

ANALISIS STRUKTUR RANGKA BAJA PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG OLAHRAGA UNIMUDA SORONG

Zul Kifly¹, Andi Rahmat², dan Intan Java Turis Repmi Tamsih³

^{1,2,3}Prodi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, Jl. K.H. Ahmad Dahlan No.01 Sorong
Email: zul kifli4670@gmail.com¹, rahmad15mei@gmail.com² dan intan.turis@gmail.com³

ABSTRAK

Analisis struktur yang tepat dapat mencegah kegagalan struktural dan memperpanjang usia pakai suatu bangunan gedung. Oleh karena itu, analisis struktur dalam konteks proyek pembangunan gedung olahraga Unimuda Sorong menjadi sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur, menghitung beban ultimate pada setiap elemen, menganalisis deformasi struktur, dan mengevaluasi kekuatan sambungan baut. Struktur bangunan menggunakan material baja dengan dimensi 50 m x 24 m, tinggi kolom 6 m, dan bentang kuda-kuda 24 m. Penelitian ini merupakan studi kasus pertama yang menganalisis struktur baja untuk gedung olahraga di wilayah Papua Barat Daya dengan menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) dengan bantuan aplikasi SAP2000. Analisis dan perhitungan mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan PPURG 1987. Hasil analisis menunjukkan 20 elemen struktur (rafter dan balok) mengalami kondisi *overstressed* dengan *PM-Ratio* > 1,00. Beban ultimate terbesar dipikul elemen kolom dengan $P_u = -64,617$ kN, $V_u = 32,126$ kN, dan $M_u = 99,3886$ kN.m. Deformasi maksimum akibat kombinasi beban ultimate sebesar 0,259 m. Perhitungan sambungan baut menunjukkan kekuatan memadai dengan nilai $0,635 < 1$ (sambungan rafter-kolom) dan $0,685 < 1$ (sambungan antar rafter), serta kuat tumpu pelat $1.234,4$ kN > $662,4$ kN.

Kata Kunci: Struktur Baja, LRFD, SAP2000, Beban Ultimate, Sambungan Baut

ABSTRACT

Proper structural analysis can prevent structural failure and extend the service life of a building. Therefore, structural analysis in the context of the Unimuda Sorong sports building construction project is very important. This study aims to evaluate the level of structural safety, calculate the ultimate load on each element, analyze structural deformation, and evaluate the strength of bolted connections. The building structure uses steel material with dimensions of 50m x 24m, a column height of 6m, and a truss span of 24m. This research is the first case study analyzing steel structures for sports buildings in the Southwest Papua region using the LRFD (Load and Resistance Factor Design) method with the help of the SAP2000 application. The analysis and calculations refer to SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, and PPURG 1987. The analysis results show that 20 structural elements (rafters and beams) are overstressed with a PM Ratio > 1.00. The largest ultimate load was borne by the column element with $P_u = -64.617$ kN, $V_u = 32.126$ kN, and $M_u = 99.3886$ kN.m. The maximum deformation due to the ultimate load combination was 0.259 m. The bolt connection calculations showed adequate strength with values of $0.635 < 1$ (rafter-column connection) and $0.685 < 1$ (inter-rafter connection), as well as a plate bearing strength of $1,234.4$ kN > 662.4 kN.

Keywords: Steel Structure, LRFD, SAP2000, Ultimate Load, Bolt Connection

1. PENDAHULUAN

Pembangunan suatu gedung harus direncanakan dengan matang agar bangunan gedung dapat sesuai dengan standar keamanan yang berlaku. Struktur yang direncanakan harus mampu menahan beban yang terjadi agar bangunan gedung tersebut aman saat digunakan. Pemilihan bahan yang akan digunakan juga menjadi salah satu metode penting dalam merencanakan struktur bangunan. Gedung olahraga Unimuda Sorong dibangun menggunakan konstruksi baja dengan tinggi bangunan 1 lantai dengan dimensi 50 m x 24 m dengan tinggi kolom baja 6 m, dan bentang kuda-kuda 24 m. Gedung olahraga ini direncanakan dapat memuat hingga 4 lapangan badminton, 2 lapangan futsal dan dilengkapi dengan 5 ruangan tambahan serta 2 kamar mandi untuk menunjang aktivitas perkuliahan maupun olahraga mahasiswa dan civitas akademika. Pemilihan struktur baja sebagai material utama

Corresponding Author

E-mail Address : zul kifli4670@gmail.com

dalam pembangunan gedung olahraga Unimuda Sorong memiliki pertimbangan teknis yang kuat. Baja tidak hanya memiliki kekuatan tarik dan tekan yang luar biasa, tetapi juga memiliki banyak sifat positif lainnya, yang membuatnya menjadi salah satu bahan bangunan yang paling banyak digunakan saat ini (Yuniar, 2014).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji analisis struktur baja pada bangunan gedung dengan berbagai pendekatan. Penelitian serupa oleh Pranoto dan Jepriani (2020) menganalisis kekuatan dan keamanan struktur rangka atap baja baik secara empiris maupun model numerik dengan melakukan pengujian fisik pada bahan baja yang digunakan. Sementara itu, Miss Rashmi Bhonsale dan Prof. Mr. Kushagra Pandey (2021) menganalisis beban pada struktur baja serta menghitung parameter struktural seperti momen lentur, gaya geser, dan defleksi dan merancang elemen struktur. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum mengintegrasikan secara komprehensif antara evaluasi kapasitas elemen struktur, analisis deformasi, dan verifikasi kekuatan sambungan dalam satu kerangka analisis yang menyeluruh khususnya untuk gedung olahraga di wilayah Indonesia Timur. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi gap tersebut dengan menyajikan analisis terintegrasi yang mencakup evaluasi tingkat keamanan struktur, perhitungan beban ultimate, analisis deformasi, dan evaluasi sambungan baut secara simultan pada studi kasus gedung olahraga Unimuda Sorong.

Ketahanan struktur baja terhadap beban statis yang direncanakan dan potensi bencana seperti gempa bumi adalah komponen terpenting dari struktur. Perencanaan dan perhitungan yang tepat diperlukan untuk mengetahui hal tersebut. Akibatnya, analisis struktur yang tepat dan teliti diperlukan untuk memastikan bahwa rencana bangunan dapat memenuhi kekuatan (*strength*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), dan umur (*durability*) (Subagyo dkk., 2022). Analisis struktural yang tepat dapat mencegah kegagalan struktural dan memperpanjang usia pakai gedung. Oleh karena itu, analisis struktur baja dalam konteks proyek pembangunan gedung olahraga Unimuda Sorong menjadi sangat penting untuk dilakukan. Oleh karenanya, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur, menghitung beban ultimate pada setiap elemen struktur, menganalisis deformasi struktur, dan mengevaluasi kekuatan sambungan baut pada proyek pembangunan gedung olahraga Unimuda Sorong dengan mempertimbangkan berbagai aspek teknis dan regulasi yang berlaku.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Material Baja

Baja adalah salah satu material konstruksi yang paling penting dan banyak digunakan di berbagai industri karena sifatnya yang kuat, tahan lama, dan serbaguna. Material ini merupakan campuran utama dari besi dan karbon, dengan tambahan elemen lain seperti krom, nikel, atau molibdenum untuk meningkatkan karakteristik tertentu seperti ketahanan terhadap korosi atau kekuatan tarik (Yuniar, 2014). Baja memiliki kemampuan untuk menahan beban berat tanpa mengalami deformasi yang signifikan, sehingga sering digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan, kendaraan, hingga peralatan mesin. Selain itu, baja juga mudah dibentuk dan dapat didaur ulang, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan dalam jangka panjang (Fahri dkk., 2022).

Berdasarkan SNI 03-1729-2002 tentang tata cara perencanaan struktur baja untuk bangunan gedung, sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum. Tegangan leleh tidak boleh melebihi nilai yang diberikan. Tegangan putus untuk perencanaan (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan pada tabel. Dalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2002 mengambil beberapa sifat – sifat mekanik dari material baja yang sama, yaitu modulus elastisitas (E) = 200.000 Mpa, modulus geser (G) = 80.000 Mpa, angka poisson = 0,30, dan koefisien muai panjang (α) = $12.10^{-6}/^{\circ}C$.

Struktur Baja

Struktur baja adalah serangkaian struktur dari bahan baja konstruksi yang dirancang untuk transportasi beban, memungkinkan untuk kekakuan penuh bangunan dan infrastruktur. Struktur baja terdiri dari berbagai elemen seperti balok, kolom, dan pelat yang terbuat dari baja dan disusun sedemikian rupa sehingga dapat menahan beban yang diterapkan pada struktur tersebut. Baja dipilih sebagai bahan utama karena memiliki kekuatan tarik dan kekuatan tekan, deformasi dan fleksibilitas yang memungkinkan desain kreatif dan efisien. Struktur baja biasanya digunakan dalam berbagai proyek, seperti bangunan bertingkat tinggi, jembatan, menara, dan pabrik industri. Ini karena sifat baja yang ringan tetapi kuat, mudah dibentuk dan dapat dengan cepat dirakit di lokasi konstruksi (Mulyadi dkk., 2020).

Menurut Arifi & Setyowulan (2020), material baja memiliki keunggulan yang membuatnya menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur bangunan. Keunggulan tersebut antara lain: Baja memiliki kekuatan yang sangat tinggi, sehingga mampu mengurangi ukuran struktur. Hal ini berdampak pada penurunan berat keseluruhan struktur bangunan. Baja memiliki tingkat elastisitas yang tinggi, dan sesuai dengan hukum Hooke. Sehingga momen inersia dari baja bisa dihitung dengan akurat. Kekerasan (*toughness*) dari baja adalah kemampuannya untuk menyerap

energi dalam jumlah besar. Baja mudah dipasang atau dihubungkan dengan struktur yang sudah ada, sehingga mampu mempercepat proses konstruksi. Baja memiliki daktilitas yang cukup tinggi, yaitu kemampuannya untuk menahan deformasi besar tanpa terjadi keruntuhan, bahkan dalam kondisi tegangan tinggi. Komposisi material baja lebih seragam dibandingkan dengan beton. Meski memiliki keunggulan tersebut, baja juga memiliki beberapa

Analisis Struktur Baja Metode LRFD

Metode LRFD yaitu suatu perencanaan didasarkan dari beban terfaktor dalam memperkirakan suatu kondisi batas, kondisi maksimum yang dapat diberikan suatu penampang yang berada di luar batas elastis (inelastic), selain itu juga memperhitungkan tegangan ultima baja (f_u) (Rama Tri dkk., 2023). Kekuatan ini dianggap sama dengan kekuatan nominal atau kekuatan teoritis dari elemen struktur (R_n) yang dikalikan dengan suatu faktor resistansi atau faktor overcapacity (ϕ) yang umumnya lebih kecil dari 1,0, faktor resistansi ini dipakai untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam kekuatan material, dimensi, dan pelaksanaan (Tampubolon, 2021). Konsep dasar perencanaan struktur baja metode LRFD ditulis dengan persamaan:

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i \quad (1)$$

Keterangan: R_n = Tahanan nominal, ϕ = Faktor tahanan, γ_i = Faktor beban, dan Q_i = Beban nominal

Beban dan Kombinasi Beban Terfaktor

Beban didefinisikan sebagai kekuatan atau gaya yang mempengaruhi pembangunan elemen struktural yang dapat menyebabkan tegangan, deformasi, atau pergeseran struktur. Menurut SNI 1729:2020, Beban struktur adalah aksi atau gaya yang muncul akibat berat seperti bahan bangunan, penghuni dan muatan, serta dampak lingkungan, adanya mobilitas, dan akibat deformasi pada dimensi. Adapun beberapa jenis beban yaitu beban hidup, beban mati, beban hujan, beban angin, dan beban gempa.

Berdasarkan SNI 1726:2019, Struktur, komponen-elemen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian rupa hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi berikut.

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
3. 1,2D + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr atau R)
5. 0,9D + 1,0W
6. 1,2D + E_v + E_h + L
7. 0,9D – E_v + E_h

Keterangan: D = Beban mati, L = Beban hidup, Lr = Beban hidup atap, R = Beban hujan, W = Beban angin, dan E = Beban gempa.

Sambungan Baut

Sambungan baut adalah sistem penyambungan elemen struktur baja yang menggunakan baut sebagai alat penyambung untuk mentransfer gaya antar elemen, yang perilakunya sangat mempengaruhi kinerja keseluruhan sistem struktur dan memerlukan perhitungan teliti dengan mempertimbangkan berbagai variabel konfigurasi untuk memastikan kekuatan dan kekakuan sambungan optimal sesuai standar yang berlaku (Paisal, 2023). Sambungan baut memiliki beberapa jenis, diantaranya adalah Sambungan sejajar/geser, Sambungan tegak lurus/tarik, dan Sambungan kombinasi sejajar-tegak lurus.

Mengacu pada SNI 1729:2020, suatu baut yang memikul gaya ultimate atau gaya terfaktor harus memenuhi syarat sebagai berikut.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2)$$

Keterangan: R_u = Gaya terfaktor yang dipikul baut (N), ϕ = Faktor ketahanan baut, dan R_n = Kekuatan nominal baut
Menurut SNI 1729:2020, kekuatan nominal baut dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut ini.

- a) Kekuatan Nominal Geser Baut

$$R_{nv} = f_{nv} A_b \quad (3)$$

Keterangan: R_{nv} = Kekuatan nominal baut terhadap gaya geser (N), f_{nv} = Tegangan geser nominal baut (Mpa), dan A_b = Luas bruto penampang baut (mm²)

b) Kekuatan Nominal Tarik Baut

$$R_{nt} = f_{nt} A_b \quad (4)$$

Keterangan: R_{nt} = Kekuatan nominal baut terhadap gaya tarik (N), f_{nt} = Tegangan tarik nominal baut (Mpa), dan A_b = Luas bruto penampang baut (mm²)

c) Kekuatan Tumpu dan Sobek Lubang Baut

$$R_{n.tp} = 1,2 \ell_c t_p f_u^p \leq 2,4 d_b t_p f_u^p \quad (5)$$

Keterangan: $R_{n.tp}$ = Kekuatan nominal tumpu, t_p = Tebal pelat, f_u^p = Tegangan putus minimum pelat, d_b = Diameter baut, ℓ_c = Jarak bersih masing-masing baut

Aplikasi SAP2000

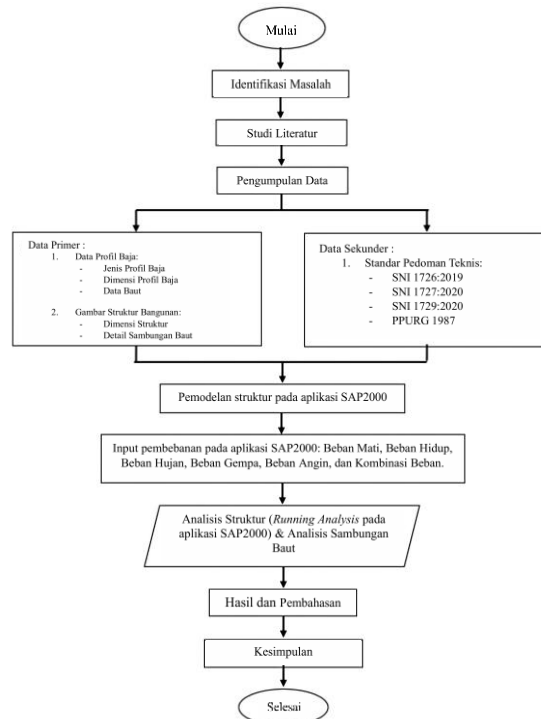
SAP2000 merupakan sebuah perangkat lunak yang banyak digunakan oleh para insinyur sipil untuk melakukan analisis dan desain struktur, khususnya dalam perencanaan bangunan bertingkat dan jembatan. Dikembangkan oleh Computer and Structures, Inc. (CSI) sejak tahun 1970-an, SAP2000 memiliki fitur antarmuka grafis yang intuitif, kemampuan untuk menganalisis struktur dalam format dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D), mengakomodasi berbagai jenis material, menghitung deformasi dan kapasitas struktur, serta menyajikan hasil analisis secara visual. Perangkat lunak ini mendukung berbagai standar desain internasional untuk struktur beton dan baja, serta memiliki kemampuan untuk melakukan analisis statik, dinamik, hingga analisis elemen hingga (finite element) dengan hasil yang akurat dan efisien (Septiani dkk., 2024).

Keunggulan utama dari SAP2000 terletak pada kemampuannya dalam memodelkan struktur yang kompleks, menghasilkan keluaran data 32 seperti momen, gaya geser, dan gaya normal yang diperlukan dalam proses desain elemen struktur, serta dilengkapi dengan fitur optimasi profil penampang untuk menghasilkan desain yang lebih efisien (Marcellino dkk., 2024). SAP2000 banyak dimanfaatkan dalam berbagai proyek berskala besar di seluruh dunia dan telah menjadi standar dalam industri teknik sipil berkat fleksibilitasnya dan keandalannya dalam menangani berbagai jenis analisis struktur. Perangkat lunak ini biasanya digunakan untuk menganalisis bentuk bangunan seperti gedung dan jembatan, memperkirakan jumlah bahan yang diperlukan untuk struktur tersebut, serta menguji kemampuan bangunan untuk tahan terhadap beban seismik (Bhonsale dan Pandey, 2021). Sebelum menggunakan SAP2000, pastikan bahwa sistem komputer yang digunakan telah memenuhi persyaratan minimum yang dibutuhkan agar perangkat lunak dapat berfungsi dengan optimal.

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah kuantitatif, yaitu cara mengumpulkan dan menganalisis data dengan angka dan statistik agar bisa mendapatkan kesimpulan dan menjawab masalah yang dibahas. Tujuan penelitian kuantitatif adalah untuk menguji hipotesis dan membuat model matematika, teori, serta/atau hipotesis baru terkait fenomena yang berkaitan dengan masalah yang telah ditetapkan, agar bisa memberikan jawaban yang sesuai dengan permasalahan yang diajukan (Nashrullah dkk., 2023). Objek yang akan diteliti dan dianalisis strukturnya dalam penelitian ini adalah Gedung Olahraga Unimuda Sorong yang berlokasi di Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 01 Mariyat Pantai, Aimas, Kabupaten Sorong, Provinsi Papua Barat Daya.

Data primer yang diperlukan adalah data profil baja yang meliputi jenis dan dimensi profil baja, data baut yang digunakan pada sambungan struktur, dan gambar struktur bangunan yang meliputi dimensi struktur bangunan. Data primer diperoleh dengan cara melakukan observasi dan pengukuran langsung pada struktur Gedung Olahraga Unimuda Sorong. Data sekunder yang diperlukan adalah data standar pedoman teknis berupa peraturan-peraturan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan PPURG 1987. Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi SAP2000 v.22 dengan menggunakan metode *Load Resistance Force Design* (LRFD). Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan mengacu pada diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

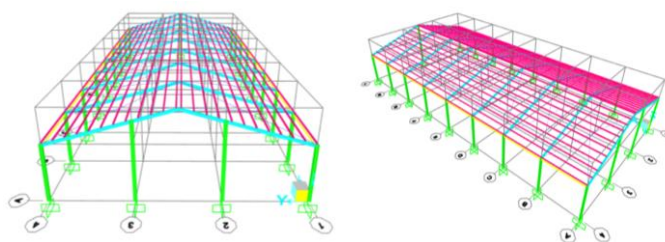
Data Proyek

Berikut merupakan data proyek pada pembangunan Gedung Olahraga Unimuda Sorong.

- Nama pekerjaan : Pembangunan gedung olahraga Unimuda Sorong
- Fungsi bangunan : Fasilitas pendidikan (Gedung olahraga)
- Jenis struktur : Struktur baja
- Lokasi pekerjaan : Kab. Sorong (Papua Barat Daya)
- Jumlah lantai : 1 Lantai
- Panjang bangunan : 50 Meter
- Lebar bangunan : 24 Meter
- Bentang kuda-kuda : 24 Meter
- Jarak portal : 6,25 Meter
- Tinggi pondasi : 1 Meter
- Tinggi kolom baja : 6 Meter
- Kemiringan atap : 16 °
- Tinggi atap : 3,5 Meter
- Jenis tanah : Kelas Situs SE (Tanah Lunak)

Pemodelan Struktur

Hasil pemodelan struktur gedung olahraga Unimuda Sorong pada SAP2000 dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pemodelan Struktur Gedung Olahraga Unimuda Sorong

Ukuran penampang profil baja yang digunakan pada struktur gedung olahraga Unimuda Sorong diantaranya adalah Kolom : I/WF 300 x 150 x 6,5 x 9 mm, Balok : I/WF 100 x 50 x 5 x 7 mm, Rafter : I/WF 250 x 125 x 6 x 9 mm, Gording : CNP 125 x 50 x 20 x 3,2 mm, dan Wind Brace : Baja Tulangan Polos 22 mm. Spesifikasi material dari bahan baja yang digunakan pada struktur gedung olahraga Unimuda Sorong dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Material Baja

| | | | |
|---------------------------------------|---|--------|-------------------|
| Baja Profil (SS 400) | | | |
| Tegangan leleh minimum, f_y | : | 245 | N/mm ² |
| Tegangan tarik minimum, f_u | : | 400 | N/mm ² |
| Berat Jenis, B _j | : | 7850 | kg/m ³ |
| Modulus Elastisitas, E | : | 200000 | Mpa |
| Baja Tulangan Polos (BJTP 280) | | | |
| Tegangan leleh minimum, f_y | : | 280 | N/mm ² |
| Tegangan tarik minimum, f_u | : | 350 | N/mm ² |
| Berat Jenis, B _j | : | 7850 | kg/m ³ |
| Modulus Elastisitas, E | : | 200000 | Mpa |

Pembebanan Struktur

a) Analisis Beban Hidup (L)

Beban hidup atap (L_r)

Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan diambil sebesar 1,33 kN (300 lb) berdasarkan tabel Tabel 4.3-1 - Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum pada SNI 1727:2020.

b) Analisis Beban Mati (DL)

Beban mati tambahan (SIDL)

Pembebanan penutup atap

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak rafter} &= 6,25 \text{ m} \\
 \text{Jarak antar gording} &= \text{Panjang rafter} / \text{Jumlah gording} \\
 &= 12,2 / 11 \\
 &= 1,11 \text{ m} \\
 \text{Luas area beban} &= \text{Jarak rafter} \times \text{Jarak antar gording} \\
 &= 6,25 \times 1,11 \\
 &= 6,93 \text{ m}^2 \\
 \text{Berat penutup atap} &= 3,75 \text{ kg/m}^2 = 0,0375 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Beban atap} &= \text{Berat penutup atap} \times \text{Luas area beban} / \text{Jarak rafter} \\
 &= 0,0375 \times 6,93 / 6,25 \\
 &= \mathbf{0,042 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

c) Analisis Beban Hujan (R)

Analisa beban hujan mengacu pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987 untuk beban hujan terhadap atap miring sebagai berikut.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar kuda-kuda} &= 6,25 \text{ m} \\
 \text{Jarak antar gording} &= 1,11 \text{ m} \\
 \text{Sudut kemiringan atap } (\alpha) &= 16^\circ
 \end{aligned}$$

Maka beban hujan,

$$\begin{aligned}
 R &= 40 - 0,8 \times \alpha \\
 &= 40 - 0,8 \times 16^\circ \\
 &= 27,2 \text{ Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban hujan tidak perlu diambil lebih besar dari 20 Kg/m² jika tidak menyebabkan genangan yang signifikan pada permukaan atap.

$$R_{\max} = 20 \text{ Kg/m}^2$$

Maka beban hujan merata pada gording adalah sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 q_R &= R_{\max} \times \text{Jarak antar gording} \\
 &= 20 \times 1,11 \\
 &= 22,182 \text{ Kg/m} \\
 &= \mathbf{0,218 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

d) Analisis Beban Angin (W)

Analisa struktur terhadap beban angin mengacu pada standar SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain, Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh Komponen dan Klading (K&K) gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut Pasal 26 sampai Pasal 31. Hasil analisis beban angin adalah sebagai berikut.

- Beban Angin Minimum, W_{min} = 0,77 kN/m²
- Beban Angin Rencana, W_r = 0,8 kN/m²
- Kecepatan Angin Rencana, V = 80,82 mph
- Kekasaran Permukaan = B
- Kategori Eksposur = B
- Faktor Topografi, K_{zt} = 1,0
- Faktor Efek Hembusan Angin = 0,85
- Faktor Arah Angin, K_d = 0,85
- Nilai tekanan angin desain
 - Permukaan bangunan gedung, 1 = 0,53
 - Permukaan bangunan gedung, 2 = -0,69
 - Permukaan bangunan gedung, 3 = -0,48
 - Permukaan bangunan gedung, 4 = -0,43
 - Permukaan bangunan gedung, 5 = 0,40
 - Permukaan bangunan gedung, 6 = -0,29

e) Analisis Beban Gempa (E)

Analisa struktur terhadap beban gempa mengacu pada standar SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Analisa struktur terhadap beban gempa dilakukan dengan metode analisis dinamik respon spektrum. Dari analisis beban gempa yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil sebagai berikut.

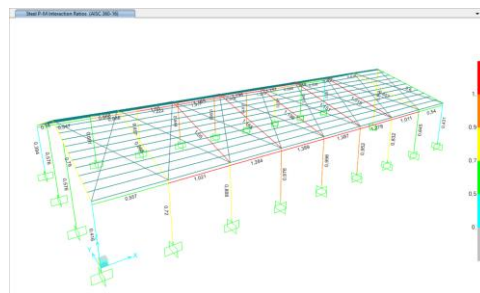
- Kategori Risiko Bangunan = III
- Faktor Keutamaan Gempa, I_e = 1,25
- Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek, S_s = 1,6160 g
- Parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode 1 detik, S_l = 0,6160 g
- Faktor Amplifikasi terkait percepatan pada Periode pendek, F_a = 0,8
- Faktor Amplifikasi terkait percepatan pada Periode 1 detik, F_v = 2,0
- Parameter respon spektral percepatan desain periode pendek, S_{ds} = 0,86 g
- Parameter respon spektral percepatan desain periode pendek, S_{d1} = 0,52 g
- Periode Transisi Panjang (Long-period Transition Period), T_L = 12 Detik
- Kategori Desain Seismik = D
- Jenis Sistem Penahan Gempa = Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- Koefisien Modifikasi Respons, R (Arah x & Arah y) = 8
- Faktor Kuat Lebih Sistem, Ω_0 (Arah x & Arah y) = 3
- Faktor Pembesaran Defleksi, C_d (Arah x & Arah y) = 5,5
- Scale Factor, SF (Arah x & Arah y) = 1,84

Check of Structure

Pengecekan Struktur dilakukan untuk melihat apakah ketahanan struktur baja yang telah didesain mampu menahan semua beban termasuk kombinasi beban yang bekerja pada struktur tersebut. Pada aplikasi SAP2000, output dari pengecekan struktur merupakan evaluasi ketahanan struktur terhadap beban yang divisualisasikan melalui indikasi warna-warna yang dikeluarkan oleh aplikasi dan nilai rasio parstispasi massa (*PM-Ratio*) dengan keterangan sebagai berikut.

- Warna biru: Rasio 0.00 – 0.50 : Sangat Aman
- Warna Hijau: Rasio 0.50 - 0.70 : Aman
- Warna Kuning: Rasio 0.70 – 0.90 : Aman
- Warna Orange: Rasio 0.90 – 1.00 : Cukup Aman
- Warna Merah: Rasio > 1.00: Kritis (*Overstress/OS*)

Berikut adalah hasil pengecekan struktur baja gedung olahraga Unimuda Sorong pada aplikasi SAP2000.



Gambar 3. Hasil Pengecekan Struktur Baja Ditinjau Dalam 3D

Terdapat 20 elemen struktur yang terdiri dari rafter dan balok yang mengalami *overstress*, dengan nilai *PM-Ratio* lebih besar dari 1,00. Nilai *PM-Ratio* tertinggi terdapat pada balok dengan nilai 1,388818 dan yang terendah masih di atas 1, yaitu 1,010513, menunjukkan tingkat *overstress* yang bervariasi antar elemen. Kombinasi beban yang dominan menyebabkan kondisi *overstress* adalah LRFD 3-5 untuk elemen rafter dan LRFD 5-3 untuk elemen balok. Dimensi profil berpengaruh langsung terhadap nilai *PM-Ratio*, di mana profil dengan dimensi yang lebih kecil memiliki kapasitas momen dan aksial yang lebih rendah. Ketika dimensi profil tidak memadai untuk menahan kombinasi beban yang bekerja, maka *PM-Ratio* akan melebihi 1,00 yang mengindikasikan kondisi *overstress*. Dalam kasus ini, *PM-Ratio* berkisar antara 1,010513 hingga 1,388818, menunjukkan bahwa kapasitas penampang profil yang ada tidak cukup untuk menahan gaya dalam yang terjadi akibat kombinasi beban.

Analisis Beban Ultimate

Analisis beban ultimate penting dilakukan untuk mengetahui bagaimana struktur merespon berbagai beban yang bekerja, terutama pada kombinasi beban ultimate. Dengan memahami distribusi beban ultimate yang terjadi, kita dapat mengidentifikasi bagian-bagian struktur yang mengalami tegangan tinggi dan memastikan semua elemen mampu menahan beban ultimate dengan aman sesuai kapasitas yang direncanakan. Hasil analisis beban ultimate pada setiap elemen struktur yang dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Analisis Beban Ultimate

| Elemen Struktur | Gaya Aksial Maksimum, P_u (kN) | Gaya Geser Maksimum, V_u (kN) | Momen Maksimum, M_u (kN.m) |
|--|--|---------------------------------|------------------------------|
| Kolom (I/WF 300 x 150 x 6,5 x 9 mm) | -64,617 (tekan) & 17,117 (tarik) | 32,126 | 99,3886 |
| Balok (I/WF 100 x 50 x 5 x 7 mm) | 26,452 (tarik) & -7,913 (tekan) | 0,381 | 0,5947 |
| Rafter (I/WF 250 x 125 x 6 x 9 mm) | -35,092 (tekan) & 34,653 (tarik) | 24,979 | 90,1114 |
| Gording (CNP 125 x 50 x 20 x 3,2 mm) | -52,235 (tekan) & 35,822 (tarik) | 1,421 | 3.7789 |
| Wind Brace (Baja Tulangan Polos 22 mm) | 40,38 (tarik) & -39,419 (tekan) | 0,277 | 0,9683 |

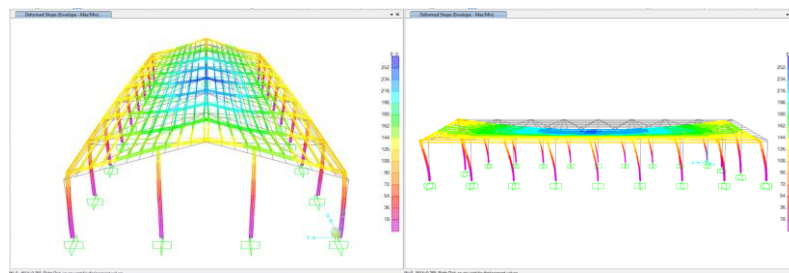
Hasil analisis beban ultimate pada SAP2000 menunjukkan bahwa elemen kolom secara keseluruhan memikul beban ultimate paling besar dibandingkan elemen struktur lainnya, sedangkan gaya aksial tarik paling besar dipikul oleh elemen wind brace seperti yang terlihat pada tabel 2.

Pengecekan Deformasi Struktur

Deformasi yang terjadi menunjukkan seberapa besar perpindahan dan perubahan bentuk struktur akibat gaya-gaya yang bekerja. Hasil deformasi sangat penting untuk dievaluasi karena akan menentukan apakah struktur masih dalam batas aman dan nyaman untuk digunakan, serta membantu mengidentifikasi bagian-bagian struktur yang mengalami perpindahan berlebihan yang perlu mendapat perhatian khusus. Pada aplikasi SAP2000, output dari pengecekan deformasi struktur merupakan evaluasi seberapa besar perpindahan dan reaksi yang ditimbulkan pada joint/node akibat perubahan bentuk struktur yang divisualisasikan melalui indikasi gradasi warna dan nilai perpindahan total yang dikeluarkan oleh aplikasi dengan keterangan sebagai berikut.

- Warna Ungu – Merah: Deformasi Minimum/nol
- Warna Merah Muda – Jingga: Deformasi kecil
- Warna Kuning – Hijau Muda: Deformasi Sedang
- Warna Hijau Tua – Biru Muda: Deformasi Besar
- Warna Biru Muda – Biru Tua: Deformasi Maksimum

Berikut merupakan hasil pengecekan deformasi struktur baja akibat kombinasi beban ultimate yang bekerja pada gedung olahraga Unimuda Sorong yang divisualisasikan pada aplikasi SAP2000 dapat dilihat pada gambar 4.

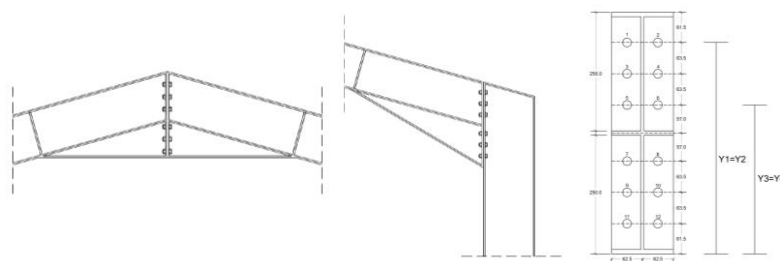


Gambar 4. Bentuk Deformasi Struktur Akibat Beban Ultimate

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa seluruh elemen struktur memiliki warna yang bervariasi yang berarti struktur mengalami deformasi pada setiap elemen struktur akibat kombinasi beban ultimate. Deformasi maksimum terjadi pada elemen rafter dan gording yang terletak pada bagian tengah bentangan struktur yang ditunjukkan dengan elemen struktur berwarna biru pada gambar dengan perpindahan total maksimum sebesar 0,259 m.

Analisis Sambungan Baut

Detail sambungan baut rafter ke rafter dan sambungan baut rafter ke kolom pada struktur gedung olahraga Unimuda Sorong dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Detail Sambungan Baut Pada Struktur Gedung Olahraga Unimuda Sorong

a) Sambungan Rafter ke Kolom

Hitung beban yang dipikul 1 buah baut akibat gaya yang bekerja

- Beban yang dipikul 1 buah baut akibat gaya geser

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n} = \frac{24,979}{12} = 2,08 \text{ kN}$$

- Beban yang dipikul 1 buah baut akibat gaya aksial

$$R_{ut.a} = \frac{P_u}{n} = \frac{34,653}{12} = 2,88 \text{ kN}$$

- Beban tarik yang dipikul 1 buah baut akibat gaya aksial dan momen

$$R_{ut} = R_{ut.a} + R_{ut.m} = 2,88 + 70,12 = 73 \text{ kN}$$

Hitung kekuatan rencana sambungan baut

- Kekuatan geser untuk 1 buah baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= 0,75 f_{nv} A_b \\ &= 0,75 \times 372 \times 197,9 \\ &= 55.214,1/1000 \\ &= 55,21 \text{ kN} > 2,08 \text{ kN (Aman)}\end{aligned}$$

- Kekuatan tarik untuk 1 buah baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nt} &= 0,75 f_{nt} A_b \\ &= 0,75 \times 620 \times 197,9 \\ &= 92.023,5/1000 \\ &= 92,02 \text{ kN} > 71,16 \text{ kN (Aman)}\end{aligned}$$

Cek kekuatan sambungan baut akibat kombinasi geser dan tarik

$$\begin{aligned}\left(\frac{R_{uv}}{\phi R_{nv}}\right)^2 + \left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}}\right)^2 &\leq 1 \\ \left(\frac{2,08}{55,21}\right)^2 + \left(\frac{73}{92,02}\right)^2 &\leq 1 \\ 0,635 &\leq 1 \Rightarrow \text{Kuat}\end{aligned}$$

- b) Sambungan Rafter ke Rafter

Hitung beban yang dipikul 1 buah baut akibat gaya yang bekerja

- Beban yang dipikul 1 buah baut akibat gaya geser

$$R_{uv} = \frac{V_u}{n} = \frac{24,979}{12} = 2,08 \times 2 = 4,16 \text{ kN}$$

- Beban yang dipikul 1 buah baut akibat gaya aksial

$$R_{ut.a} = \frac{P_u}{n} = \frac{34,653}{12} = 2,88 \times 2 = 5,76 \text{ kN}$$

- Beban tarik yang dipikul 1 buah baut akibat gaya aksial dan momen

$$R_{ut} = R_{ut.a} + R_{ut.m} = 5,76 + 70,12 = 75,88 \text{ kN}$$

Hitung kekuatan rencana sambungan baut

- Kekuatan geser untuk 1 buah baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nv} &= 0,75 f_{nv} A_b \\ &= 0,75 \times 372 \times 197,9 \\ &= 55.214,1/1000 \\ &= 55,21 \text{ kN} > 4,16 \text{ kN (Aman)}\end{aligned}$$

- Kekuatan tarik untuk 1 buah baut

$$\begin{aligned}\phi R_{nt} &= 0,75 f_{nt} A_b \\ &= 0,75 \times 620 \times 197,9 \\ &= 92.023,5/1000 \\ &= 92,02 \text{ kN} > 74,05 \text{ kN (Aman)}\end{aligned}$$

Cek kekuatan sambungan baut akibat kombinasi geser dan tarik

$$\begin{aligned}\left(\frac{R_{uv}}{\phi R_{nv}}\right)^2 + \left(\frac{R_{ut}}{\phi R_{nt}}\right)^2 &\leq 1 \\ \left(\frac{4,16}{55,21}\right)^2 + \left(\frac{75,88}{92,02}\right)^2 &\leq 1 \\ 0,685 &\leq 1 \Rightarrow \text{Kuat}\end{aligned}$$

- c) Cek Kekuatan Tumpu Pelat

Data-data yang digunakan untuk menghitung kuat tumpu pelat pada sambungan baut adalah sebagai berikut.

- Tebal pelat, $t_p = 9 \text{ mm}$
- Tegangan putus minimum pelat, $f_u^p = 400 \text{ Mpa}$
- Diameter baut, $d_b = \frac{5}{8} \text{ inc} = 15,875 \text{ mm}$
- Jarak bersih masing-masing baut, ℓ_c

Kekuatan tumpu pelat untuk baut 1 & 2

$$R_{n.tp} = 1,2 \ell_c t_p f_u^p \leq 2,4 d_b t_p f_u^p$$

$$= 1,2 \times 52,5 \times 9 \times 400 \leq 2,4 \times 15,875 \times 9 \times 400$$
$$= 228,52 \text{ kN} \leq 137,16 \text{ kN} \Rightarrow \text{Diambil } 137,16 \text{ kN}$$

Untuk baut 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, dan 12

$$R_{n,tp} = 1,2 \ell_c t_p f_u^p \leq 2,4 d_b t_p f_u^p$$
$$= 1,2 \times 45,625 \times 9 \times 400 \leq 2,4 \times 15,875 \times 9 \times 400$$
$$= 197,10 \text{ kN} \leq 137,16 \text{ kN} \Rightarrow \text{Diambil } 137,16 \text{ kN}$$

Untuk baut 7 & 8

$$R_{n,tp} = 1,2 \ell_c t_p f_u^p \leq 2,4 d_b t_p f_u^p$$
$$= 1,2 \times 96,125 \times 9 \times 400 \leq 2,4 \times 15,875 \times 9 \times 400$$
$$= 415,26 \text{ kN} \leq 137,16 \text{ kN} \Rightarrow \text{Diambil } 137,16 \text{ kN}$$

Total kekuatan tumpu pelat pada sambungan baut

$$\phi R_{ntp} = 0,75 \times 137,16 \times 12$$
$$= 1.234,4 \text{ kN} > 662,4 \text{ kN } (\phi R_{nv,total}) \Rightarrow \text{Kuat}$$

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil pengecekan struktur baja gedung olahraga Unimuda Sorong menggunakan SAP2000 menunjukkan terdapat 20 elemen yang terdiri dari rafter dan balok yang mengalami kondisi kritis (*overstressed*) dengan nilai *PM-Ratio* > 1,00 yang divisualisasikan dengan warna merah pada SAP2000. Kondisi ini mengindikasikan bahwa elemen-elemen tersebut tidak mampu menahan kombinasi beban yang bekerja dengan tingkat keamanan yang memadai sehingga berpotensi mengalami kegagalan struktural. Oleh sebab itu, diperlukan redesain dengan cara memperbesar dimensi profil, mengganti material, menambah elemen pengaku, atau memodifikasi sistem struktur untuk memastikan seluruh struktur dapat berfungsi dengan aman sesuai standar yang berlaku.
2. Hasil analisis beban ultimate dari SAP2000 pada masing-masing elemen struktur menunjukkan:
 - Elemen Kolom: $P_u = -64,617 \text{ kN}$ (tekan) dan $17,117 \text{ kN}$ (tarik), $V_u = 32,126 \text{ kN}$, $M_u = 99,3886 \text{ kN.m}$
 - Elemen Balok: $P_u = 26,452 \text{ kN}$ (tarik) dan $-7,913 \text{ kN}$ (tekan), $V_u = 0,381 \text{ kN}$, $M_u = 0,5947 \text{ kN.m}$
 - Elemen Rafter: $P_u = -35,092 \text{ kN}$ (tekan) dan $34,653 \text{ kN}$ (tarik), $V_u = 24,979 \text{ kN}$, $M_u = 90,1114 \text{ kN.m}$
 - Elemen Gording: $P_u = -52,235 \text{ kN}$ (tekan) dan $35,822 \text{ kN}$ (tarik), $V_u = 1,421 \text{ kN}$, $M_u = 3,7789 \text{ kN.m}$
 - Elemen Wind brace: $P_u = 40,38 \text{ kN}$ (tarik) dan $-39,419 \text{ kN}$ (tekan), $V_u = 0,277 \text{ kN}$, $M_u = 0,9683 \text{ kN.m}$
3. Hasil analisis deformasi struktur pada SAP2000 menunjukkan perpindahan total maksimum untuk setiap jenis beban sebagai berikut: beban hidup (L) = 0,00 m; beban hidup atap (L_r) = 0,083 m; beban mati (DL) = 4,917 m; beban mati tambahan ($SIDL$) = 0,019 m; beban angin arah x (W_x) = 0,169 m dan arah y (W_y) = 0,096 m; beban gempa arah x (E_x) = 0,104 m dan arah y (E_y) = 0,013 m; serta kombinasi beban ultimate = 0,259 m.
4. Kekuatan sambungan rafter ke kolom dan sambungan antar rafter cukup kuat untuk menahan beban tarik dan geser yang bekerja pada baut akibat gaya aksial, gaya geser dan momen lentur yang ditunjukkan dengan nilai kekuatan sambungan sebesar $0,635 < 1$ untuk sambungan rafter ke kolom dan $0,685 < 1$ untuk sambungan antar rafter. Didapatkan kuat tumpu pelat sebesar $1.234,4 \text{ kN} > 662,4$ pada sambungan rafter ke kolom dan sambungan antar rafter yang menunjukkan bahwa sambungan baut aman dari kegagalan tumpu pada pelat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifah, R., Empung, E., & Nursani, R. (2021). "Perencanaan Struktur Baja Pada Gedung 5 Lantai Kantor Kesehatan Pelabuhan Probolinggo". *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*.
- Arifi, E., & Setyowulan, D. (2020). *Perencanaan Struktur Baja (Berdasarkan SNI 1729:2020)*. UB Press.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (ANSI/AISC 360-16, IDT).

- Fahri, M., Arnandha, Y., Sat Agus Yuwana, D., & Mulyo Wicaksono, T. (2022). "Evaluasi Struktur Rangka Baja Pada Gedung Parkir Universitas Tidar Berdasarkan SNI-1729-2015". *Bangun Rekaprima: Jurnal Pengembangan Rekayasa, Sosial, dan Humaniora*, 8 (2), 29–39.
- Marcellino, M., Rahman, H. F. A., & Donic Aulia, M. (2024). "Analisis Keamanan Lendutan Balok Akibat Perubahan Desain Dengan Software SAP 2000". *CRANE : Civil Engineering Research Journal*, 5 (2), 34–40.
- Mulyadi, R., Wijaya, S., & Suwarjo. (2020). Analisa Struktur Rangka Atap Gedung Rektorat Universitas Muara Bungo (Rangka Kuda-Kuda Type Single Frame Beam). *Jurnal KOMPOSITS*, 1(1), 1–28.
- Nashrullah, M., Maharani, O., Rohman, A., Fahyuni, E. F., Nurdyansyah, & Sri Untari, R. (2023). *Metodologi Penelitian Pendidikan (Prosedur Penelitian, Subyek Penelitian, dan Pengembangan Teknik Pengumpulan Data)* (M. T. Multazam, Ed.). UMSIDA Press.
- Paisal, (2023). "Analisis Kekuatan Sambungan Baut Yang Searah Dan Melintang Gaya Batang". *Journal Mechanical Engineering (JME)*, 1 (1), 42–47.
- Rama Tri, A., Deded Eka, S., Rafki, I., & Nanda. (2023). "Analisis Transfer Tower Dengan Metode ASD dan LRFD". *Construction and Material Journal*, 5 (3), 211–221.
- Rashmi Bhonsale, M., & Pandey, K. (2021). Analysis and Design of Educational building using SAP2000. *IJIRT: International Journal Of Innovative Research In Technology*, 7 (12), 231–235.
- Septiani, V., Silitonga, E. P., Febriansyah, A., & Yoga, M. A. P. (2024). *Buku Pembelajaran Analisa Struktur SAP 2000* (V. Suryan, Ed.). Bening Media Publishing.
- Subagyo, S., Nurokhman, N., & Suharyanto, I. (2022). "Analisis Struktur Atas Rangka Baja Pada Bangunan Industri Peternakan Unggas". *CivETech: Civil Engineering and Technology Journal*, 4 (2), 65–77.
- Tampubolon, S. P. (2021). *Buku Materi Pembelajaran Struktur Baja-1*. Jakarta.
- Yuniar, D. (2014). "Analisis Struktur Gerbang Baja Dengan Metode SAP 2000". *PolhaSains: Jurnal Sains dan Terapan Politeknik Hasnur*, 3(1), 8–15.