

**OPTIMALISASI STRUKTUR RANGKA BATANG JEMBATAN WAY MAMUA
KABUPATEN MALUKU TENGAH****Pedro Aloon¹, Pieter Lourens Frans², Godfried Lewakabessy³**^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Prodi, Politeknik Negeri Ambon¹pedroaloon17@gmail.com, ²pflourens@gmail.com, ³godfriedssy11@gmail.com**ABSTRACT**

The truss structure of the bridge is formed from several arrangement of rod elements which are connected by joint joints at the point of connection. The actual conditions in the field on the main frame structure of the Way Mamua bridge, Leihitu District, Central Maluku Regency, have dimensions of the steel cross-section that are quite large and not optimal, so that in this present study aims to analyze the rod forces of the Way Mamua Bridge structure and optimize the cross-sectional dimensions of the Way Mamua Bridge trunk frame. The methods used in this study are the ritter and cremona methods, as well as cross-sectional optimization simulations using the help of the SAP2000 program. Loading Standards for Bridges based on SNI 1725:2016 and Steel Structure Planning Standards for Bridges are used by SK regulations. SNI T-03-2005. Based on the results analysis of the rod forces of the Way Mamua Bridge structure, a minimum bar force was obtained for the upper horizontal bar, the lower horizontal bar and the diagonal bar totaling 2 bars. The maximum bar force for the upper horizontal bar is 1 bar, while the lower horizontal bar and diagonal bar are 2 bars with accepted forces namely compressive and tensile forces. The optimization results obtained an increase in the percentage of cross-sectional dimensions to the cross-sectional area for the upper horizontal bar by 2%, the lower horizontal bar and diagonal bar experienced a percentage reduction of 64% and 54% of the cross-sectional dimensions under actual conditions in the field. From the optimization results, the voltage ratio is not > 1 so that it can be concluded that the bridge bar truss structure is still in safe condition.

ABSTRAK

Struktur rangka batang (*truss*) pada jembatan terbentuk dari beberapa susunan elemen batang yang dihubungkan dengan sambungan sendi pada titik hubungannya. Kondisi aktual di lapangan pada struktur rangka utama jembatan Way Mamua, Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah, memiliki dimensi penampang baja yang cukup besar dan belum optimal, sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gaya-gaya batang struktur jembatan Way Mamua dan mengoptimalkan dimensi penampang rangka batang jembatan Way Mamua. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *ritter* dan *cremona*, serta simulasi optimalisasi dengan menggunakan bantuan program SAP2000. Standar Pembebanan untuk Jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 dan Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan digunakan peraturan SK.SNI T-03-2005. Berdasarkan hasil analisis gaya-gaya batang struktur jembatan Way Mamua diperoleh gaya batang minimum untuk batang horizontal atas, batang horizontal bawah dan batang diagonal berjumlah 2 batang. Gaya batang maksimum untuk batang horizontal atas berjumlah 1 batang, sedangkan batang horizontal bawah dan batang diagonal berjumlah 2 batang dengan gaya-gaya yang diterima yaitu gaya tekan dan tarik. Hasil optimalisasi didapat penambahan persentase dimensi penampang terhadap luasan penampang untuk batang horizontal atas sebesar 2%, batang horizontal bawah dan batang diagonal mengalami pengurangan persentase sebesar 64% dan 54% dari dimensi penampang pada kondisi aktual di lapangan. Dari hasil optimalisasi diperoleh rasio tegangan tidak > 1 sehingga dapat disimpulkan struktur rangka batang jembatan masih dalam kondisi aman.

Kata kunci: Optimalisasi Dimensi Baja; Jembatan Rangka Batang

1. PENDAHULUAN

Struktur rangka batang (*truss*) pada jembatan terbentuk dari beberapa susunan elemen batang yang dihubungkan dengan sambungan sendi pada titik hubungannya. Bentuk dari struktur rangka batang adalah rangkaian batang yang dirangkai membentuk satu atau lebih unit segitiga, karena struktur segitiga merupakan struktur yang stabil. Elemen rangka batang jembatan di era modern ini banyak dipakai material baja sebagai

struktur utamanya, seperti baja WF, H-beam, siku, baja kanal, baja C, baja I dan profil baja lainnya.

Dalam perhitungan struktur rangka batang dapat dihitung secara manual maupun dengan menggunakan bantuan program analisa struktur. Dalam penelitian ini digunakan dua metode perhitungan struktur rangka batang secara manual dengan metode *ritter* dan metode *cremona*, sehingga didapat hasil yang akurat dari hasil perbandingan kedua metode tersebut, dan juga dilakukan simulasi optimalisasi penampang baja dengan menggunakan bantuan program SAP2000.

Adapun beberapa peneliti terdahulu yang berkaitan dengan optimalisasi struktur rangka batang diantaranya, menurut Yulistri, Andriani. (2017) tentang "Optimalisasi Profil Baja IWF Pada Bangunan Gudang Konstruksi Gable Frame Berdasarkan SNI 1927-2015", dan menurut Santina Azmi Cindi, Safrin Zuraidah, K.Budi Hastono. (2018) tentang "Optimalisasi Profil Baja IWF Pada Bangunan Parkir Sepeda Motor 4 Lantai (Studi Kasus Gedung Spazio Tower 2, Surabaya).

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis gaya-gaya batang struktur jembatan Way Mamua dan mengoptimalkan dimensi penampang rangka batang jembatan Way Mamua. Kondisi aktual di lapangan pada jembatan Way Mamua, Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah, memiliki dimensi penampang baja yang cukup besar dan belum optimal pada struktur rangka utamanya, sehingga pada penelitian ini dilakukan analisis optimalisasi dimensi penampang baja pada struktur rangka utama jembatan Way Mamua untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dan efisien dengan memperhatikan tingkat keamanan dan peraturan yang berlaku serta tanpa mengurangi mutu dan kualitas suatu pekerjaan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan Rangka Batang

Jembatan dengan rangka yang tersusun yang dihubungkan dengan sendi pada titik hubung dan diletakkan pada bidang merupakan pengertian dari jembatan (Schodek, 1999). Susunan dari gabungan bentuk segitiga yang seimbang serta tidak terjadinya pergerakan pada struktur bagian luar akibat dari perubahan bentuk merupakan dasar dari jembatan rangka. Struktur dengan segitiga yang tersusun akan stabil dan jika ada beban tidak akan mengalami perubahan bentuk. Dalam struktur yang stabil perubahan bentuk yang terjadi jumlahnya sedikit. Adapun yang terjadi ialah panjang batang yang berubah karena adanya gaya batang akibat beban luar. Rangka batang tidak ada momen lentur, tetapi berupa gaya normal tarik dan tekan.

2.2 Konsep Dasar Optimalisasi

Dasar dari makna optimalisasi adalah yang terbaik, yang tertinggi, yang paling menguntungkan, menjadikan paling baik, menjadikan paling tinggi, pengoptimalan proses, cara, dan suatu perbuatan mengoptimalkan (menjadikan paling baik, paling tinggi dan sebagainya). Maka optimalisasi dalam hal ini dapat dimaknai sebagai suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu (sebagai sebuah desain, sistem, atau keputusan) menjadi lebih baik dan sempurna, fungsional, atau lebih efektif. Tujuan mengoptimalkan dalam suatu proyek adalah agar

dapat memperoleh keuntungan yang lebih baik tanpa mengurangi kualitas (mutu) suatu konstruksi.

2.3 Analisis Struktur Rangka Batang

a. Metode ritter

Metode *ritter* adalah metode yang mencari gaya batang dengan potongan atau irisan analitis. Metode ini umumnya hanya memotong tiga batang mengingat hanya ada tiga persamaan statika saja, yaitu: ($\sum M=0$, $\sum H=0$, dan $\sum V=0$).

b. Metode cremona

Metode *cremona* adalah metode penyelesaian gaya-gaya batang dengan menggunakan cara grafis atau proses penggambaran. Pada metode ini yang perlu dikuasai dan dipelajari ialah pemahaman konsep perhitungannya serta harus diperhatikan skala gambar dan skala gaya yang digunakan, karena skala gambar dan skala gaya sangat berpengaruh terhadap besarnya kekuatan dan hasil gaya-gaya batang yang diperoleh.

c. Program SAP2000

Program SAP2000 merupakan salah satu program analisis struktur yang dapat menganalisis struktur gedung maupun jembatan secara statik maupun dinamik untuk memperoleh gaya-gaya dalam yang diperlukan untuk perencanaan struktur (Andrianto, 2007). Ketahanan struktur ditunjukkan setelah melalui hasil *running* program pada menu *check design structure*. Khusus evaluasi ketahanan struktur kolom/stuktur rangka batang divisualisasikan melalui indikasi warna-warna yang dikeluarkan oleh program SAP2000. Berikut analisa warna untuk ketahanan struktur yang ada pada program SAP2000 (Andrianto, 2007).

Warna biru muda	: 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 (<i>Overstress</i>)

2.4 Pembebanan Jembatan

Sistem pembebanan dan kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur rangka batang jembatan mengacu pada peraturan pembebanan SNI 1725:2016, tentang Peraturan Pembebanan untuk Jembatan. Beban-beban yang bekerja pada jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 tentang Peraturan Pembebanan untuk Jembatan, meliputi beban mati, beban hidup dan beban angin. Beban mati diantaranya berat sendiri (MS) dan beban mati tambahan (MA). Beban hidup diantaranya beban lajur "D" dan beban pejalan kaki (TP). Sedangkan untuk beban angin untuk jembatan rangka, luas ekivalen ini dianggap 30% dari luas yang dibatasi oleh batang-batang bagian terluar. Angin

harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas jembatan.

2.5 Mendimensi Penampang Rangka Baja

Mendimensi penampang pada struktur rangka batang mengacu pada peraturan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan menurut SK.SNI T-03-2005 dengan metode LRFD (*Load And Resistance Faktor Design*). Adapun langkah-langkah atau garis besar dalam mendimensi penampang baja untuk batang atas, batang bawah dan batang diagonal struktur rangka jembatan yaitu sebagai berikut:

a. Menghitung gaya-gaya batang

Pada perhitungan struktur rangka batang jembatan akan mengalami dan menerima gaya tekan dan gaya tarik. Dalam menghitung gaya-gaya batang dapat dihitung dengan menggunakan metode analisis struktur secara manual menggunakan metode *ritter* dan metode *cremona* serta dapat dilakukan simulasi dengan bantuan program SAP2000.

b. Menghitung luas penampang baja

Dalam menghitung luas penampang baja pada struktur rangka jembatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

σ = tegangan (kg/cm²)

P = gaya aksial (kg)

A = luas penampang (cm²)

c. Cek persyaratan menurut SK.SNI T-03-2005

Pada struktur rangka jembatan baja harus memenuhi persyaratan menurut SK.SNI T-03-2005 yaitu peraturan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, sehingga komponen struktur tarik harus memenuhi persyaratan berikut:

$$T_u \leq \phi \cdot T_n \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

T_n = kondisi leleh

T_u = kondisi fraktur

ϕ = faktor reduksi terhadap kuat tarik yaitu 0,90

Untuk komponen struktur tekan harus memenuhi persyaratan berikut:

$$N_u \leq \phi \cdot N_n \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

N_n = kuat tekan nominal komponen struktur tekan

N_u = kuat tekan nominal akibat tekuk-lentur

ϕ = faktor reduksi terhadap kuat tekan yaitu 0,85

3. METODOLOGI

Metode analisis yang dapat digunakan untuk menentukan dimensi penampang baja pada struktur rangka batang jembatan yang paling optimal dan efisien antara lain: perhitungan gaya-gaya batang dengan metode *ritter* dan *cremona*, kemudian didapat

gaya-gaya maksimum untuk setiap batang dan hasil dari gaya-gaya batang maksimum itu dipakai untuk perhitungan dimensi penampang rangka baja dengan metode LRFD (*Load And Resistance Faktor Design*) yang mengacu pada SK.SNI T-03-2005 tentang peraturan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, selanjutnya dilakukan simulasi analisis struktur rangka batang dan optimalisasi dimensi penampang baja dengan menggunakan bantuan program SAP2000 pada struktur rangka batang jembatan Way Mamua.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis

Data teknis pada penelitian merupakan data-data yang berhubungan langsung dengan perencanaan struktur jembatan seperti gambar rencana, mutu baja, pedoman dan peraturan yang berlaku, yaitu sebagai berikut:

a. Gambar rencana

Data gambar rencana meliputi denah, gambar tampak, gambar potongan melintang dan potongan memanjang jembatan Way Mamua. Memiliki tipe struktur jembatan baja tipe *warren truss*, panjang jembatan 60 m, lebar jembatan 9,60 m dan tinggi struktur rangka 6,50 m.

b. Mutu baja

Mutu baja untuk komponen struktur rangka jembatan Way Mamua yaitu sebagai berikut:

Tegangan leleh (fy) = 360 MPa

Tegangan tarik putus (fu) = 520 MPa

Modulus Elastisitas Baja (E) = 200000 MPa

c. Pedoman dan peraturan

Pedoman dan peraturan untuk perencanaan struktur jembatan Way Mamua meliputi: SNI 1725:2016 tentang Peraturan Pembebanan untuk Jembatan dan SK.SNI T-03-2005 tentang Peraturan Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

4.2 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 diantaranya beban mati, beban hidup dan beban angin yang dihasilkan dari hasil perhitungan data teknis struktur jembatan dan pedoman pembebanan yang berlaku, sehingga didapat hasil sebagai berikut:

a. **Beban mati**

Aspal = bj aspal . tebal aspal . lebar jalur . jarak titik buhul . ½ . faktor beban
 = 22 . 0,05 . 7 . 5 . 0,5 . 2
 = 38,50 kN

Trotoar = bj beton . tebal trotoar . lebar trotoar . jarak titik buhul . faktor beban
 = 24 . 0,30 . 1 . 5 . 1,3

Plat lantai = 46,80 kN
 = bj beton . tebal lantai . lebar jembatan . jarak titik buhul . 1/2 . faktor beban
 = 24 . 0,22 . 9,6 . 5 . 0,5 . 1,3
 = 164,74 kN

Air hujan = bj air . tebal genangan air hujan . lebar jalur . jarak titik buhul . 1/2 . faktor beban
 = 9,81 . 0,05 . 7 . 5 . 0,5 . 2
 = 17,17 kN

Pipa sandaran = berat/m . jumlah . panjang pipa . faktor beban
 = 0,113 . 22 . 5 . 1,1
 = 1,24 kN

Cross girder = berat/m . lebar jembatan . jumlah . faktor beban . 1/2
 = 1,879 . 9,6 . 1 . 1,1 . 0,5
 = 9,92 kN

Stringer = berat/m . jarak titik buhul . jumlah . faktor beban . 1/2
 = 0,511 . 5 . 9 . 1,1 . 0,5
 = 12,65 kN

Ikatan diagonal = berat/m . panjang . jumlah . faktor beban . 1/2
 = 0,212 . 10,30 . 2 . 1,1 . 0,5
 = 2,40 kN

Ikatan melintang = berat/m . lebar jembatan . jumlah . faktor beban . 1/2
 = 0,356 . 9,6 . 1 . 1,1 . 0,5
 = 1,88 kN

b. Beban hidup

BTR = Q_{BTR} untuk bentang 60 m . λ
 = 6,75 . 5
 = 33,75 kN

Maka didapat beban hidup lajur “D” yaitu BTR yang bekerja pada titik simpul adalah 95,52 kN

BGT = Q_{BGT} bentang 60 m . (1 + FBD)
 = 49 . (1 + 0,375)
 = 67,375 kN

Maka didapat beban garis atau BGT yang bekerja pada titik simpul adalah 190,70 kN

Pejalan kaki = intensitas . λ . lebar trotoar
 = 5 . 5 . 1
 = 25 kN

c. Beban angin

Angin = $\left(\frac{b}{h} \times P_D \text{ Tekan}\right) + \left(\frac{b}{h} \times P_D \text{ Hisap}\right)$
 = 27,61 . 13,81
 = 41,42 kN

Hasil rekapan perhitungan pembebanan dapat diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rekap Perhitungan Pembebanan

No	Beban Yang Bekerja	Hasil Perhitungan
A	Beban Mati (P_{MS} & P_{MA})	
1	Beban Mati Aspal	38,50 kN
2	Beban Mati Trotoar	46,80 kN
3	Beban Mati Plat Lantai Beton	164,74 kN
4	Beban Mati Air Hujan	17,17 kN
5	Beban Mati Pipa Sandaran	1,24 kN
6	Beban Mati <i>Cross Girder</i>	9,92 kN
7	Beban Mati <i>Stringer</i>	12,65 kN
8	Beban Mati Ikatan Angin Diagonal	2,40 kN
9	Beban Mati Ikatan Angin Melintang	1,88 kN
B	Beban Hidup	
1	Beban Hidup Lajur “D” (T_{TD})	95,52 kN
2	Beban Garis “BGT” (KEL)	190,70 kN
3	Beban Pejalan Kaki (T_{TP})	25 kN
C	Beban Angin (T_{EW})	41,42 kN

Sumber: Penulis, 2022

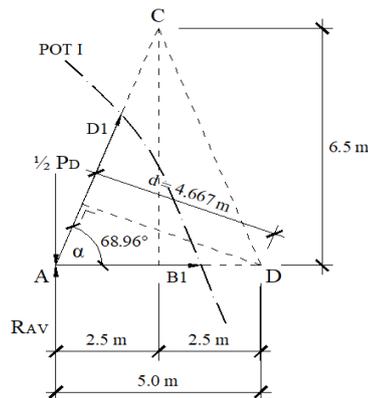
4.3 Perhitungan Gaya Batang

Perhitungan gaya batang pada struktur jembatan dapat menggunakan dua metode secara manual yaitu metode *ritter* dan metode *cremona* serta dilakukan simulasi dengan bantuan program SAP2000. Berikut ini adalah penjelasan dan hasil perhitungan gaya batang untuk metode *ritter*, *cremona* dan simulasi dengan program SAP2000.

a. Metode ritter

Langkah pertama dalam perhitungan gaya batang adalah menghitung reaksi perletakan yang terjadi pada tiap tumpuan yang bekerja pada struktur jembatan. Hasil reaksi perletakan akibat beban mati yang bekerja pada jembatan adalah sebesar 1771,80 kN untuk masing-masing tumpuan. Perhitungan gaya batang metode *ritter* diperoleh sebanyak 12 potongan atau irisan analitis dengan tinggi rangka 6,5 m dan jarak titik buhul yaitu 5 m, karena struktur rangka jembatan simetris maka gaya-gaya batang cukup dihitung separuh saja yaitu ditinjau dari bagian kiri struktur jembatan diantaranya batang (A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, dan D12). Perhitungan dengan 12 potongan yang ada diambil 1 potongan sebagai contoh, karena perhitungan untuk potongan yang lain sama, hanya saja berbeda dengan ditambahnya jarak titik buhul pada jembatan. Hasil perhitungan gaya batang B1, B12, D1 dan D24 merupakan hasil metode

ritter potongan I yang dapat diperlihatkan pada Gambar 1. Berikut ini.



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 1. Potongan I Akibat Beban Mati Dengan Metode Ritter

$$\sum_{MC} = 0,$$

$$R_{AV} \times (2,5) - \frac{1}{2} P_D \times (2,5) - B1 \times (6,5) = 0$$

$$B1 = \frac{-1771,80 \times (2,5) + 147,65 \times (2,5)}{-6,5}$$

$$B1 = B12 = 624,67 \text{ kN (batang tarik)}$$

$$\sum_{MD} = 0,$$

$$R_{AV} \times (5) - \frac{1}{2} P_D \times (5) + D1 \times (4,667) = 0$$

$$D1 = \frac{-1771,80 \times (5) + 147,65 \times (5)}{4,667}$$

$$D1 = D24 = -1740,04 \text{ kN (batang tekan)}$$

Hasil rekapitan untuk perhitungan gaya batang akibat beban mati pada struktur rangka batang jembatan dengan dihitung menggunakan metode *ritter* dengan 12 potongan, dapat dilihat salah satu contoh perhitungannya pada gambar 1 yaitu terdapat cara perhitungan dan gambar potongan I akibat beban mati yang bekerja dengan metode *ritter*. Kemudian hasil rekapitan gaya batang akibat beban mati dengan metode *ritter* tersebut dapat diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rekap Gaya Batang Metode Ritter

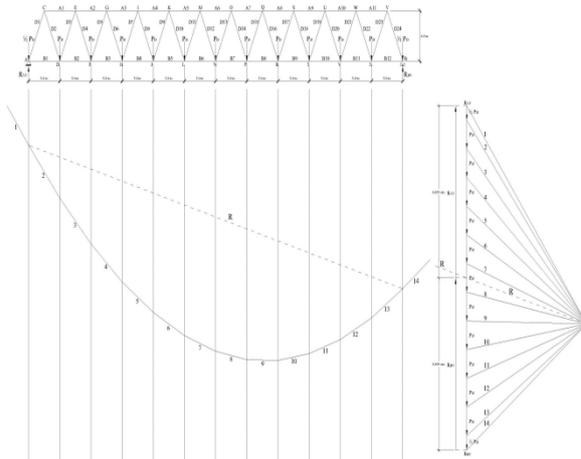
Batang	Beban Mati	
	Gaya Batang (kN)	Perilaku
A1=A11	1249,35	Tekan (-)
A2=A10	2271,54	Tekan (-)
A3=A9	3066,58	Tekan (-)
A4=A8	3634,46	Tekan (-)
A5=A7	3975,19	Tekan (-)
A6	4088,77	Tekan (-)
B1=B12	624,67	Tarik (+)

B2=B11	1760,44	Tarik (+)
B3=B10	2669,06	Tarik (+)
B4=B9	3350,52	Tarik (+)
B5=B8	3804,83	Tarik (+)
B6=B7	4031,98	Tarik (+)
D1=D24	1740,04	Tekan (-)
D2=D23	1740,04	Tarik (+)
D3=D22	1423,66	Tekan (-)
D4=D21	1423,66	Tarik (+)
D5=D20	1107,29	Tekan (-)
D6=D19	1107,29	Tarik (+)
D7=D18	790,92	Tekan (-)
D8=D17	790,92	Tarik (+)
D9=D16	474,56	Tekan (-)
D10=D15	474,56	Tarik (+)
D11=D14	158,19	Tekan (-)
D12=D13	158,19	Tarik (+)

Sumber: Penulis, 2022

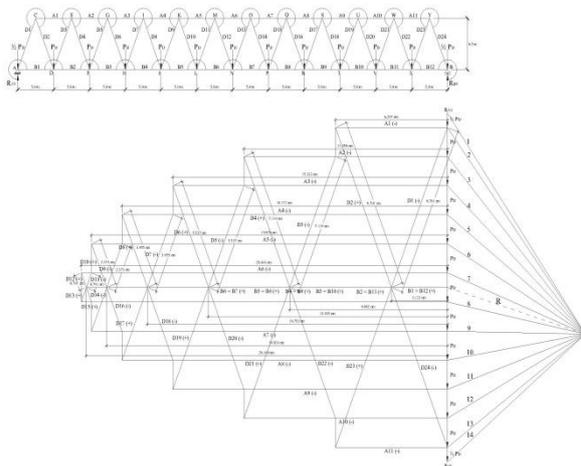
b. Metode cremona

Langkah pertama dalam perhitungan gaya batang metode *cremona* adalah penentuan skala gambar dan skala gaya, dimana skala gambar dan skala gambar sangat mempengaruhi besarnya hasil dari gaya-gaya batang yang digambarkan atau dilukiskan. Skala gambar yang dipakai adalah 1:250 dan skala gaya yang digunakan adalah 1 cm = 200 kN. Hasil reaksi perletakan dari proses penggambaran dengan skala gambar dan skala gaya yang ada sebesar 8,859 cm = 1771,8 kN, yang dapat diperlihatkan pada Gambar 2. Awal penggambaran metode *cremona* harus dimulai dari salah satu tumpuan dan searah jarum jam. Dapat dijelaskan juga bahwa gaya yang menuju titik buhul merupakan batang tekan yang ditandai dengan tanda (-) dan gaya yang meninggalkan titik buhul merupakan batang tarik yang ditandai dengan tanda (+). Pada penggambaran dengan metode *cremona* harus menjadi satu poligon tertutup yang dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 2. Reaksi Perletakan Akibat Beban Mati Dengan Metode Cremona



Sumber: Penulis, 2022

Gambar 3. Gaya Dalam Akibat Beban Mati Dengan Metode Cremona

Hasil rekapan perhitungan gaya batang akibat beban mati pada struktur rangka batang jembatan yang dihitung menggunakan metode *cremona* dapat diperlihatkan dalam Tabel 3. Berikut ini.

Tabel 3. Rekap Gaya Batang Metode Cremona

Batang	Beban Mati	
	Gaya Batang (kN)	Perilaku
A1=A11	1249,4	Tekan (-)
A2=A10	2271,6	Tekan (-)
A3=A9	3066,6	Tekan (-)
A4=A8	3634,6	Tekan (-)
A5=A7	3975,2	Tekan (-)

A6	4088,8	Tekan (-)
B1=B12	624,6	Tarik (+)
B2=B11	1760,4	Tarik (+)
B3=B10	2669	Tarik (+)
B4=B9	3350,6	Tarik (+)
B5=B8	3804,8	Tarik (+)
B6=B7	4032	Tarik (+)
D1=D24	1740,2	Tekan (-)
D2=D23	1740,2	Tarik (+)
D3=D22	1423,8	Tekan (-)
D4=D21	1423,8	Tarik (+)
D5=D20	1107,4	Tekan (-)
D6=D19	1107,4	Tarik (+)
D7=D18	791	Tekan (-)
D8=D17	791	Tarik (+)
D9=D16	474,6	Tekan (-)
D10=D15	474,6	Tarik (+)
D11=D14	158,2	Tekan (-)
D12=D13	158,2	Tarik (+)

Sumber: Penulis, 2022

c. Simulasi dengan program SAP2000

Hasil simulasi dengan program SAP2000 akibat beban mati pada struktur rangka batang jembatan dapat diperlihatkan dalam Tabel 4. Pada tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil dari simulasi dengan menggunakan program SAP2000 sama dengan hasil gaya-gaya batang dengan cara manual yaitu metode *ritter* dan metode *cremona*. Langkah awal dalam menggunakan program bantu SAP2000 adalah dengan menginput data teknis yang telah diperoleh ke dalam program SAP2000, kemudian diinput beban yang terjadi pada struktur jembatan sehingga didapat reaksi perletakan dan gaya-gaya batang untuk struktur rangka jembatan. Adapun kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan dengan mengacu pada SNI 1725:2016 yang diantaranya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kuat I} &= 1,3 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1,8 \text{ TD} + 1,8 \text{ TP} \\ \text{Kuat II} &= 1,3 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1,4 \text{ TD} + 1,4 \text{ TP} \\ \text{Kuat III} &= 1,3 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 1,4 \text{ EW}_s \\ \text{Kuat IV} &= 1,3 \text{ MS} + 2 \text{ MA} \\ \text{Kuat V} &= 1,3 \text{ MS} + 2 \text{ MA} + 0,4 \text{ EW}_s \end{aligned}$$

Dari hasil kombinasi pembebanan kuat I sampai V yang bekerja pada jembatan, maka diperoleh rekapan gaya-gaya batang maksimum pada kombinasi pembebanan kuat I yang dapat diperlihatkan dalam

Tabel 5. Pada hasil simulasi dengan program SAP2000 gaya-gaya batang maksimum tersebut yang akan dipakai untuk mendimensi penampang baja jembatan Way Mamua.

Tabel 4. Rekap Gaya Batang Simulasi SAP2000

Batang	Beban Mati	
	Gaya Batang (kN)	Perilaku
A1=A11	1249,35	Tekan (-)
A2=A10	2271,54	Tekan (-)
A3=A9	3066,58	Tekan (-)
A4=A8	3634,46	Tekan (-)
A5=A7	3975,19	Tekan (-)
A6	408877	Tekan (-)
B1=B12	624,67	Tarik (+)
B2=B11	1760,44	Tarik (+)
B3=B10	2669,06	Tarik (+)
B4=B9	3350,52	Tarik (+)
B5=B8	3804,83	Tarik (+)
B6=B7	4032,98	Tarik (+)
D1=D24	1740,14	Tekan (-)
D2=D23	1740,14	Tarik (+)
D3=D22	1423,75	Tekan (-)
D4=D21	1423,75	Tarik (+)
D5=D20	1107,36	Tekan (-)
D6=D19	1107,36	Tarik (+)
D7=D18	790,97	Tekan (-)
D8=D17	790,97	Tarik (+)
D9=D16	474,58	Tekan (-)
D10=D15	474,58	Tarik (+)
D11=D14	158,19	Tekan (-)
D12=D13	158,19	Tarik (+)

Sumber: Penulis, 2022

Tabel 5. Rekap Gaya-gaya Batang Maksimum

Batang	Kombinasi Kuat I	
	Gaya Batang (kN)	Perilaku
A1=A11	3744,11	Tekan (-)
A2=A10	6807,46	Tekan (-)
A3=A9	9190,02	Tekan (-)
A4=A8	10891,88	Tekan (-)
A5=A7	11912,98	Tekan (-)

A6	12253,41	Tekan (-)
B1=B12	1872,06	Tarik (+)
B2=B11	5275,78	Tarik (+)
B3=B10	7998,74	Tarik (+)
B4=B9	10040,93	Tarik (+)
B5=B8	11402,41	Tarik (+)
B6=B7	12083,16	Tarik (+)
D1=D24	5214,94	Tekan (-)
D2=D23	5214,94	Tarik (+)
D3=D22	4251,48	Tekan (-)
D4=D21	4251,48	Tarik (+)
D5=D20	3303,35	Tekan (-)
D6=D19	3303,05	Tarik (+)
D7=D18	2370,42	Tekan (-)
D8=D17	2370,42	Tarik (+)
D9=D16	1422,25	Tekan (-)
D10=D15	1422,25	Tarik (+)
D11=D14	474,08	Tekan (-)
D12=D13	474,08	Tarik (+)

Sumber: Penulis, 2022

4.4 Mendimensi Penampang Baja

Hasil perhitungan dari mendimensi penampang baja diantaranya batang atas, batang bawah dan batang diagonal struktur rangka jembatan dapat diperlihatkan dalam Tabel 6. Langkah awal dalam mendimensi penampang rangka baja yaitu mengolah dan menghitung sistem pembebanan yang bekerja pada struktur rangka jembatan, pedoman pembebanan yang digunakan mengacu pada data teknis yang diperoleh dan peraturan pembebanan yaitu SNI 1725:2016, tentang Peraturan Pembebanan untuk Jembatan, setelah diperoleh hasil dari perhitungan pembebanan maka dapat dihitung gaya-gaya batang maksimum pada struktur rangka jembatan, sehingga diperoleh gaya-gaya batang maksimum yang kemudian gaya-gaya batang maksimum tersebut digunakan untuk mencari luasan dan dimensi penampang baja. Hasil dari dimensi penampang baja pada struktur rangka batang jembatan harus memenuhi persyaratan menurut SK.SNI T-03-2005 untuk batang yang mengalami gaya tekan maupun gaya tarik. Sebagai contoh perhitungan dimensi penampang batang atas A1=A11 dengan langkah awal menghitung luas penampang baja dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$2400 = \frac{374411}{A}$$

$$A = 156,00 \text{ cm}^2$$

Maka dari hasil luasan penampang yang diperoleh dipilih profil baja pada tabel profil konstruksi baja

yang sesuai yaitu diambil WF 256 . 368 . 10,67 . 17,48. Kemudian dari profil baja yang dipilih harus di cek persyaratan menurut SK. SNI T-03-2005. Batang A1=A11 yang dihitung merupakan batang atas yang menerima gaya tekan sehingga didapat hasil sebagai berikut:

$$N_n = (0,66)^{\lambda^2} \times A_g \times f_y$$

$$N_n = (0,66)^{0,72^2} \times 16490 \times 360$$

$$N_n = 4786022,46 \text{ N} = 4786,02 \text{ kN}$$

$$\phi \times N_n = 0,85 \times 4786,02 = 4068,12 \text{ kN} ; \phi = 0,85$$

$$N_u \leq \phi \times N_n$$

$$3744,11 \text{ kN} \leq 4068,12 \text{ kN (aman)}$$

Maka profil WF 356 x 368 x 10,67 x 17,48 aman dan dapat digunakan untuk batang A1=A11.

Tabel 6. Rekap Dimensi Penampang Baja

Batang	Dimensi Penampang Baja (mm)	Luasan (cm ²)
A1=A11	WF 356.368.10,67.17,48	164,9
A2=A10	WF 378.394.17,65.28,65	284,4
A3=A9	WF 394.399.22,61.36,53	366,0
A4=A8	WF 406.403.26,54.42,88	432,6
A5=A7	WF 413.405.28,58.46,05	466,6
A6	WF 413.405.28,58.46,05	500,8
B1=B12	WF 356.171.7,29.11,51	64,5
B2=B11	WF 356.368.10,67.17,48	164,9
B3=B10	WF 375.374.16,76.27,00	257,9
B4=B9	WF 384.396.19,81.31,70	316,7
B5=B8	WF 394.399.22,61.36,53	366,0
B6=B7	WF 397.400.23,62.38,18	383,2
D1=D24	WF 375.374.16,76.27,00	257,9
D2=D23	WF 356.368.10,67.17,48	164,9
D3=D22	WF 365.371.13,72.22,17	210,6
D4=D21	WF 360.256.11,43.19,89	140,4
D5=D20	WF 356.368.10,67.17,48	164,9
D6=D19	WF 353.254.9,60.16,33	115,7
D7=D18	WF 357.305.11,87.18,24	148,0
D8=D17	WF 406.178.7,80.12,78	75,9
D9=D16	WF 357.255.10,62.18,24	129,0
D10=D15	WF 403.178.7,59.10,87	68,3
D11=D14	WF 353.254.9,60.16,33	115,7
D12=D13	WF 403.178.7,59.10,87	68,3

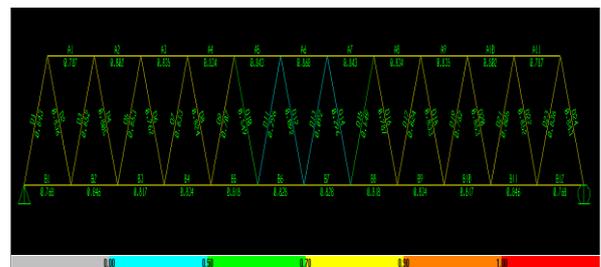
Sumber: Penulis, 2022

4.5. Optimalisasi Struktur Rangka Batang

Optimalisasi struktur rangka batang dapat dilakukan dengan menentukan dimensi penampang baja yang paling optimal/optimum yang dapat digunakan untuk struktur rangka jembatan dengan tidak mengabaikan tingkat keamanan dari struktur

tersebut. Mengoptimalkan dimensi penampang pada struktur rangka batang jembatan dapat dilihat dari hasil perbedaan/perbandingan dan presentase luasan penampang profil baja pada kondisi aktual di lapangan dengan hasil optimalisasi yang diperoleh baik itu dari tinggi penampang, lebar penampang, dan juga tebal penampang badan dan sayap pada profil IWF/WF (*wide flange*) yang digunakan pada struktur rangka jembatan. Analisis optimalisasi dilakukan dengan menggunakan bantuan program SAP2000 sehingga dari hasil perhitungan manual yang didapat kemudian di input ke dalam program SAP2000 untuk mendapatkan rasio tegangan pada setiap batang.

Dari hasil dimensi penampang profil baja IWF/WF yang telah diperoleh di input kedalam program SAP2000 kemudian didapat rasio tegangan pada masing-masing batang pada struktur rangka jembatan yang dapat diperlihatkan pada Gambar 4. dan diperlihatkan dalam Tabel 7. Sehingga dari hasil yang diperoleh dapat diketahui apakah dimensi penampang profil baja hasil optimalisasi aman untuk digunakan atautkah tidak.



Gambar 4. Hasil Rasio Tegangan Pada Struktur Rangka Batang (Sumber: Penulis, 2022)

Tabel 7. Hasil Rasio Tegangan Pada Struktur Rangka Batang

Batang	Nilai Rasio Tegangan	Warna Rasio Tegangan
A1=A11	0,787	Kuning
A2=A10	0,802	Kuning
A3=A9	0,835	Kuning
A4=A8	0,834	Kuning
A5=A7	0,843	Kuning
A6	0,868	Kuning
B1=B12	0,768	Kuning
B2=B11	0,846	Kuning
B3=B10	0,817	Kuning
B4=B9	0,834	Kuning
B5=B8	0,818	Kuning
B6=B7	0,828	Kuning
D1=D24	0,843	Kuning
D2=D23	0,836	Kuning

D3=D22	0,852	Kuning
D4=D21	0,805	Kuning
D5=D20	0,853	Kuning
D6=D19	0,762	Kuning
D7=D18	0,833	Kuning
D8=D17	0,824	Kuning
D9=D16	0,787	Kuning
D10=D15	0,549	Hijau
D11=D14	0,296	Biru mudah
D12=D13	0,092	Biru mudah

Sumber: Penulis, 2022

Dari hasil rasio tegangan yang diperoleh menandakan bahwa struktur rangka batang jembatan yang telah dioptimalisasikan aman untuk digunakan, yang ditandai dengan nilai rasio tegangan tidak >1 dan berikut adalah keterangan dari setiap warna rasio tegangan seperti pada gambar 1 dan dalam tabel 7.

Warna biru muda : rasio 0.00 - 0.50 : Sangat aman

Warna hijau : rasio 0.50 - 0.70 : Aman

Warna kuning : rasio 0.70 - 0.90 : Aman

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Hasil gaya batang minimum untuk batang horizontal atas, batang horizontal bawah dan batang diagonal berjumlah 2 batang. Gaya batang maksimum untuk batang horizontal atas berjumlah 1 batang, sedangkan batang horizontal bawah dan batang diagonal berjumlah 2 batang dengan gaya-gaya yang diterima yaitu gaya tekan dan tarik.
2. Hasil optimalisasi struktur rangka batang didapat penambahan persentase dimensi penampang terhadap luasan penampang untuk batang horizontal atas sebesar 2%, batang horizontal bawah dan batang diagonal mengalami pengurangan persentase sebesar 64% dan 54% dari dimensi penampang pada kondisi aktual di lapangan. Dari hasil optimalisasi diperoleh rasio tegangan tidak >1 sehingga dapat disimpulkan struktur rangka batang jembatan masih dalam kondisi aman.

5.2. Saran

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu perlu adanya penelitian lanjutan terkait perhitungan analisis optimalisasi sambungan plat buhul dan baut pada struktur rangka batang jembatan sehingga dapat memperkuat hasil optimalisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, H. 2007, *Analisis Struktur Gedung dengan SAP2000*, Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Ariestadi, Dian, 2008, *Teknik Struktur Bangunan*, Jilid 2, Jakarta.
- Chen, Wai Fah, Duan, Lian, 2000, *Bridge Engineering 2 Handbook*, London.
- Daeli, Adi Berkat, 2019, *Analisis Perhitungan Struktur Atas Jembatan Rangka Lahomi, Onolimbu-Bawadasi, Kecamatan Lahomi, Kabupaten Nias Barat Provinsi Sumatera Utara*, Tugas Akhir Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan.
- Gunawan, Rudy, 1987, *Tabel Profil Konstruksi Baja*, Yogyakarta : Kanisius
- Putri, Yuliasri, Ardini, Bayzoni, dan Ratna Widyawati. 2017, *Optimalisasi Profil Baja IWF Pada Bangunan Gudang Konstruksi Gable Frame Berdasarkan SNI 1927-2015*, Jurnal, Universitas Lampung, JRSDD, Vol 5 No 3, Agustus 2017, Hal 1-14.
- Satyarno, Iman, Purbolaras Nawangalam, dan R. Indra Pratomo P., 2011, *Belajar SAP2000 Cepat – Tepat – Mahir Seri 1*, Yogyakarta : Zamil Publishing.
- Santina, Azmi, Cindi, Safrin Zuraidah, dan K. Budi Hastono, 2018, *Optimalisasi Profil Baja IWF Pada Konstruksi Bangunan Parkir Sepeda Motor 4 Lantai (Studi Kasus Gedung Spazio Tower 2, Surabaya)*, Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil, Fakultas Teknik Universitas Dr.Soetomo Jl. Semolowaru 84 Surabaya, Vol 01 No 02, September 2018, Hal 72-79.
- Schodek, D.L, 1999, *“Struktur Edisi Kedua”*. Jakarta : Erlangga.
- SK.SNI-T-03-2005, *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1725:2016, *Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Widiantoro, Risman. 2013, *Optimalisasi Stuktur Rangka Jembatan Rangka Batang Baja Tipe Warren*, Tugas Akhir Program Studi Diploma IV Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.