanggal : 2 Desember 2022
Sampel : Uji Tekan Rangka Atap Sampel 1


Grafik Hubungan P-Delta




Delta (δ) (mm)	Beban (P) (kN)
-30	1.5
-20	2.5
-15	3.5
-10	5.5
-5	4.5
0	0

Yogyakarta, 6 Februari 2023

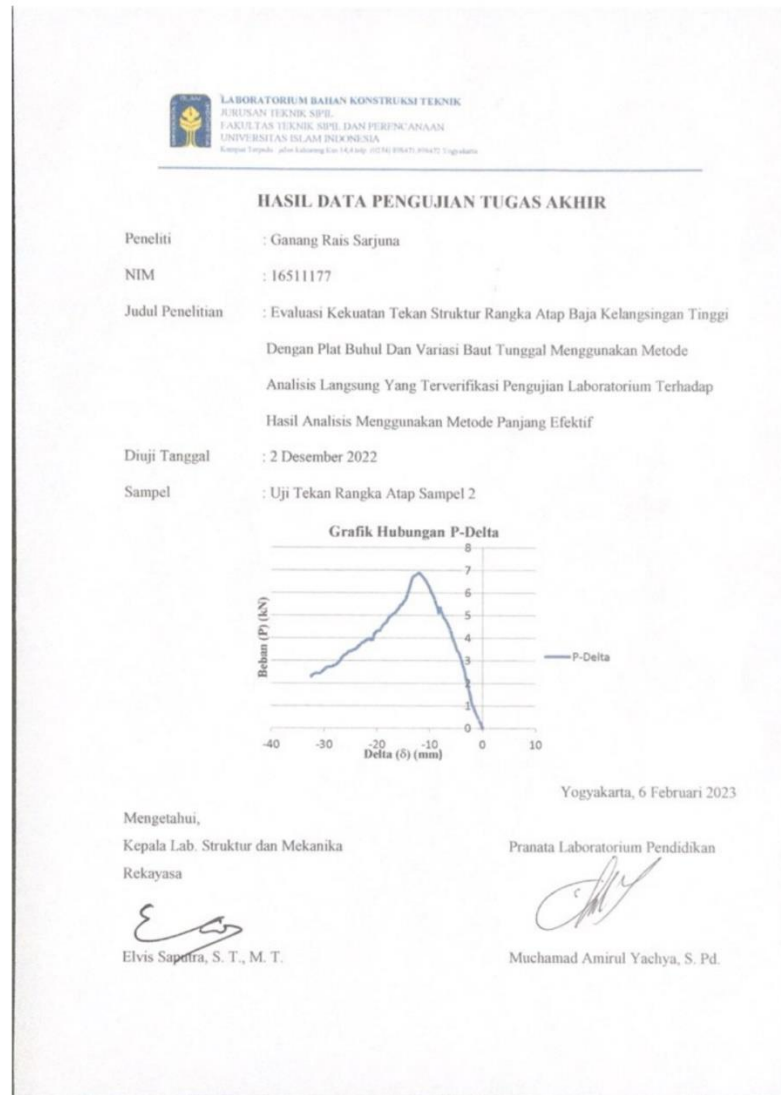
Mengetahui,
Kepala Lab. Struktur dan Mekanika
Rekayasa


Elvis Saputra, S. T., M. T.

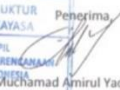
Pranata Laboratorium Pendidikan


Muchamad Amirul Yachya, S. Pd.

Lampiran 8 Hasil Pengujian Tekan Rangka Atap Sampel 2



Lampiran 9 Kwitansi Pembayaran Peminjaman Laboratorium

KWITANSI*		Lembar ke : 1
Nomor : 014/Ka.Lab./30/SMR/II/2023		
Telah terima dari	: Ganang Rais Sarjuna (NIM 16511177)	
Uang Sejumlah	: Satu Juta Rupiah	
Keperluan	: Pembayaran pelayanan pengujian sampel Tugas Akhir	
Terbilang :	1.000.000	
*Kuitansi ini berlaku sebagai tanda bukti pembayaran dan surat bebas Laboratorium		
		Yogyakarta, 7 Februari 2023
Lembar 1 : Arsip	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"><p style="text-align: center;">LABORATORIUM STRUKTUR DAN MEKANIKA REKAYASA</p><p style="text-align: center;">JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA</p></div>	
Lembar 2 : Pembayar	Penerima  Muchamad Amirul Yachya	

