

PEMODELAN JEMBATAN RANGKA DENGAN KOMBINASI TIPE RANGKA DITINJAU DARI LENDUTAN DAN BERAT JEMBATAN

Mohammad Musthofa Al Ansyorie¹, Mohammad Alfin Kirom Mustofa², Madih Tahtal Firdaus Sabila³, Nadia Mulia Putri⁴

¹Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang

^{2,3,4}Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang

¹musthofansyorie.ft@um.ac.id, ²alfinkirom18@gmail.com, ³madihtfs17@gmail.com,

⁴nadiyahmulia31@gmail.com

Abstrak

Struktur jembatan rangka memiliki beberapa tipe rangka yang masing-masing memiliki keunggulan sesuai dengan pengaplikasiannya. Beberapa hasil kajian menunjukkan perbandingan antara tipe rangka satu dengan tipe rangka lainnya memiliki keunggulan dari sisi kekuatan/kekokohan yang berbeda-beda. Pada penelitian ini akan dilakukan suatu analisis dengan pemodelan tipe rangka struktur jembatan yang dimodifikasi dan dikombinasikan dengan tipe lain untuk mendapatkan suatu struktur yang memiliki kekokohan terbaik. Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan pemodelan struktur jembatan dengan bantuan *software* SAP2000 v20. Proses analisis dalam pemodelan ini mengacu pada SNI 1725:2016 tentang pembebanan pada jembatan, BMS (Bridge Management System) tahun 1992, dan beberapa peraturan terkait.

Hasil analisis terhadap pemodelan tipe rangka jembatan selanjutnya dibandingkan satu dengan yang lain. Hasil analisis pemodelan menunjukkan bahwa rangka K-truss merupakan rangka terbaik dengan melihat aspek rasio jembatan yakni perbandingan antara lendutan dan berat masing-masing tipe. Kombinasi antara tipe rangka K-truss dengan tipe rangka warren merupakan kombinasi tipe rangka terbaik berdasarkan nilai lendutan dan berat yang terbaik. Nilai lendutan untuk kombinasi tipe rangka ini sebesar -0,416 mm dan nilai rasio 6,017.

Kata kunci: Pemodelan, jembatan rangka, K-truss, kombinasi

Abstract

The frame bridge structure has several types of frames, each of which has advantages in accordance with its application. Several studies have shown that the comparison between one frame type and another has the advantage of different strengths. In this study an analysis will be carried out by modeling the modified bridge structure truss type and combined with other types to obtain a structure that has the best strengths. The method used in this study is to model the bridge structure with the help of SAP2000 v20 software. The analysis process in this modeling refers to SNI 1725: 2016 concerning load on bridges, BMS (Bridge Management System) in 1992, and several related regulations. The results of modeling analysis show that the K-truss frame is the best frame by looking at the aspect ratio of the bridge, namely the ratio between deflection and weight of each type. The combination of the K-truss frame type and the warren frame type is the best combination of frame types based on the best deflection and weight values. The deflection value for this type of frame combination is -0.416 mm and the ratio value is 6.017.

Keywords: modeling, truss bridge, k-truss, combine

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan jumlah pulau sebanyak

17.504. Kondisi geografis Indonesia yang merupakan kepulauan memiliki banyak sungai dan juga lembah yang mengakibatkan

Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lentutan Dan Berat Jembatan

keberadaan jembatan sangat dibutuhkan. Jembatan juga mempunyai peranan untuk menunjang kelancaran lalu lintas dan meningkatkan aktifitas perekonomian di daerah yang mulai berkembang. Oleh sebab itu, pemodelan jembatan perlu diupayakan seefektif dan seefisien mungkin sehingga pembangunan jembatan dapat mencapai sasaran mutu jembatan yang direncanakan.

Supriyadi (2007) menyebutkan bahwa perkembangan struktur jembatan sejalan dengan waktu sejarah peradaban manusia, dimulai dengan jembatan sederhana yaitu pohon yang tumbang dan melintas di atas sungai berkembang hingga menjadi berbagai macam jenis jembatan saat ini. Perkembangan struktur jembatan sendiri dipengaruhi oleh perkembangan material yang berkembang pada setiap periodenya. Beberapa material yang digunakan dari setiap periode perkembangan struktur jembatan itu sendiri antara lain batu, kayu, baja, beton dan material komposit.

Salah satu jenis struktur jembatan yang umum diaplikasikan saat ini adalah jenis struktur rangka. Struktur jembatan rangka sendiri menitik beratkan pada kemampuan buhul dan batang yang merupakan sistem struktur utama dalam pembebanan. Perkembangan struktur jembatan rangka sendiri menghasilkan beberapa tipe rangka yang masing-masing memiliki kelebihan. Hasil penelitian Febrianti, dkk (2014) menjabarkan tipe jembatan terkuat adalah tipe Warren karena ketika menerima beban maksimum sebesar 4 ton, jembatan mengalami lentutan maksimum sebesar 0.02139 meter. Dengan ukuran penampang yang lebih kecil, anggaran pembangunan konstruksi bangunan lebih ekonomis.

Hasil penelitian Purwanto dan Hariadi (2018) menunjukkan hasil yakni jembatan tipe Warren memiliki keamanan, kenyamanan konstruksi dan beban yang lebih ringan dibandingkan dengan jembatan tipe Parker. Berbeda dengan 2 penelitian di atas, penelitian yang dilakukan oleh Zunanda dan Irfan (2010) menjelaskan bahwa dari aspek kekuatan jembatan tipe rangka Australia lebih kuat karena mempunyai nilai lentutan sebesar 156 mm, dibandingkan dengan jembatan tipe rangka rusuk K yang mempunyai nilai lentutan sebesar 166 mm.

Memperhatikan beberapa hal di atas, perlu adanya kajian terhadap berbagai tipe rangka struktur jembatan dengan parameter pengukuran yang sama, kajian dalam hal ini dapat dilakukan

terhadap beberapa aspek seperti kekuatan, keekonomisan, dan lain-lain. Oleh karena itu, pada penelitian ini penulis ingin melakukan suatu analisis dengan pemodelan struktur jembatan yang dimodifikasi dan dikombinasikan dengan tipe lain untuk mendapatkan suatu struktur yang memiliki kekokohan terbaik.

1. Bagaimana bentuk kombinasi pemodelan tipe rangka jembatan?
2. Bagaimana kekokohan (rasio, lentutan, dan berat) hasil kombinasi tipe rangka jembatan?

Jembatan

Jembatan adalah struktur yang berfungsi untuk menghubungkan jalan yang terpisah oleh adanya penghalang atau rintangan, antara lain sungai, jurang, saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang, dan lain-lain. Supriyadi dan Munthohar (2007) menyebutkan bahwa perkembangan struktur jembatan sejalan dengan waktu sejarah peradaban manusia, dimulai dengan jembatan sederhana yaitu pohon yang tumbang dan melintas di atas sungai berkembang hingga menjadi berbagai macam jenis jembatan saat ini. Jembatan mempunyai arti penting dalam kehidupan. Jembatan merupakan suatu sistem transportasi untuk tiga hal (Supriyadi dan Muthohar, 2007), yaitu:

- a. Merupakan pengontrol kapasitas dari sistem,
- b. Mempunyai biaya tertinggi per mil dari sistem,
- c. Jika jembatan runtuh, sistem akan lumpuh.

Secara umum struktur jembatan dapat dibagi menjadi dua bagian utama yaitu struktur atas (*super structures*), struktur bawah (*sub structures*). Seiring dengan berjalannya waktu, jembatan pun mengalami perkembangan dari waktu ke waktu mengikuti dengan perkembangan dibidang teknologi dan kemajuan peradaban manusia. Sampai pada saat ini jembatan dapat diklasifikasikan dalam beberapa bentuk struktur atas (Supriyadi dan Muntohar, 2007), antara lain:

1. Jembatan Lengkung
2. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)
3. Jembatan Gantung
4. Jembatan Balok
5. Jembatan Haubans (*Cable Stayed*)

Berbagai struktur jembatan tersebut, berpengaruh pada penggunaan material yang bermacam-macam. Jembatan pula diklasifikasikan berdasarkan bahan

Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lendutan Dan Berat Jembatan

konstruksinya. Menurut Nasution (2012) jenis jembatan berdasarkan bahan konstruksinya yaitu:

- a. Jembatan kayu
- b. Jembatan beton
- c. Jembatan baja
- d. Jembatan beton prategang
- e. Jembatan komposit

Jembatan Rangka

Menurut Suhendro (2000), struktur rangka umumnya berbentuk elemen-elemen batang lurus yang terangkai dengan sambungan antar ujung-ujung batang diasumsikan sebagai sendi sempurna. Bentuk dasar dari rangkaian batang tersebut adalah segitiga berdasarkan pertimbangan stabilitas struktur. Beban luar yang bekerja pada struktur tersebut harus berada pada titik-titik buhul dan searah dengan bidang strukturnya. Adapun beberapa tipe jembatan rangka yang umum diterapkan dilapangan adalah sebagi berikut.

1. Tipe Pratt

Tipe jembatan rangka batang ini ditemukan oleh Thomas dan Caleb Pratt pada tahun 1844. Jembatan rangka batang tipe Pratt ini memiliki elemen diagonal yang mengarah ke bawah dan bertemu pada titik tengah batang jembatan bagian bawah. Elemen-elemen diagonal dari jembatan tipe Pratt menerima tegangan tarik.

2. Tipe Howe

Tipe jembatan rangka batang Howe memiliki elemen diagonal mengarah ke atas. Tipe ini merupakan kebalikan dari tipe Pratt, dipatenkan oleh William Howe di Massachussets, Amerika Serikat pada tahun 1840

3. Tipe Warren

Jembatan rangka tipe warren dipatenkan oleh James Warren dan Willoughby Theobald Monzani pada tahun 1848 di Britania Raya. Rangka jembatan Warren tersusun dari segitiga sama kaki atau segitiga sama sisi dan tidak memiliki batang vertikal. Struktur rangkanya terdiri dari batang horizontal atas, batang horizontal bawah, dan batang diagonal. Batang horizontal atas mengalami gaya tekan, batang horizontal bawah mengalami gaya tarik sedangkan batang diagonalnya sebagian mengalami gaya tekan dan sebagian lainnya mengalami gaya tarik.

4. Tipe K

Ide dari jembatan tipe K ini adalah memecah elemen vertikal tipe Pratt menjadi bagian

yang lebih kecil karena batang vertikal tersebut mengalami tekan. Jembatan dengan tipe K memiliki panjang elemen tekan lebih pendek sehingga tahan terhadap buckling akibat gaya tekan. Yang menarik dari struktur rangka tipe K ini adalah perubahan gaya tarik menjadi tekan pada satu elemen yang sama yaitu pada batang vertikal, hal ini membuat perancangan sambungan elemen tersebut menjadi kompleks (Boon, 2011).

5. Tipe Baltimore

Baltimore truss pada dasarnya sama dengan truss Pratt, tetapi perbedaan tipe truss Baltimore yaitu memiliki bracing tambahan di bagian bawah section untuk mencegah gaya tekan (kompresi) dan dapat mengontrol terjadinya defleksi. Baltimore truss ini banyak digunakan untuk jembatan kereta api, memamerkan desain yang sederhana dan sangat kuat.

Material Kayu

Salah satu material yang digunakan untuk konstruksi jembatan rangka adalah kayu. Kayu yang umum digunakan untuk material struktur jembatan umumnya kayu dengan kelas keawetan dan kelas kuat yang baik. Salah satu jenis kayu yang termasuk pada kelas awet dan kelas kuat yang baik adalah meranti. Jenis kayu meranti sendiri diantaranya dapat dibedakan dari warnanya, seperti kayu meranti kuning, merah dan putih.

Menurut Frick dan Koesmartadi (1999: 20), kayu meranti kuning (*Shorea Multiflora*) adalah salah satu jenis kayu yang khas dari daerah tropis, salah satunya Indonesia. Kayu meranti merupakan kayu komersil yang menjadi material utama dalam perancangan jembatan ini. Kayu meranti yang akan digunakan sebagai pemodelan kali ini memiliki berat jenis berkisar antara 0,35-0,86 g/cm pada kandungan air 15%. Seperti yang diketahui bahwa berat jenis merupakan petunjuk untuk menentukan sifat-sifat kayu.

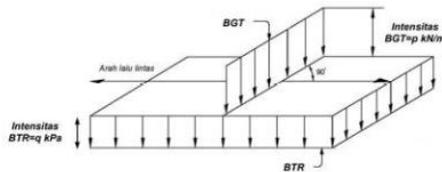
Perancangan Jembatan

Pembebanan

1. Beban Hidup

Beban hidup dianggap sebagai beban lajur "D". Menurut SNI 1725:2016 beban lajur "D" terbagi atas muatan terbagi rata (BTR) dan muatan garis P (BGT) dengan nilai = 49kN/m. Gambar muatan garis dan muatan terbagi rata pada jalur jalan muatan "D" didistribusikan seperti Gambar 1.

Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lenturan Dan Berat Jembatan



Gambar 1. Distribusi beban “D” yang bekerja pada jembatan Sedangkan beban q (BTR) ditentukan sebagai berikut:

$$q = 9,0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L < 30 \text{ m}$$

$$q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa, untuk } L > 30 \text{ m}$$

2. Beban truk “T”

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

3. Beban Rem

Beban rem dalam hal ini dianggap sebagai gaya akibat pengereman kendaraan. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata

4. Beban Angin

Beban angin yang digunakan dalam perancangan dibagi menjadi beban angin struktur dan beban angin kendaraan. Dimana beban angin struktur dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \quad (1)$$

Sedangkan untuk beban angin kendaraan dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2**.

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \quad (2)$$

Keterangan :

V_w = kecepatan angin rencana (m/s) untuk keadaan batas yang ditinjau (Tabel 1)

C_w = koefisien seret (Tabel 2)

A_b = luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Tabel 1. Kecepatan rencana V_w

Keadaan Batas	Lokasi	
	5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Tabel 2. Koefisien seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
b/d = 1,0	2,1
b/d = 2,0	1,5
b/d > 6,0	1,25

5. Beban Gempa

Beban gempa merupakan asumsi pembenanan ketika struktur jembatan menerima gaya akibat adanya gempa di wilayah tersebut. Beban gempa diasumsikan sama dengan gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formulasi seperti **Persamaan 3** berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (3)$$

E_Q : gaya gempa horizontal statis

C_{sm} : koefisien respons elastik

R : faktor modifikasi respons

W_t : berat total struktur

6. Beban Dinamik

Beban dinamik (berjalan) diperoleh dari moving load sebesar 100 kg yang dimodelkan dalam bentuk mobil yang berjalan pada seluruh panjang bentang jembatan.

Faktor modifikasi untuk kekuatan

Nilai rencana untuk kekuatan dan lenturan dari unsur kayu harus diperoleh dengan mengalikan nilai nominal dengan faktor modifikasi.

K1^m Faktor modifikasi untuk jangka waktu beban

Pengaruh pada Kekuatan

Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lentutan Dan Berat Jembatan

Kekuatan pada karakteristik harus dikalikan dengan faktor modifikasi sesuai untuk beban K1 diberikan dengan **Tabel 3**.

Tabel 3. Jangka waktu faktor beban

Jenis Beban	Jangka Waktu Faktor Beban	
	Kekuatan K_1^m	Lentutan K_0^m
Beban Permanen	1.0	1.0
Beban Transien	1.4	1.2

- Untuk beban permanen saja, faktor untuk beban permanen harus digunakan.
- Untuk kombinasi, beban permanen dan transien harus digunakan.
- Untuk kombinasi beban permanen dan transien, faktor untuk beban transien harus digunakan.

Pengaruh pada lentutan

Lentutan unsur kayu yang dihitung dengan menggunakan modulus elastisitas harus dikalikan dengan faktor modifikasi untuk jangka waktu beban, K_0^m diberikan dalam tabel 3 sebagai berikut :

- Untuk beban permanen saja, faktor untuk beban permanen harus digunakan.
- Untuk lentutan tambahan akibat beban transien, faktor untuk beban transien harus digunakan.

Lentutan total pada kombinasi beban permanen dan transien harus menjadi jumlah lentutan masing-masing dari 1 dan 2 diatas. Jangka waktu faktor beban untuk lentutan tergantung pada kondisi lembab rata-rata dari kayu pada waktu pembebanan, seperti tercantum dalam tabel.

Ukuran kayu yang umumnya digunakan untuk unsur struktural dalam jembatan memerlukan waktu lama untuk pengeringan. Karena sebab ini, mereka harus selalu dianggap lembab untuk penerapan beban permanen (kadar lembab $\geq 25\%$).

K_2^m Faktor modifikasi untuk keadaan lembab

Kekuatan karakteristik harus dikalikan dengan faktor modifikasi sesuai untuk kadar lembab K_2^m . Faktor modifikasi untuk kadar lembab tergantung pada kadar lembab mula-mula dari kayu dan kadar lembab pada waktu pembebanan dan semasa umurnya :

- Beban yang bekerja pada kayu lembab:

$$K_2^m = 1,0$$

- Beban yang bekerja pada kayu kering udara:

$$K_2^m = 1,6$$

K_3^m Faktor modifikasi untuk ukuran unsur

Kekuatan karakteristik untuk lentur dan tarik harus dikalikan dengan faktor modifikasi untuk ukuran unsur, K_3^m diberikan dalam tabel. Interpolasi linier boleh digunakan sesuai **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Faktor ukuran

Tinggi Maks Balok (mm)	300	375	500	625	750	1000	1250	1500
Faktor K_3^m	1.0	0.96	0.92	0.89	0.86	0.82	0.79	0.77

Metode Perancangan

Metode perancangan yang digunakan dalam pemodelan jembatan ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Bagan alir metode perancangan

Kriteria Perancangan

Kriteria perancangan dibutuhkan untuk menentukan spesifikasi pemodelan jembatan yang akan dianalisis. Pemodelan jembatan ini merupakan pemodelan jembatan rangka dengan simulasi penggunaan beberapa tipe rangka untuk selanjutnya dipilih rangka yang akan dikombinasikan. Model jembatan yang dirancang merupakan jembatan untuk keperluan pemodelan secara teoritis, sehingga jembatan yang dimodelkan adalah jembatan terskala. Adapun

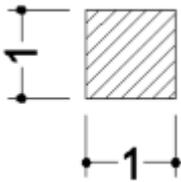
Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lentutan Dan Berat Jembatan

kriteria perancangan pemodelan jembatan rangka ini sebagai berikut:

1. Bentang teoritis : 1,0 meter
2. Lebar jembatan : 0,15 meter
3. Tinggi jembatan : 0,23 meter
4. Jenis jembatan : Jembatan rangka kayu dengan lantai kendaraan diatas (Deck Type Truss)
5. Lantai jembatan : Multiplek 3 mm
6. Jumlah segmen : 6 segmen
7. Tumpuan/ perletakan : Sendi dan sendi
8. Sambungan : Paku dan Lem dengan Plat Sambung
9. Material : Kayu Meranti Merah
 Berat jenis : 750 kg/m^3
 Kuat tarik : 100 kg/cm^2
 Kuat tekan : 250 kg/cm^2

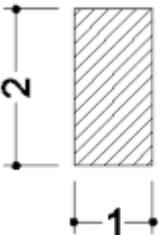
Dimensi rangka struktur pemodelan rangka jembatan jembatan yang akan diteliti sebagai berikut:

➤ Batang Rangka 1 (Batang Tekan)



Gambar 3. Dimensi rangka 1

➤ Batang Rangka 2 (Batang Tarik)



Gambar 4. Dimensi rangka 2

Pembebanan Jembatan

a. Beban Mati

Beban mati diasumsikan sebesar berat sendiri jembatan yang terdiri dari beban:

- Rangka utama
- Batang vertikal dan diagonal
- Batang melintang
- Pelat buhul dan Sambungan
- Lantai Kendaraan

b. Beban Hidup

Berdasarkan peraturan RSNI T-02-2005, beban hidup merupakan semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan/atau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Dalam perencanaan jembatan ini beban hidup diasumsikan sebesar 100 kg yaitu berat mobil yang berhenti di tengah jembatan pada saat pengukuran lentutan.

c. Beban Dinamik

Beban berjalan ditentukan berdasarkan beban loading test sebesar 100 kg di sepanjang bentang jembatan model. Hasil perhitungan beban di atas digunakan dalam perhitungan gaya-gaya batang menggunakan program SAP2000 v20. Variabel beban yang digunakan meliputi beban mati (q_d) = 1,649 kg yang diinput sebagai beban sendiri (selfweight), beban hidup (live load) = 100 kg dan beban dinamik (berjalan) = 100 kg yang diinput sebagai beban berjalan (moving load) di sepanjang bentang jembatan.

d. Kombinasi Beban

Berikut ini merupakan input kombinasi beban untuk jembatan:

$$P_u = 1,2DL + 1,6LL$$

Dengan:

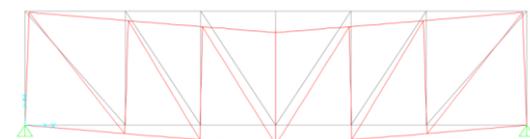
P_u = Beban aktual terkoreksi (Kg)

DL = Beban mati (Kg)

LL = Beban hidup (Kg)

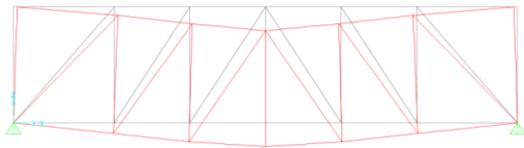
Hasil dan Pembahasan

Analisis dilakukan dengan melakukan pemodelan beberapa jembatan rangka. Adapun tipe jembatan yang digunakan diantaranya adalah Rangka K-Truss, Howe Truss, Pratt Truss, Warren Truss, dan Baltimor Truss. Dari beberapa tipe rangka tersebut, maka dianalisa lima bentuk rangka jembatan dengan spesifikasi teknis dimensi rangka dan standar pembebanan yang sama, yaitu dengan pemberian beban statis sebesar 100 kg ditengah bentang dan beban dinamis dengan panjang, lebar, dan tinggi jembatan yang sama sekaligus jumlah tiap segmen yang sama yaitu 6 segmen. Hasil pemodelannya sebagai berikut:

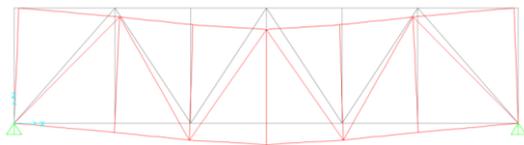


Gambar 5. Lentutan pada Jembatan Tipe Pratt Truss

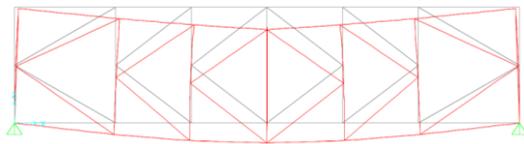
Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lentutan Dan Berat Jembatan



Gambar 6. Lentutan pada Jembatan Tipe Howe Truss



Gambar 7. Lentutan pada Jembatan Tipe Warren Truss



Gambar 8. Lentutan pada Jembatan Tipe K-Truss



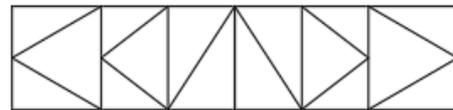
Gambar 9. Lentutan pada Jembatan Tipe Baltimore Truss

Simulasi pemodelan dari berbagai tipe jembatan di atas untuk mengetahui tingkat kekakuan jembatan dengan melihat nilai lentutannya. Selain itu dapat dipertegas dengan melihat rasio yang merupakan perbandingan berat dan lentutan dari masing-masing tipe rangka jembatan yang dimodelkan. Hasil perhitungan dari kelima simulasi tipe rangka jembatan di atas dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut ini.

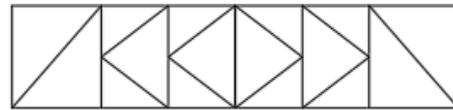
Tabel 5. Hasil rekapitulasi perhitungan

Perbandingan Model Rangka				
Jenis Rangka	Panjang	Berat	Lentutan	Rasio
Pratt Truss	12,554	1,03	-1,089242	13,674344
Howe Truss	12,554	1,03	-0,671128	8,425341
Waren Truss	12,554	1,03	-0,616573	7,740457
K-Truss	15,116	1,14	-0,547831	8,281013
Baltimore Truss	14,270	1,16	-0,669994	9,560814

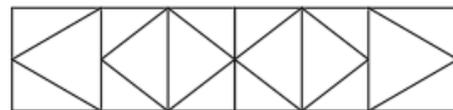
Dari tabel di atas, jembatan yang terbaik adalah jembatan yang memiliki rasio terkecil, yaitu mempunyai lentutan terkecil dengan berat struktur teringan. Rasio adalah perkalian antara panjang dimensi batang dan lentutan yang terjadi. Berdasarkan rasio tersebut, jembatan rangka dengan tipe K-Truss dapat dikatakan sebagai struktur yang paling kokoh. Dari sistem rangka K-Truss di atas, selanjutnya melakukan pemodelan dengan mengkombinasikan tipe rangka K-Truss dengan tipe lainnya untuk mendapatkan hasil kombinasi tipe rangka jembatan rangka yang kokoh dan sesuai rencana. Dengan berbagai pertimbangan dan tetap mengacu pada kriteria perancangan, maka dibuatlah beberapa kombinasi tipe rangka jembatan. Berikut adalah bentuk dari hasil kombinasi dan modifikasi.



Gambar 10. Modifikasi Tipe Rangka



Gambar 11. Modifikasi Tipe Rangka



Gambar 12. Modifikasi Tipe Rangka



Gambar 13. Modifikasi Tipe Rangka



Gambar 14. Modifikasi Tipe Rangka

Berdasarkan hasil modifikasi dan kombinasi dari berbagai tipe rangka tersebut, selanjutnya

Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lentutan Dan Berat Jembatan

dilakukan analisis pembebanan dengan menggunakan software SAP 2000. Adapun hasil analisis terhadap unsur kekokohan jembatan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

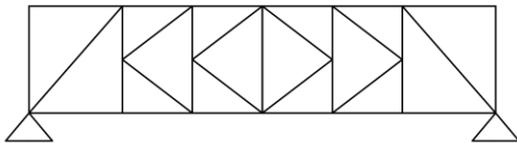
Tabel 6. Hasil analisis modifikasi jembatan
Perbandingan Modifikasi Tipe Rangka

Tipe Rangka	Panjang	Berat	Lentutan	Rasio
1	14,814	1,51	-0,467	6,923
2	14,448	1,44	-0,416	6,017
3	15,226	1,52	-0,559	8,514
4	14,598	1,47	-0,519	7,582
5	14,586	1,47	-0,424	6,182

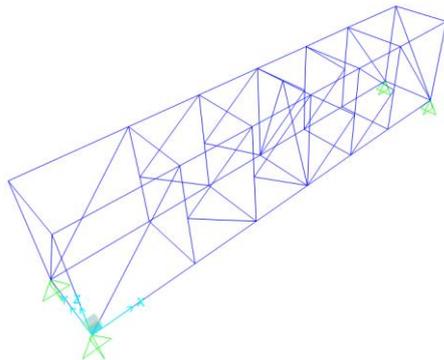
Berdasarkan hasil perbandingan rangka umum, modifikasi dan kombinasi rangka, maka didapatkanlah satu jenis rangka yang terbaik yakni rangka kombinasi Ktruss, dan Warren dengan nilai rasio 6,017505 dan nilai lentutan dan berat jembatan yakni -0,416494 mm dan 1,44 kg.

Modelasi Struktur

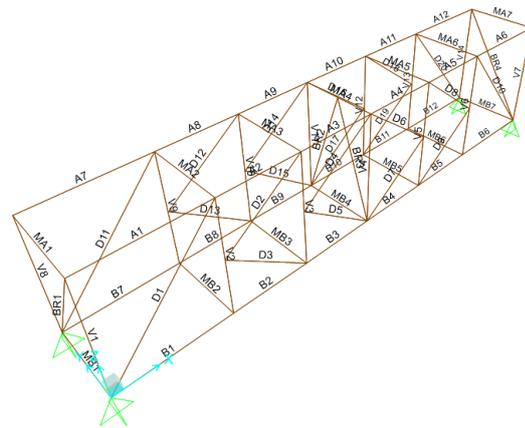
Modelisasi juga bertujuan untuk memudahkan pemahaman terhadap suatu hal, hal tersebut dapat dilakukan dengan membuat gambar 3D dan 2D, khususnya bagi orang awam. Jika bagi awam saja demikian, tentunya jika gambar 3D diterapkan bagi para engineer pasti akan sangat membantu.



Gambar 15. Model struktur terbaik dari hasil kombinasi



Gambar 16. Pemodelan hasil modifikasi jembatan dengan SAP2000 v.20



Gambar 17. Pembagian dan pengkodean batang

Kontrol Kekuatan Batang

1. Batang 10mm*10mm

- Kontrol Tekan

Data perencanaan :

- Nomor batang = 48
- Gaya aksial = 53,43 kg
- Dimensi batang = 10 mm x 10 mm = 1 cm x 1 cm
- Panjang batang, L = 0,3048 m
- Tegangan tekan, $f_c' = 250 \text{ kg/cm}$

$$I_{min} = (1/12) \times 1 \times 1^4 = 0,833 \text{ cm}^4$$

$$A = 1 \times 1 = 1 \text{ cm}^2$$

$$K = 0,5 \text{ (kondisi jepit-jepit)}$$

$$I_e = K \times L$$

$$= 0,5 \times 0,3048$$

$$= 0,1524 \text{ m}$$

$$= 15,24 \text{ cm}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{0,833}{1}} = 0,289$$

$$\lambda = l_e / i_{min} = 15,24 / 0,289 = 52,73 < 150$$

$$\lambda = 52,73, \text{ maka } \omega = 1,54$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan tekan} &= (P \times \omega) / A \\ &= (53,43 \times 1,54) / 1 \\ &= 82,28 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$82,28 \text{ kg/cm}^2 < 250 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tekan yang terjadi lebih kecil dari tegangan tekan ijin (aman dari tekan).

- Kontrol Tarik

Data perencanaan :

- Nomor batang = 1
- Gaya aksial = 25,64 kg

Pemodelan Jembatan Rangka Dengan Kombinasi Tipe Rangka Ditinjau Dari Lendutan Dan Berat Jembatan

- Dimensi batang = 10mm x 10 mm
- Tarik menurut BMS $f_c' = 100 \text{ kg/cm}^2$

$$s_{izin} = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$s = P/A$$

$$= 25,64 / (1 \times 1)$$

$$= 25,64 / 1$$

$$= 25,64 \text{ kg/cm}^2 < 100 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik yang terjadi lebih kecil dari tegangan tarik ijin (aman dari tarik).

2. Batang 10mm*20mm

Kontrol Tekan

Data perencanaan :

- Nomor batang = 34
- Gaya aksial = 61,17 kg
- Dimensi batang = 20 mm x 10 mm
- Panjang batang, L = 0,15 m
- Tegangan tekan, $f_c' = 250 \text{ kg/cm}^2$

$$I_{min} = (1/12) \times 2 \times 1^4 = 0,167 \text{ cm}^4$$

$$A = 1 \times 2 = 2 \text{ cm}^2$$

$$K = 0,5 \text{ (kondisi jepit-jepit)}$$

$$l_e = K \times L$$

$$= 0,5 \times 0,15$$

$$= 0,075 \text{ m}$$

$$= 7,5 \text{ cm}$$

$$i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A}} = \sqrt{\frac{0,167}{1}} = 0,289$$

$$\lambda = l_e / i_{min} = 7,5 / 0,289 = 25,95 < 150$$

$$\lambda = 25,95, \text{ maka } \omega = 1,209$$

$$\text{Tegangan tekan} = (P \times \omega) / A$$

$$= (61,17 \times 1,54) / 2$$

$$= 82,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$82,28 \text{ kg/cm}^2 < 250 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tekan yang terjadi lebih kecil dari tegangan tekan ijin (aman dari tekan).

Kontrol Tarik

Data perencanaan :

- Nomor batang = 1
- Gaya aksial = 27,99 kg
- Dimensi batang = 20mm x 10 mm
- Tarik menurut BMS $f_c' = 100 \text{ kg/cm}^2$

$$s_{izin} = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$s = P/A$$

$$= 27,99 / (2 \times 1)$$

$$= 27,99 / 2$$

$$= 55,98 \text{ kg/cm}^2 < 100 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik yang terjadi lebih kecil dari tegangan tarik ijin (aman dari tarik).

Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Model modifikasi jembatan terbaik adalah hasil kombinasi antara tipe rangka K-Truss dengan rangka Warren.
2. Hasil analisis dari tipe rangka tersebut menunjukkan hasil yakni nilai lendutan untuk kombinasi tipe rangka ini sebesar -0,416 mm dan nilai rasio 6,017. Hasil tersebut merupakan hasil analisis dengan nilai lendutan terkecil.

Daftar Rujukan

- Indonesia, S. N. (2016). Pembebanan untuk jembatan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Nasional, B. S. (2005). RSNI T-02-2005 Standar pembebanan untuk jembatan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Dirjen Bina Marga, 1992. *Bridge Management System*. Direktorat Jenderal Bina Marga Departement Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Jakarta.
- Supriyadi, B. Muntohar, A. S. (2007). Jembatan. Beta Offset, Yogyakarta.
- Febrianti, R. P. Nurtanto, D. Hasanuddin, A. (2014). Perbandingan kekuatan jembatan rangka tipe warren dan baltimore dalam menerima beban yang sama pada material bambu. Universitas Jember.
- Purwanto, H. Hariadi, G. (2018). Analisis perbandingan jembatan tipe parker dan tipe warren dengan bentang 50 meter. Jurnal Deformasi Vol 3 No. 1. Universitas PGRI Palembang.
- Zunanda, A. Irfan, K. (2010). Perbandingan Desain Jembatan Rangka Australia dengan Jembatan Rangka Type Rusuk K (Tinjauan terhadap kekuatan struktur dan ekonomi).