BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Jembatan rangka baja yang digunakan dalam analisis ini merupakan jembatan dengan lantai kendaraan bawah atau rangka atas. Konfigurasi yang digunakan ada empat jenis yaitu *Pratt Truss, Howe Truss, Warren Truss* dan *K-Truss* dengan masing-masing konfigurasi diberi perlakuan tiga ketinggian *camber* untuk membandingkan nilai beban maksimum yang mampu diterima oleh masing-masing model jembatan dan membandingkan nilai gaya batang maksimum akibat beban yang diberikan pada masing-masing model sampai lendutan ijin 1/800*l* atau 7,50 mm.

Analisis menggunakan *software* analisis struktur sehingga penulis tidak melakukan penelitian di laboratorium. Dalam analisis ini sambungan pada titik-titik buhulnya dianggap lebih kuat daripada batang-batangnya sehingga kekuatan sambungan diabaikan. Walaupun sambungan dianggap kuat, namun tetap dilakukan cek kekuatan batang pada saat menerima beban maksimum dan terjadi gaya batang maksimum, karena analisis ini dikondisikan struktur dalam keadaan elastis.

4.1 Spesifikasi Jembatan Model

Pada pemodelan jembatan ini menggunakan material baja sesuai dengan spesifikasi yang telah ada di *software* analisis struktur. Model jembatan direncanakan akan menerima beban bertahap setiap 200 kg di setengah bentangnya sampai beban maksimum sampai struktur mengalami deformasi atau lendutan sebesar 1/800*l* atau 7,50 mm. Berikut ini merupakan data struktur dari jembatan model:

Tabel 4.1. Data struktur jembatan model.

Komponen	**Jenis Komponen**
Material	Baja
Profil rangka: a) Rangka dalam b) Rangka luar	 ∟40x40x4 ∟40x40x4
Spesifikasi	**Keterangan**
Mutu Baja	BJ-37
Berat Jenis Baja	7850 kg/m^3
Elastisitas Baja	2,1 x 10^{10} kg/m^2
Bentang Jembatan	6 meter
Lebar Jembatan	0,9 meter
Tinggi Jembatan	0,6 meter

4.2 Analisis Struktur

Desain bentuk struktur jembatan model yang digunakan analisis merupakan hasil dari pemodelan jembatan sebenarnya. Pada jembatan model ini dibentuk atau direncanakan dari perbandingan sepersepuluh dari jembatan sebenarnya. Jembatan model memiliki panjang bentang 6 meter, tinggi 0,6 meter dan lebar 0,9 meter, sehingga pada jembatan sebenarnya dimensi jembatannya adalah panjangnya 60 meter, tinggi 6 meter dan lebar 9 meter. Begitu juga pada penentuan tinggi *camber* pada model menggunakan skala 1:10 dari peraturan ketinggian *camber* pada jembatan sebenarnya. Pada peraturan yang dikutip dari "*Departement Of Transportation Structure Design And Construction Division"* di New York Amerika Serikat disebutkan untuk panjang bentang jembatan 60 meter ketinggian maksimum *camber* yang digunakan adalah 140 cm, sehingga pada jembatan model yang panjang bentangnya 6 meter digunakan tinggi *camber* maksimum 14 cm. Variasi *camber* yang digunakan setiap tipe konfigurasi ada tiga, yaitu 0 meter (0%), 0,07 meter (1,17%) dan 0,14 meter (2,33%). Penggunaan skala pada analisis ini bertujuan untuk mempermudah dalam analisis, karena pada dasarnya jembatan sebenarnya bisa dicerminkan dari jembatan model.

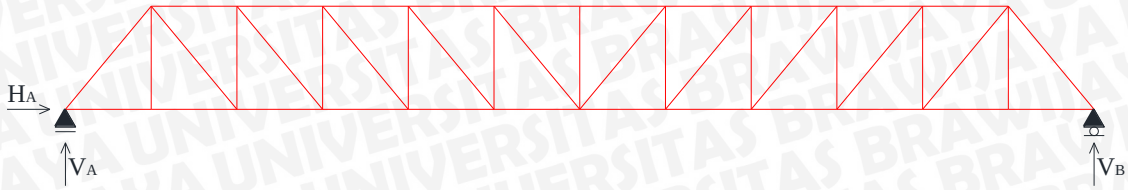
4.2.1 Analisis Statis Tertentu Jembatan

Dalam analisis jembatan model sebelumnya harus dilakukan cek analisis statis tertentu luar dan statis tertentu dalam, sebagai berikut:

1. Statis Tertentu Luar

Teori statis luar untuk mencari ketidaktentuan statis reaksi dari tumpuan. Jembatan model yang digunakan analisis termasuk dalam statis tertentu luar, hal ini disebabkan struktur jembatan ini menggunakan tumpuan sederhana yaitu sendi-roll, serta beban yang diterima hanya beban vertikal (tegak lurus gelagar). Sehingga ketidaktentuan statis dari tumpuan tidak lebih dari tiga persamaan umum statika, seperti pada (**Pers. 4.1**):

$$\Sigma M = 0$$
$$\Sigma V = 0$$
$$\Sigma H = 0 \qquad (\mathbf{4.1})$$



Gambar 4.1. Reaksi perletakan (*Pratt Truss*)

Persamaan umum statika = 3

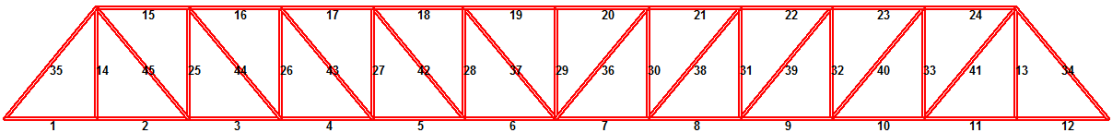
Ketidaktentuan statis (V_A, V_B dan H_A) = 3

Persamaan umum statika = Ketidaktentuan statis

Karena memenuhi maka struktur termasuk statis tertentu luar. Begitu juga sama dengan bentuk konfigurasi lainnya yaitu *Howe Truss, Warren Truss* dan *K-Truss*.

2. Statis Tertentu Dalam

Teori statis dalam untuk mencari setiap gaya batang jembatan, apakah menjadi gaya batang tarik atau gaya batang tekan beserta nilai gaya batangnya. Jembatan model yang digunakan analisis termasuk dalam statis tetentu dalam, untuk mengetahui apakah struktur model jembatan ini termasuk statis tertentu dalam maka dilakukan cek seperti berikut ini:



Gambar 4.2. Rangka batang jembatan model (*Pratt Truss*)

Jumlah titik buhul (J) = 24

Jumlah persamaan umum statika (S) = 3

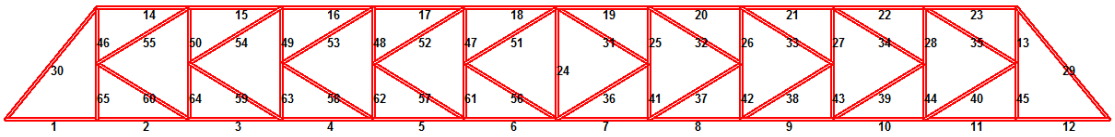
Jumlah batang (M) = 45

$2J - S = M$

$2(24) - 3 = 45$

$45 = 45$

Karena memenuhi maka struktur termasuk statis tertentu dalam. Begitu juga sama dengan jembatan model pada tipe konfigurasi *Warren Truss* dan *Howe Truss* karena jumlah titik buhul, persamaan umum statika dan jumlah batangnya sama.



Gambar 4.3. Rangka batang jembatan model (*K-Truss*)

Jumlah titik buhul (J) = 34

Jumlah persamaan umum statika (S) = 3

Jumlah batang (M) = 65

$2J - S = M$

$2(34) - 3 = 65$

$65 = 65$

Karena pada tipe konfigurasi *K-Truss* juga memenuhi persamaan maka struktur termasuk statis tertentu dalam.

4.2.2 Analisis Pembebanan

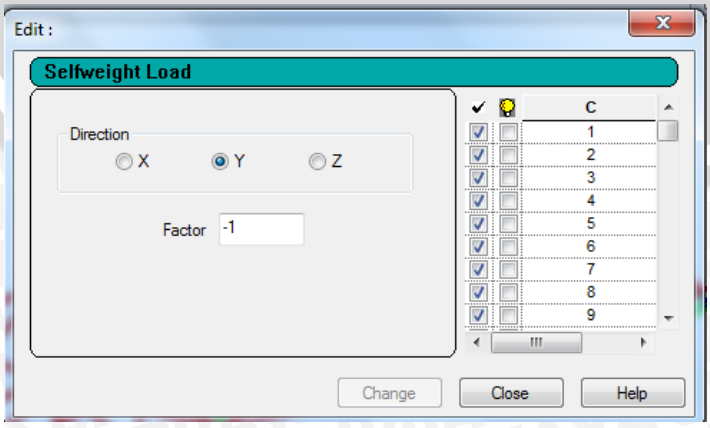
1. Berat sendiri

Dengan analisis menggunakan *software* analisis struktur telah disediakan jenis beban sendiri (*selfweight load*) berdasarkan berat jenis dari profil yang digunakan (**Gambar 4.4**).

Factor : -1 (faktor pengali satu kali jembatan model)

Direction : *Y* (arah sumbu global Y, dengan nilai negatif yang menunjukan arah ke bawah).

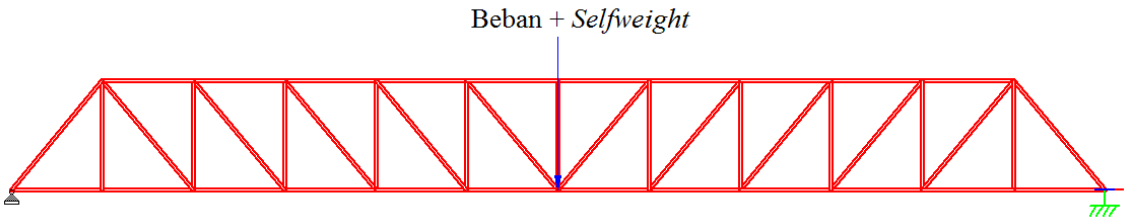
Pada **Gambar 4.4** di sisi kanan terdapat kolom C yang menunjukan nomor batang, untuk mendapatkan berat sendiri pada semua elemen-elemen batangnya maka diberi *checklist* pada kotak sebelah kiri dari kolom C.



Gambar 4.4. Input *selfweight* pada *software* analisis struktur.

2. Beban uji di tengah bentang

Dalam analisis, beban terpusat diletakkan di tengah bentang pada rangka induk sisi kiri dan kanan. Beban yang digunakan dimulai dari 200 kg (100 kg di sisi kiri dan 100 kg di sisi kanan), kemudian penambahan beban diberikan setiap 200 kg untuk di cek nilai lendutan dan gaya batangnya. Analisis akan dihentikan jika jembatan model telah mencapai nilai lendutan lebih dari lendutan ijin 1/800*l* atau 7,50 mm. Sehingga setiap model jembatan mungkin akan memiliki nilai beban maksimum yang mampu ditahan berbeda-beda.



Gambar 4.5. Pembebanan di tengah bentang (*Pratt Truss*)

4.3 Hasil Analisis Metode *Camber*

4.3.1 Analisis Beban Maksimum

Pada analisis metode *camber* ini digunakan empat jenis konfigurasi yang ada dan telah berkembang untuk pembangunan jembatan sejauh ini yaitu *Pratt Truss, Howe Truss, Warren Truss* dan *K-Truss*. Model analisis ini telah diskala dari ukuran sebenarnya dengan skala 1:10. Sehingga jembatan model memiliki dimensi panjang bentang 6 meter, tinggi 0,6 meter dan lebar 0,9 meter. Variasi camber yang digunakan juga hasil skala 1:10 dari peraturan yang dikutip pada "*Departement Of Transportation Structure Design And Construction Division"* di New York Amerika Serikat yang menyebutkan bahwa untuk panjang bentang 60 meter ketinggian *camber* yang diisyaratkan yaitu 140 cm atau dengan kemiringan sekitar 2,33%, sehingga dengan skala 1:10 untuk jembatan model didapatkan ketinggian *camber* 14 cm untuk analisis *fullcamber*. Serta digunakan variasi *camber* lain yaitu setengah *camber* atau 1,17% atau 7 cm dan nol *camber* atau tanpa *camber*.

Dari empat jenis tipe rangka dan ada tiga jenis variasi *camber* maka ada 12 model jembatan yang dianalisis. Jembatan model tersebut masing-masing dibebani dengan penambahan beban 200 kg sampai jembatan mencapai lendutan 7,50 mm.

Setelah dianalisis menggunakan *software* analisis struktur didapatkan beban maksimum yang mampu ditahan oleh masing-masing model sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hubungan beban dan lendutan pada model jembatan *Pratt Truss* dengan *camber* 0% atau tanpa *camber*.

Beban (kg)	Camber 0%
	δ struktur (mm)
200	0,90
400	1,53
600	2,16
800	2,79
1000	3,42
1200	4,05
1400	4,68
1600	5,30
1800	5,93
2000	6,56
2200	7,19
2400	7,82

Proses analisis pembebanan pada model jembatan *Pratt Truss* dengan *camber* 0% dihentikan pada posisi beban 2400 kg karena pada beban tersebut struktur telah mencapai lendutan melebihi 7,50 mm. Sehingga untuk mengetahui nilai beban maksimum yang mampu ditahan struktur pada saat nilai lendutan 7,50 mm dengan menghitung interpolasi (**Pers. 4.2**).

Diketahui: $y_1 = 2200$ kg

$y_2 = 2400$ kg

$x = 7{,}50$ mm

$x_1 = 7{,}19$ mm

$x_2 = 7{,}82$ mm

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1) + y_1 \qquad (4.2)$$

$$y = \frac{2400 - 2200}{7{,}82 - 7{,}19}(7{,}50 - 7{,}19) + 2200 = 2298{,}89 \text{ kg}$$

Jadi beban maksimum yang mampu ditahan oleh jembatan model tipe *Pratt Truss* dengan *camber* 0% yaitu 2298,89 kg. Hasil perhitungan beban maksimum untuk model jembatan lain disajikan dalam **Tabel 4.3** berikut:

Tabel 4.3. Beban maksimum yang mampu ditahan struktur model jembatan saat mencapai lendutan 7,50 mm.

Ketinggian camber (%)	Beban Maksimum (kg)			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	2298,89	2222,80	2389,77	3010,79
1,17%	2294,45	2193,62	2381,27	2982,72
2,33%	2286,85	2163,12	2362,75	2951,12

Berdasarkan hasil analisis, nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh model jembatan sampai saat terjadi lendutan 7,50 mm sesuai pada **Tabel 4.3** yaitu dari keempat model tipe rangka, tipe rangka *K-Truus* yang dapat menerima beban paling besar sampai lendutan ijin 7,50 mm. Sedangkan kalau ditinjau dari variasi *camber* yang diberikan, semakin tinggi *camber* semakin kecil beban yang bisa ditahan struktur. Pada model *K-Truss* tanpa *camber* dapat menahan beban paling besar yaitu 3010,79 kg. Artinya jembatan model yang menggunakan *camber* semakin tinggi maka lendutan struktur yang terjadi semakin besar pula dengan perlakuan beban yang sama besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi *camber* maka jembatan tersebut akan tersusun oleh elemen-elemen batang yang semakin panjang pula, sehingga kekakuan batangnya semakin kecil dan lebih mudah terjadi tekuk (**Pers. 4.3**).

$$P = k \cdot d \qquad (4.3)$$

dengan:

P = Gaya (N)
k = Kekakuan (N/mm)
d = Deformasi (mm)

$$k = \frac{A.E}{L} \qquad (4.4)$$

dengan:

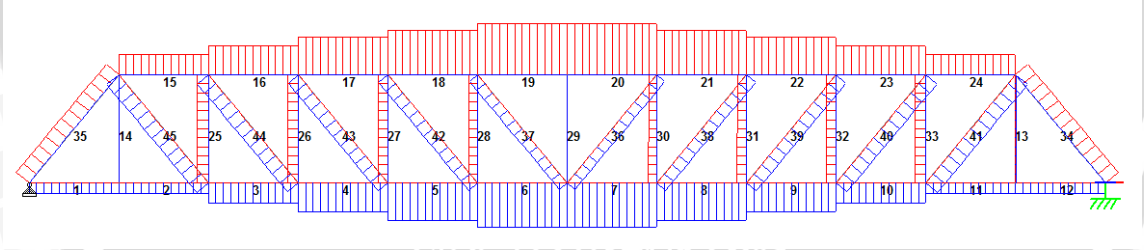
k = Kekakuan (N/mm)
A = Luas penampang (mm^2)
E = Elastisitas (N/mm^2)
L = Panjang batang (mm)

Dari **Pers. 4.3** dan **Pers. 4.4** dapat diketahui alasan yang menyebabkan jembatan model yang menggunaka *camber* semakin kecil beban maksimum yang mampu ditahan dibandingkan dengan jembatan model yang tidak menggunakan *camber*. Karena gaya yang bekerja berbanding lurus dengan deformasi yang terjadi, namun besarnya gaya dan nilai lendutan yang terjadi dipengaruhi oleh nilai kekakuan batang. Semakin tinggi nilai kakakuan batang maka deformasi yang terjadi semakin kecil dan semakin kecil nilai kekakuan batang maka deformasi yang terjadi semakin besar pula. Nilai kekakuan batang berbanding terbalik dengan panjang batang, semakin panjang batang maka nilai kekakuannya semakin kecil dan semakin pendek batang maka semakin tinggi nilai kekakuan batang tersebut. Sehingga panjang batang berpengaruh terhadap deformasi yang terjadi maupun besarnya beban yang bekerja pada struktur.

4.3.2 Analisis Gaya Batang

4.3.2.1 Jembatan Model *Pratt Truss*

Dengan menggunakan *software* program analisis struktur setelah dilakukan analisis pembebanan didapatkan nilai gaya batang pada model jembatan *Pratt Truss* seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.6. Gaya-gaya batang pada model jembatan *Pratt Truss.*

Pada **Gambar 4.6** menunjukan gaya-gaya batang yang terjadi akibat beban di setengah bentang untuk model *Pratt Truss*. Gambar yang diarsir warna merah merupakan batang tekan dan gambar yang diarsir warna biru merupakan batang tarik. Model jembatan *Pratt Truss* merupakan jembatan dengan batang diagonal tarik artinya pada batang-batang diagonalnya hanya menerima gaya tarik. Dari ketiga model jembatan *Pratt Truss* yaitu dengan *camber* 0 (0%), *camber* 0,07 meter (1,17%) dan *camber* 0,14 meter (2,33%) mempunyai kesamaan gaya batang yang terjadi, baik yang mengalami gaya tekan maupun gaya tarik. Gaya batang tekan maksimum terjadi pada batang nomor 20 dan gaya batang tarik maksimum terjadi pada batang nomor 7. Hasil

perhitungan gaya batang dari tiga variasi *camber* dengan penambahan beban setiap 200 kg sampai model mengalami lendutan 7,50 mm disajikan seperti berikut:

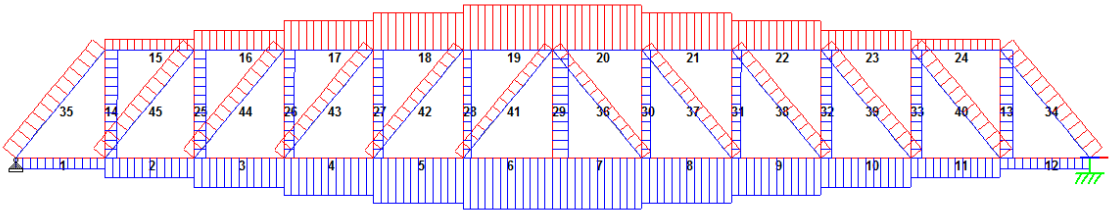
Tabel 4.4. Gaya-gaya batang pada model *Pratt Truss.*

Beban	*Camber* 0%			*Camber* 1,17%			*Camber* 2,33%		
	δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum	
		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)
200	0,90	297,45	341,46	0,91	297,30	341,31	0,91	297,24	341,25
400	1,53	505,78	591,46	1,54	505,68	591,36	1,54	505,66	591,36
600	2,16	714,12	814,46	2,16	714,05	841,41	2,17	714,09	841,47
800	2,79	922,45	1091,46	2,79	922,43	1091,46	2,80	922,52	1091,59
1000	3,42	1130,78	1341,46	3,42	1130,80	1341,51	3,44	1130,94	1341,70
1200	4,05	1339,12	1591,46	4,05	1339,18	1591,56	4,07	1339,37	1591,81
1400	4,68	1547,45	1841,46	4,68	1547,505	1841,61	4,70	1547,80	1841,92
1600	5,30	1755,79	2091,46	5,31	1755,93	2091,66	5,33	1756,23	2091,03
1800	5,93	1964,12	2341,46	5,94	1964,30	2341,71	5,96	1964,65	2342,15
2000	6,56	2172,45	2591,46	6,57	2172,68	2591,76	6,59	2173,08	2592,26
2200	7,19	2380,79	2841,46	7,20	2381,05	2841,82	7,23	2381,51	2842,37
2400	7,82	2589,12	3091,46	7,83	2589,43	3091,87	7,86	2589,93	3092,48

Pada **Tabel 4.4** menunjukan bahwa nilai gaya batang tekan lebih besar daripada nilai gaya batang tariknya. Dari ketiga variasi *camber* terlihat semuanya mengalami lendutan 7,50 mm pada saat beban diantara 2200 kg sampai 2400 kg. Nilai gaya batang yang terjadi pada tiga variasi *camber* menunjukan bahwa semakin tinggi *camber* nilai gaya-gaya batangnya juga semakin besar.

4.3.2.2 Jembatan Model *Howe Truss*

Dengan menggunakan *software* program analisis struktur setelah dilakukan analisis pembebanan didapatkan nilai gaya batang pada model jembatan *Howe Truss* seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.7. Gaya-gaya batang pada model jembatan *Howe Truss.*

Pada **Gambar 4.7** menunjukan gaya-gaya batang yang terjadi akibat beban di setengah bentang untuk model *Howe Truss*. Gambar yang diarsir warna merah merupakan batang tekan dan gambar yang diarsir warna biru merupakan batang tarik. Model jembatan *Howe Truss* merupakan jembatan dengan batang diagonal tekan artinya pada batang-batang diagonalnya hanya menerima gaya tekan. Dari ketiga model jembatan *Howe Truss* yaitu dengan *camber* 0 (0%), *camber* 0,07 meter (1,17%) dan *camber* 0,14 meter (2,33%) mempunyai kesamaan dari semua batang baik yang mengalami gaya tekan maupun gaya tarik. Gaya batang tekan maksimum terjadi pada batang nomor 20 dan gaya batang tarik maksimum terjadi pada batang nomor 7. Hasil perhitungan gaya batang dari tiga variasi camber dengan penambahan beban setiap 200 kg sampai model mengalami lendutan 7,50 mm disajikan seperti berikut:

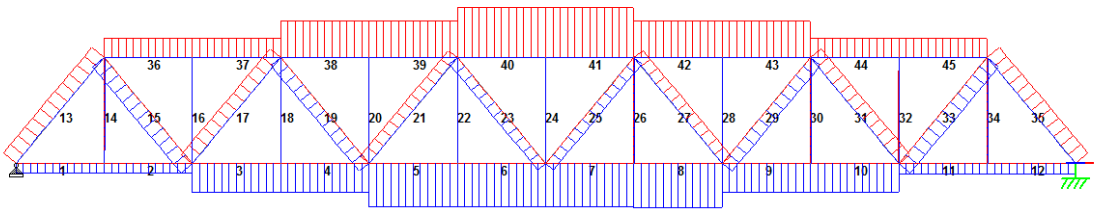
Tabel 4.5. Gaya-gaya batang pada model *Howe Truss.*

Beban	*Camber* 0%			*Camber* 1,17%			*Camber* 2,33%		
	δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum	
		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)
200	0,93	341,57	296,85	0,94	341,87	297,12	0,96	341,83	298,12
400	1,58	591,57	505,18	1,60	591,63	506,26	1,62	592,26	506,55
600	2,23	841,57	713,51	2,26	841,97	713,87	2,29	842,37	714,24
800	2,88	1091,57	921,85	2,92	1092,02	922,25	2,96	1092,48	922,67
1000	3,53	1341,57	1130,18	3,57	1342,07	1130,62	3,62	1342,60	1131,10
1200	4,18	1591,57	1338,51	4,23	1592,12	1339,00	4,29	1592,71	1339,53
1400	4,83	1841,57	1546,85	4,89	1842,17	1547,37	4,96	1842,82	1547,95
1600	5,48	2091,57	1755,18	5,55	2092,21	1755,75	5,62	2092,93	1756,38
1800	6,13	2341,57	1963,51	6,21	2342,26	1964,12	6,29	2343,05	1964,81
2000	6,78	2591,57	2171,85	6,86	2592,31	2172,50	6,96	2593,16	2173,24
2200	7,43	2841,57	2380,18	7,502	2842,36	2380,87	7,62	2843,27	2381,67
2400	8,08	3091,57	2588,51						

Pada **Tabel 4.5** menunjukan bahwa nilai gaya batang tarik lebih besar daripada nilai gaya batang tekannya. Dari ketiga variasi *camber* terlihat untuk *camber* 0% mengalami lendutan 7,50 mm pada saat beban diantara 2200 kg sampai 2400 kg, sedangkan untuk variasi *camber* 1,17% dan 2,33% mengalami lendutan 7,50 mm pada saat beban diantara 2000 kg sampai 2200 kg. Nilai gaya batang yang terjadi pada tiga variasi *camber* menunjukan peningkatan nilai gaya batang apabila menggunakan *camber.*

4.3.2.3 Jembatan Model *Warren Truss*

Dengan menggunakan *software* program analisis struktur setelah dilakukan analisis pembebanan didapatkan nilai gaya batang pada model jembatan *Warren Truss* seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.8. Gaya-gaya batang pada model jembatan *Warren Truss*.

Pada **Gambar 4.8** menunjukan gaya-gaya batang yang terjadi akibat beban di setengah bentang untuk model *Warren Truss*. Gambar yang diarsir warna merah merupakan batang tekan dan gambar yang diarsir warna biru merupakan batang tarik. Model jembatan *Warren Truss* merupakan jembatan dengan batang diagonal tekan dan tarik. Dari ketiga model jembatan *Warren Truss* yaitu dengan *camber* 0 (0%), *camber* 0,07 meter (1,17%) dan *camber* 0,14 meter (2,33%) mempunyai kesamaan dari semua batang baik yang mengalami gaya tekan maupun gaya tarik. Gaya batang tekan maksimum terjadi pada batang nomor 41 dan gaya batang tarik maksimum terjadi pada batang nomor 7. Hasil perhitungan gaya batang dari tiga variasi camber dengan penambahan beban setiap 200 kg sampai model mengalami lendutan 7,50 mm disajikan seperti berikut:

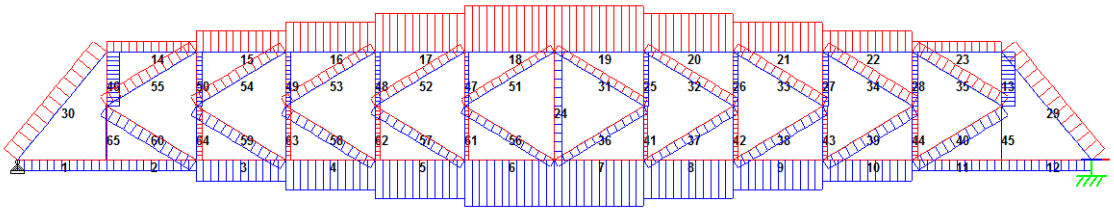
Tabel 4.6. Gaya-gaya batang pada model *Warren Truss.*

Beban	*Camber* 0%			*Camber* 1,17%			*Camber* 2,33%		
	δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum	
		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)
200	0,87	297,36	341,46	0,88	297,37	341,45	0,88	297,40	341,48
400	1,48	505,70	591,46	1,49	505,49	591,50	1,50	505,83	591,59
600	2,08	714,03	841,46	2,09	714,12	841,55	2,11	714,25	814,70
800	2,69	922,36	1091,46	2,70	922,49	1091,60	2,72	922,68	1091,82
1000	3,29	1130,70	1341,46	3,31	1130,87	1341,65	3,33	1131,11	1341,93
1200	3,90	1339,03	1591,46	3,92	1339,24	1591,71	3,94	1339,53	1592,04
1400	4,50	1547,36	1841,46	4,53	1547,62	1841,76	4,56	1547,96	1842,15
1600	5,11	1755,70	2091,46	5,13	1755,99	2091,81	5,17	1756,39	2092,27
1800	5,72	1964,03	2341,46	5,74	1964,37	2341,86	5,78	1964,82	2342,38
2000	6,32	2172,36	2591,46	6,35	2172,74	2591,91	6,39	2173,24	2592,49
2200	6,93	2380,70	2841,46	6,96	2381,12	2841,96	7,00	2381,67	2842,61
2400	7,503	2589,03	3091,46	7,506	2589,49	3092,01	7,61	2590,10	3092,72

Pada **Tabel 4.6** menunjukan bahwa nilai gaya batang tekan lebih besar daripada nilai gaya batang tariknya. Dari ketiga variasi *camber* terlihat semuanya mengalami lendutan 7,50 mm pada saat beban diantara 2200 kg sampai 2400 kg. Nilai gaya batang tekan maupun tariknya hampir sama dengan model *Pratt Truss* hanya pada batang diagonalnya pada model *Warren Truss* ini terbagi dua batang tarik dan tekannya. Nilai gaya batang yang terjadi pada tiga variasi *camber* menunjukan bahwa semakin tinggi *camber* nilai gaya-gaya batangnya juga semakin besar.

4.3.2.4 Jembatan Model *K-Truss*

Dengan menggunakan *software* program analisis struktur setelah dilakukan analisis pembebanan didapatkan nilai gaya batang pada model jembatan *K-Truss* seperti gambar berikut ini:



Gambar 4.9. Gaya-gaya batang pada model jembatan *K-Truss.*

Pada **Gambar 4.9** menunjukan gaya-gaya batang yang terjadi akibat beban di setengah bentang untuk model *K-Truss*. Gambar yang diarsir warna merah merupakan batang tekan dan gambar yang diarsir warna biru merupakan batang tarik. Model jembatan *K-Truss* merupakan jembatan dengan batang diagonal tekan dan tarik. Pada batang diagonal atas batangnya mengalami tekan dan batang diagonal bawah mengalami tarik. Dari ketiga model jembatan *K-Truss* yaitu dengan *camber* 0 (0%), *camber* 0,07 meter (1,17%) dan *camber* 0,14 meter (2,33%) mempunyai kesamaan dari semua batang baik yang mengalami gaya tekan maupun gaya tarik. Gaya batang tekan maksimum terjadi pada batang nomor 19 dan gaya batang tarik maksimum terjadi pada batang nomor 7. Hasil perhitungan gaya batang dari tiga variasi camber dengan penambahan beban setiap 200 kg sampai model mengalami lendutan 7,50 mm disajikan seperti berikut:

Tabel 4.7. Gaya-gaya batang pada model *K-Truss*.

Beban	*Camber* 0%			*Camber* 1,17%			*Camber* 2,33%		
	δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum		δ struktur (mm)	Gaya Batang Maksimum	
		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)		Tarik (kg)	Tekan (kg)
200	0,73	307,44	307,65	0,74	307,49	307,67	0,75	307,508	307,76
400	1,21	515,77	515,95	1,22	515,86	516,05	1,24	516,00	516,19
600	1,69	724,10	724,28	1,71	724,24	724,42	1,73	724,43	724,62
800	2,18	932,44	932,62	2,20	932,61	932,79	2,22	932,86	933,04
1000	2,66	1140,77	1140,95	2,68	1140,99	1141,17	2,71	1141,29	1141,47
1200	3,14	1349,10	1349,28	3,17	1349,36	1349,54	3,20	1349,71	1349,90
1400	3,62	1557,44	1557,62	3,65	1557,73	1557,92	3,69	1558,14	1558,33
1600	4,10	1765,77	1765,95	4,14	1766,11	1766,29	4,18	1766,57	1766,75
1800	4,58	1974,10	1974,28	4,63	1974,48	1974,67	4,67	1974,99	1975,18
2000	5,07	2182,44	2182,62	5,11	2182,86	2183,04	5,17	2183,42	2183,61
2200	5,55	2390,77	2390,95	5,60	2391,23	2391,42	5,66	2391,85	2392,03
2400	6,03	2599,10	2599,28	6,08	2599,61	2599,79	6,15	2600,28	2600,46
2600	6,51	2807,44	2807,62	6,57	2807,98	2808,17	6,64	2808,70	2808,89
2800	6,99	3015,77	3015,95	7,06	3016,36	3016,54	7,13	3017,13	3017,32
3000	7,47	3224,10	3224,28	7,504	3224,732	3224,917	7,62	3225,56	3225,74
3200	7,96	3432,44	3432,62						

Pada **Tabel 4.7** menunjukan bahwa nilai gaya batang tarik dan nilai gaya batang tekannya seimbang. Dari ketiga variasi *camber* terlihat untuk *camber* 0% mengalami lendutan 7,50 mm pada saat beban diantara 3000 kg sampai 3200 kg, sedangkan untuk

variasi *camber* 1,17% dan 2,33% mengalami lendutan 7,50 mm pada saat beban diantara 2800 kg sampai 3000 kg. Dan pada batang diagonalnya mengalami gaya tekan dan tarik juga seimbang. Nilai gaya batang yang terjadi pada tiga variasi *camber* menunjukan bahwa semakin tinggi *camber* nilai gaya-gaya batangnya juga semakin besar.

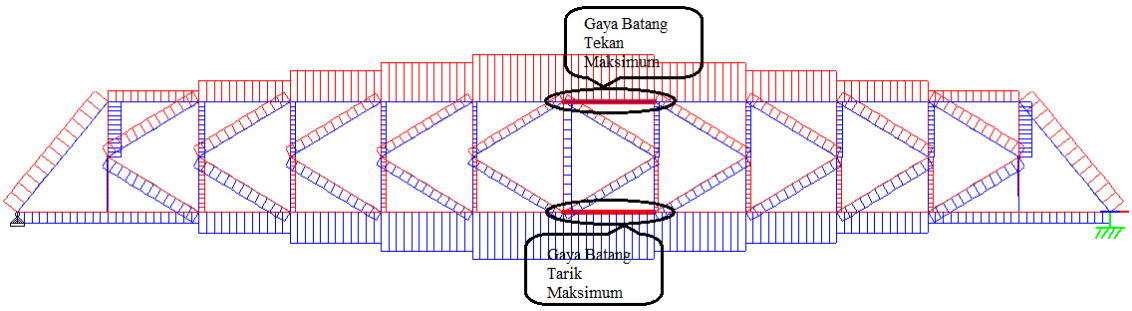
4.3.2.5 Analisis Penampang

Dalam analisis ini menggunakan profil yang seragam disemua posisi model jembatan, profil yang digunakan yaitu profil ∟40x40x4. Analisis penampang baja profil ini bertujuan untuk mengetahui apakah profil ini mampu menahan tegangan batang akibat beban yang diberikan secara bertahap hingga struktur mencapai lendutan 7,50 mm. Sehingga apabila analisis ini direalisasikan maka tidak terjadi keruntuhan batang akibat tarik maupun tekan. Adapun rekapitulasi gaya batang untuk setiap model dan variasi ketinggian *camber* dari perhitungan *software* analisis struktur berikut ini:

Tabel 4.8. Rekapitulasi gaya batang maksimum pada semua model.

Ketinggian camber	0%		1,17%		2,33%	
Gaya Batang Maksimum (kg)	Tarik (kg)	Tekan (kg)	Tarik (kg)	Tekan (kg)	Tarik (kg)	Tekan (kg)
Pratt Truss	2380,79	2841,46	2381,05	2841,82	2381,51	2842,37
Howe Truss	2841,57	2380,18	2592,31	2172,50	2593,16	2173,24
Warren Truss	2380,70	2841,46	2381,12	2841,96	2381,67	2842,61
K-Truss	3224,10	3224,28	3016,36	3016,54	3017,13	3017,32

Tabel 4.8 merupakan rekapitulasi gaya batang pada jembatan model, gaya batang yang tertulis tersebut merupakan gaya batang maksimum masing-masing model pada pembebanan maksimum dengan penambahan beban setiap 200 kg sebelum mencapai *collapse* atau lendutan melebihi 7,50 mm. Posisi gaya batang maksimum pada semua model terletak di posisi yang sama (**Gambar 4.10)**. Dari semua model yang dianalisis, model yang mampu menahan beban maksimum yaitu tipe *K-Truss* dengan *camber* 0%.



Gambar 4.10. Gaya batang maksimum jembatan *K-Truss*

Diketahui: Mutu Baja BJ-37

f_y = 2400 kg/cm^2

f_u = 3700 kg/cm^2

Berdasarkan **Tabel 4.8** dan **Gambar 4.10** didapatakan nilai gaya batang maksimum yang terjadi sebagai berikut:

Gaya batang tarik maksimum = 3224,10 kg

Gaya batang tekan maksimum = 3224,28 kg

1. Perencanaan Batang Tarik

Gaya batang tarik maksimum = 3224,10 kg

Panjang batang = 50 cm

Profil ∟40x40x4

f_y = 2400 kg/cm^2

A_g = 239,91 mm^2

Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 10.1, komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor N_u harus memenuhi:

$T_u < ØT_n$

Kondisi Leleh:

$T_u < Ø.A_g.f_y$

3224,10 < 0,9.2,399.2400

3224,10 kg < 5181,84 kg → OK

2. Perencanaan Batang Tekan

Gaya batang tekan maksimum = 3224,28 kg

Panjang batang = 50 cm

Profil ∟40x40x4

f_y = 2400 kg/cm^2

f_u = 3700 kg/cm^2

b = 40 mm

t_f = 4 mm

A_g = 239,91 mm^2

$r_x = r_y$ = 12,1 mm

$I_x = I_y$ = 44800 mm^4

$e_x = e_y$ = 11 mm

E_s = 200.000 Mpa

Menurut SNI 03-1729-2002 pasal 9.1, suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor N_u harus memenuhi:

$N_u < ØN_n$

Periksa kelangsingan penampang:

Flens

$$\frac{b_f}{t_f} = \frac{40}{4} = 10$$

$$\frac{200}{\sqrt{f_y}} = \frac{200}{\sqrt{240}} = 12{,}91$$

10 < 12,91 → OK (Penampang Kompak)

Karena *Web* pada profil siku sama dengan *Flens* maka syarat kelangsingan penampang tidak diperhitungkan lagi.

Kondisi tumpuan sendi-sendi, k=1

Arah sumbu x:

$$\lambda_x = \frac{k.L_x}{r_x} = \frac{1.500}{12{,}1} = 41{,}32$$

Tegangan kritis untuk daerah elastis, dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{f_{cr}}{f_y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2 f_y} = \frac{1}{\lambda_c^2}$$

Sehingga,

$$\lambda_{cx} = \frac{\lambda_x}{\pi}\sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{41{,}32}{\pi}\sqrt{\frac{240}{200.000}} = 0{,}46$$

$0{,}25 < \lambda_c < 1{,}2$

$$\omega_x = \frac{1{,}43}{1{,}6 - 0{,}67\lambda_c}$$

$$= \frac{1{,}43}{1{,}6 - 0{,}67.0{,}46} = 1{,}11$$

Daya dukung nominal tekan dihitung sebagai berikut:

$$N_n = A_g . f_{cr}$$

$$= A_g . \frac{f_y}{\omega_x}$$

$$= 2{,}40 . \frac{2400}{1{,}11}$$

$$= 5210{,}50 \text{ kg}$$

$N_u < \text{Ø}N_n$

$3224{,}28 < 0{,}85.5210{,}50$

3224,28 kg < 4428,92 kg → OK

Daya dukung nominal tekan arah sumbu y sama dengan arah sumbu x.

3. Beban Leleh Maksimum

Gaya batang maksimum = 3224,28 kg

Profil ∟40x40x4

f_y = 2400 kg/cm^2

A_g = 239,91 mm^2

$$P_y = A_g x\, f_y$$

= 2,40 x 2400

= 5760 kg

Jadi profil ∟40x40x4 mampu menahan beban yang bekerja pada semua model jembatan hingga beban maksimum yang terjadi hingga beban 3000 kg yang menimbulkan gaya batang tarik maksimum 3224,10 kg dan gaya batang tekan maksimum 3224,28 kg yaitu pada model jembatan *K-Truss* dengan ketinggian *camber* 0% atau tanpa *camber*. Serta gaya batang maksimum yang terjadi pada semua model belum melebihi beban leleh (P_y) untuk profil ∟40x40x4 yaitu sebesar 5760 kg artinya profil akan mengalami leleh pada saat gaya batang yang terjadi sama dengan P_y. Dengan demikian berarti analisis ini masih dalam keadaan elastis.

4.3.3 Analisis Lendutan

Setelah menganalisis beban maksimum yang mampu ditahan model dan gaya batang maksimum yang terjadi, kemudian menganalisis nilai lendutan yang terjadi. Karena perlakuan awal yang diberikan pada penelitian ini lendutan ijin yang dijadikan acuan, maka pada saat beban maksimum diperoleh nilai lendutan yang sama yaitu 7,50 mm. Sehingga untuk membandingkan kekuatan jembatan model dari nilai lendutannya digunakan beban sebagai acuan nilai lendutannya. Ditinjau dari beban maksimum yang mampu diterima keempat tipe rangka jembatan, tipe rangka *Howe Truss* merupakan struktur yang paling lemah. Dengan beban penambahan 200 kg, tipe *Howe Truss* hanya mampu hingga beban maksimum 2000 kg, pada saat beban ke 2200 kg ternyata struktur sudah mengalami lendutan lebih dari lendutan ijin. Sehingga untuk menyamakan perlakuan diambilah beban 2000 kg sebagai acuan kemudian dibandingkan nilai lendutan yang terjadi pada semua model jembatan.

Tabel 4.9. Rekapitulasi lendutan struktur pada saat beban 2000 kg.

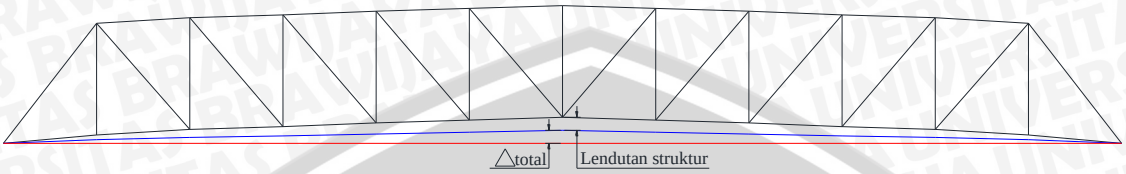
Ketinggian camber (%)	Lendutan Struktur (mm)			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	6,56	6,78	6,32	5,07
1,17%	6,57	6,86	6,35	5,11
2,33%	6,59	6,96	6,39	5,17

Tabel 4.9 merupakan hasil rekapitulasi nilai lendutan struktur akibat beban 2000 kg. Dari keempat model tipe rangka tipe rangka *K-Truus* dengan *camber* 0% atau tanpa *camber* yang mengalami lendutan paling kecil yaitu 5,07 mm, sedangkan lendutan paling besar terjadi pada model jembatan *Howe Truss* dengan *camber* 2,33% dengan nilai 6,96 mm. Kalau ditinjau dari variasi *camber* yang diberikan, dari semua tipe rangka semakin tinggi *camber* yang diberikan maka semakin besar lendutan yang terjadi. Seperti terlihat pada model jembatan *Pratt Truss* dengan *camber* 0% lendutan yang terjadi 6,56 mm, dengan pembahan ketinggian *camber* 2,33% maka lendutan yang terjadi semakin besar yaitu 6,59 mm. Begitu juga yang terjadi pada ketiga model jembatan dengan tipe rangka lainnya.

Selanjutnya menganalisis nilai lendutan total pada masing-masing model jembatan. Lendutan total merupakan ketinggian *camber* yang telah dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi pada model jembatan (**Pers. 4.5**), untuk mengetahui *opening*

span yang ada dibawah jembatan sehingga memungkinkan adanya aktivitas dibawah jembatan dengan lebih leluasa.

$$\Delta_{total} = \text{Ketinggian } camber - \delta_{struktur} \quad \textbf{(4.5)}$$



Gambar 4.11. Lendutan total jembatan model *Pratt Truss*

Gambar 4.11 merupakan model jembatan *Pratt Truss* dengan *camber* yang melendut akibat beban yang bekerja. Garis warna merah merupakan garis nol atau garis pada saat *camber* 0%, garis warna biru adalah penurunan strutur jembatan akibat beban yang bekerja atau lendutan struktur. Perhitungan lendutan total pada jembatan seperti berikut:

Tabel 4.10. Tabel hubungan beban dan lendutan pada model jembatan *Pratt Truss* dengan *camber* 2,33%.

Beban (kg)	Camber 2,33%	
	δ struktur (mm)	Δ total (mm)
200	0,91	139,09
400	1,54	138,46
600	2,17	137,83
800	2,80	137,20
1000	3,44	136,57
1200	4,07	135,93
1400	4,70	135,30
1600	5,33	134,67
1800	5,96	134,04
2000	6,59	133,41
2200	7,23	132,77
2286,85	7,50	132,50
2400	7,86	132,14

Karena pada saat beban maksimum nilai lendutan total yang terjadi pada masing-masing ketinggian *camber* adalah sama, maka digunakan beban 2000 kg sebagai beban acuan untuk membandingkan kekuatan dari sisi nilai lendutannya.

Pada saat beban 2000 kg: $\delta_{struktur}$ = 6,59 mm

Ketinggian *camber* = 2,33% = 140 mm.

Δ_{total} = Ketinggian $camber - \delta_{struk\ tur}$

= 140 – 6,59 = 133,41 mm

Jadi lendutan total yang terjadi pada model *Pratt Truss* dengan *camber* 2,33% atau 140 mm yaitu sebesar 133,41 mm. Karena nilai lendutan total bernilai positif maka lendutan tersebut masih diatas garis nol dan masih memiliki *opening span*. Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama pada model jembatan lain, sehingga didapatkan nilai lendutan total pada masing-masing model pada saat beban 2000 kg sebagai berikut:

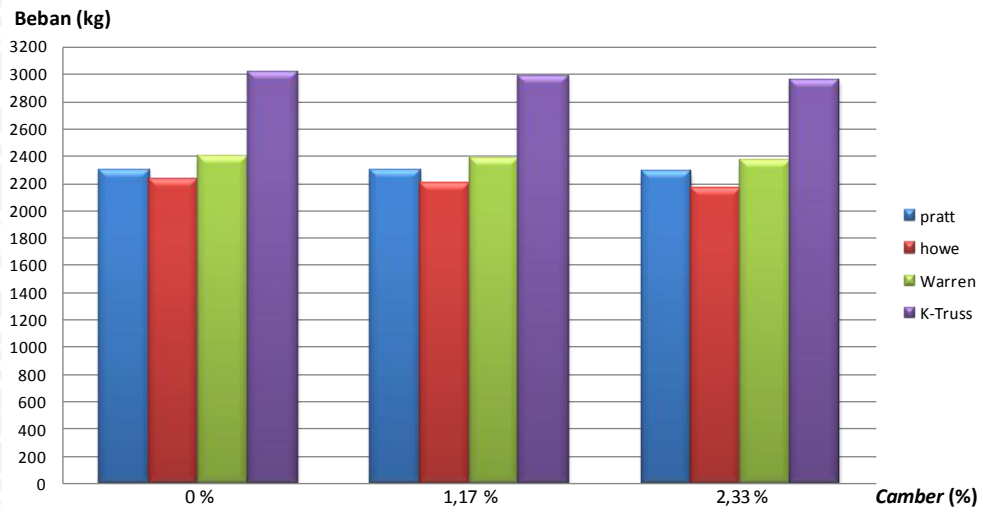
Tabel 4.11. Rekapitulasi lendutan total pada saat beban 2000 kg.

Ketinggian camber (%)	Lendutan Total (mm)			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	-6,56	-6,78	-6,32	-5,07
1,17%	63,43	63,14	63,65	64,89
2,33%	133,41	133,04	133,61	134,84

Berdasarkan **Tabel 4.11** terlihat bahwa jembatan model yang memiliki ketinggian *camber* lebih tinggi akan memiliki *opening span* lebih besar, walaupun lendutan struktur yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan jembatan yang tanpa *camber*. Jembatan model *K-Truss* dengan *camber* 2,33% memiliki *opening span* paling besar dengan jarak 134,84 mm dari garis nol, sedangkan jembatan model *Howe Truss* dengan *camber* 0% memiliki *opening span* paling sempit karena lendutan total yang terjadi dibawah garis nol yaitu -6,78 mm.

4.4 Pembahasan

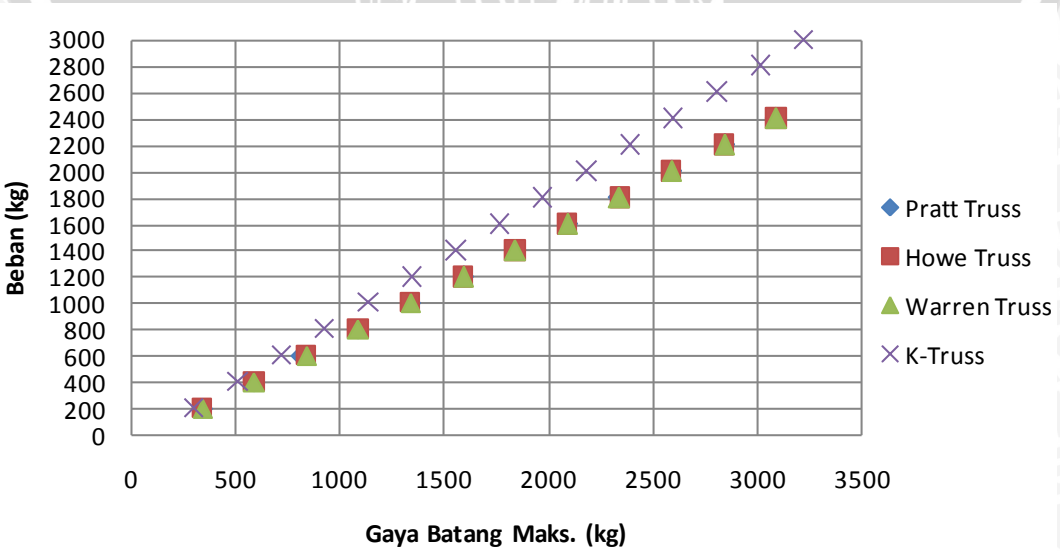
Analisis pada jembatan model ini untuk mengetahui pengaruh pemberian *camber* pada empat jenis konfigurasi yang umum dipakai yaitu *Pratt Truss, Howe Truss, Warren Truss* dan *K-Truss* terhadap beban maksimum yang mampu ditahan masing-masing model saat lendutan ijin 7,50 mm. Hasil beban maksimum yang mampu ditahan oleh empat jenis model konfigurasi dengan tiga variasi *camber* sesuai **Tabel 4.3** dan dapat digambarkan dengan histograf sebagai berikut:



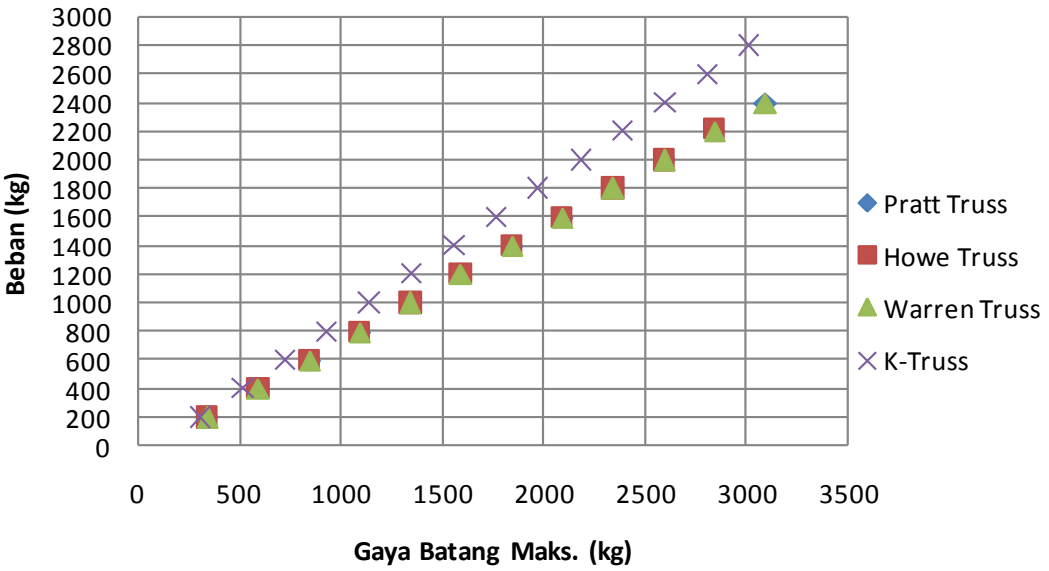
Gambar 4.12. Beban maksimum jembatan model saat lendutan 7,50 mm.

Pada **Gambar 4.12** merupakan hasil analisis dengan menggunakan *software* analisis struktur dengan penambahan beban setiap 200 kg dan hasilnya menunjukan bahwa dari keempat jenis kofigurasi, konfigurasi *K-Truss* merupakan kofigurasi yang paling kuat menerima beban sampai lendutan 7,50 mm. Pada *camber* 0% model *K-Truss* mampu menerima beban 3010,79 kg, pada *camber* 1,17% mampu menerima beban 2982,72 kg dan pada *camber* 2,33% mampu menerima beban 2951,12 kg. Hal ini menunjukan bahwa penambahan ketinggian *camber* tidak mampu menambah kekuatan struktur, karena semakin tinggi *camber* beban maksimum saat lendutan 7,50 mm semakin menurun.

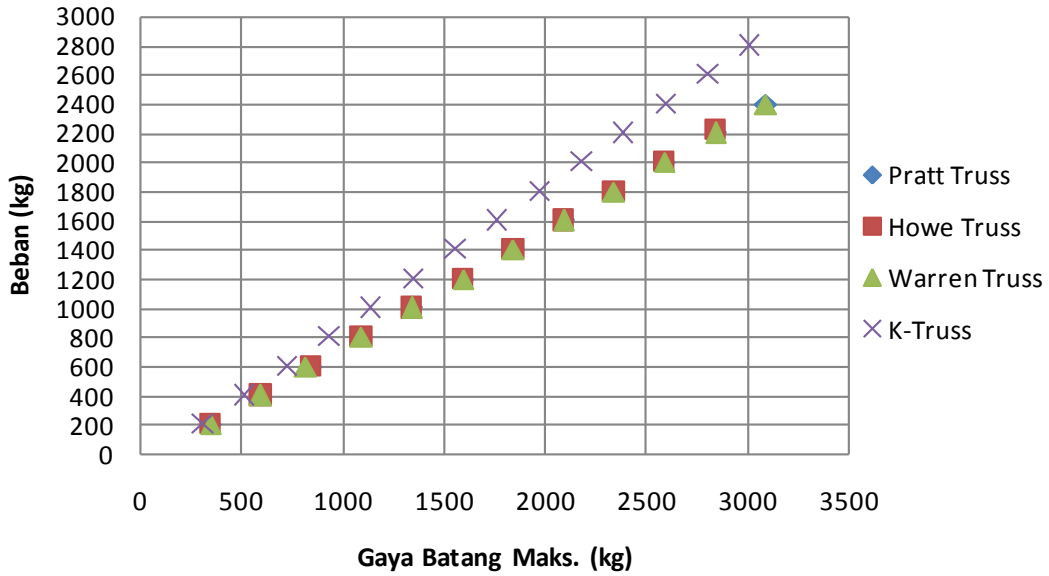
Selanjutnya analisis gaya batang maksimum saat pembebanan model dengan penambahan beban 200 kg sampai mencapai lendutan ijin 7,50 mm. Gaya batang maksimum diambil pada batang tekan dan tarik seperti **Gambar 4.13**.



(a) variasi *camber* 0 %.



(b) variasi *camber* 1,17 %.



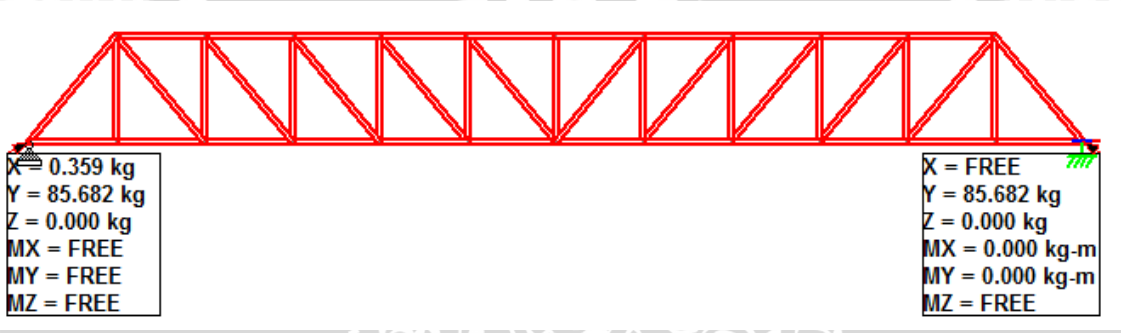
(c) variasi *camber* 2,33 %.

Gambar 4.13. Gaya-gaya batang untuk masing-masing variasi *camber*.

Pada **Gambar 4.13** gaya batang pada model *K-Truss* terlihat lebih banyak dibandingkan dengan model lain karena gaya batang yang tercatat merupakan gaya batang saat jembatan model belum mengalami lendutan 7,50 mm. Dari keempat model pada saat *camber* 0% terlihat pada model *Pratt Truss*, *Howe Truss* dan *Warren Truss* nilai gaya batang maksimumnya mulai dari beban 200 kg sampai beban 2400 kg terlihat hampir sama, sedangkan pada model *K-Truss* nilai gaya batang maksimumnya lebih kecil dibandingkan dengan model lain. Kemudian jika dibandingkan atar variasi *camber* terlihat pada **Gambar 4.13a** nilai gaya batang maksimumnya lebih kecil dibandingkan dengan **Gambar 4.13b** dan **Gambar 4.13c** ini menunjukan bahwa dengan penambahan

ketinggian *camber* membuat nilai gaya-gaya batangnya semakin besar dan akan membutuhkan profil yang lebih besar pula.

Dari empat tipe konfigurasi dan tiga variasi *camber*, 12 model ini memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Jika ditinjau dari kekuatannya tipe *K-Truss* lebih unggul karena mampu menahan beban maksimum hingga lendutan 7,50 mm lebih besar dari model lain. Kekuatan bukan satu-satunya tujuan dalam perencanaan, melainkan berat struktur juga diperhitungkan. Berikut ini merupakan hasil reaksi dari *software* analisis struktur untuk menghitung berat sendiri struktur jembatan.



Gambar 4.14. Reaksi tumpuan jembatan (*Pratt Truss*)

Pada **Gambar 4.14** merupakan hasil analisis reaksi tumpuan pada model jembatan *Pratt Truss* pada saat beban 200 kg. Nilai tumpuan akibat beban 200 kg dan berat sendiri model jembatan di keempat sisinya masing-masing bernilai 85,68 kg berarti total reaksinya adalah 342,73 kg. Sehingga berat jembatan bisa dihitung dengan cara total reaksi dikurangi dengan beban 200 kg. Jadi berat sendiri untuk model jembatan *Pratt Truss* dengan *camber* 0% adalah 142,73 kg. Selanjutnya berat sendiri jembatan disajikan seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4.12. Berat sendiri jembatan.

Ketinggian camber (%)	Berat Sendiri Jembatan (kg)			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	142,73	142,73	142,73	156,83
1,17%	143,15	143,15	142,80	156,98
2,33%	143,61	143,61	142,90	157,20

Terlihat pada **Tabel 4.12** menunjukan bahwa jembatan model *Warren Truss* merupakan jembatan paling ringan, sedangkan model *K-Truss* merupakan jembatan paling berat dibandingkan dengan model lain. Untuk megetahui variasi *camber* yang

paling efektif, maka dihitung perbandingan beban maksimum yang mampu diterima jembatan dengan berat sendiri jembatan masing-masing model seperti berikut:

Tabel 4.13. Perbandingan beban maksimum dengan berat sendiri.

Ketinggian camber (%)	Beban Maksimum/Berat Sendiri			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	16,11	15,57	16,74	19,20
1,17%	16,03	15,32	16,68	19,00
2,33%	15,92	15,06	16,53	18,77

Hasil perbandingan beban maksimum dengan berat sendiri pada **Tabel 4.13** untuk tipe *Pratt Truss* pada *camber* 0% didapatkan nilai 16,11 artinya jembatan model tersebut mampu menahan beban maksimum hingga 16,11 kali berat sendirinya. Untuk semua tipe jembatan dengan penambahan ketinggian *camber* nilai perbandingan beban maksimum dengan berat sendiri semakin menurun. Efektifitas *camber* dari perbandingan beban maksimum dengan berat sendiri dapat dihitung dengan cara dinormalisasi pada satu nilai untuk masing-masing model. Pada **Tabel 4.13** nilai *camber* 0% yang dipakai acuan nilai perbandingan efektifitas seperti pada (**Pers. 4.6**).

Diketahui: *Pratt Truss* pada *camber* 0% → x = 16,11

Pratt Truss pada *camber* 1,17% → x_1 = 16,03

$$\text{Efektifitas } camber\ 1{,}17\% = \frac{x_1 - x}{x} \qquad (\mathbf{4.6})$$

$$\text{Efektifitas } camber\ 1{,}17\% = \frac{16{,}03 - 16{,}11}{16{,}11} = -0{,}49\%$$

Jadi pada tipe *Pratt Truss* jika menggunakan *camber* 1,17% maka mengalami pengurangan efektifitas sebesar 0,49% dibandingkan dengan model yang tidak menggunakan *camber* atau *camber* 0%. Semua tipe dilakukan perhitungan dengan cara dinormalisasi untuk mengetahui efektifitas *camber* berdasarkan perbandingan beban maksimum dengan berat sendiri jembatan seperti berikut:

Tabel 4.14. Efektifitas *camber* berdasarkan perbandingan beban maksimum dengan berat sendiri jembatan.

Ketinggian camber (%)	Efektifitas *Camber* (%)			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	0,00%	-3,31%	3,95%	19,19%
1,17%	-0,49%	-4,86%	3,53%	17,97%
2,33%	-1,13%	-6,48%	2,65%	16,56%

Berdasarkan **Tabel 4.14** dapat dilihat bahwa pada semua tipe jembatan mengalami penurunan efektifitas akibat penambahan ketinggian *camber*. Dengan penambahan ketinggian *camber* 2,33% tipe *Pratt Truss* mengalami penurunan efektifitas sebesar 1,13%, tipe *Howe Truss* mengalami penurunan sebesar 3,17%, tipe *Warren Truss* mengalami penurunan 1,30% dan pada tipe *K-Truss* mengalami penurunan 2,63%. Jika dibandingkan antar tipe dengan cara dinormalisasi ke tipe *Pratt Truss camber* 0% maka dapat dilihat bahwa tipe rangka *K-Truss* lebih efektif 19,19% dan tipe *Warren Truss* lebih efektif 3,95% dibandingkan tipe *Pratt Truss*. Sedangkan pada tipe *Howe Truss* mengalami penurunan efektifitas sebesar 3,31% dibandingkan tipe *Pratt Truss*. Untuk mengetahui efektifitas *camber* dari perbandingan lendutan dengan berat sendiri, maka digunakan lendutan struktur dengan acuan pada saat beban 2000 kg untuk masing-masing model seperti berikut:

Tabel 4.15. Perbandingan lendutan struktur pada saat beban 2000 kg dengan berat sendiri.

Ketinggian camber (%)	Lendutan/Berat Sendiri			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	0,0460	0,0475	0,0443	0,0323
1,17%	0,0459	0,0479	0,0445	0,0326
2,33%	0,0459	0,0484	0,0447	0,0329

Hasil perbandingan lendutan dengan berat sendiri pada **Tabel 4.15** untuk semua tipe jembatan dengan penambahan ketinggian *camber* nilai perbandingan lendutan dengan berat sendiri semakin meningkat kecuali tipe *Pratt Truss*. Efektifitas *camber* dari perbandingan lendutan dengan berat sendiri dapat dihitungan dengan cara dinormalisasi pada satu nilai untuk masing-masing model. Pada **Tabel 4.15** nilai *camber* 0% yang dipakai acuan nilai perbandingan efektifitas seperti pada (**Pers. 4.7**).

Diketahui: *Pratt Truss* pada *camber* 0% → x = 0,0460

Pratt Truss pada *camber* 1,17% → x_1 = 0,0459

$$\text{Efektifitas } camber\ 1{,}17\% = \frac{x - x_1}{x} \qquad (\mathbf{4.7})$$

$$\text{Efektifitas } camber\ 1{,}17\% = \frac{0{,}0460 - 0{,}0459}{0{,}0460} = 0{,}11\%$$

Jadi pada tipe *Pratt Truss* jika menggunakan *camber* 1,17% maka mengalami peningkatan efektifitas sebesar 0,11% dibandingkan dengan model yang tidak menggunakan *camber* atau *camber* 0%. Semua tipe dilakukan perhitungan dengan cara dinormalisasi untuk mengetahui efektifitas *camber* dari perbandingan lendutan dengan berat sendiri jembatan seperti berikut:

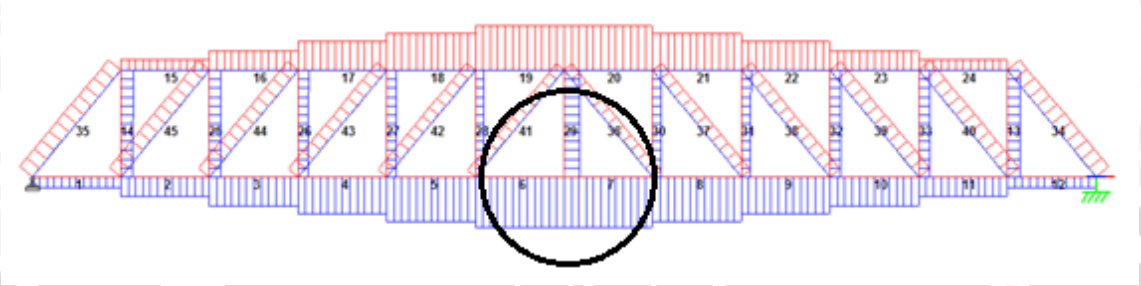
Tabel 4.16. Efektifitas *camber* berdasarkan perbandingan lendutan dengan berat sendiri jembatan.

Ketinggian camber (%)	Efektifitas *Camber* (%)			
	Pratt Truss	Howe Truss	Warren Truss	K-Truss
0%	0,00%	-3,28%	3,67%	29,74%
1,17%	0,11%	-4,29%	3,27%	29,16%
2,33%	0,11%	-5,37%	2,73%	28,52%

Berdasarkan pada **Tabel 4.16** dapat diketahui bahwa tipe rangka *Pratt Truss* satu-satunya tipe rangka yang mengalami peningkatan efektifitas *camber* berdasarkan perbandingan lendutan dengan berat sendiri dengan peningkatan 0,11% pada saat *camber* 1,17% dan 2,33%. Sedangkan penurunan efektifitas *camber* terbesar terjadi pada tipe *Howe Truss* yaitu 2,09% pada saat *camber* 2,33%, pada tipe *Warren Truss* menurun efektifitasnya sebesar 0,94% dan 1,22% pada tipe *K-Truss*. Jika dibandingkan antar tipe dengan cara dinormalisasi ke tipe *Pratt Truss camber* 0% maka dapat dilihat bahwa tipe rangka *K-Truss* lebih efektif 29,74% dan tipe *Warren Truss* lebih efektif 3,67% dibandingkan tipe *Pratt Truss.* Sedangkan tipe *Howe Truss* mengalami penurunan efektifitas sebesar 3,28% dibandingka dengan tipe *Pratt Truss.* Ada beberapa alasan yang menyebabkan tipe rangka *Howe Truss* menjadi rangka paling lemah dibandingkan dengan tipe rangka lainnya berdasarkan nilai efektifitas beban maksimum dan juga lendutan jika dibandingkan dengan berat sendiri, sebagai berikut:

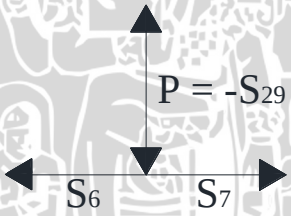
1. Analisis pembebanan yang dilakukan di tengah bentang berupa beban terpusat yang dipasang di sisi kiri dan sisi kanan jembatan;

2. Batang diagonalnya merupakan batang tekan, sedangkan pada tipe *Pratt Truss* batang diagonalnya merupakan batang tarik sehingga pada tengah bentang gaya batangnya didistribusikan ke batang diagonal dan bisa mengurangi nilai gaya batangnya (**Gambar 4.15**). Sedangkan pada tipe rangka *Warren Truss* dan *K-Truss* batang diagonalnya merupakan kombinasi batang tarik dan tekan sehingga distribusi gaya batangnya bisa seimbang, namun dengan beban yang sama di tengah bentangnya akan menghasilkan gaya batang yang identik dengan tipe rangka *Pratt Truss*.



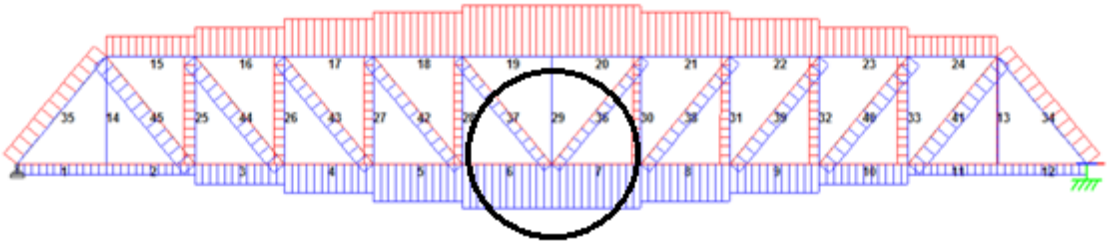
Gambar 4.15. Gaya batang pada tipe rangka *Howe Truss*

Dari **Gambar 4.15** yang dilingkari dapat digambarkan dan dijelaskan lebih detail seperti **Gambar 4.16**.



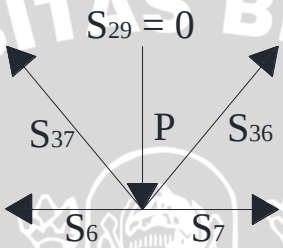
Gambar 4.16. Gaya batang metode titik buhul (*Howe Truss*).

Pada **Gambar 4.16** beban P adalah ½ beban yang bekerja pada sisi kiri dan sisi kanan pada jembatan model. S_{29} merupakan gaya batang tarik yang bekerja untuk melawan beban P yang bekerja. Semakin besar nilai P maka nilai gaya batang tarik pada S_{29} juga semakin besar. Dari sini alasan tipe rangka *Howe Truss* mengalami lendutan paling besar telah bisa dijawab, yaitu karena nilai beban P berbanding lurus dengan lendutan. Apabila batang mempunyai nilai kekakuan yang sama, jika diberi beban bertahap maka batang tersebut akan mengalami *deformasi* atau lendutan yang linier. Berbeda dengan tipe jembatan *Pratt Truss* apabila dibebani di tengah bentang maka batang vertikal ditengah bentangnya merupakan batang nol. Beban P yang bekerja akan dilawan oleh batang-batang diagonalnya (**Gambar 4.17**).



Gambar 4.17. Gaya batang pada tipe rangka *Pratt Truss*

Dari **Gambar 4.17** yang dilingkari dapat digambarkan dan dijelaskan lebih detail seperti **Gambar 4.18**.

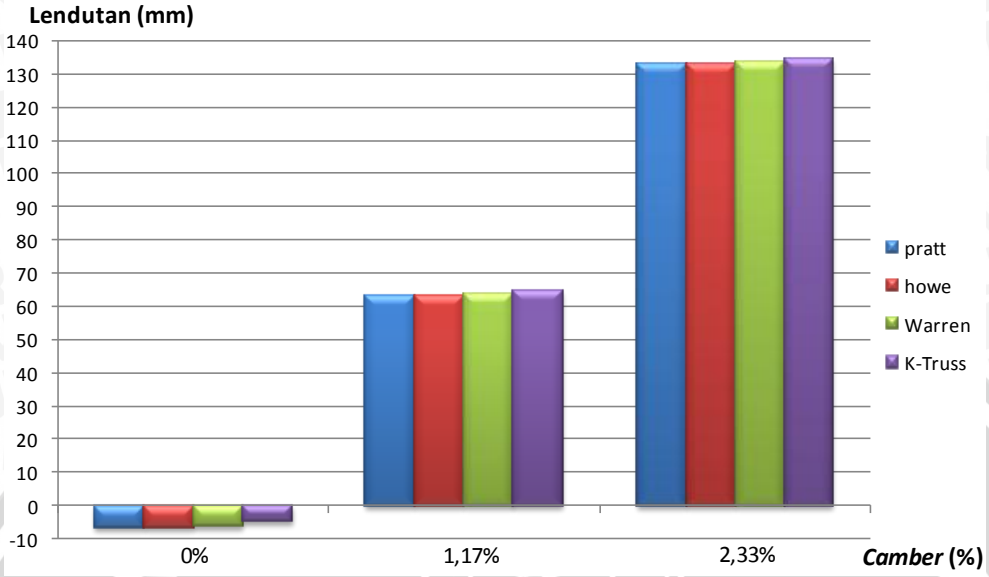


Gambar 4.18. Gaya batang metode titik buhul (*Pratt Truss*).

Berdasarkan **Gambar 4.18** terlihat perbedaan gaya batang di tengah bentang pada tipe rangka *Pratt Truss* dengan tipe rangka *Howe Truss*. Bahwa pada tipe *Pratt Truss* beban P yang bekerja di sisi kiri dan kanan jembatan tidak dilawan oleh batang S_{29} melainkan dilawan oleh dua batang yaitu batang S_{36} dan S_{37} sehingga nilai P yang terdistribusi akan terbagi dua nilainya pada batang S_{36} dan S_{37} dengan nilai yang sama besar. Sehingga kalau mengacu pada hubungan gaya dan lendutan yang berbanding lurus maka sudah pasti dengan beban P yang sama besar tipe rangka *Pratt Truss* menghasilkan nilai gaya batang tarik di tengah bentang yang lebih kecil kemudian nilai lendutannya juga akan lebih kecil pula. Begitu juga yang terjadi pada tipe rangka jembatan *Warren Truss* dan *K-Truss*.

Kalau melihat hasil lendutan yang terjadi semakin tinggi *camber* maka semakin besar pula nilai lendutannya, oleh karena itu *camber* bukanlah metode untuk memperkuat struktur atau mengurangi lendutan struktur melainkan untuk menambah *opening span* atau ruang yang ada di bawah jembatan untuk memperlancar aktivitas atau transportasi yang melewati kolong jembatan. Histograf pada **Gambar 4.19** menggambarkan besarnya sisa ruang di bawah jembatan dengan variasi *camber* `yang diberikan akibat beban 2000 kg. Dipilih acuan beban 2000 kg karena beban terbesar

yang mampu ditahan oleh seluruh model sebelum mengalami lendutan struktur melebihi lendutan ijin yaitu 7,50 mm.



Gambar 4.19. Lendutan total pada saat beban 2000 kg.

Pada **Gambar 4.19** merupakan hasil analisis dengan menggunakan *software* analisis struktur berupa nilai lendutan total yaitu ketinggian *camber* dikurangi dengan lendutan struktur. Hasilnya menunjukan bahwa dari keempat jenis kofigurasi, konfigurasi *K-Truss* dengan *camber* 2,33% merupakan kofigurasi yang memiliki *opening span* paling tinggi yaitu 134,84 mm dari garis nol. Sehingga pada tipe ini memungkinkan adanya aktivitas yang lebih leluasa di bawah jembatan dibandingkan model lain.