

PENGARUH KONFIGURASI RANGKA DAN OPTIMASI PROFIL TERHADAP KINERJA PADA STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA

Eva Arifi^{*1}, Hendro Suseno¹, M. Taufik Hidayat¹, Hafidz Emirudin Grahadika²

¹Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

² Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Korespondensi: evaarifi@ub.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai konfigurasi jembatan rangka baja dan optimasi profil terhadap kinerja jembatan rangka baja. Terdapat 4 tipe jembatan tipikal, yaitu warren truss, pratt truss, howe truss, dan K-truss, serta 4 tipe jembatan modifikasi dengan menggunakan profil siku 40.40.4 yang diuji dalam penelitian ini dengan menggunakan perbandingan antara berat jembatan dan lendutan yang dinyatakan dalam suatu *efficiency ratio* sehingga diketahui konfigurasi jembatan yang memberikan kuat, namun juga ekonomis. Selanjutnya dilakukan optimasi profil terhadap 8 tipe jembatan tersebut. Optimasi profil dilakukan terhadap batang-batang dengan perbandingan luas dan gaya dalam yang masih mencukupi untuk dioptimasi untuk meningkatkan nilai ekonomis jembatan. Berdasarkan hasil analisis struktur yang dilakukan terhadap 4 konfigurasi tipe jembatan dasar, yaitu warren, pratt, howe, dan K-truss, diperoleh bahwa tipe K-truss menghasilkan lendutan terkecil, namun merupakan struktur jembatan rangka terberat di antara keempatnya, sedangkan tipe warren, pratt dan howe truss mempunyai berat yang sama, dengan lendutan yang bervariasi untuk beban yang sama. Lendutan yang terjadi dari berbagai tipe jembatan, modifikasi konfigurasi, serta optimasi terhadap tipe dan modifikasi konfigurasi diperoleh hasil bahwa konfigurasi 4 memberikan nilai lendutan terkecil, yaitu 2,556 mm, sedangkan optimasi dari tipe Pratt memberikan nilai lendutan terbesar, yaitu 3,632 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi dari tipe jembatan Howe memberikan nilai *efficiency ratio* terbesar, dimana perbandingan antara lendutan dan beratnya adalah 57,387.

Kata Kunci : jembatan rangka baja, optimasi struktur, lendutan, berat struktur, *efficiency ratio*

1. PENDAHULUAN

Salah satu kebutuhan penting dalam pembangunan suatu negara adalah fasilitas transportasi. Moda transportasi melalui jalan raya dan kereta api adalah salah satu yang paling umum. Pembangunan jembatan jalan raya dan rel kereta api tidak hanya menghemat waktu perjalanan, namun juga menghemat konsumsi bahan bakar.

Sebagai salah satu infrastruktur yang sangat penting dalam mendukung pembangunan baik dalam bidang ekonomi maupun sosial budaya, serta pendorong pengembangan wilayah, maka diperlukan

struktur jembatan yang tidak hanya kuat, namun juga ekonomis.

Salah satu jembatan yang paling mudah ditemui di Indonesia selain jembatan prategang adalah jembatan rangka baja. Konstruksi rangka baja adalah suatu konstruksi yang dibuat dari susunan batang-batang baja yang membentuk kumpulan segitiga, dimana setriap pertemuan beberapa batang disambung pada alat pertemuan/simpul dengan menggunakan alat penyambung, baik baut maupun las. Aspek kemudahan pelaksanaan merupakan salah satu alasan mengapa jembatan tipe ini sangat sering

dipakai. Beberapa model jembatan rangka baja yang umum digunakan antara lain adalah tipe pratt truss, howe truss, warren truss, serta K-truss. Masing-masing tipe jembatan mempunyai karakteristik kinerja yang berbeda, baik dari segi berat totalnya, maupun kekuatannya. Di Indonesia khususnya, struktur jembatan rangka baja umumnya dibuat sesuai dengan aturan baku yang menentukan tipe dan dimensi elemen-elemen rangka jembatan sesuai dengan bentang jembatan. Dengan mengetahui kinerja dari berbagai tipe jembatan, serta melakukan optimasi terhadap elemen-elemen rangka jembatan sesuai dengan gaya dalam yang terjadi, diharapkan dapat menghasilkan struktur jembatan yang efisien, baik dari segi berat, maupun kekuatannya, yang dalam hal ini ditinjau dari lendutannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai perilaku jembatan rangka baja telah banyak dilakukan, baik untuk mengetahui perilaku jembatan rangka baja terhadap beban yang terjadi, berbagai tipe konfigurasi struktur jembatan rangka baja, maupun metode-metode untuk memperbaiki kinerja jembatan rangka baja agar usia layannya semakin panjang.

Dalam merencanakan suatu jembatan rangka baja, struktur jembatan harus memenuhi standar yang berlaku, disamping juga harus mempertimbangkan efisiensi dari struktur agar diperoleh struktur yang optimal, baik dari segi berat total struktur maupun kemampuannya dalam menahan beban. Langkah penting pertama dalam perencanaan struktur jembatan rangka baja adalah pemilihan konfigurasi rangka batang. Masing-masing tipe rangka jembatan memiliki kinerja yang berbeda, khususnya berhubungan dengan panjang jembatan yang direncanakan. Supriyadi & Muntohar (2007) menjelaskan bahwa rangka batang pratt, howe dan warren umumnya digunakan pada bentang diatas 180 ft sampai 200 ft. Disamping itu, berat total

suatu struktur jembatan rangka baja juga sangat dipengaruhi oleh tinggi struktur rangka jembatan. Semakin tinggi suatu struktur rangka batang, maka semakin besar volume struktur rangka tersebut (Schodek, 1998). Masing-masing konfigurasi jembatan mempunyai karakteristik yang berbeda-beda dalam menahan beban. Hal ini mempengaruhi lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja diatas jembatan tersebut.

Perbandingan beberapa tipe konfigurasi jembatan dari segi berat struktur total dan lendutan diberikan oleh Prayogi (2014) yang meninjau pengaruh pemberian chamber. Dari penelitian tersebut, terlihat bahwa jembatan tipe K-truss menghasilkan lendutan yang lebih kecil dibandingkan jembatan rangka baja pada umumnya seperti tipe pratt, howe, dan warren. Namun penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa tipe K-truss memiliki berat struktur total yang lebih besar dibandingkan dengan struktur lainnya.

Sejumlah penelitian mengenai optimasi pada jembatan rangk baja telah dilakukan. Tujuan dari optimasi ini adalah untuk mendapatkan berat struktur yang paling optimal tanpa mengganggu kinerja struktur jembatan rangka baja dalam menahan beban, sehingga dapat mewujudkan struktur jembatan rangka baja yang tidak hanya kuat, namun juga ekonomis. Pramadani (2010) menggunakan optimasi geometri pada struktur jembatan rangka baja tipe pratt, sedang Sutedja (2010) menggunakan optimasi geometri pada jembatan rangka baja tipe parker. Optimasi struktur dengan menggunakan algoritma genetik juga dilakukan oleh Rubiana dkk (2010). Optimasi struktur jembatan rangka tipe warren ditinjau dari ketinggian jembatan juga diteliti oleh Farisal (2011). Dalam penelitiannya, Faisal menunjukkan bahwa tinggi rangka batang merupakan variabel penting dalam meminimumkan volume material.

Berdasar kepada hasil-hasil

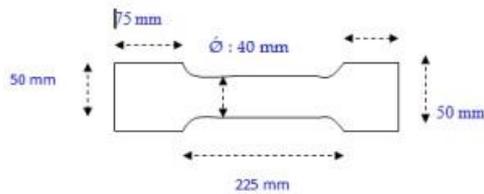
penelitian terdahulu tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui efisiensi struktur jembatan rangka baja bila ditinjau dari segi berat struktur dan lendutan yang terjadi. Optimasi terhadap profil struktur jembatan rangka baja yang diusulkan dalam penelitian ini juga akan memberikan pengurangan terhadap berat struktur total jembatan rangka baja. Bila efisiensi dapat tercapai, maka biaya konstruksi dapat ditekan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

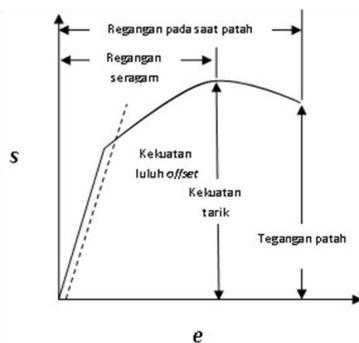
Untuk mengetahui pengaruh konfigurasi rangka dan optimasi profil terhadap kinerja struktur jembatan rangka baja, melalui analisis numerik, didukung data-data material yang diperoleh dari pengujian di laboratorium.

3.1 Pengujian Kekuatan Tarik pada Baja

Pengujian uji tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Dimensi spesimen untuk uji tarik ditunjukkan pada **Gambar 1**, sedangkan contoh kurva hubungan antara tegangan dan regangan yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 1. Dimensi spesimen untuk uji tarik



Gambar 2. Contoh kurva uji tarik

Tegangan tarik yang terjadi akan dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$\text{Tegangan } (\sigma) = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

P : beban tekan (N)

A: luas bidang tekan (mm²)

σ: tegangan tarik yang dihasilkan (N/mm²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan-regangan teknik adalah regangan linier rata-rata, yang dituliskan dalam persamaan (2) berikut ini.

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2)$$

Keterangan :

ε : Besar regangan

L : Panjang benda uji setelah pengujian (mm)

L₀ : Panjang awal benda uji (mm)

Pada tegangan dan regangan yang dihasilkan, dapat diketahui nilai modulus elastisitasnya, berdasarkan persamaan (3).

$$\text{Modulus Elastisitas } (E) = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

Keterangan :

E : modulus elastisitas (N/mm²)

σ : tegangan tarik yang dihasilkan (N/mm²)

ε : besar regangan yang terjadi

3.2. Metode Analisis Jembatan Rangka Baja

Pada penelitian ini, struktur jembatan rangka baja akan dianalisis dengan menggunakan program STAADPro yang didasari dengan konsep metode elemen hingga. Struktur jembatan rangka baja dengan berbagai tipe konfigurasi struktur akan dianalisis untuk mendapatkan gaya-gaya batang pada masing-masing elemen struktur, yang akan menjadi dasar dalam optimasi profil baja yang digunakan. Kemudian hasil optimasi akan dimasukkan kembali dalam analisis STAADPro untuk memperoleh besarnya lendutan, yang selanjutnya akan dibandingkan dengan berat total struktur untuk menentukan

tingkat efisiensi dari masing-masing konfigurasi struktur.

3.2.1. Pemodelan Struktur Jembatan Rangka

Pemodelan jembatan didasarkan pada empat bentuk umum jembatan rangka, yaitu *Warren Truss*, *Pratt Truss*, *Howe Truss*, dan *K-Truss*, dengan dimensi sebagai berikut:

- Bentang : 6 m
- Jumlah Segmen : 12
- Panjang per Segmen : 0,5 m
- Tinggi : 0,5 m

3.2.2. Kontrol Penampang Profil Baja

Pemeriksaan kekuatan profil baja menggunakan RSNI-T-03-2005 yang terdiri dari pemeriksaan kuat tarik, kuat tekan, dan jarak sambungan baut terhadap profil siku ganda (L.40.40.4, L.35.35.4, dan L.30.30.4).

3.2.3. Konfigurasi dan Optimasi

Konfigurasi dilakukan dengan menambah/mengurangi jumlah batang atau memodifikasi bentuk rangka, yang bertujuan untuk memperkecil nilai lendutan yang terjadi sehingga jembatan menjadi lebih kuat. Sedangkan optimasi dilakukan dengan mengganti penampang profil menjadi lebih kecil, yang bertujuan untuk mengurangi berat sendiri dari struktur jembatan sehingga menjadi lebih ringan dan ekonomis.

Adapun konfigurasi dari jembatan rangka baja yang dianalisis adalah sebagai berikut:

1. Basic Warren



2. Basic Pratt



3. Basic Howe



4. Basic K-Truss



5. Optimasi Warren



6. Optimasi Pratt



7. Optimasi Howe



8. Optimasi K-Truss



9. Konfigurasi 1



10. Konfigurasi 2



11. Konfigurasi 3



12. Konfigurasi 4



13. Optimasi Konfigurasi 1



14. Optimasi Konfigurasi 2



15. Optimasi Konfigurasi 3



16. Optimasi Konfigurasi 4



Keterangan :

- Batang hitam : L40.40.4
- Batang merah : L35.35.4
- Batang hijau : L30.30.4

3.2.4. Analisis Lendutan

Analisis lendutan pada model jembatan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *software* dengan model jembatan dalam bentuk 2D menggunakan tumpuan

sendi-sendi di tiap ujungnya. Pembebanan struktur berupa berat sendiri (*selfweight*) dan beban terpusat di tiap join bagian bawah struktur rangka. Material struktur berupa baja dengan mutu BJ 37.

Lendutan yang terjadi juga diperiksa supaya tidak melebihi lendutan ijin dari jembatan, yang dihitung berdasarkan bentang jembatan rangka sepanjang 6 m.

3.2.5. Analisis Efisiensi

Analisis efisiensi dilakukan dengan membandingkan berat jembatan model dalam bentuk 2D dengan lendutan yang terjadi akibat beban yang diberikan. Dengan menggunakan rumus efisiensi struktur berdasarkan *strength-to-weight ratio*, maka akan diketahui variasi bentuk jembatan rangka baja yang paling efisien.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian Kuat Tarik Baja

Dari hasil pengujian kuat tarik terhadap profil baja yang digunakan, diperoleh hasil seperti pada **Tabel 1**. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh data tegangan leleh baja (f_y) yaitu 258,475 Mpa, sedangkan tegangan putus baja (f_u) adalah 383,435 Mpa, yang selanjutnya akan digunakan dalam analisis struktur jembatan rangka baja.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tarik baja

BENDA UJI	L (mm)	D (mm)	ketebalan (mm)	A (mm ²)	Py (kN)	Pu (kN)	fy (MPa)	fu (MPa)
1	499	31,5	4,02	126,63	32	49	252,705	386,954
2	499	32	4,1	131,2	34	50	259,146	381,098
3	498,5	32	4,04	129,28	34	53	262,995	409,963
4	499,5	31	4,15	128,65	28	44	217,645	342,013
5	501	31	3,98	123,38	37	49	299,887	397,147
Rata-Rata Nilai Tegangan					33	49	258,475	383,435

4.2. Hasil Analisis Struktur Jembatan Rangka Baja

Analisis struktur jembatan rangka baja dengan menggunakan StaadPro V8i dilakukan untuk mendapatkan hasil gaya-gaya batang, berat struktur serta lendutan yang terjadi pada masing-masing konfigurasi serta untuk mengetahui pengaruh modifikasi konfigurasi dan optimasi struktur terhadap kekuatan jembatan rangka. Hasil analisis tersebut

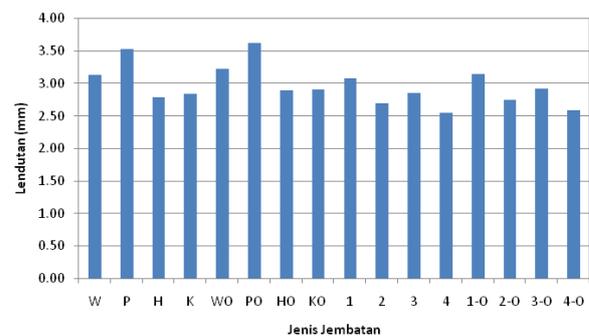
ditampilkan pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Hasil analisis struktur jembatan rangka baja

	Jenis	Lendutan (mm)	Berat (kg)	Efficiency Ratio
W	Basic Warren	3,140	120,5954	47,535
P	Basic Pratt	3,536	120,9288	42,095
H	Basic Howe	2,785	120,9288	53,446
K	Basic K-Truss	2,845	154,4754	40,957
WO	Basic Warren - Optimasi	3,231	107,7157	51,720
PO	Basic Pratt - Optimasi	3,632	108,3578	45,737
HO	Basic Howe - Optimasi	2,892	108,4582	57,387
KO	Basic K-Truss - Optimasi	2,911	136,2889	45,370
1	Konfigurasi 1	3,079	119,0376	49,111
2	Konfigurasi 2	2,692	138,5961	48,244
3	Konfigurasi 3	2,857	134,6183	46,801
4	Konfigurasi 4	2,556	137,4040	51,252
1-O	Konfigurasi 1 - Optimasi	3,154	107,0245	53,325
2-O	Konfigurasi 2 - Optimasi	2,757	119,6430	54,569
3-O	Konfigurasi 3 - Optimasi	2,923	117,6223	52,355
4-O	Konfigurasi 4 - Optimasi	2,592	121,6346	57,093

4.2.1. Lendutan

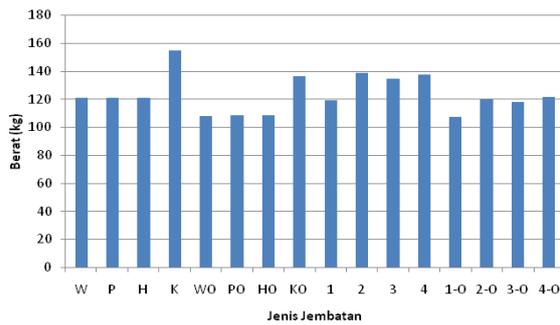
Lendutan yang terjadi dari berbagai tipe jembatan, modifikasi konfigurasi, serta optimasi terhadap tipe dan modifikasi konfigurasi diperoleh hasil lendutan yang ditampilkan pada **Gambar 3**. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa konfigurasi 4 memberikan nilai lendutan terkecil, yaitu 2,556 mm, sedangkan optimasi dari tipe Pratt memberikan nilai lendutan terbesar, yaitu 3,632 mm.



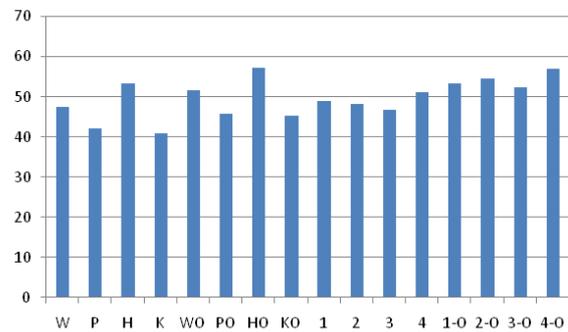
Gambar 3. Lendutan jembatan rangka baja

4.2.2. Berat Struktur

Gambar 4 menampilkan grafik berat struktur jembatan rangka dari yang teringan sampai terberat. Dari hasil analisis diperoleh bahwa optimasi dari konfigurasi 1 memberikan berat struktur teringan, yaitu 107,0245 kg, sedangkan tipe K-truss dikarenakan jumlah batang yang banyak, merupakan tipe struktur terberat, yaitu 154,4754 kg.



Gambar 4. Berat jembatan rangka baja

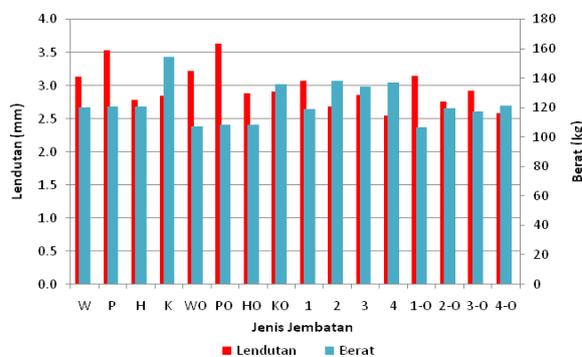


Gambar 6. Efficiency ratio jembatan rangka baja

4.2.3. Efficiency Ratio

Sangatlah penting untuk merencanakan suatu jembatan yang tidak hanya kuat, namun juga ekonomis. Lendutan merupakan suatu nilai yang menunjukkan kekuatan struktur, sedangkan berat struktur merupakan indikasi awal yang menunjukkan nilai nominal dari suatu pekerjaan jembatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap jenis, modifikasi dan optimasi yang dilakukan pada struktur jembatan memberikan hasil lendutan dan berat struktur yang berbeda. Karena itu perlu diperhitungkan efisiensi dari berbagai tipe jembatan tersebut.

Grafik perbandingan antara lendutan dan berat struktur jembatan rangka baja ditunjukkan pada **Gambar 5**, sedangkan **Gambar 6** menampilkan nilai *efficiency ratio* dari berbagai tipe jembatan. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa optimasi dari tipe jembatan Howe memberikan nilai *efficiency ratio* terbesar, dimana perbandingan antara lendutan dan beratnya adalah 57,387.



Gambar 5. Grafik lendutan dan berat jembatan rangka baja

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh konfigurasi rangka dan optimasi profil terhadap kinerja jembatan rangka baja yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis struktur yang dilakukan terhadap 4 konfigurasi tipe jembatan dasar, yaitu warren, pratt, howe, dan K-truss, diperoleh bahwa tipe K-truss menghasilkan lendutan terkecil, namun merupakan struktur jembatan rangka terberat diantara keempatnya, sedangkan tipe warren, pratt dan howe mempunyai berat yang sama, dengan lendutan yang bervariasi untuk beban yang sama.
2. Lendutan yang terjadi dari berbagai tipe jembatan, modifikasi konfigurasi, serta optimasi terhadap tipe dan modifikasi konfigurasi diperoleh hasil bahwa konfigurasi 4 memberikan nilai lendutan terkecil, yaitu 2,556 mm, sedangkan optimasi dari tipe Pratt memberikan nilai lendutan terbesar, yaitu 3,632 mm.
3. Dari hasil analisis terhadap 4 konfigurasi utama jembatan serta 4 konfigurasi lainnya beserta optimasi dari jembatan-jembatan tersebut diperoleh bahwa optimasi dari konfigurasi 1 memberikan berat struktur teringan, yaitu 107,0245 kg, sedangkan tipe K-truss dikarenakan jumlah batang yang banyak, merupakan tipe struktur terberat, yaitu

154,4754 kg.

4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa optimasi dari tipe jembatan Howe memberikan nilai *efficiency ratio* terbesar, dimana perbandingan antara lendutan dan beratnya adalah 57,387.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah saran dan catatan yang perlu diperhatikan dan menjadi bahan pertimbangan dalam penelitian-penelitian dengan topik sejenis di kemudian hari:

1. Analisis yang lebih detail terhadap konfigurasi sambungan juga sangat menentukan perilaku dan kinerja jembatan rangk baja, karena itu perlu diteliti lebih jauh.
2. Analisis struktur secara 3 dimensi juga dapat dilakukan untuk memberikan hasil yang lebih akurat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- RSNI-T-03. (2005). *Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Segui, Willam T.. (2007). *Steel Design*. Toronto, Ontario, Canada: Thomson.
- Setiawan, Agus. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga.
- L Schodeck, D, 1998, Struktur, PT. Eresco
- A Prayogi, 2014, Pengaruh variasi chamber terhadap perilaku jembatan rangka baja, Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Vol. 1, No 2
- B Pramadani, 2010, Perencanaan Struktur Jembatan Baja dengan variasi pemodelan rangka batang tipe pratt
- Sutedja, 2010, Perencanaan Struktur Jembatan Baja dengan variasi pemodelan rangka batang tipe parker.