

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan merupakan suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, sungai, saluran irigasi dan pembuangan serta jalan yang memotong. Ia dibangun untuk memudahkan pejalan kaki, pengendara kendaraan bermotor atau kereta api yang ingin melewati halangan tersebut (Ken Arok, 2013).

Sebuah jembatan dibangun untuk meratakan pertumbuhan kehidupan masyarakat dalam hal perekonomian, pendidikan, sosial dan budaya, karena jembatan merupakan infrastruktur transportasi darat yang menghubungkan dua daerah yang dibatasi oleh rintangan maka dari itu jembatan mempunyai pengaruh besar dalam proses kemajuan daerah (**Gambar 2.1**).



Gambar 2.1 Jembatan Kapuas

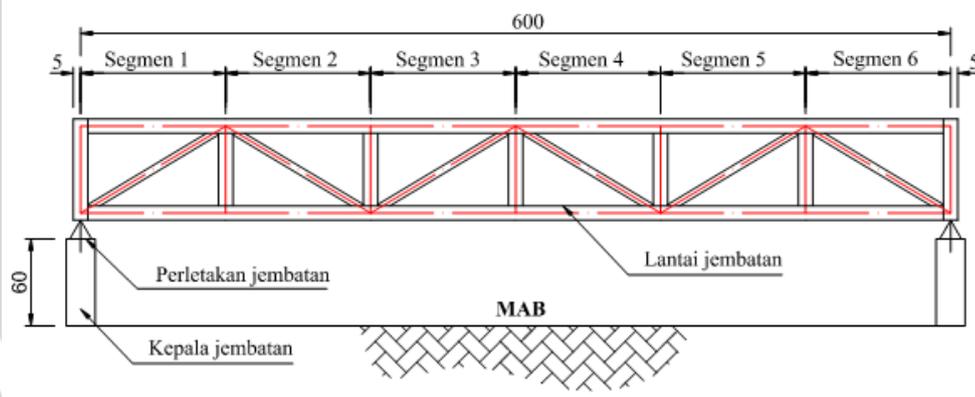
(Sumber: <http://pontianak.tribunews.com>, Akses: 4 Februari 2014)

Oleh karena itu jembatan yang direncanakan dengan perhitungan desain bisa mempunyai keawetan dan kekokohan sesuai dengan jembatan yang ada di realita. Keawetan jembatan rangka ditinjau dari tegangan (*stress*) yang terjadi pada batang mendekati nilai tegangan desain, sehingga batang-batangnya akan bekerja sesuai dengan kemampuannya. Sedangkan kekokohan jembatan ditinjau dari kekuatan struktur menahan beban yang bekerja sehingga struktur mengalami lendutan kurang dari

lendutan ijin. Metode *camber* dipilih untuk memberikan ruang terbuka di bawah jembatan yang memungkinkan adanya aktivitas di lokasi tersebut.

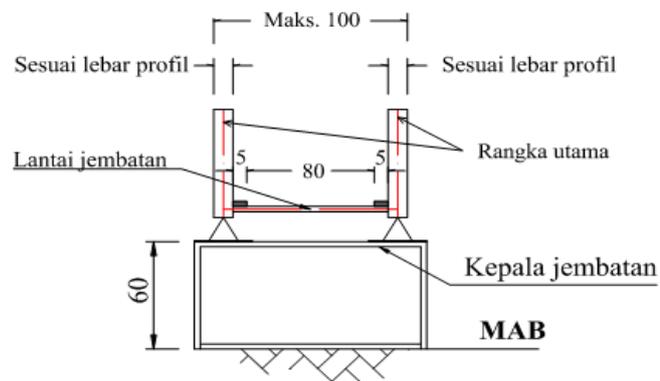
2.2 Model Jembatan

Jembatan rangka baja yang digunakan dalam analisis merupakan jembatan rangka baja atas (lantai kendaraan bawah) yang menggunakan konfigurasi *Pratt Truss*, *Howe Truss*, *Warren Truss* dan *K-Truss* dengan masing-masing tiga variasi *camber*. Sehingga ada 12 jenis model jembatan yang akan dianalisis dengan menggunakan bentuk umum model jembatan baja sesuai dengan buku peraturan Kompetisi Jembatan Indonesia (KJI) ke-09 2013. Panjang bentang jembatan dari as ke as adalah 600 cm (**Gambar 2.2**), tinggi rangka jembatan adalah 1/10 panjang bentang atau 60 cm, sedangkan lebar jembatan 90 cm dari sisi dalam ke dalam (**Gambar 2.3**). Material yang digunakan adalah profil baja siku $\perp 40 \times 40 \times 4$. Hal ini ditujukan untuk mendapatkan perlakuan yang seragam sehingga bisa didapatkan efektifitas ketinggian *camber* dan jenis konfigurasi.



Gambar 2.2. Jembatan tampak samping.

(Sumber: Panduan KJI Ke-09 2013)



Gambar 2.3. Jembatan tampak depan.

(Sumber: Panduan KJI Ke-09 2013)

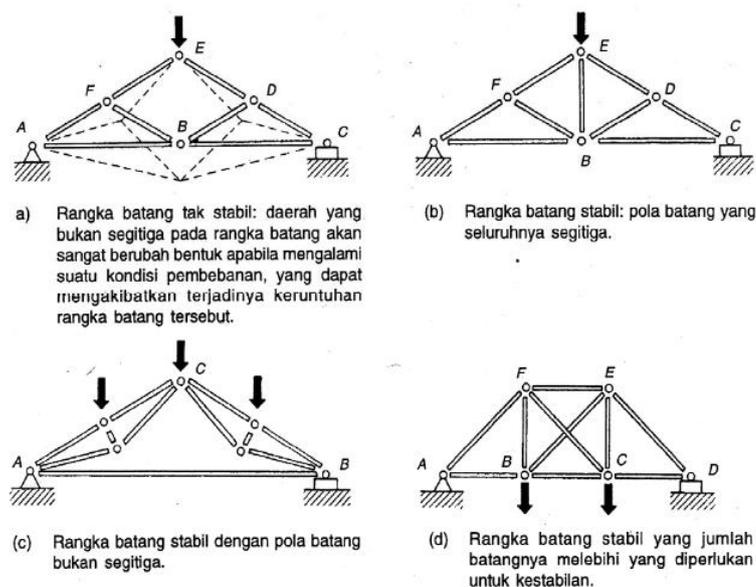
2.3 Analisis Pembebanan

2.3.1 Kriteria Desain dan Analisis

Struktur rangka batang dapat mempunyai banyak bentuk. Seperti halnya pada balok maupun kabel, penentuan konfigurasi batang merupakan tahap awal dalam mendesain struktur rangka, sebelum proses analisis gaya batang dan penentuan ukuran setiap elemen struktur pada suatu bangunan dilakukan. Hal ini bertujuan agar konfigurasi rangka batang yang akan dipakai sesuai dengan bangunan yang dirancang. Pada dasarnya pengkonfigurasi elemen-elemen batang menjadi sebuah struktur bangunan maupun jembatan diperlukan *trial and error* untuk mendapat desain yang memenuhi kriteria rancangan yaitu memiliki kemampuan layanan (*serviceability*), kokoh, praktis, ekonomis dan efisien.

2.3.2 Stabilitas Rangka Batang

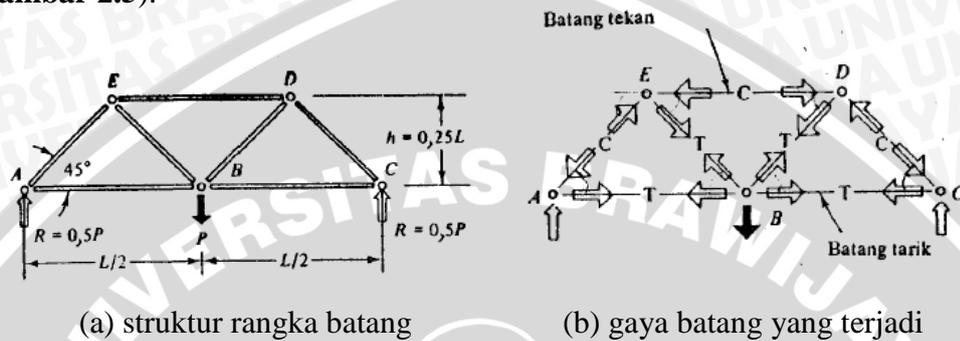
Stabilitas konfigurasi rangka batang merupakan hal utama dalam mendesain struktur rangka. Sesuai teori triangulasi, pola konfigurasi segitiga merupakan struktur yang paling stabil dibandingkan dengan konfigurasi bentuk lain. Pada struktur yang tidak stabil akan terjadi *deformasi* atau perubahan bentuk struktur yang *massive* (besar), karena rangka batang ini tidak mempunyai jumlah batang yang cukup untuk mempertahankan hubungan geometri yang tetap antara titik-titik hubungannya (**Gambar 2.4**).



Gambar 2.4. Kestabilan internal pada rangka batang.

(Sumber: Ariestiadi, 2008)

Dipilihnya struktur rangka batang karena rangka batang mampu menerima beban struktur yang relatif besar dan dapat digunakan untuk bentang struktur yang panjang. Bentuk struktur ini untuk menghindari lendutan batang struktur seperti halnya yang terjadi pada balok. Pada struktur rangka batang tidak terjadi momen pada batang-batangnya namun hanya terjadi gaya aksial batang baik tarik maupun gaya tekan pada kondisi stabilnya dan saling menghilangkan gaya pada batangnya (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Gaya-gaya pada rangka batang.

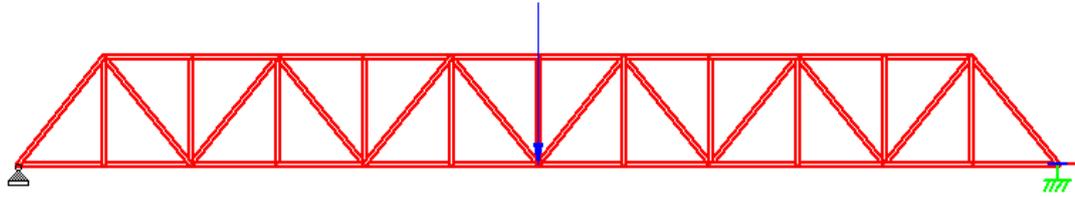
(Sumber: Schodek, 1998)

2.3.3 Pembebanan

Pembebanan atau pengujian yang dilakukan pada model jembatan berupa pengujian berupa analisis *software* untuk analisis struktur dengan 12 model jembatan yang terdiri dari empat konfigurasi (*Pratt Truss*, *Howe Truss*, *Warren Truss* dan *K-Truss*) yang masing-masing konfigurasi dibagi menjadi tiga variasi *camber* di bagian tengah bentang jembatan. Adapun proses pembebanan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Gambar 12 model jembatan dengan *software* untuk gambar dengan dimensi yang sama yaitu panjang bentangnya 600 cm, tinggi rangkanya 60 cm dan lebar 90 cm.
2. Masing-masing model jembatan semua batangnya digunakan profil siku $\perp 40 \times 40 \times 4$.
3. Model dibebani di setengah bentang secara bertahap dengan penambahan beban 100 kg sampai jembatan model mengalami lendutan $1/800 l$ atau 7,5 mm (Gambar 2.6).

4. Setiap penambahan beban 200 kg dicatat nilai lendutan dan nilai gaya batang maksimumnya pada masing-masing model jembatan sampai lendutan maksimum sebesar 7,5 mm.



Gambar 2.6. Pembebanan jembatan.

2.4 Statika

2.4.1 Konsep Triangulasi

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linear yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya (Schodek, 1991).

Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil. Bila struktur ini diberi beban, maka akan membentuk suatu mekanisme runtuh (*collapse*). Struktur yang demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil (Schodek, 1991).

Prinsip utama yang mendasari penggunaan struktur rangka batang menjadi bagian dari sebuah struktur pemikul beban berupa jembatan adalah adanya penyusunan elemen-elemen rangka batang menjadi sebuah bentuk atau konfigurasi segitiga yang memberikan bentuk yang stabil, sebab penyusunan elemen-elemen rangka yang bukan segitiga menyebabkan struktur tersebut menjadi tidak stabil yang nantinya dapat mengakibatkan terjadinya deformasi struktur yang relatif besar.

Sebagai pembantu dalam menentukan kestabilan rangka batang digunakan persamaan aljabar yang menghubungkan banyak titik penghubung pada rangka batang dengan banyak batang yang diperlukan untuk kestabilan.

$$n = 2j - 3$$

dimana: n = Jumlah batang

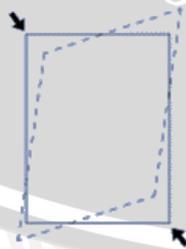
j = Jumlah node

Pada struktur stabil, pada bagian sudutnya tidak mengalami perubahan apabila dibebani. Hal tersebut juga berlaku dengan keadaan sebaliknya, struktur tidak stabil akan mengalami perubahan sudut yang cukup besar, hal tersebut akibat dari tidak kuatnya struktur tersebut menyalurkan gaya beban yang diterimanya.

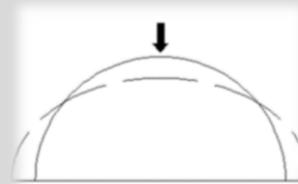
Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga juga membentuk struktur stabil dan kokoh. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan (Schodek, 1998).



(a) Bentuk umum rangka batang pada atap bangunan

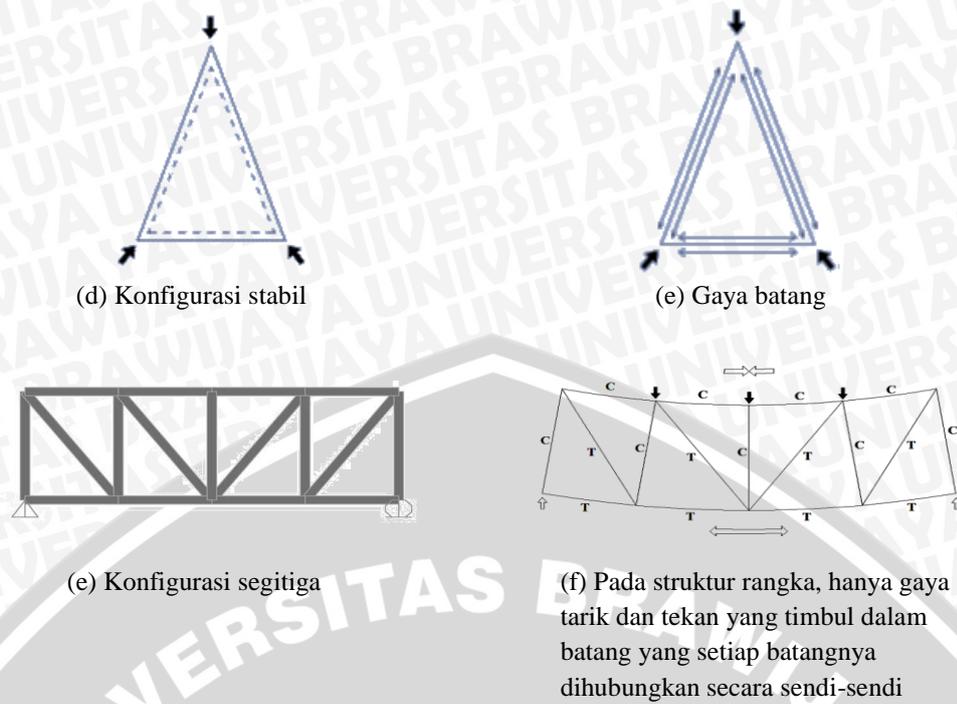


(b) Konfigurasi yang kurang stabil penstabilan dapat dilakukan dengan memberikan bracing, agar konfigurasi tersebut terbagimenjadi 2 bidangsegitiga



(c) Konfigurasi yang kurang stabil penstabilan dapat dilakukan dengan pemberian pengapit pada kedua sisi kanan dan kiri bidang busur

Gambar 2.7. Batang dan Prinsip-Prinsip Dasar Triangulasi.

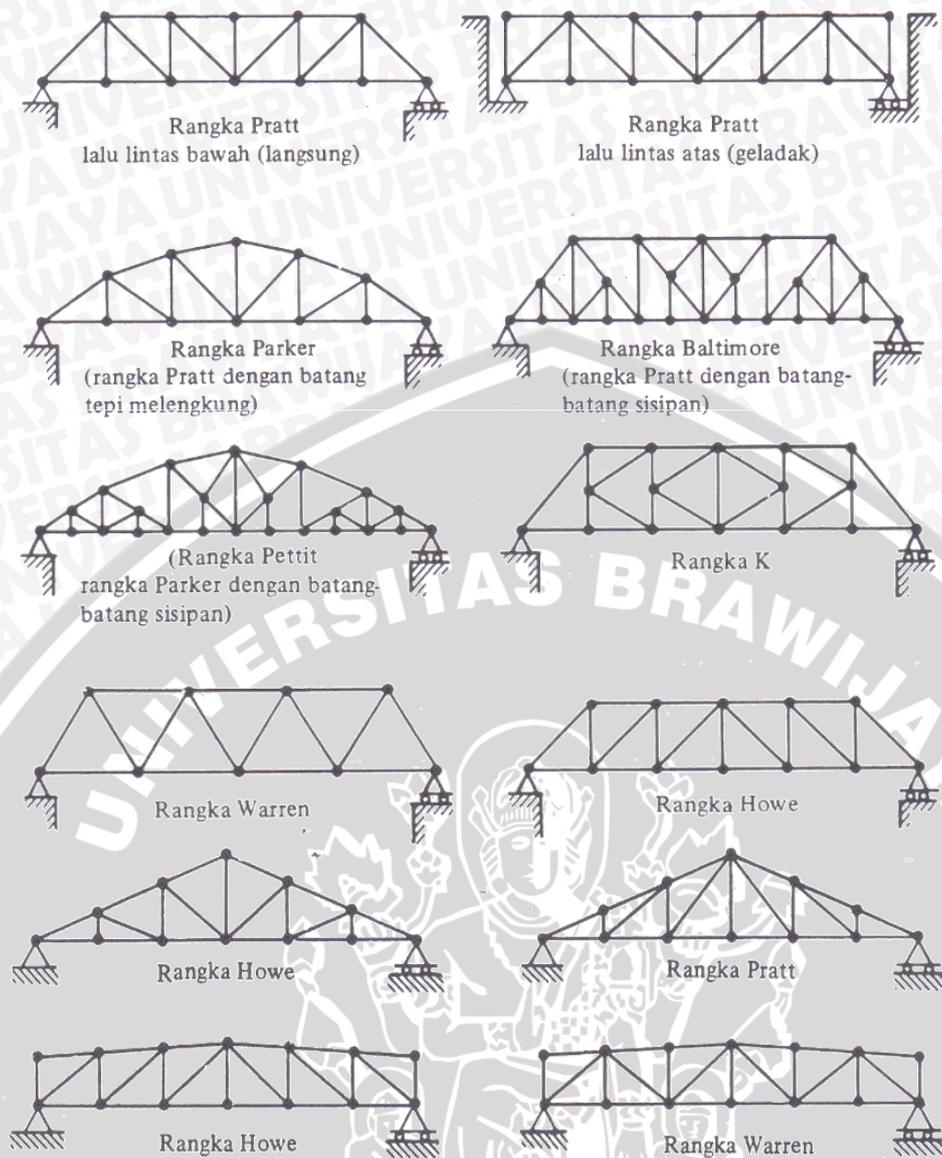


Gambar 2.7 (lanjutan). Batang dan Prinsip-Prinsip Dasar Triangulasi.

(Sumber: Ariestiadi, 2008)

2.4.2 Analisis Rangka Batang

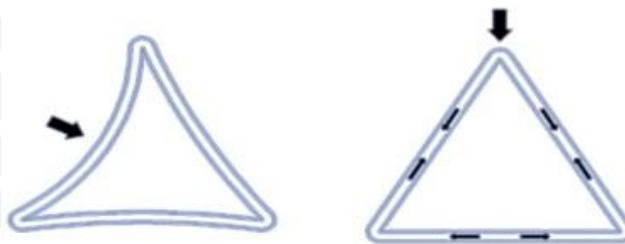
Struktur rangka batang dapat mempunyai banyak bentuk. Seperti halnya pada balok maupun kabel, penentuan konfigurasi batang merupakan tahap awal dalam mendesain struktur rangka, sebelum proses analisis gaya batang dan penentuan ukuran setiap elemen struktur pada suatu bangunan dilakukan. Hal ini bertujuan agar konfigurasi rangka batang yang akan dipakai sesuai dengan bangunan yang dirancang. Pada dasarnya pengkonfigurasian elemen-elemen batang menjadi sebuah struktur bangunan maupun jembatan diperlukan *trial and error* dalam mencapai kesesuaiannya, sehingga hal ini tidak cukup mudah untuk dilakukan. *Trial dan error* dilakukan sesuai dengan asas *triangulasi* dimana bidang segitiga harus menjadi dasar pembuatannya agar tercipta struktur yang stabil dan kuat menerima beban. Konfigurasi elemen batang ini nantinya akan berpengaruh pada efisiensi perencanaannya. Efisiensi struktural merupakan suatu alternatif bersifat ekonomis yang bertujuan untuk meminimumkan jumlah bahan yang digunakan tanpa mengurangi kekuatan struktur, sehingga struktur tersebut mempunyai kemampuan layan yang relatif sama dari perencanaan semula (Ariestiadi, 2008).



Gambar 2.8. Jenis-jenis konfigurasi rangka batang pada atap dan jembatan.

(Sumber: Yuan-Yu, 1985)

Selain itu yang amat penting diperhatikan pada rangka batang ialah bahwa struktur tersebut harus dikondisikan hanya dapat dibebani oleh beban-beban terpusat pada titik simpul. Apabila beban-beban tersebut bekerja langsung pada badan batang, maka akan timbul tegangan lentur yang cukup besar pada batang tersebut, selain itu juga tegangan aksial tekan atau tarik yang umum ada pada rangka batang. Sebagai akibatnya, desain batang tersebut menjadi rumit, dan efisiensi keseluruhan batang menjadi berkurang (Schodek, 1998).



Gambar 2.9. Perbandingan gaya yang bekerja pada batang dan pada simpul.

(Sumber: Schodek, 1998)

2.4.3 Konfigurasi

Pemilihan konfigurasi rangka batang merupakan utama sebelum mendesain rangka jembatan. Tidak mudah menentukan konfigurasi rangka yang cocok digunakan untuk struktur bangunan rangka jembatan. Ada beberapa macam bentuk konfigurasi rangka yang bisa digunakan untuk bangunan struktur rangka jembatan seperti ditunjukkan pada **Tabel.2.1**.

Tabel 2.1. Tipe umum rangka batang jembatan.

Tipe Rangka	Konfigurasi Rangka	Material	Keterangan
<i>Pratt</i>		Baja	Sering digunakan lebih banyak di masa lampau dari pada tipe-tipe rangka lainnya, bentang maksimal 200 ft.
<i>Howe</i>		Baja	Sering digunakan di masa lampau tetapi sangat sedikit digunakan sekarang.
<i>Warren</i>		Baja	Sangat umum, untuk bentang maksimal 200 ft.
<i>Parker</i>		Baja	Untuk bentang diatas 180 ft atau 200 ft sampai 350 ft atau 360 ft, lebih ekonomis.
<i>Baltimore</i>		Baja	Digunakan untuk bentang diatas 300 ft
<i>K-Truss</i>		Baja	Digunakan untuk bentang diatas 300 ft.

(Sumber: Supriyadi & Muntohar, 2007)

Enam jenis tipe rangka di atas merupakan jenis rangka yang pernah digunakan manusia sebagai jembatan. Setiap tipe rangka berikut memiliki fungsi dan kegunaan sesuai panjang bentangnya. Pada rangka batang *pratt*, *howe* dan *warren* secara umum digunakan pada bentang diatas 180 ft (55 meter) sampai 200 ft (61 meter). Jembatan rangka baja di Indonesia saat ini paling banyak menggunakan tipe rangka *warren truss*. Sedangkan untuk bentang yang lebih besar di atas 300 ft (91 meter) bisa menggunakan tipe rangka *Parker*. Untuk bentang yang lebih besar dapat dilakukan perkuatan rangka batang akan tetapi dapat menyebabkan ketebalan atau ketinggian rangka meningkat pula sehingga panel-panelnya menjadi lebih panjang dan sistem *deck* akan menjadi lebih berat. Untuk menjaga berat *deck* agar tetap terjaga dalam kondisi ideal maka bentuk rangka batang tersubbagian. Bentuk rangka *warren* tersubbagian, *baltimore* dan *K-truss*.

2.4.4 Tinggi Rangka Batang

Volume total suatu struktur rangka sangat dipengaruhi oleh tinggi struktur rangka itu sendiri. Semakin tinggi suatu struktur rangka batang, maka semakin besar volume struktur rangka tersebut, begitu juga sebaliknya (L Schodek, Struktur, 1998). Sehingga, penentuan tinggi optimum rangka batang umumnya dilakukan dengan proses optimasi (**Tabel 2.2**). Berikut ini pedoman sederhana untuk menentukan tinggi rangka batang berdasarkan pengalaman. Pedoman sederhana di bawah ini hanya untuk pedoman awal, bukan digunakan sebagai keputusan akhir dalam desain.

Tabel 2.2. Pedoman Awal dalam Menentukan Tinggi Rangka Batang.

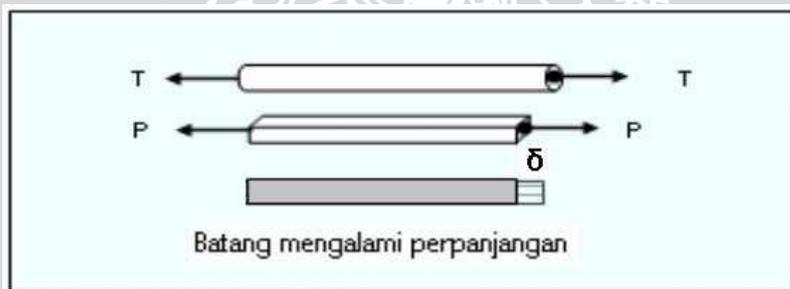
Jenis Rangka Batang	Tinggi
Rangka batang dengan beban relatif ringan dan berjarak dekat, misalnya: rangka batang atap.	$\frac{1}{20}$ dari bentangan.
Rangka batang kolektor sekunder yang memikul beban sedang.	$\frac{1}{10}$ dari bentangan.
Rangka batang kolektor primer yang memikul beban yang sangat besar.	$\frac{1}{4}$ atau $\frac{1}{5}$ dari bentangan.

(Sumber: Schodek, 1998)

2.4.5 Deformasi

Deformasi merupakan perubahan bangun dari sebuah sistem struktur akibat pengaruh beban luar. Terjadinya perubahan bangun tersebut dapat disadari dengan penglihatan yaitu perubahan mulai dari bentuk awal struktur tersebut sampai struktur tersebut mengalami distorsi akibat bekerjanya beban luar struktur. Struktur rangka tersusun dari komponen-komponen (batang) yang ujungnya saling terhubung membentuk konfigurasi geometri tertentu. Saat beban bekerja, titik-titik buhul rangka berpindah melalui gerak translasi menuju posisi baru. Beban pada elemen struktur menyebabkan terjadinya perubahan dimensional, sehingga akan mengalami perubahan ukuran dan bentuk atau keduanya. Ada dua jenis deformasi yang bisa terjadi pada material baja, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis.

Batang-batang pada struktur rangka yang telah dibebani terjadi gaya aksial tarik dan tekan, dan tegangan internalnya terdistribusi merata pada penampang melintangnya. Beban yang bekerja, luas penampang batang, panjang batang dan jenis material akan mempengaruhi perpanjangan atau perpendekan batang yang terjadi (**Gambar 2.10**).



Gambar 2.10. Deformasi pada batang.

(Sumber: Ariestiadi, 2008)

Deformasi yang terjadi pada batang yang dibebani aksial dapat dihitung dengan menggunakan fakta bahwa untuk sembarang material elastis, perbandingan tegangan (f) yang ada dengan regangan (ϵ) adalah konstanta yaitu tegangan/regangan = modulus elastisitas (E) (**Pers. 2.1**). Perpanjangan batang pada batang tarik dapat diperoleh dengan menentukan regangan yang diasosiasikan dengan tegangan yang terjadi, kemudian dengan menggunakan perbandingan ini dapat dicari besarnya deformasi total yang terjadi (**Pers. 2.2**).

$$\epsilon = \frac{f}{E} \tag{2.1}$$

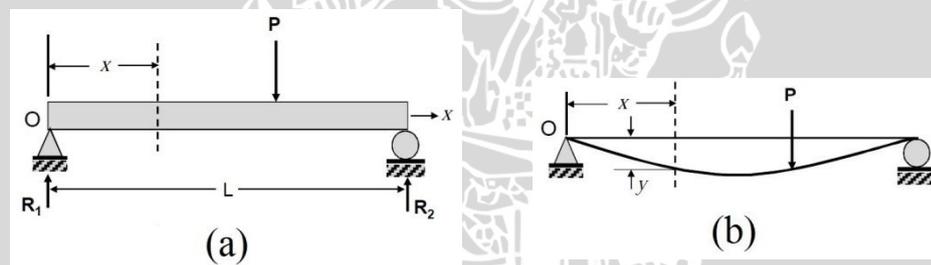
$$\Delta L = \frac{PL}{AE} \tag{2.2}$$

dengan:

- f = Tegangan (N/mm²)
- ϵ = Regangan (mm/mm)
- P = Beban (N)
- A = Luas Penampang (mm²)
- E = Elastisitas (N/mm²)
- L = Panjang Batang Awal (mm)
- ΔL = Deformasi Total (mm)

2.4.6 Defleksi

Defleksi merupakan perpindahan permukaan titik netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. **Gambar 2.11a** memperlihatkan batang pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan **Gambar 2.11b** merupakan batang yang telah terdeformasi akibat beban P yang bekerja.



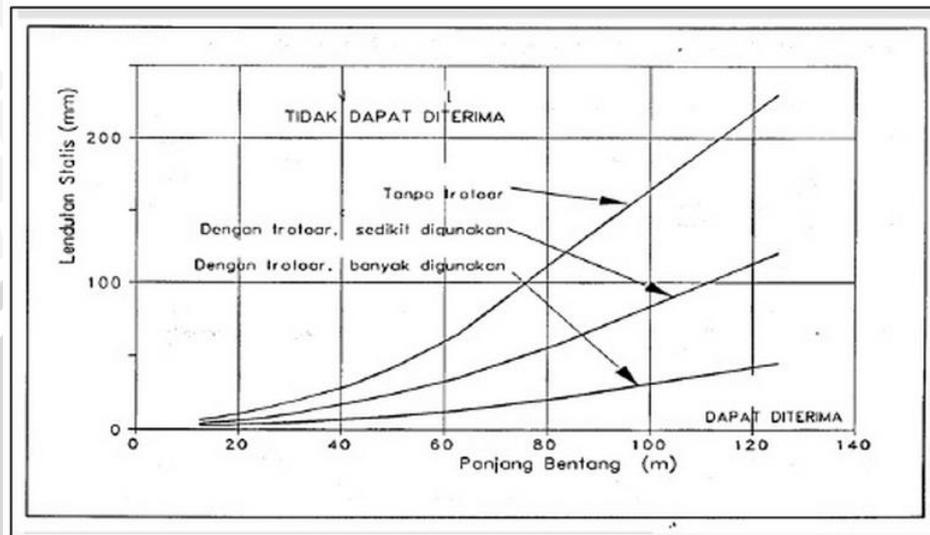
Gambar 2.11. Defleksi pada balok.

(Sumber: <http://staff.unila.ac.id>, diakses: 3 Februari 2014)

Jarak perpindahan y diartikan sebagai defleksi. Selain faktor tegangan, spesifikasi untuk rancang bangun balok sering ditentukan oleh adanya defleksi. Dengan demikian balok yang direncanakan dengan baik tidak hanya mampu mendukung beban yang diterimanya tetapi juga harus mampu mengatasi terjadinya defleksi sampai batas tertentu.

Defleksi yang terjadi pada jembatan berupa getaran yang terjadi akibat kendaraan yang melintas di atas jembatan merupakan keadaan batas daya tahan apabila tingkat getaran telah menimbulkan bahaya dan ketidak nyamanan pengguna jembatan. Getaran yang terjadi pada jembatan harus diselidiki untuk

untuk keadaan batas daya tahan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D” dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar. Lendutan ini tidak boleh melampaui lendutan statis maksimum sesuai dengan RSNI-T-02-2005 seperti pada **Gambar 2.12** berikut.



Gambar 2.12. Lendutan statis maksimum untuk jembatan.

(Sumber: RSNI-T-02, 2005)

2.5 Metode Camber

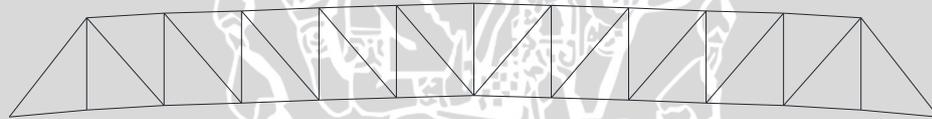
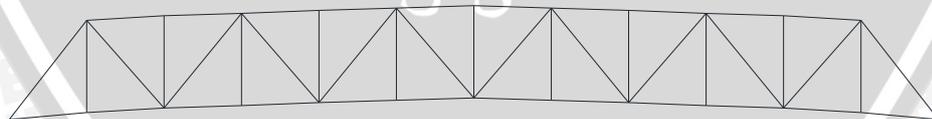
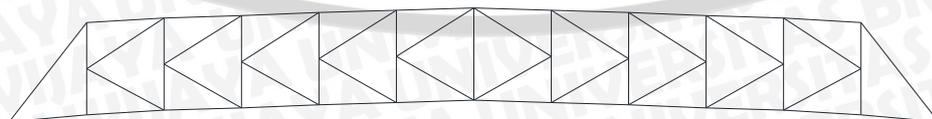
Ruang kosong atau *camber* yang dibuat dibawah rangka jembatan bertujuan untuk mencegah terjadinya lendutan akibat berat sendiri balok komposit dan pelat lantai kendaraan dan aspal serta beban hidup rencana. *Camber* dibuat langsung di pabrik sehingga akan langsung terbentuk jika dipasang di lapangan. Untuk menjaga elevasi *camber* agar tetap bisa terhubung antara segmen satu dengan segmen lain diperlukan pengukuran elevasi saat pembuatan dengan alat *theodolit*.

Adapun peraturan yang menjelaskan tentang optimasi ketinggian *camber* terhadap bentang jembatan, untuk menjaga keamanan dan kenyamanan dari pengguna jembatan. Peraturan ini dikutip dari “*Departement Of Transportation Structure Design And Construction Division*” di New York Amerika Serikat (**Tabel 2.3**) dan **Gambar 2.13**.

Tabel 2.3. Optimasi Ketinggian *Camber* Terhadap Panjang Bentang.

L maksimum (m)	h maksimum (cm)
	<i>Camber</i>
15	20
20	30
25	40
30	50
35	60
40	70
45	80
50	100
55	120
60	140
65	180

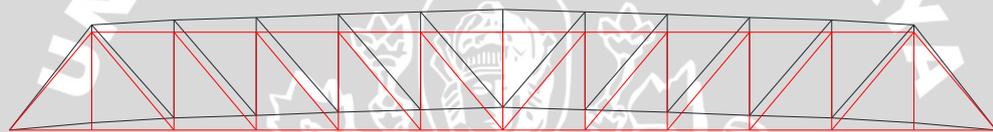
(Sumber: <https://www.dot.ny.gov>, diakses: 4 Februari 2014)

a. *Pratt Truss*b. *Howe Truss*c. *Warren Truss*d. *K - Truss*

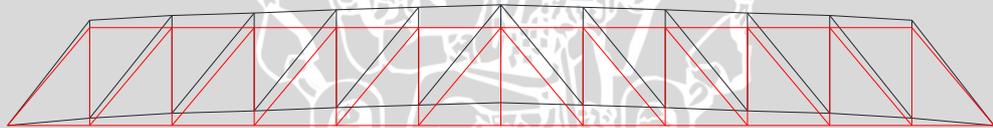
Gambar 2.13. Model jembatan yang telah ditinggikan bagian tengah bentangnya dengan metode *camber*.

Aspek penting yang perlu diketahui dalam *camber* ialah bahwa merancang elemen struktur kaku untuk memikul momen lentur biasanya akan menghasilkan ukuran elemen struktur yang sangat sensitif terhadap momen lentur yang timbul. Semakin besar momen lentur maka desain tersebut semakin tidak layak. Dengan demikian, tinjauan desain yang perlu dilakukan adalah menentukan kembali bentuk pelengkung yang dapat memberikan momen lentur minimum untuk segala kondisi pembebanan yang mungkin terjadi.

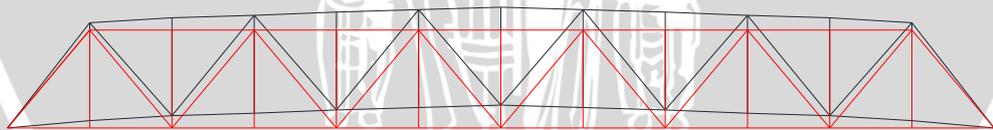
Pada struktur rangka, penyesuaian oleh gaya natural aktualnya jarang dikerjakan. Pada kenyataannya *camber* memproduksi faktor yang menentukan struktur dapat digunakan pada konstruksi. *Camber* untuk kontrol gaya sangat umum di berbagai tipe jembatan. (**Gambar 2.14**) merupakan model jembatan dan perubahan model dengan *camber*.



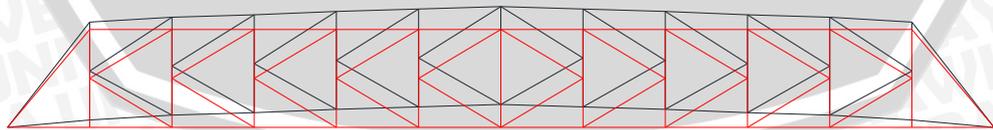
a. Pratt Truss



b. Howe Truss



c. Warren Truss



d. K - Truss

Gambar 2.14. Model jembatan menggunakan metode *camber*.