

ANALISA PERBANDINGAN VARIASI TINGGI RANGKA BATANG PADA JEMBATAN RANGKA TIPE WARREN

Tumingan^{1*}, Budi nugroho², Azizah Marwa Sukma³
^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda

ABSTRACT

The warren type truss bridge is the most common in Indonesia, because the warren type truss bridge has good strength or the stress ratio's not reach massive, so that Warren type bridges are often used in Indonesia, because of their strong durability. The purpose of this study is to obtain Warren-type bridge with the minimum deflection and stress ratio with various height. In this research, the analysis compares 3 variations of bridge height with variations of 5 m, 6 m, and 7 m which are still included in the free space standard on the bridge based on Government Regulation No. 34 of 2006, the minimum free space height is 5 m. The study uses the SAP2000 program with the loading used according to the regulations of SNI 1725: 2016. The results of the analysis show that the maximum deflection is in the 5 m high truss which has a value of 0.0525 m that the higher the bridge truss, the structure will increase the stiffness value of the structure, so the higher the truss, the smaller the deflection experienced by the structure. Meanwhile, the highest stress ratio value is in the 7 m high bridge truss, which is 0.700 which still has a safe category for its allowable stress of 0.8.

Keywords: *Warren Truss Bridge, Deflection, Stress Ratio.*

ABSTRAK

Jembatan rangka tipe Warren merupakan jembatan yang paling banyak ditemui di Indonesia. Karena jembatan rangka tipe Warren memiliki rasio tegangan atau stress ratio yang tidak terlalu besar sehingga jembatan tipe Warren sering digunakan di Indonesia karena daya tahannya cukup kuat. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan jembatan tipe Warren dengan lendutan dan stress ratio paling minimum dengan berbagai variasi ketinggian. Penelitian ini dilakukan perbandingan 3 variasi tinggi jembatan 5 m, 6 m dan 7 m yang masih masuk standar ruang bebas jembatan berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006, tinggi ruang bebas minimum adalah 5 m. Penelitian ini menggunakan program SAP2000 dengan pembebanan sesuai peraturan SNI 1725: 2016. Hasil analisa menunjukkan bahwa semakin tinggi rangka batang jembatan maka lendutan yang dihasilkan semakin kecil, lendutan maksimum terdapat pada rangka batang dengan tinggi 5 m memiliki nilai 0,0525 m. Sedangkan semakin tinggi rangka batang jembatan maka nilai stress ratio yang dihasilkan semakin besar. Nilai stress ratio paling besar terdapat pada rangka batang dengan tinggi 7 m, yaitu 0,700 yang masih memiliki kategori aman terhadap tegangan ijinnya 0,8.

Kata Kunci: *Jembatan Rangka Tipe Warren, Lendutan, Rasio Tegangan*

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu prasarana yang paling utama dalam mendukung laju perekonomian suatu daerah dan berperan penting dalam kemauan dan perkembangan suatu daerah. Peranan jembatan yang sangat penting dalam menopang sistem transportasi darat yang ada, maka jembatan harus cukup kuat dan tahan, tidak mudah rusak. Kerusakan pada jembatan dapat menimbulkan gangguan terhadap kelancaran lalu lintas jalan, terlebih di jalan yang lalu lintasnya padat. Dalam konstruksi jembatan terdapat beberapa unsur penting salah satunya adalah rangka yang membuat jembatan itu bisa berdiri kokoh.

Berbagai macam jenis jembatan berdasarkan rangka yaitu, salah satunya jembatan tipe Pratt, dan tipe Warren. Jembatan tipe Warren memiliki bentuk rangka segitiga sama kaki. Di Indonesia jembatan tipe Warren sering kali digunakan karena mutu bahan jembatan seragam sehingga kekuatannya juga seragam yang merupakan buatan pabrik, pemasangan jembatan rangka relatif cepat dan dapat menghemat tenaga kerja karena material baja dibuat di pabrik sehingga membutuhkan pekerjaan pemasangan baja di lapangan. Struktur rangka yang digunakan terdiri dari batang horizontal atas, batang horizontal bawah dan batang diagonal. Pada jembatan rangka Warren batang atas, batang diagonal berfungsi untuk menahan gaya desak, untuk gaya tarik ditahan oleh batang bawah. Gaya-gaya dalam, berat struktur dan lendutan dari jembatan rangka baja tipe Warren berkaitan dengan geometri dan profil baja yang digunakan. Oleh karena itu, analisis ini membandingkan 3 variasi tinggi jembatan dengan variasi 5 m, 6 m dan 7 m yang masih masuk standar ruang bebas pada jembatan berdasarkan PP No. 34 Tahun 2006, tinggi ruang bebas minimum adalah 5 m.

* Korespondensi Penulis: Tumingan, tumingan@polnes.ac.id

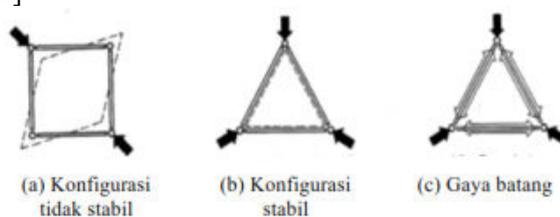
Selanjutnya, diharapkan hasil dari analisis ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan jembatan rangka baja.

Jembatan rangka adalah jembatan yang terbuat dari batang-batang yang biasanya batang lurus kemudian dihubungkan menggunakan gusset plate / plat buhul sehingga membentuk rangka segitiga atau yang biasa disebut dengan struktur rangka batang yang mengalami tegangan gaya tekan, gaya tarik atau bahkan keduanya jika terkena beban dinamis. Struktur rangka batang lebih dominan menerima gaya tarik atau tekan saja sedangkan lentur sangat kecil dan sering diabaikan. Jembatan ini merupakan jembatan jenis yang tua namun sampai sekarang masih tetap eksis di Indonesia karena jembatan ini relatif mudah dikerjakan dalam produksinya maupun pemasangan di lapangan dengan segala medan yang ada, selain itu jembatan ini juga efisien dalam penggunaan bahannya.

1.1. Struktur Rangka Batang

Struktur rangka batang adalah struktur yang terdiri dari elemen-elemen batang yang disambung membentuk suatu geometri tertentu, sehingga bila diberikan beban pada titik buhulnya (titik pertemuan antar batang), maka struktur tersebut akan menyalurkan beban ke tumpuan sebagai gaya aksial (tarik atau tekan) pada batang-batangnya[1].

Sebagian besar sambungan struktur rangka batang di lapangan, sebenarnya tidak sepenuhnya bekerja sebagai sambungan sendi, tetapi ada kekakuannya, sebagai contoh adalah sambungan elemen-elemen batang dengan las, baut, atau paku keling[1].



Gambar 1. Konfigurasi Stabil dan Tidak Stabil

Pada gambar dapat dilihat bahwa saat struktur diberi beban, konfigurasi a mengalami deformasi sehingga menjadi tidak stabil apabila konfigurasi tidak stabil maka akan membentuk mekanisme runtuh apabila diberi beban dan dapat berubah bentuk dengan mudah sedangkan pada konfigurasi bentuk segitiga tidak mengalami perubahan bentuk atau dapat disimpulkan bahwa konfigurasi segitiga adalah konfigurasi stabil.

Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kokoh. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan[2].

Dengan konfigurasi segitiga, rangka batang dapat saling menumpu satu sama lain. Apabila rangkaian batang menerima beban, maka beban yang bekerja pada titik buhul akan didistribusikan ke batang-batang lain yang terhubung di dalam rangkaian yang mengakibatkan beban tersebut menekan salah satu atau dua batang sehingga mengakibatkannya tertariknya batang yang lain.

1.2. Pembebanan Pada Jembatan

Pembebanan ini berdasarkan peraturan yang dikeluarkan Badan Standardisasi Nasional, yaitu SNI 1725-2016 tentang Pembebanan Jembatan. Standar ini menetapkan persyaratan minimum untuk pembebanan beserta batasan penggunaan setiap beban, faktor beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perencanaan jembatan jalan raya, termasuk pejalan kaki serta bangunan sekunder yang terkait dengan jembatan tersebut[3].

Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan rantai kendaraan.

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam gambar 2. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut :

Jika $L \leq 30$ m : $q = 9,0$ kPa

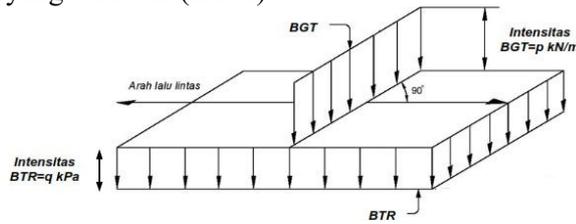
Jika $L > 30$ m : $q = (9+15/L)$ kPa

Dimana 1 kPa = 100 kg/m²

Keterangan :

q : intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L : panjang total jembatan yang dibebani (meter).



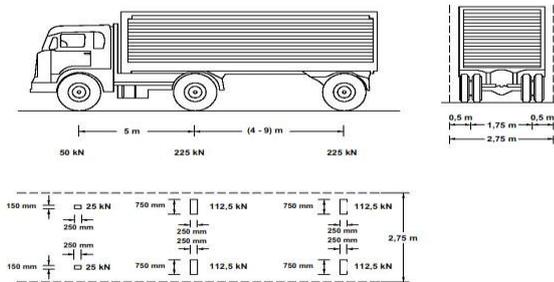
Gambar 2. Beban lajur “D”

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p ialah 49,0 kN/m.

Beban truk “T” (TT)

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai.

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat. Berat dari tiap gandar disebabkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontang antara roda dengan permukaan lantai. Untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan jarak antar 2 gandar tersebut bisa diubah dari 4,0 sampai dengan 9,0 m



Gambar 3. Pembebanan truk “T” (500 kN)

Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan berisi lalu lintas dengan arah yang sama.

Beban angin pada struktur (EWs)

Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam Mpa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P_B : adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam table (MPa)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar

Beban Gempa

Koefisien respon elastic Csm diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spectra percepatan yang sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikali dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan ini mengacu pada SNI 2833:2019[4], standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastic (Csm) dengan berat struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (Rd) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_D} \times W_t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

EQ = gaya gempa horizontal statis (kN)

Csm = koefisien respons gempa elastis

Rd = faktor modifikasi respons

Wt = berat total struktur terdiri dari beban dan beban hidup yang sesuai (kN).

2. METODE PENELITIAN

Standar Awal Pemodelan

Standar permodelan jembatan dengan struktur rangka baja tipe Warren [5] pada variasi tinggi rangka batang masing-masing 5 m, 6 m dan 7 m dan bentang 50 m.

Tabel 1. Data Pemodelan Jembatan

Tipe Jembatan	Bentang Jembatan (m)	Variasi Tinggi Rangka Batang (m)	Kelas Jembatan
Warren	50	5	A
		6	A
		7	A

Data Primer

Setelah memulai penelitian, dari hasil studi literature tadi dilakukan design jembatan yang telah direncanakan yaitu Jembatan Rangka tipe Warren. Adapun data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : Material struktur jembatan yang terdiri dari Beton dengan mutu fc’ 30 Mpa dan Baja Struktur dengan mutu BJ 34, BJ 37, BJ 41, BJ 50, BJ 55

Detail mutu baja struktur dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 2. Jenis Mutu Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus batas Minimum, fu (Mpa)	Tegangan Putus leleh Minimum, fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	500	290
BJ 55	550	410

Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini sebagai berikut :1) Tipe jembatan (Warren); 2) Kelas jembatan (Kelas A); 3) Variasi tinggi batang jembatan (5m, 6 m dan 7 m); 4) Panjang tiap segmen (5 m); 5) Panjang bentang (50 m); dan 6) Lebar jembatan (9 m) = Lebar lantai kendaraan (7 m) + Trotoar (1 m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Rekapitulasi Pembebanan

Adapun hasil dari Analisa pembebanan yang telah dilakukan di software SAP2000

Tabel 3. Rekapitulasi Pembebanan Jembatan

No	Jenis Beban	Tinggi 5 m		Tinggi 6 m		Tinggi 7 m	
		q (kN/m)	P (kN)	q (kN/m)	P (kN)	q (kN/m)	P (kN)
1	Beban Mati Struktur (MS)		23.24		23.89		24.99
2	Beban Mati Tambahan (MA)	2.385	34.17	2.385	34.17	2.385	34.17
3	Beban Terbagi Rata (BTR)	10.8	--	10.8	--	10.8	--
4	Beban Garis Terpusat (BGT)	49	--	49	--	49	--
5	Beban Gaya Rem (TB)	--	10.28	--	10.28	--	10.28
6	Beban Angin Hisap (PD _{hisap})	--	2.31	--	2,64	--	3,23
7	Beban Angin Tekan (PD _{tekan})	--	4.65	--	5,57	--	6,51
8	Beban Gempa (EQ)	<i>Response Spectrum</i>		<i>Response Spectrum</i>		<i>Response Spectrum</i>	

3.1. Perbandingan Respon Struktur

Berdasarkan analisis struktur diperoleh gaya-gaya dalam pada struktur akibat beban kombinasi. Gaya-gaya dalam yang dibahas adalah gaya aksial dan momen.

1) Gaya Aksial Maksimum

Gaya – gaya aksial maksimum pada jembatan dengan tinggi 5,6 dan 7 m terletak pada bagian rangka atas pada posisi tengah bentang jembatan. Adapun nilai maksimum dari seluruh gaya aksial dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Rekapitulasi Gaya Aksial Pada Jembatan

Tinggi Jembatan	Letak Gaya	Gaya Aksial Maksimum (kN)	Kombinasi
5	Rangka Atas, Tengah Bentang	2517.22	Kuat 1
6	Rangka Atas, Tengah Bentang	2337.44	Kuat 1
7	Rangka Atas, Tengah Bentang	2255.40	Kuat 1

2) Momen Maksimum

Nilai – nilai momen maksimum pada jembatan dengan tinggi 5,6 dan 7 m terletak berbeda beda untuk jembatan dengan tinggi 5 meter momen maksimum terjadi pada rangka atas ujung sedangkan pada tinggi 6 dan 7 meter terjadi pada rangka bawah ujung. Adapun nilai maksimum momen pada tiap jembatan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5. Rekapitulasi Momen Maksimum Pada Jembatan

Tinggi Jembatan	Letak Gaya	Gaya Aksial Maksimum (kN)	Kombinasi
5	Rangka Atas, Tengah Bentang	244.76	Kuat 1
6	Rangka Atas, Tengah Bentang	225.32	Kuat 1
7	Rangka Atas, Tengah Bentang	214.12	Kuat 1

3) Perbandingan Nilai Stress Ratio

Berdasarkan permodelan masing-masing jembatan pada aplikasi SAP2000 v.14 dan telah dianalisis struktur didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 6. Rekapitulasi Perbandingan Nilai Stress Ratio

Tinggi Jembatan	Letak	Stress Ratio	Tegangan Ijin (SNI 1729-2020)	Aman/Tidak
5	Rangka Diagonal Nomor 2 dari kanan	0.700	0.8	Aman
6	Rangka Atas Nomor 3 dari kiri	0.718	0.8	Aman
7	Rangka Diagonal Ujung	0.732	0.8	Aman

4) Perbandingan Berat Struktur

Dari hasil analisa SAP2000, didapatkan jumlah berat struktur yang terlihat pada tabel dan grafik di bawah ini :

Tabel 7. Rekapitulasi Berat Struktur Jembatan masing-masing ketinggian

No	Struktur	Jenis Profil	Berat (kN)		
			5 m	6 m	7 m
1	Rangka Atas	WF 350.350.12.19	117.15	101.10	101.10
2	Rangka Bawah	WF 350.350.12.19	34.35	34.35	34.35
3	Rangka Diagonal 1	WF 350.350.12.19	25.12	29.21	33.40
4	Rangka Diagonal 2	WF 350.350.12.19	226.07	262.86	300.59
5	Gelagar Memanjang	WF 350.350.12.19	280.84	280.84	280.84
6	Gelagar Melintang	WF 700.300.13.24	182.71	182.71	182.71
7	Ikatan Angin	L 150.150.15.15	21.24	21.24	21.24
8	Plat Beton	-	2118.24	2118.24	2118.24
Total Berat Struktur			3005.70	3030.53	3072.46

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Analisa, perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: 1) Gaya dalam yang terjadi pada struktur secara garis besar menurun seiring dengan bertambahnya tinggi jembatan. Pola grafik yang terjadi relative sama; 2) Dengan menggunakan profil yang sama didapat semakin tinggi jembatan, maka berat struktur semakin besar; 3) Nilai lendutan maksimum terdapat di permodelan jembatan rangka baja dengan tinggi 5 m. Semakin tinggi jembatan maka struktur akan menambah nilai kekakuan struktur, sehingga semakin bertambah tinggi batang maka lendutan yang terjadi pada struktur semakin kecil.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segala pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewobroto, Wiryanto. 2017. Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000. Lumina Press.
- [2] Schodek, Daniel L, (1998). Struktur. Bandung: PT. Refika Aditama.
- [3] Standar Nasional Indonesia. 2016. Pembebanan Jembatan. Standar Nasional Indonesia 1725-2016. Jakarta
- [4] Standar Nasional Indonesia. 2020. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Standar Nasional Indonesia 1729-2020. Jakarta
- [5] Kulicki, J.M. 2000. "Highway Truss Bridges." Bridge Engineering Handbook : CRC Press. America Serikat.
- [6] Murwanto, Y. & Eka, P. 2015. Kajian Nilai Lendutan Pada Jembatan Rangka Baja (Study Kasus Jembatan Rangka Baja Bika Kabupaten Kapuas Hulu). Jurnal Teknik Sipil Universitas Tanjung Pura.