

ANALISIS LENDUTAN KUDA-KUDA BAJA WF 250 X 125 AULA GEDUNG KULIAH TRAINING CENTER UNIVERSITAS NEGERI MANADO

¹Luga Solu K. Hasugian, ²Djoni Agustaf, ST., M.si, ³Jeffrey Delarue, ST., MT

Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan/Program Studi Teknik Sipil, Universitas Negeri Manado

Email: hasugianluga@gmail.com

Abstrak

Analisis lendutan pada suatu struktur bangunan dilakukan untuk mendapat batas izin yang aman dalam setiap perencanaan. Terutama untuk bangunan dengan bentangan yang cukup panjang. Gedung kuliah aula Training Center Universitas Negeri Manado menjadi salah satunya, dimana struktur atap gedung memiliki bentangan dengan panjang 24 meter perlu dilakukan analisis mengingat bentangan yang cukup panjang. Analisis yang dilakukan dalam skripsi ini dibatasi yaitu gaya-gaya pada batang dianalisa menggunakan metode titik kumpul.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar lendutan yang terjadi pada rangka atap dengan baja profil WF 250 x 125 x 6 x 9 dengan menggunakan metode unit load dan metode castigliano serta mengetahui kemampuan batang profil memikul beban yang diizinkan sesuai dengan SNI 03-1729-2015.

Dari hasil analisis yang diperoleh dengan bentangan panjang 24 meter maka kekuatan lentur nominal profil kuda-kuda baja WF 250 x 125 x 6 x 9 adalah sebesar $M_n = 4781963, 2596 \text{ kg. m}^2$ sanggup memikul momen lentur nominal dengan beban sebesar $M_n = 1247926, 08 \text{ kg. m}^2$ atau memenuhi sesuai peraturan SNI 03-1729-2015. Perbandingan nilai Δ dari hasil perhitungan metode unit load dan metode castigliano adalah 0, 15933 cm ; 0, 126 cm dengan selisih yang sangat kecil.

Kata kunci: metode unit load, metode castigliano, profil baja WF.

Abstract

Deflection analysis of a building structure is carried out to obtain a safe permit limit in every plan. Especially for buildings with long stretches. The Training Center lecture hall building of Universitas Negeri Manado is one of them, where the roof structure of the building has a stretch with a length of 24 meters, an analysis needs to be carried out considering the long stretch. The analysis carried out in this thesis is limited to the forces on the rod analyzed using the gathering point method.

The purpose of this research is to determine the amount of deflection that occurs in the roof truss with WF 250 x 125 x 6 x 9 profile steel using the unit load method and the castigliano method and to determine the ability of the profile rod to carry the permissible load in accordance with SNI 03-1729-2015.

From the analysis results obtained with a stretch of 24 meters in length, the nominal bending strength of the WF 250 x 125 x 6 x 9 steel truss profile is $M_n = 4781963, 2596 \text{ kg. m}^2$ able to bear the nominal bending moment with a load of $M_n = 1247926, 08 \text{ kg. m}^2$ or comply with SNI 03-1729-2015 regulations. Comparison of Δ values from the calculation of the unit load method and the castigliano method is 0, 15933 cm ; 0, 126 cm with a very small difference.

Keywords: unit load method, castigliano method, WF steel profile.

Pendahuluan

Di Sulawesi Utara bangunan baja struktural dewasa ini menjadi salah satu bangunan yang paling banyak diminati. Terkhusus untuk bangunan gedung dengan bentangan panjang. Struktur atap dengan material baja mempunyai kelebihan-kelebihan seperti kuat, daya tahan yang lama, pekerjaan sambungan yang cepat, serta kuat tarik yang besar. Kuda-kuda dengan bentangan yang panjang cenderung mengalami lendutan yang cukup besar seperti pada penelitian yang akan dilakukan oleh penulis pada aula gedung kuliah training center Universitas Negeri Manado. Kuda-kuda atap baja gedung ini memakai profil baja WF 250 x 125 dengan panjang bentangnya adalah 24 meter. Bentang kuda-kuda baja WF 250 x 125 merupakan bentang yang cukup panjang untuk itu perlu dilakukan analisis terhadap batang tersebut. Permasalahan yang perlu dianalisis terjadi pada salah satu kuda-kuda dimana mengalami penurunan sebesar 75 cm. Struktur kuda-kuda perlu dianalisis untuk mendapatkan besar penyimpangan yang terjadi sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan tersebut. Metode Energi digunakan penulis untuk menganalisis defleksi yang terjadi pada batang kuda-kuda baja WF 250 x 125 Aula Gedung Kuliah Training Center Universitas Negeri Manado. Metode Energi yang dimaksud meliputi metode unit load, metode castigliano (Teorema Castigliano). Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut di atas maka penulis dalam Tugas Akhir mengambil judul “Analisis Lendutan Kuda-kuda Baja WF 250 x 125 Aula Gedung Kuliah Training Center Universitas Negeri Manado”.

Kajian Pustaka

A. Pengertian Baja

Menurut Oentoeng (1999:2) “Baja dikategorikan berdasarkan material, ialah dari *ingot iron* (baja bongkah) tanpa Carbon

sampai *cost iron* (baja tuang) yang mempunyai carbon sekurang-kurangnya 1, 70 %.

Tabel 2. Sifat Mekanis Baja Struktur Berdasarkan Mutu Baja

| Jenis Baja | Tegangan putus minimum, F_u (Mpa) | Tegangan leleh minimum, F_y (Mpa) | peregangan minimum (%) |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| BJ 34 | 340 | 210 | 22 |
| BJ 37 | 370 | 240 | 20 |
| BJ 41 | 410 | 250 | 18 |
| BJ 50 | 500 | 290 | 16 |
| BJ 55 | 550 | 410 | 13 |

Tabel 1. Sifat Mekanis Baja Menurut SNI 03-1729-2015

| Sifat Mekanis | Simbol | Nilai | Satuan |
|---------------------|----------|---------------------|--------------------|
| Modulus Elastisitas | E | 200.000 | MPa |
| Modulus Geser | G | 80.000 | MPa |
| Nisbah Poisson | μ | 0,3 | |
| Koefisien Pemuaian | α | 12×10^{-6} | $^{\circ}\text{C}$ |

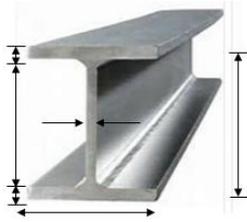
B. Bentuk Profil Baja

Menurut Oentoeng (1999:25) “Ada 2 macam bentuk profil baja yang didasarkan teknik pembuatannya, yaitu:

1. *rolled shapes*, dibentuk dengan blok-blok baja yang panas diproses melalui rol-rol dalam pabrik. *Hot rolled shapes* ini mengandung tegangan residu (*residual stress*).
2. *Cold formed shapes*, dibentuk dari pelat-pelat yang sudah jadi menjadi profil baja dalam temperature atmosfer (dalam keadaan dingin)”

C. Profil Wide Flange

Profil Wide Flange adalah profil berpenampang H atau I yang dibentuk dengan proses blok-blok baja yang panas diproses melalui rol-rol dalam pabrik (Ir. Oentoeng, 1999:25). Baja profil WF memiliki dimensi tinggi (H), lebar (B), tinggi badan (H_w), tebal badan (T_w), tebal sayap (T_f) merata dari ujung hingga pangkal dengan penjelasan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Profil Baja WF

D. Dasar Desain Struktur Baja

Kombinasi LRFD mengambil kombinasi-kombinasi terfaktor Sadalah sebagai berikut:

- 1, 4 D
- 1, 2 D + 1, 6 L + 0, 5 (Lr atau R)
- 1, 2 D + 1, 6 (Lr atau R) + (L atau 0, 5 W)
- 1, 2 D + 1, 0 W + L + 0, 5 (Lr atau R)
- 1, 2 D + 1, 0 E + L
- 0, 9 D + 1, 0 W
- 0, 9 D + 1, 0 E

E. Metode LRFD

Menurut Lydia Darmianti, Ahmad Pahrul Rodji, dan Asaddulah Mumtaz (2022) Desain struktur diharuskan memberikan keamanan yang cukup baik terhadap kemungkinan kelebihan beban (over load) atau kekurangan kekuatan. Desain harus memberikan cadangan kekuatan yang diperlukan akibat kemungkinan kelebihan beban dan kemungkinan kekuatan material yang rendah. Oleh karena itu LRFD memberikan design factor resistance (keamanan) dan faktor beban.

Rumus yang dipakai:

$$\phi R_n > \gamma_o \Sigma \gamma_i \cdot Q_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- ϕ = faktor resitensi
- R_n = kekuatan nominal
- γ = faktor kelebihan beban
- Q = beban (beban mati, beban hidup, beban angin)

F. Batang Tekan

Menurut Oentoeng (1999: 63) “Kelangsingan batang tekan tergantung dari jari-jari kelembaman (i) dan panjang tekuk (Lk).

i : Jika batang mempunyai 2 jari-jari kelembaman, umumnya akan terdapat 2 harga λ . Ditentukan dengan harga λ yang terbesar atau dengan i yang terkecil.

Lk : Panjang tekuk dari suatu batang ditentukan pada keadaan ujung-ujungnya, apakah sendi, jepit, bebas, dan sebagainya.

G. Batas Angka Kelangsingan

Menurut Oentoeng (1999: 63) Batas angka kelangsingan (λ) suatu profil tidak berlaku pada daerah plastis artinya Euler hanya berlaku di daerah elastis.

Tegangan kritis,

$$f_{kr} = \frac{P_{kr}}{A_g} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A_g \cdot L_k^2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Untuk jari-jari inersia,

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_g}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Maka, } f_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot r^2}{L_k^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

Untuk kelangsingan batang,

$$\lambda = \frac{L_k}{r} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Diperoleh, } f_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Maka, dapat disimpulkan

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{kr}}} \text{ adalah } \lambda_{batas} (\lambda_g) \quad \dots\dots (8)$$

H. Metode Unit Load (*Virtual Work*)

Menurut Chu-Kia Wang (1990) Metode *unid load* sering disebut sebagai metode beban-satuan dimana metode ini menggunakan 1 satuan yang bisa menghasilkan satu komponen lendutan/peralihan titik buhul baik pada arah vertikal atau arah horizontal untuk satu kali perhitungan.

$$\delta = \sum u_i \times (\Delta l) \quad \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

δ = peralihan vertikal atau horizontal titik kumpul

u_i = Gaya batang akibat beban 1 satuan yang dipasang pada titik kumpul yang akan dicari peralihannya (arah beban sama dengan arah peralihan yang diminta)

$(\Delta l)_i$ = Perpanjangan atau perpendekan batang akibat beban yang diketahui.

Untuk mencari Δl maka, rumus yang digunakan sebagai berikut

$$\Delta l = \frac{S.L}{A.E} \quad \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

S = Gaya akibat beban yang bekerja

L = panjang batang

A = luas penampang batang

E = modulus elastisitas batang

Tahapan Penyelesaian:

1. Menghitung gaya batang akibat (S) beban luar
2. Menghitung Δl tiap batang
3. Letakan $P = 1$ satuan yang dapat dicari peralihannya dengan arah gaya yang sesuai dengan harapan atau peralihan yang dicari (vertikal/horizontal).
4. Menghitung gaya batang U akibat beban 1 satuan tersebut
5. Hitung δ berdasarkan rumus $\delta = \sum u_i \times (\Delta l)_i$

I. Metode Castigliano (Metode Turunan Parsial)

Menurut Soemono (1978:109) Metode castigliano adalah perpindahan pada suatu titik sama dengan turunan parsial pertama dari energi regangan terhadap gaya yang bekerja pada titik tersebut dan pada arah terjadinya perpindahan atau rotasi pada suatu titik sama dengan turunan parsial pertama dari energi regangan terhadap momen yang bekerja pada titik tersebut dan pada arah terjadinya rotasi.

$$\Delta_I = \frac{\partial U_i}{\partial P_i} \quad \theta_I = \frac{\partial U_i}{\partial M_i} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Untuk rangka batang (*Truss*) metode Castigliano akibat Gaya aksial energi regangan dapat ditulis persamaannya sebagai berikut:

$$U_i = \frac{N^2 L}{2AE} \quad \dots\dots\dots (12)$$

Berdasarkan teorema Castigliano turunan parsial U_i dihitung untuk memperoleh perpindahan (Δ):

$$\Delta = \sum \frac{NL}{AE} \left(\frac{\partial N}{\partial P} \right) \text{ atau}$$

$$\Delta = \sum N \left(\frac{\partial N}{\partial P} \right) \frac{L}{AE} \quad \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

Δ = perpindahan eksternal *joint*

P = Gaya eksternal di joint pada arah Δ

N = Gaya aksial internal akibat beban asli dan P

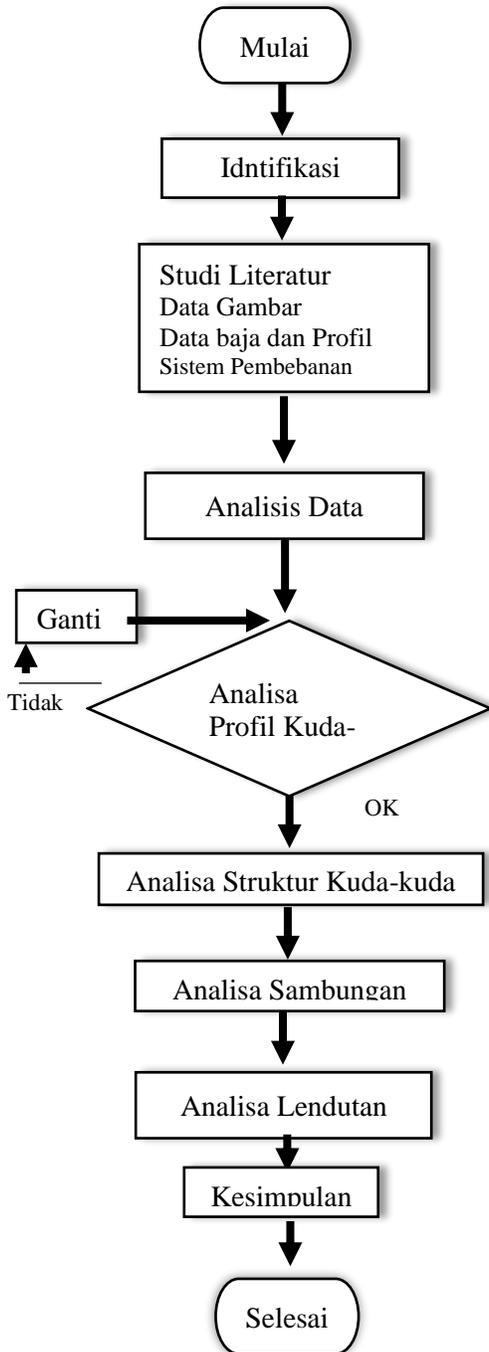
L = panjang elemen

A = luas penampang elemen

E = modulus elastisitas

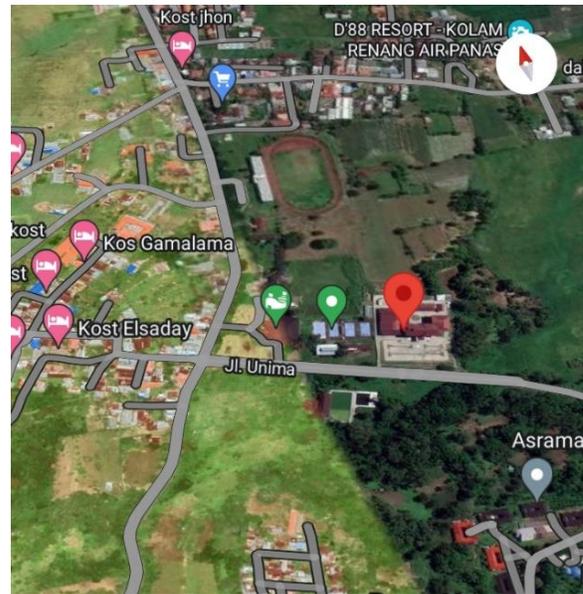
Metodologi Penelitian

A. Diagram Alur Tahapan



B. Lokasi Penelitian

Penulis menetapkan lokasi penelitian di Fakultas Keolahragaan gedung kuliah Training Center Universitas Negeri Manado yang berlokasi di Tataaran Patar, Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Penelitian ini dilakukan selama 1 tahun pada bulan Desember 2022 hingga tahun 2023.



Gambar 2. Lokasi Gedung Kuliah Training Center Unima

C. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang diambil penulis adalah penelitian kuantitatif dimana analisis lendutan kuda-kuda baja WF menggunakan metode *unit load* dan metode castigliano. Menurut Azwar (2005:5) penelitian kualitatif adalah penelitian yang menekankan pada data-data berupa angka yang diolah secara statistika.

D. Jenis Penelitian

Teknik pengumpulan data dilakukan penulis untuk mendapatkan data primer dan data sekunder dengan wawancara, pengamatan langsung di lapangan, foto-foto,

serta gambar kerja yang didapat sewaktu melakukan magang di tempat penelitian.

E. Teknis Analisis

Analisis data merupakan proses mencari dan menyusun secara sistematis data dari hasil wawancara, pengamatan langsung di lapangan, dan dokumentasi dengan cara mengorganisasikan data dan memilih mana yang penting serta mana yang perlu dipelajari serta membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami (Sugiyono, 2007: 333-345). Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode *unid load* dan metode *castigliano*.

Hasil dan Pembahasan

A. Data Umum Kuda-kuda

- Bentuk kuda-kuda : Rangka batang
- Kemiringan atap : 30°
- Bentangan kuda-kuda : 24,0 meter
- Tinggi kuda-kuda : 7,0 meter
- Jarak kuda-kuda : 5,5 meter
- Tinggi kolom : 1,0 meter
- Panjang balok (rafter) : 14 meter
- Profil balok (rafter) :
WF 250.125.6.9 (BJ 37)
- Profil gording :
UNP 125.65.6.8 (BJ 37)
- Jarak gording : 1,5 meter
- Bahan penutup atap : atap spandex
- Berat penutup atap : 2,98 kg/m²
- Besi trekstang : $\varnothing 10$
- Jarak trekstang : 1,5 meter
- Alat sambung : baut mutu tinggi (HTB) A 325
- Jumlah baut : 16 $\varnothing 19$ (titik KK1)

B. Kombinasi Pembebanan

- $1,4 D = 1,4 \times 9055,4 \text{ kg} = 12677,112 \text{ kg} = 124,122 \text{ k. N}$
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) = 1,2 (9055,4 \text{ kg}) + 1,6 (497,62 \text{ kg}) + 0,5 = 11663,172 \text{ kg} = 114,38 \text{ k. N}$
- $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) = 10866,48 \text{ kg} + 1,0 (103,3 \text{ kg}) + 0,5 = 11073,08 \text{ kg} = 108,59 \text{ k. N}$
- $0,9 D + 1,0 W = 0,9 (9055,4 \text{ kg}) + 103,3 \text{ kg} = 8253,16 \text{ kg} = 80,9359 \text{ k. N}$

Tabel 3. Panjang Batang Kuda-Kuda

| No. | Nama batang | Panjang (m) |
|-----|-------------|-------------|
| 1. | AC | 14 |
| 2. | CB | 14 |

C. Data Material

1. Mutu bahan BJ 37
 - Berdasarkan SNI 03-1729-2015 tabel 5.3 memiliki:
 - Tegangan putus minimum adalah $f_u = 370 \text{ MPa}$
 - Tegangan leleh minimum adalah $f_y = 240 \text{ MPa}$
 - Peregangan minimum adalah 20 %
 - Tegangan dasar, pembebanan tetap, $\bar{\sigma} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{240}{1,5} = 160 \text{ Mpa} = 1600 \text{ kg/cm}^2$
2. Modulus Elastisitas (E) adalah 200.000 MPa.

D. Profil Kuda-Kuda Baja WF

1. Dimensi Profil Wide Flange (WF) 250 x 125 x 6 x 9
 - Tinggi Penampang (H) = 194 mm
 - Lebar Penampang (B) = 125 mm
 - Tebal WEB (t_w) = 6 mm
 - Tebal Sayap (t_f) = 9 mm
 - Radius (r) = 13 mm

- $d = H - 2 \cdot t_f = 176$
mm
- $(H_o)^2 = 34225$ mm²
- $(H_o) = 185$ mm

2. Data Material Baja

- Kelas Baja = BJ 37
- Kuat Tarik Baja (f_u) = 370 MPa
- Kuat Tekan Baja (f_y) = 240 MPa
- Modulus Elastisitas (Es) = 200000 MPa
- Berat Jenis Baja (W) = 76,9729 kN/m
- Angka Poisson (ν) = 0,3
- Modulus Geser (G) = 76923,07 MPa

3. Data Profil Baja

- Luas Penampang = 3901,07 mm²
- Inersia Arah X-X (I_x) = 26897361,06 mm⁴
- Inersia Arah Y-Y (I_y) = 5071586,38 mm⁴

E. Perhitungan Kuda-Kuda

Tabel 4. Rekapitulasi Beban Konstruksi

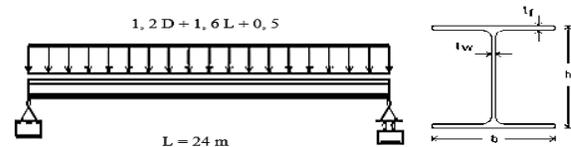
| Titik Buhul | A,B (kg) | C (kg) |
|-----------------|----------|--------|
| Beban Kuda-kuda | 145,6 | 291,2 |
| Beban Atap | 612,5 | 525 |
| Beban Gording | 1876 | 3752 |
| TOTAL | 2634,1 | 4568,2 |

Tabel 5. Gaya Batang Akibat Beban dari Luar

| BA TA NG | BEBAN HIDUP (KN) | BEBAN MATI (KN) | BEBAN ANGIN (KN) |
|----------|------------------|-----------------|------------------|
| AB | -1,22 | -44,4 | -61,31 |
| CB | -1,22 | -44,4 | -41,99 |

F. Pembahasan

Diketahui rangka atap gedung kuliah Training Center Universitas Negeri Manado memiliki profil baja WF dengan panjang bentang 24 meter, memikul beban mati $D = 44,4$ k. N/m' dan beban hidup $L = 62,3$ k. N/m'. Dimensi profil balok rafter tersebut adalah WF 250 x 125 x 6 x 9. Mutu baja BJ 37 dan $f_y = 240$ Mpa.



Gambar 4.1 Dimensi Profil WF

a. Mutu baja rafter BJ 37, $f_y = 240$ Mpa.

b. Beban terfaktor.

$$\begin{aligned}
 qu &= 1,2 D + 1,6 L + 1,5 \\
 &= 1,2 \cdot (4527,54 \text{ kg/m}') + 1,6 \cdot (6352,83 \text{ kg/m}') + 1,5 \\
 &= 5433,048 \text{ kg/m}' + 10164,528 \text{ kg/m}' + 1,5 \\
 &= 15599,076 \text{ kg/m}' = 152,97 \text{ k. N}
 \end{aligned}$$

c. Momen nominal.

$$\begin{aligned}
 Mu &= 1/8 qu \cdot L^2 \\
 &= 1/8 \cdot (15599,076 \text{ kg/m}') \cdot (24 \text{ m})^2 \\
 &= 1123133,472 \text{ kg/m}' = 11014,18 \text{ k. N} \\
 Mn &= Mu / 0,9 = 1123133,472 \text{ kg/m}' / 0,9 \\
 &= 1247926,08 \text{ kg. m}' = 12237,98 \text{ k. N}
 \end{aligned}$$

d. Persyaratan tekuk lokal

$$\begin{aligned}
 \text{Penampang kompak : sayap, } \lambda p &= \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} \\
 &= 11
 \end{aligned}$$

$$\text{Badan, } \lambda p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,4$$

Penampang tak kompak :sayap, $\lambda_p = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{370}{\sqrt{240 - 70}} = 28,4$

Badan, $\frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{240}} = 164,6$

e. Prarencana dimensi.

Direncanakan kuda-kuda dengan profil berpenampang kompak, maka modulus penampang plastis yang diperlukan,

$M_p = f_y \cdot Z$, atau $Z_x \geq \frac{M_p}{f_y}$ dimana,

$M_p = M_n = 1247926,08 \text{ kg} \cdot \text{m}' = 1223797,4 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{Mm}$

$Z_x \geq \frac{M_p}{f_y} = \frac{1223797,4 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{Mm}}{240 \text{ MPa}} = 50991558,33 \text{ mm}^3 = 50991,558 \text{ cm}^3$

Modulus penampang elastis (perkiraan $S_x = Z_x / 1,1$),

$S_x = Z_x / 1,1 = 50991,558 / 1,1 = 46355,96 \text{ cm}^3$

f. Kontrol kelayakan dimensi.

➤ Tekuk lokal

Sayap, $b / 2 t_f = 12,5 / (2 \cdot 0,9) = 6,94 < \lambda_p = 11$

Badan, $(h - (2t_f + 2r)) / t_w = (20,8 - (2 \times 0,9 + 2 \times 1,2)) / 0,6 = 27,66 < \lambda_p = 108,4$

➤ Kekuatan lentur nominal terfaktor.

Modulus penampang plastis,

$z_x = (t_w \cdot h_w^2) / 4 + h_f \cdot t_f \cdot b_f$

dimana,

$h_w = h - 2 t_f = 12,5 - 2 (0,9) = 10,7 \text{ cm}$

$h_f = h - t_f = 12,5 - 0,9 = 11,6 \text{ cm}$

Maka, $z_x = (0,6 \cdot 20,8^2) / 4 + 11,6 \text{ cm} \cdot 0,9 \cdot 12,5 \text{ cm} = 64,896 + 130,5$

$= 195,396 \text{ cm}^3 < 50991,558 \text{ cm}^3$ (memenuhi).

$M_n = M_p = f_y \cdot Z_x = (240 \text{ MPa}) \cdot 195396 \text{ mm}^3 = 46895040 \text{ N} \cdot \text{mm}$

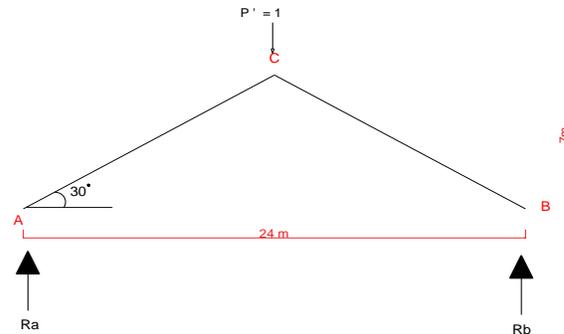
$= 4781963,2596 \text{ kg} \cdot \text{m}' > 1247926,08 \text{ kg} \cdot \text{m}'$ (memenuhi).

$M_u = 0,9 \cdot M_n = 0,9 \times 4781963,2596 \text{ kg} \cdot \text{m}'$

$= 4303766,93364 \text{ kg} \cdot \text{m}' > 1123133,472 \text{ kg} \cdot \text{m}'$ (memenuhi)

Atau, $FK = \frac{M_u}{M_n} = \frac{4303766,93364 \text{ kg} \cdot \text{m}'}{1123133,472 \text{ kg} \cdot \text{m}'} = 3,81 > 1$ (memenuhi)

Menghitung Lendutan Dengan Metode Unit Load/Virtual Work/Beban Satu Satuan



Gambar 4.14 Beban Satu Satuan

Tabel 6. Gaya Virtual Pada Batang

| BATANG | HASIL GAYA P'(KN) |
|--------|-------------------|
| AB | 1 |
| CB | -1 |

Defleksi berdasarkan persamaan virtual work (unit load)

$1 \times \Delta = \sum \frac{nNL}{A.E}$

Tabel 7. $\sum nNL$

| Batang | n | N (KN) | L (m) | nNL |
|----------------|----|--------|-------|---------|
| AB | 1 | -44,4 | 14 | -621,6 |
| BC | -1 | -44,4 | 14 | -621,6 |
| $\Sigma nNL =$ | | | | -1243,2 |

$\Delta = \sum \frac{nNL}{A.E} = \frac{1243,2 \text{ KNm}}{3901,1 \text{ mm}^2 \times 200.000 \text{ MPa}} = \frac{1243200000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3901,1 \text{ mm}^2 \times 200.000 \text{ N} / \text{mm}^2} = 1,5933 \text{ mm} = 0,15933 \text{ cm}$

Dari hasil perhitungan akhir pada tabel 4. 8 maka didapatkan arah perpindahan sebesar -0,1593 cm dengan arah ke bawah.

Menghitung Lendutan Dengan Metode Castigliano

Rumus yang dipakai untuk menghitung lendutan pada batang digunakan teorema castigliano seperti pada persamaan (2. 22) adalah sebagai berikut.

$$\Delta = \sum N \left(\frac{\partial N}{\partial P} \right) \frac{L}{A.E}$$

Tabel 8. Besar Δ Metode Castigliano

| Batang | N (k. N) | $\partial N/\partial P$ | N (P = 25, 84 k. N) | L (m) | $N(\partial N/\partial P)L$ k. Nm |
|----------------------------------|----------|-------------------------|---------------------|-------|--------------------------------------|
| AC | P + 44,4 | 1 | 70,24 | 14 | 983,36 |
| CB | 44,4 | 0 | 44,4 | 14 | 0 |
| $\sum N(\partial N/\partial P)L$ | | | | | 983,36 |

Δ 1 pada batang S1 dicari dengan menggunakan penyelesaian sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta &= \sum N \left(\frac{\partial N}{\partial P} \right) \frac{L}{A.E} \\ &= \frac{983,36}{A.E} \text{ kN. m} \\ &= \frac{983,36 \text{ kN.m}}{3901,1 \text{ mm}^2 \times 200000 \text{ MPa}} \\ &= \frac{983360000 \text{ N.mm}}{3901,1 \text{ mm}^2 \times 200000 \text{ N/mm}^2} \\ &= 1,2603 \text{ mm} = 0,126 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kesimpulan dan Saran

A. Saran

Dari hasil perhitungan analisis lendutan kuda-kuda profil baja WF 250 x 125 Gedung Kuliah Training Center Universitas Negeri

Manado dengan bentang 24 m dapat Penulis simpulkan:

1. Kekuatan lentur nominal profil kuda-kuda baja WF 250 x 125 x 6 x 9 adalah sebesar $M_n = 4781963,2596 \text{ kg. m}^2$ sanggup memikul momen lentur nominal dengan beban kerja sebesar

$M_n = 1247926,08 \text{ kg. m}^2$ atau memenuhi sesuai peraturan SNI 03-1729-2015.

2. Dari hasil analisis yang didapatkan maka rangka atap yang terjadi pada kuda-kuda baja WF 250 x 125 x 6 x 9 adalah perpindahan (Δ), yaitu dengan metode castigliano adalah sebesar 0,126 cm sedangkan nilai perpindahan (Δ) yang didapatkan dengan metode unit load adalah sebesar 0,15933 cm. Perbandingan nilai Δ dari hasil perhitungan metode unit load dan metode castigliano adalah -0,1593 cm: -0,126 cm dengan selisih yang sangat kecil.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dari dua metode perhitungan lendutan yang telah dianalisis, maka: Diusulkan dalam setiap perhitungan lendutan pada analisis struktur sebaiknya dianalisis dengan beberapa metode yang berbeda untuk melihat besar perbandingan agar tidak menimbulkan keraguan perhitungan.

Daftar Pustaka

ASTM Internasional. 2016. *American Society for Testing and Materials (ASTM) A370/ASME SA-370. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. West Conshohocken, United State.*

Badan Standarnisasi Nasional. 2002. SNI 03-1729-2002 *‘Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung’*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Eva Arifi, Desy Setyowulan. 2020. *Perencanaan Struktur Baja (Berdasarkan SNI 1729: 2020)*. Malang.

Gunawan, R. 1993. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius, Yogyakarta.

Oentoeng, Ir., 1999. *Konstruksi Baja, Penerbit: Andi, Surabaya.*

Soemono, 1980. *Statika 2, Cetakan kedua, Penerbit ITB, Bandung.*

Wang, Chu-Kia (1990). *Analisa Struktur Lanjutan, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.*