

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Uji Tarik Baja Profil Siku

Uji tarik baja dilakukan untuk mendapatkan nilai elastisitas bahan yang selanjutnya digunakan untuk menghitung gaya batang pada hasil pengujian. Uji tarik ini dilakukan dengan menggunakan 4 buah spesimen No. 14B sesuai dengan SNI 07-0371-1998. Untuk memperoleh nilai elastisitas, data yang digunakan adalah luas penampang, regangan, dan gaya tarik. Pada pengujian tarik ini digunakan *strain gauge* untuk mengetahui nilai regangan. Plotter grafik dari hasil uji tarik UTM hanya digunakan sebagai acuan untuk mengetahui batas titik lelehnya. Berikut foto-foto ketika uji tarik.



Gambar 4. 1 Spesimen uji tarik baja



Gambar 4. 2 Pemasangan spesimen pada UTM



**Gambar 4. 3** Pengoperasian UTM



**Gambar 4. 4** Spesimen putus setelah diuji

Dari pengujian didapatkan gaya tarik, regangan, dan luas penampang tarik spesimen. Pada tabel 4.1, terdapat regangan dan tegangan dari persamaan 4.1:

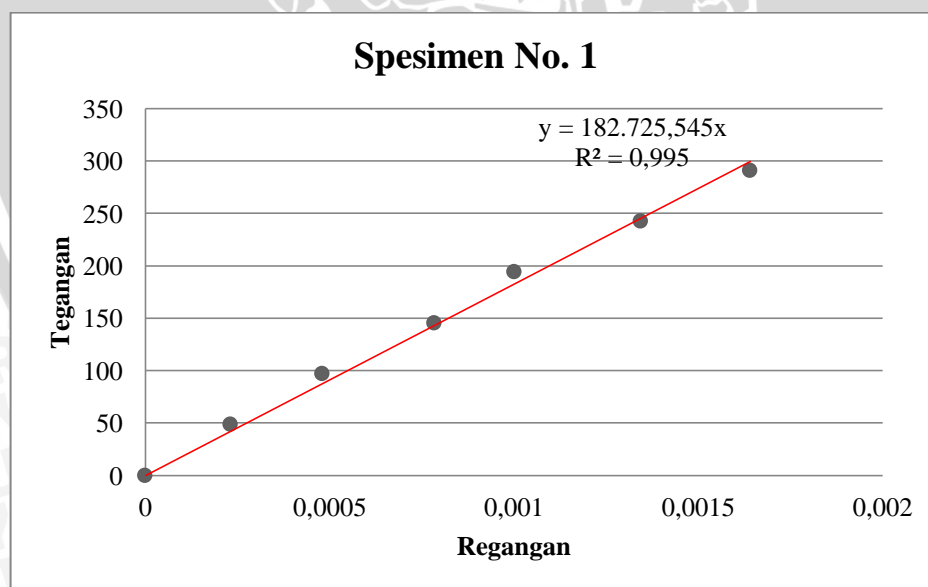
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4-1)$$

**Tabel 4. 1** Hubungan tegangan-regangan uji tarik baja

Spesimen No. 1		Spesimen No. 2		Spesimen No. 3		Spesimen No. 4	
P/A	$\epsilon$	P/A	$\epsilon$	P/A	$\epsilon$	P/A	$\epsilon$
0	0	0	0	0	0	0	0
48,522	0,000231	49,219	0,000287	53,379	0,000250	55,848	0,000325
97,045	0,000481	98,437	0,000565	106,758	0,000607	111,695	0,000573
145,567	0,000785	147,656	0,000841	160,137	0,000899	167,543	0,000838
194,089	0,001002	196,875	0,001030	213,516	0,001136	223,390	0,001187
242,611	0,001345	246,093	0,001301	266,894	0,001432	279,238	0,001423
291,134	0,001641	307,617	0,001652	333,618	0,001910	321,123	0,001885

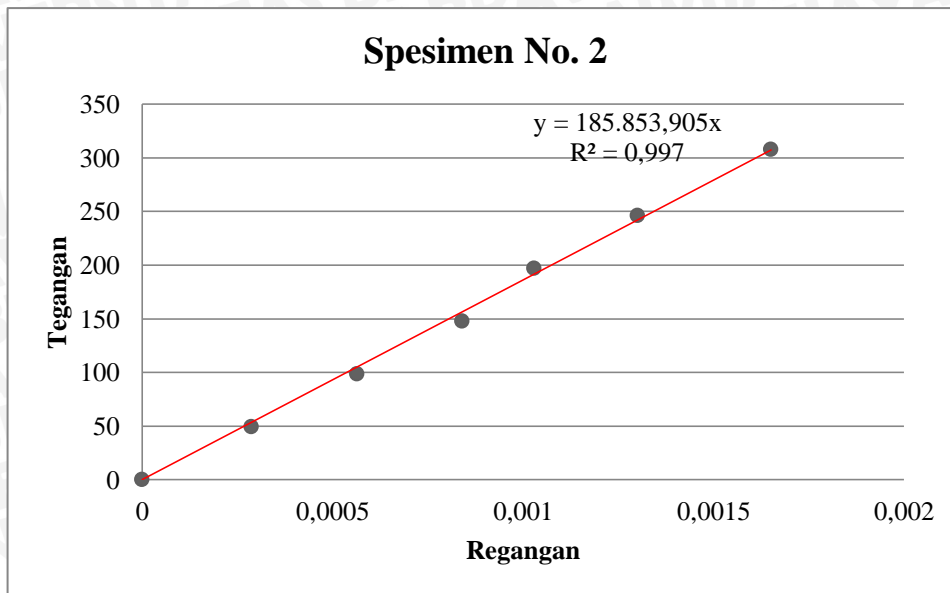
\*warna merah menandakan sebelum kondisi leleh

Hasil tabel tersebut diplotkan ke grafik hubungan tegangan regangan seperti berikut. Kemudian diperoleh regresi linear dan persamaannya untuk menghitung nilai elastisitas pada masing-masing spesimen uji. Hasil elastisitas pada masing-masing spesimen uji dihitung rata-ratanya sehingga diperoleh nilai elastisitas akhir. Hasil inilah yang kemudian dipakai untuk tahap perhitungan gaya batang pada pengujian jembatan.

**Gambar 4. 5** Grafik hubungan tegangan-regangan spesimen No. 1

Diambil  $x=0,0008$ , maka nilai  $y = 146,1808$

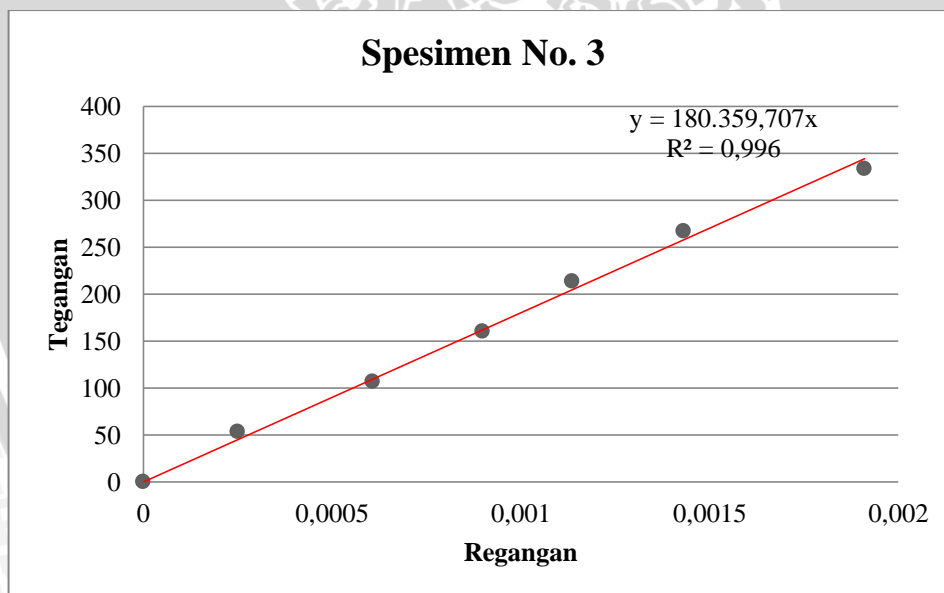
Sehingga  $E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{146,1808}{0,0008} = 182.726 \text{ MPa}$



**Gambar 4. 6** Grafik hubungan tegangan-regangan spesimen No. 2

Diambil  $x=0,0008$ , maka nilai  $y = 148,6831$

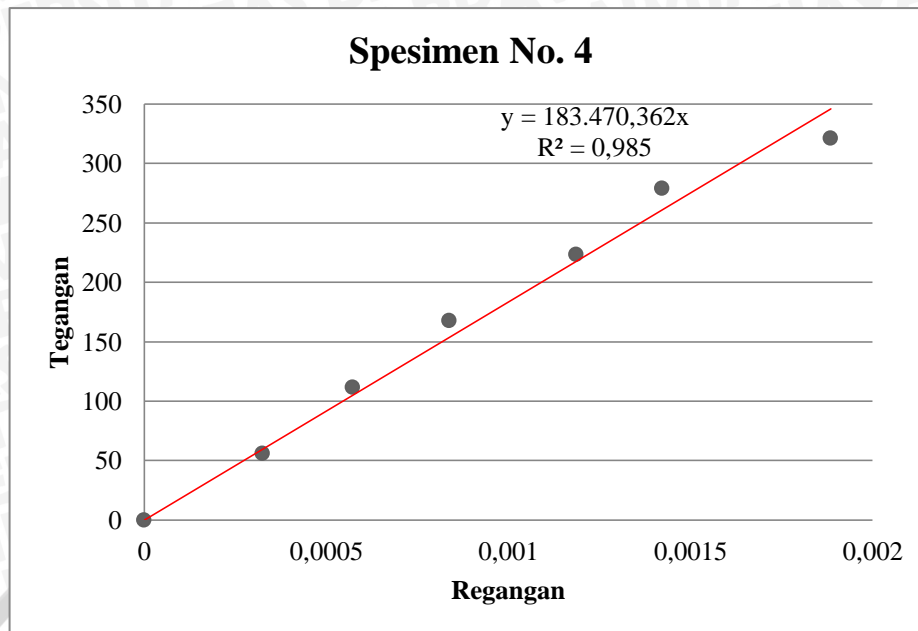
$$\text{Sehingga } E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{148,6831}{0,0008} = 185.854 \text{ MPa}$$



**Gambar 4. 7** Grafik hubungan tegangan-regangan spesimen No. 3

Diambil  $x=0,0008$ , maka nilai  $y = 144,2878$

$$\text{Sehingga } E_3 = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{144,2878}{0,0008} = 180.360 \text{ MPa}$$



**Gambar 4. 8** Grafik hubungan tegangan-regangan spesimen No. 4

Diambil  $x=0,0008$ , maka nilai  $y = 146,7763$

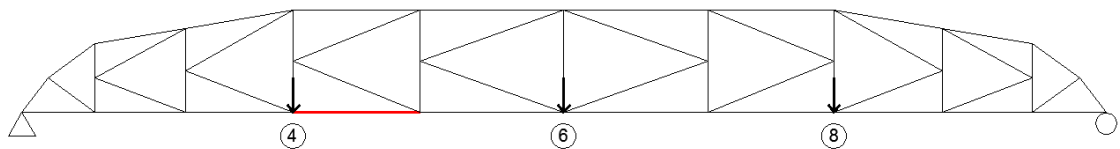
$$\text{Sehingga } E_4 = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{146,7763}{0,0008} = 183.470 \text{ MPa}$$

$$\text{Diperoleh } E_{rata-rata} = \frac{\sum E}{n} = \frac{E_1+E_2+E_3+E_4}{n} = 183.102,5 \text{ MPa}$$

## 4.2. Perhitungan Teoritis

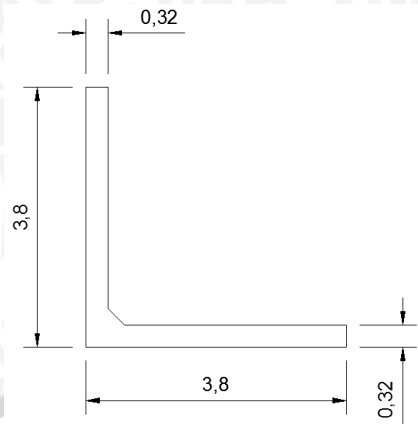
### 4.2.1. Perhitungan Gaya Batang

Penelitian dilakukan 1 batang tepi bawah jembatan seperti pada gambar 4.9. Pengujian dilakukan pada titik 4, 6, dan 8.



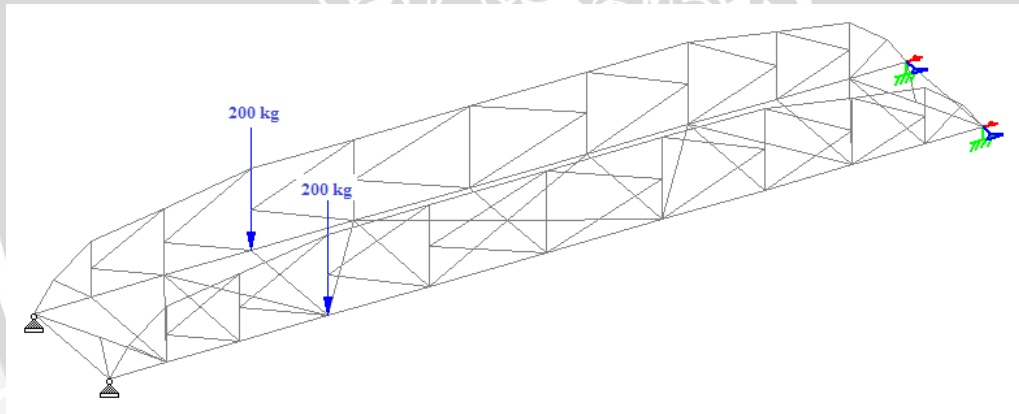
**Gambar 4. 9** Pengujian pada titik 4, 6, dan 8 dan garis merah adalah batang yang diuji

Luas Penampang Profil Siku yang diperoleh dengan pengukuran langsung pada jembatan model dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut.

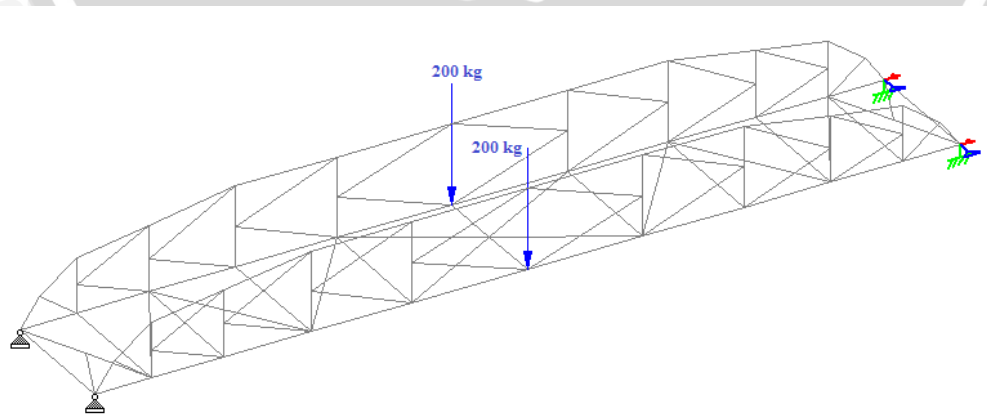


**Gambar 4. 10** Penampang profil jembatan

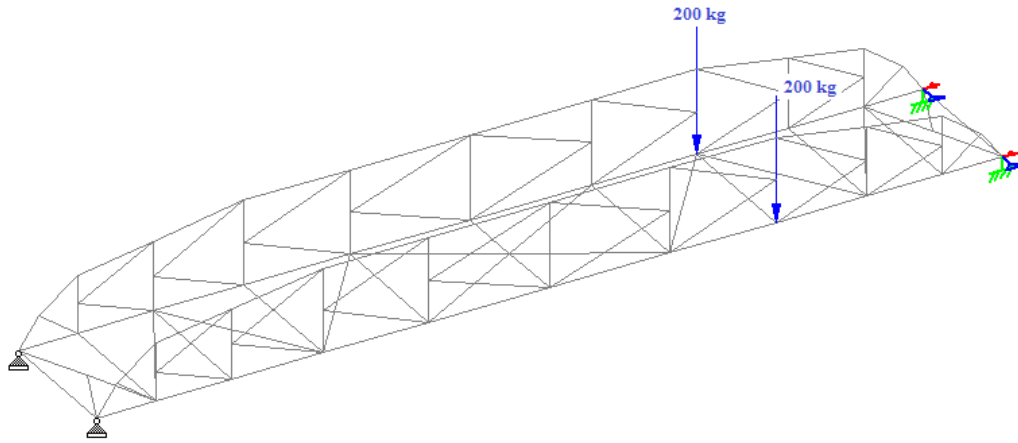
Perhitungan teoritis dilakukan dengan menggunakan *software*. Awal perhitungan dilakukan dengan input data dimensi profil, elastisitas, massa jenis sesuai dengan yang ada dengan di jembatan. Perhitungan dengan *software* dilakukan dengan model rangka 3D. Sedangkan untuk pembebanan dengan beban 400 kg pada gelagar melintang dilakukan dengan beban titik sebesar 200 kg di sebelah kiri dan kanan. Gambar model rangka dan pembebanan dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



**Gambar 4. 11** Pembebanan pada titik 4 (1/4 bentang dekat sendi)



**Gambar 4. 12** Pembebanan pada titik 6 (1/2 bentang)



**Gambar 4. 13** Pembebanan pada titik 8 (1/4 bentang dekat rol)

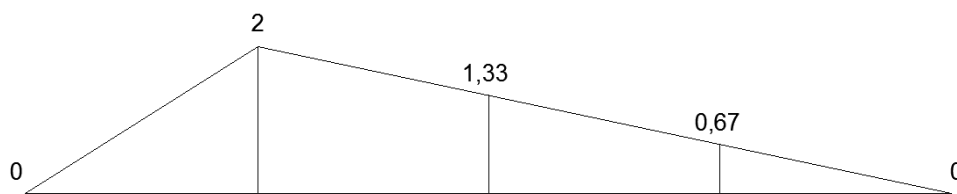
Dari hasil analisa *software*, diperoleh gaya batang seperti pada tabel 4.2.

**Tabel 4. 2** Gaya batang akibat beban berjalan sebesar 400 kg dengan hasil analisa *software*

Beban di Titik	Gaya Batang (kg)
4	404,501
6	270,230
8	136,643

**4.2.2. Perhitungan Garis Pengaruh Batang**

Perhitungan garis pengaruh dilakukan dengan menggunakan *software* dan dilakukan terhadap rangka jembatan 2 dimensi. Beban yang diberikan sebesar 1 kg berjalan pada titik 4, 5 dan 6. Hasil perhitungan garis pengaruh dapat dilihat pada gambar 4.14.



**Gambar 4. 14** Garis pengaruh batang tepi bawah



#### 4.2.3. Perhitungan Regangan Batang

Dalam perhitungan teoritis regangan batang diperoleh dari hasil gaya batang analisa software. Hasil perhitungan regangan dapat dilihat pada tabel 4.3. Dengan menggunakan nilai elastisitas, dan luas penampang, maka regangan dapat dihitung dengan persamaan 4.2

$$\varepsilon = \frac{P}{E \cdot A} \quad (4-2)$$

**Tabel 4. 3** Perhitungan regangan batang dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Gaya Batang (kg)	$\varepsilon = \frac{P}{E \cdot A}$
4	404,501	0,00009361
6	270,230	0,00006254
8	136,643	0,00003162

#### 4.2.4. Perhitungan Tegangan Batang

Tegangan batang diperoleh dari hasil perhitungan gaya batang dan luas penampang. Hasil perhitungan tegangan teoritis dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut.

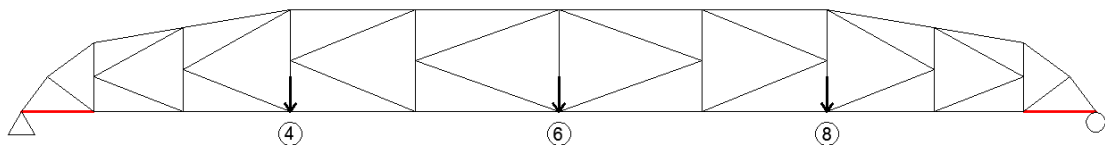
Luas penampang (A) = 2,360 cm<sup>2</sup>

**Tabel 4. 4** Perhitungan tegangan batang teoritis dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Gaya Batang (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
4	404,501	71,399
6	270,230	14,504
8	136,643	57,900

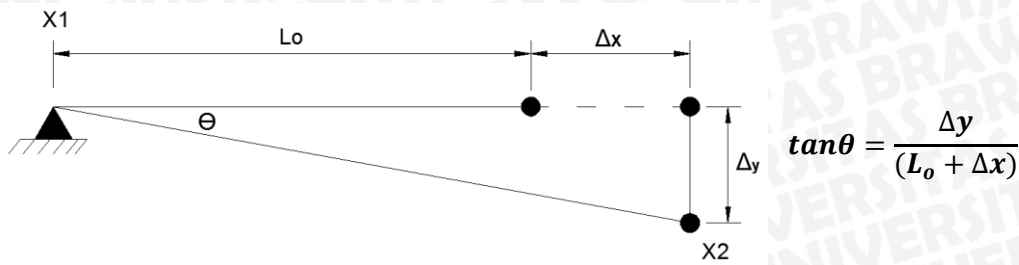
#### 4.2.5. Perhitungan Rotasi Batang

Penelitian nilai rotasi dilakukan pada di ujung dekat tumpuan sendi dan rol seperti pada gambar 4.15 dan 4.16.



**Gambar 4. 15** Warna merah menunjukkan batang yang dihitung rotasinya, batang di dekat sendi dan di dekat rol





**Gambar 4. 16** Rotasi dihitung dari hasil perpindahan titik buhul batang yang diuji yang diperoleh dari analisa *software*.

Dari perhitungan teoritis, rotasi diperoleh dari perpindahan atau *displacement* titik buhul di dekat tumpuan. Nilai rotasi dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.6.

**Tabel 4. 5** Rotasi di tumpuan sendi akibat beban 400 kg

Posisi Beban	Lo (mm)	x1	x2	$\Delta x$	$\Delta y$	$\tan \theta = \frac{\Delta y}{(L_0 + \Delta x)}$	$\theta^\circ$	$\theta$ (rad)
Titik 4	400	0	0,01075	0,01075	0,28357	0,0006775	0,03881684	0,000677138
Titik 6	400	0	0,00725	0,00725	0,24859	0,0006775	0,03881718	0,000677144
Titik 8	400	0	0,00385	0,00385	0,15663	0,0006775	0,03881751	0,000677150

**Tabel 4. 6** Rotasi di tumpuan rol akibat beban 400 kg

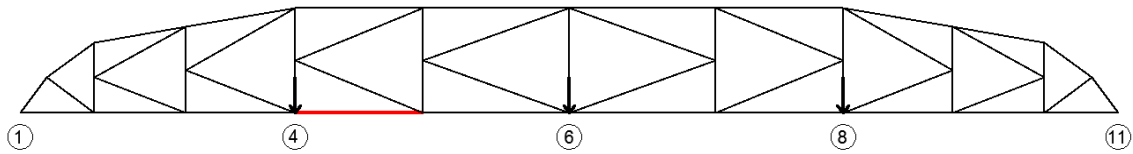
Posisi Beban	Lo (mm)	x1	x2	$\Delta x$	$\Delta y$	$\tan \theta = \frac{\Delta y}{(L_0 + \Delta x)}$	$\theta^\circ$	$\theta$ (rad)
Titik 4	400	0,25852	0,25504	0,00348	0,15581	0,0006775	0,03881755	0,000677151
Titik 6	400	0,29274	0,28580	0,00694	0,24795	0,0006775	0,03881721	0,000677145
Titik 8	400	0,25855	0,24815	0,01040	0,28285	0,0006775	0,03881688	0,000677139

Dari tabel di atas, nilai rotasi dihitung dari perubahan  $\Delta x$  dan  $\Delta y$ . Pada batang di dekat tumpuan sendi,  $\Delta x$  dan  $\Delta y$  semakin kecil ketika beban berjalan ke posisi titik 8 atau semakin menjauhi batang uji tersebut. Sedangkan batang di dekat tumpuan rol,  $\Delta x$  dan  $\Delta y$  semakin besar ketika beban berjalan ke posisi titik 8 atau semakin mendekati batang uji tersebut. Meskipun ada perubahan  $\Delta y$ , namun rotasi yang terjadi di berbagai posisi beban tidak menimbulkan perbedaan nilai rotasi yang besar. Hal ini disebabkan karena rotasi tidak hanya dihitung dari  $\Delta y$ , namun juga  $\Delta x$  yang merupakan pertambahan panjang batang.

### 4.3. Perhitungan Hasil Pengujian

#### 4.3.1. Perhitungan Regangan Batang

Pengujian dilakukan 1 batang tepi bawah jembatan seperti pada gambar 4.17. Dan gambar 4.18 merupakan pemasangan *strain gauge* yang berada pada tengah-tengah panjang batang.



**Gambar 4. 17** Warna merah menunjukkan Letak batang tepi bawah yang diuji.  
Pembebanan dilakukan pada titik 4, 6, dan 8



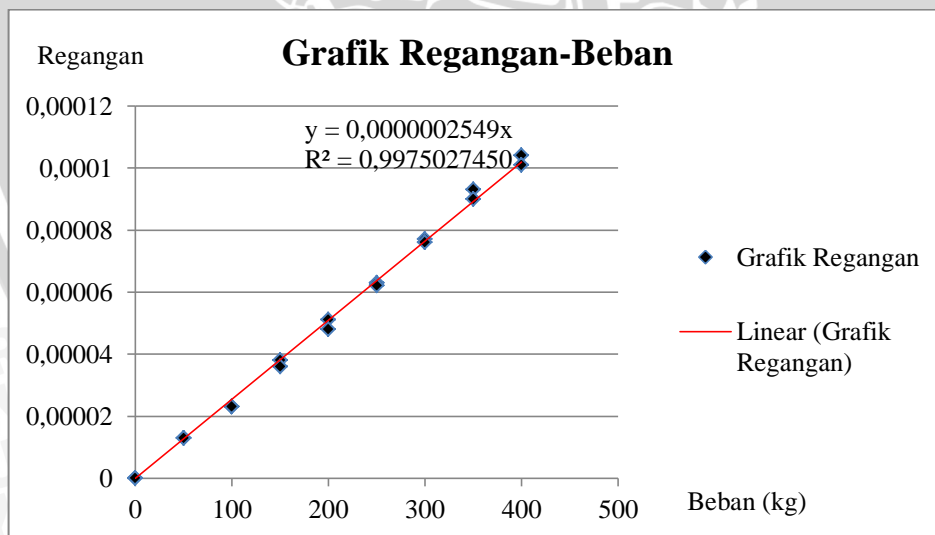
**Gambar 4. 18** Pemasangan strain gauge pada batang

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan beban titik yang disalurkan merata dengan *spreader beam* sesuai dengan peraturan Kompetisi Jembatan Indonesia Tahun 2013. Pembebanan dilakukan bertahap dengan kelipatan beban 50 kg hingga beban maksimal 400 kg. Pembebanan dilakukan bergantian pada titik 4, 6, dan 8.



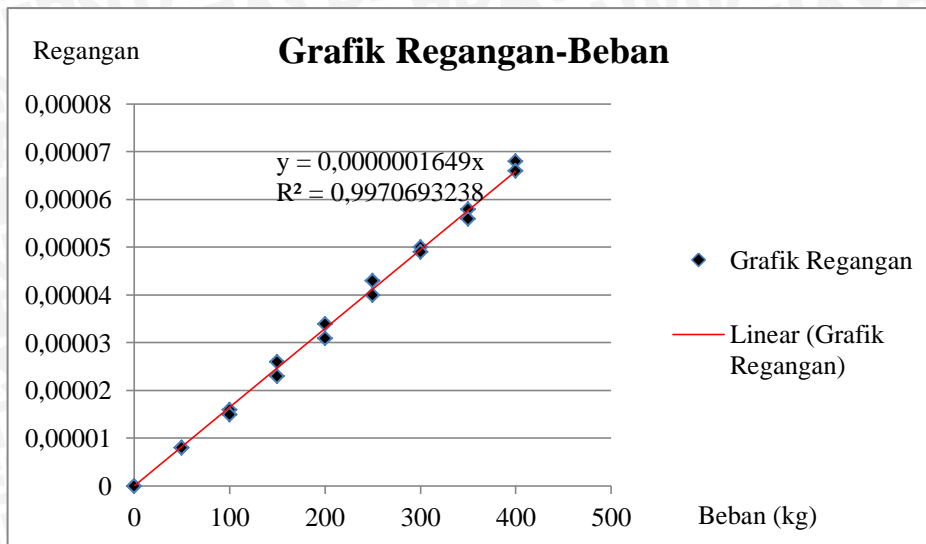
**Gambar 4. 19** Pengaturan pembebanan pada jembatan

Nilai regangan dicatat ketika beban berhenti di setiap kelipatan beban 50 kg. Sehingga diperoleh grafik hubungan beban dan regangan seperti pada gambar-gambar berikut. Dari grafik tersebut diperoleh persamaan regresi linear, sehingga untuk menghitung nilai regangan digunakan persamaan tersebut.



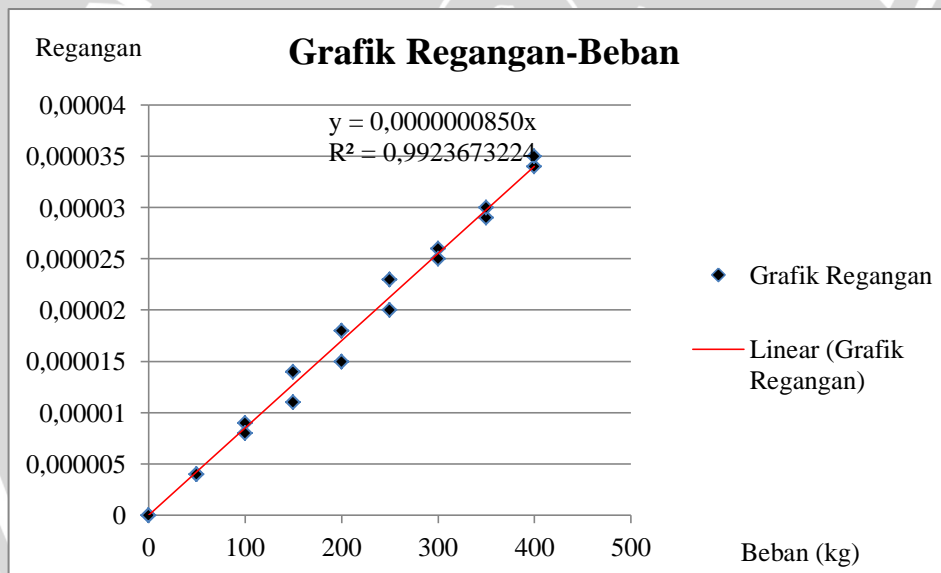
**Gambar 4. 20** Grafik hasil pengujian di titik 4

Beban 400 kg, Regangan = 0,00010196



**Gambar 4. 21** Grafik hasil pengujian di titik 6

Beban 400 kg, Regangan = 0,00006596



**Gambar 4. 22** Grafik hasil pengujian di titik 8

Beban 400 kg, Regangan = 0,0000340

**Tabel 4. 7** Perhitungan regangan pengujian dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Regangan ( $\epsilon$ )
4	0,00010196
6	0,00006596
8	0,00003400

#### 4.3.2. Perhitungan Gaya Batang

Setelah didapatkan nilai elastisitas dari uji tarik spesimen, luas permukaan, dan regangan dari hasil uji pembebanan jembatan, maka didapatkan gaya batang pada seperti pada tabel 4.8 berikut.

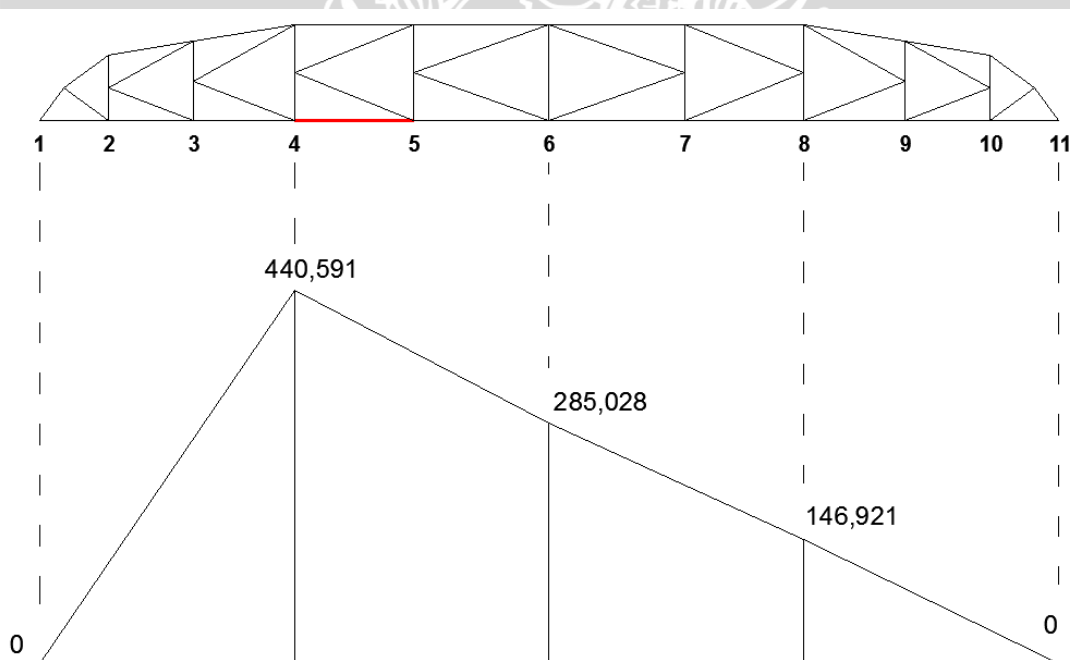
Luas penampang,  $A=2,360 \text{ cm}^2 = 236 \text{ mm}^2$

Elastisitas baja = 183.102,5 Mpa

**Tabel 4. 8** Gaya batang hasil pengujian dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Regangan	Gaya Batang (N)	Gaya Batang (kg)
4	0,00010196	4.405,915	440,591
6	0,00006596	2.850,276	285,028
8	0,00003400	1.469,214	146,921

Gaya batang hasil pengujian tersebut diplotkan pada diagram seperti pada gambar 4.23. Tujuannya adalah melihat besar gaya batang akibat beban berjalan dan kemudian disesuaikan polanya dengan garis pengaruh batang.



**Gambar 4. 23** Gaya batang hasil pengujian

#### 4.3.3. Perhitungan Tegangan Batang

Tegangan batang diperoleh dari hasil perhitungan gaya batang dan luas penampang. Hasil perhitungan tegangan teoritis dapat dilihat pada tabel 4.9.

Luas penampang ( $A$ ) = 2,360 cm<sup>2</sup>

**Tabel 4. 9** Tegangan batang akibat beban 400 kg

Beban di Titik	Gaya Batang (kg)	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )
4	440,591	186,691
6	285,028	120,774
8	146,921	62,255

#### 4.3.4. Perhitungan Rotasi Batang

Untuk mendapatkan nilai rotasi pada pengujian, digunakan *inklinometer* dengan ketelitian 0,05° yang langsung diletakkan pada batang di dekat tumpuan. Perletakan *inklinometer* bisa dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 4. 24** Perletakan inklinometer pada batang

Pembacaan inklinometer dilakukan setiap kelipatan beban 50 kg hingga beban maksimal 400 kg bersamaan dengan pembacaan regangan batang.

**Tabel 4. 10** Rotasi Akibat Beban di Titik 4

Beban (kg)	Rotasi Pengujian I (°)		Rotasi Pengujian II (°)		Rata-rata (°)	
	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol
0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0
250	0,05	0	0	0	0,025	0
300	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
350	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
400	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

**Tabel 4. 11** Rotasi Akibat Beban di Titik 6

Beban (kg)	Rotasi Pengujian I (°)		Rotasi Pengujian II (°)		Rata-rata (°)	
	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol
0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0
250	0	0	0	0	0	0
300	0,05	0	0,05	0,05	0,05	0,025
350	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
400	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

**Tabel 4. 12** Rotasi Akibat Beban di Titik 8

Beban (kg)	Rotasi Pengujian I (°)		Rotasi Pengujian II (°)		Rata-rata (°)	
	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol
0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0
200	0	0	0	0	0	0
250	0	0,05	0	0,05	0	0,05
300	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
350	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
400	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

**Tabel 4. 13** Tabel rotasi pengujian dalam satuan radian dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Rotasi Pengujian (°)		Rotasi Pengujian (rad)	
	Dekat Sendi	Dekat Rol	Dekat Sendi	Dekat Rol
4	0,05	0,05	0,0008722	0,0008722
6	0,05	0,05	0,0008722	0,0008722
8	0,05	0,05	0,0008722	0,0008722

#### 4.4. Perbandingan Perhitungan Teoritis dan Pengujian

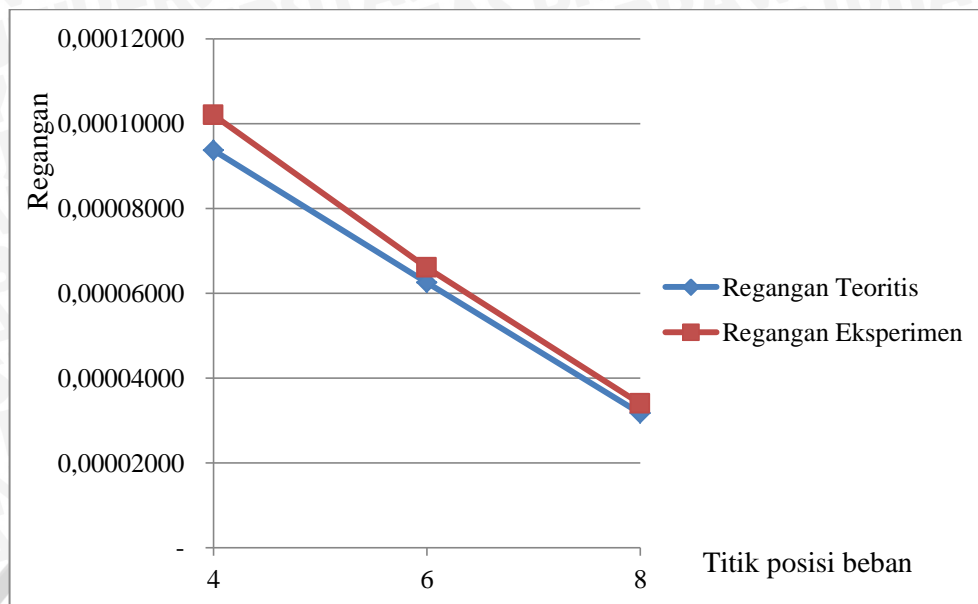
##### 4.4.1. Perbandingan Regangan Batang

Nilai perbandingan regangan batang teoritis dan pengujian dinyatakan dalam persentase perbandingan. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.14 dan grafik pada gambar 4.25 berikut.

**Tabel 4. 14** Perbandingan regangan batang teoritis dan pengujian dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Regangan		% Perbandingan
	Teoritis	Pengujian	
4	0,00009361	0,00010196	8,922
6	0,00006254	0,00006596	5,476
8	0,00003162	0,00003400	7,522





**Gambar 4. 25** grafik hubungan posisi beban dan regangan

Regangan terbesar terjadi pada posisi beban di titik 4 yang merupakan posisi beban terdekat dengan batang tepi bawah yang diuji dan regangan terkecil saat posisi beban di titik 8 yang merupakan posisi beban terjauh dari batang tepi bawah yang diuji. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semakin dekat posisi beban dengan batang tepi bawah yang diuji maka semakin besar pula regangannya. Dan semakin jauh posisi beban dari batang uji maka semakin kecil pula regangannya.

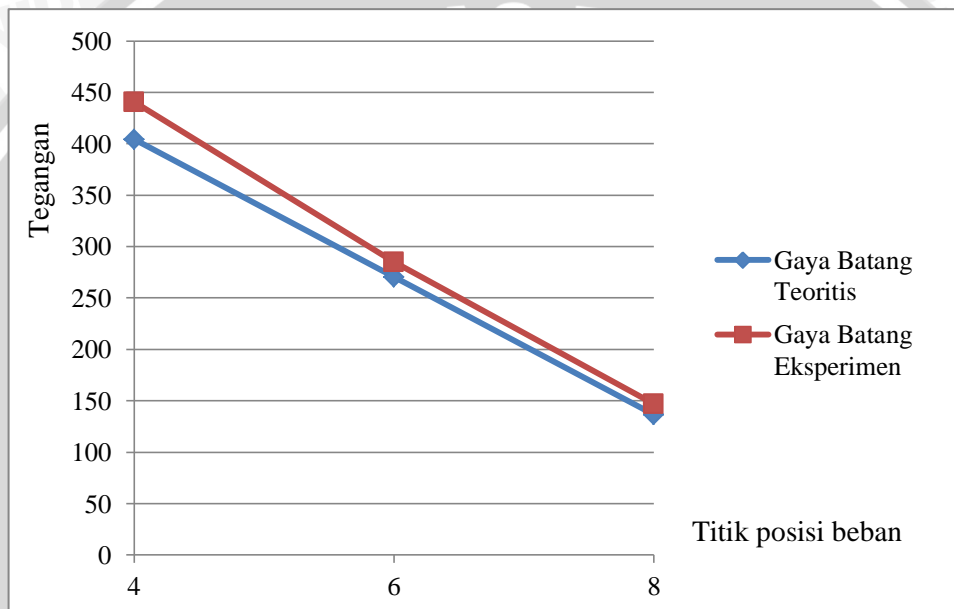
Terdapat perbedaan antara regangan hasil perhitungan teoritis dan pengujian yang dinyatakan dalam persentase perbandingan. Perbedaan ini disebabkan karena penerapan sambungan pada rangka model berbeda dari perhitungan teoritis. Salah satunya yaitu letak baut yang menyalurkan garis kerja gaya tidak tepat pada titik berat profil batang. Dalam buku (Indrawahyuni, Dewi, & Prastumi, 2010) dijelaskan bahwa regangan normal di seluruh volume batang terjadi apabila beban bekerja melalui pusat berat penampang dan bahannya homogen.

#### 4.4.2. Perbandingan Gaya Batang

Nilai perbandingan antara gaya batang teoritis dan pengujian dinyatakan dalam persentase perbandingan. Perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.15 dan grafik pada gambar 4.26 berikut.

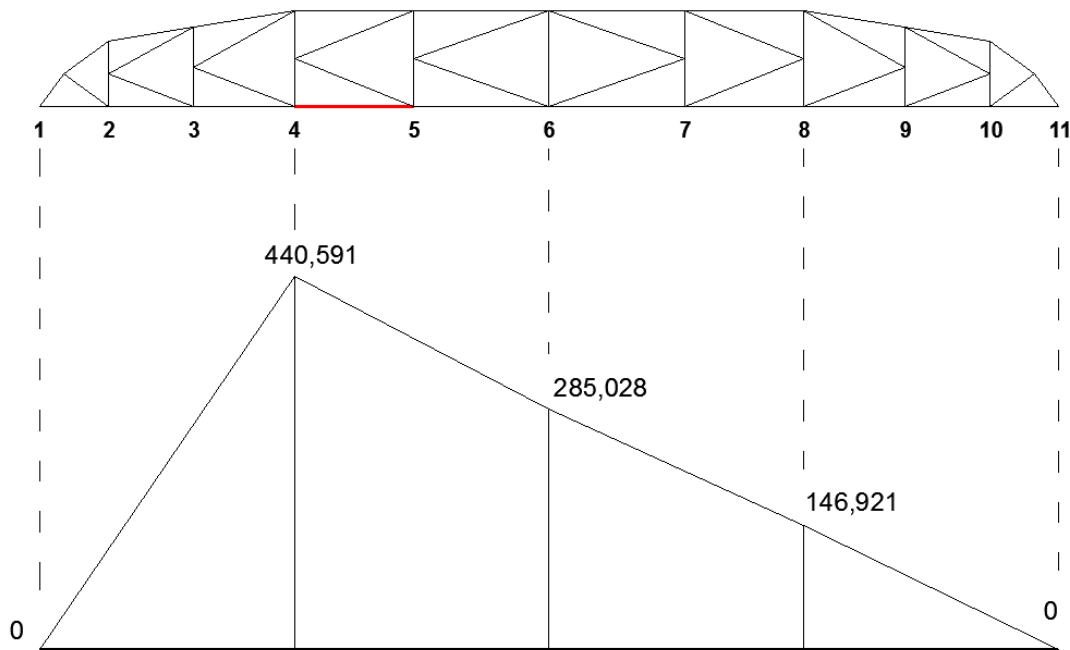
**Tabel 4. 15** Perbandingan gaya batang teoritis dan pengujian dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Gaya Batang (kg)		% Perbandingan
	Teoritis	Pengujian	
4	404,501	440,591	8,922
6	270,230	285,028	5,476
8	136,643	146,921	7,522

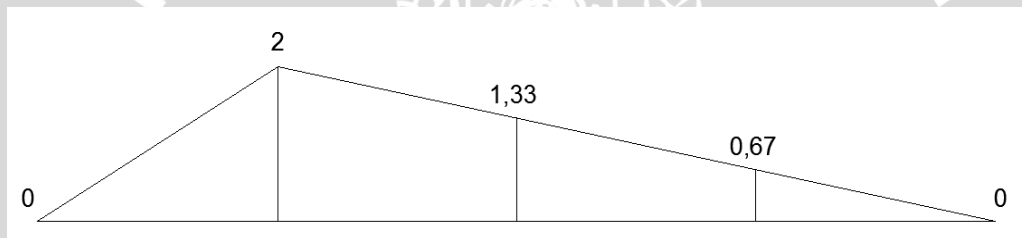
**Gambar 4. 26** Grafik perbandingan gaya batang teoritis dan pengujian akibat beban 400 kg di titik 4, 6, 8

Terdapat perbedaan antara tegangan hasil perhitungan teoritis dan pengujian yang dinyatakan dalam persentase perbandingan. Penyebab perbedaan ini sama dengan penyebab perbedaan regangan pada sub bab sebelumnya yaitu penerapan sambungan titik buhul pada rangka model berbeda dari perhitungan teoritis.

Gaya batang terbesar terjadi pada posisi beban di titik 4 dan terkecil saat posisi beban di titik 8. Batang yang diuji terletak dekat dengan posisi beban di titik 4. Sehingga bisa disimpulkan bahwa semakin dekat posisi beban dengan batang tepi bawah yang diuji maka semakin besar pula gaya batangnya dan semakin jauh posisi beban maka semakin kecil pula gaya batangnya.



**Gambar 4. 27** Gaya batang hasil pengujian



**Gambar 4. 28** Garis pengaruh teoritis batang tepi bawah

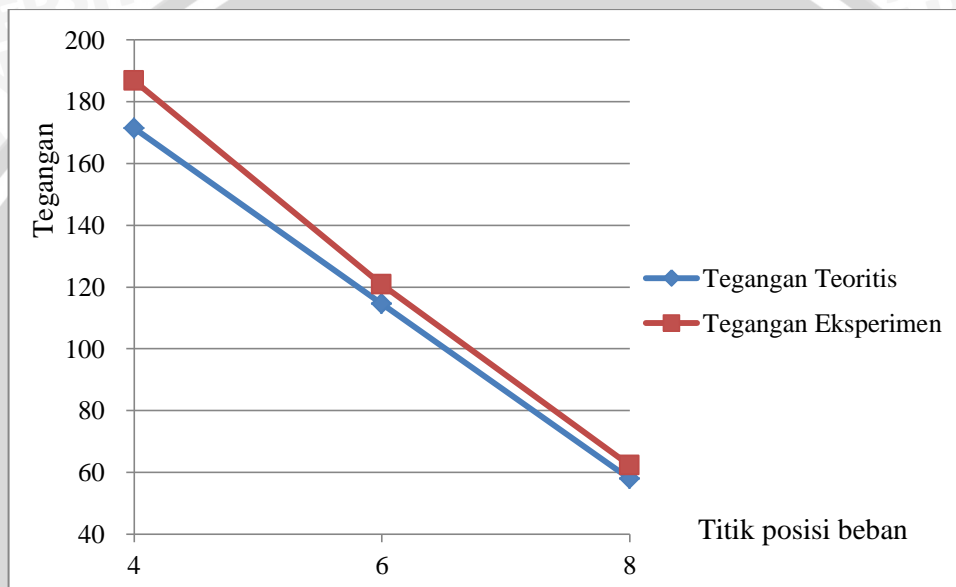
Dari hasil pengujian yang diperoleh, gaya batang menyerupai pola garis pengaruh batang pada gambar 4.28, dimana pada titik 4 merupakan gaya batang terbesar dan semakin ke ujung gaya batang semakin mengecil. Pada ujung jembatan tidak dilakukan pembebanan karena selain dalam perhitungan teoritis nilai gaya batangnya nol, juga sulit dilakukan pembebanan karena tidak ada tempat perletakan abutmen di bawah *frame* uji.

#### 4.4.3. Perbandingan Tegangan Batang

Perbandingan nilai tegangan batang teoritis dan hasil pengujian dinyatakan dalam persen (%). Nilai perbandingan dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4. 16** Perbandingan perhitungan tegangan teoritis dan hasil pengujian dengan beban 400 kg

Beban di Titik	Tegangan (kg/cm <sup>2</sup> )		% Perbandingan
	Teoritis	Pengujian	
4	71,399	186,691	8,922
6	14,504	120,774	5,476
8	7,900	62,255	7,522



**Gambar 4. 29** Grafik perbandingan tegangan teoritis dan pengujian akibat beban 400 kg di titik 4, 6, 8

Terdapat perbedaan antara nilai tegangan teoritis dan pengujian yang dinyatakan dalam persentase perbandingan. Persentase perbandingan terbesar terletak pada kondisi beban di titik 4 yaitu  $\frac{1}{4}$  bentang di dekat sendi. Penyebab perbedaan ini sama dengan penyebab perbedaan regangan pada sub bab sebelumnya yaitu penerapan sambungan titik buhul pada rangka model berbeda dari perhitungan teoritis.

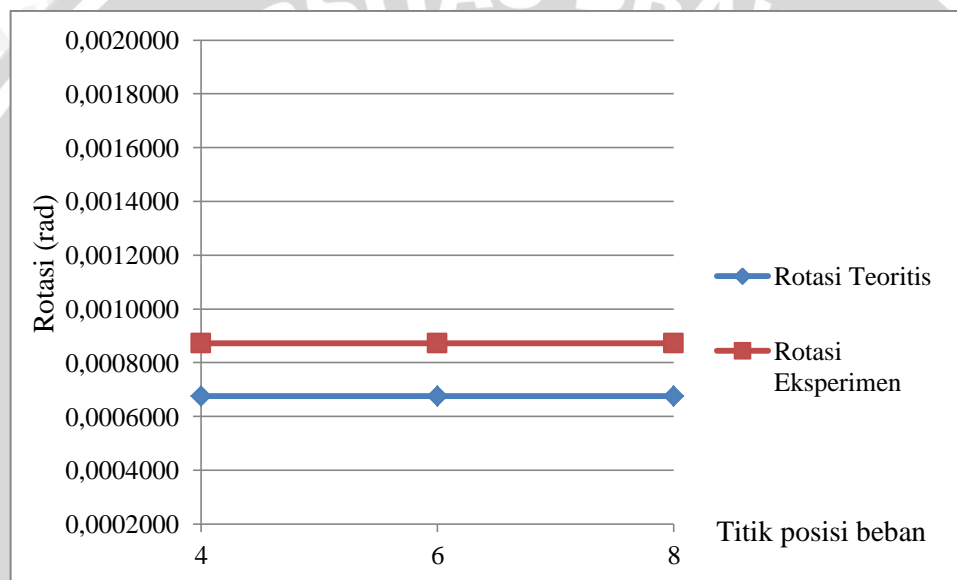
Dari grafik pada gambar 4.29 di atas, disimpulkan bahwa semakin dekat posisi beban dengan batang tepi bawah yang diuji, maka semakin besar tegangan yang terjadi. Batang tepi bawah yang diuji berada dekat dengan posisi beban di titik 4 sehingga tegangan terbesar ketika beban di titik tersebut dan tegangan terkecil saat posisi beban di titik 8.

#### 4.4.4. Perbandingan Rotasi Batang

Hasil perbandingan rotasi batang dekat sendi dan rol dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

**Tabel 4. 17** Perbandingan rotasi batang dekat sendi akibat beban 400 kg

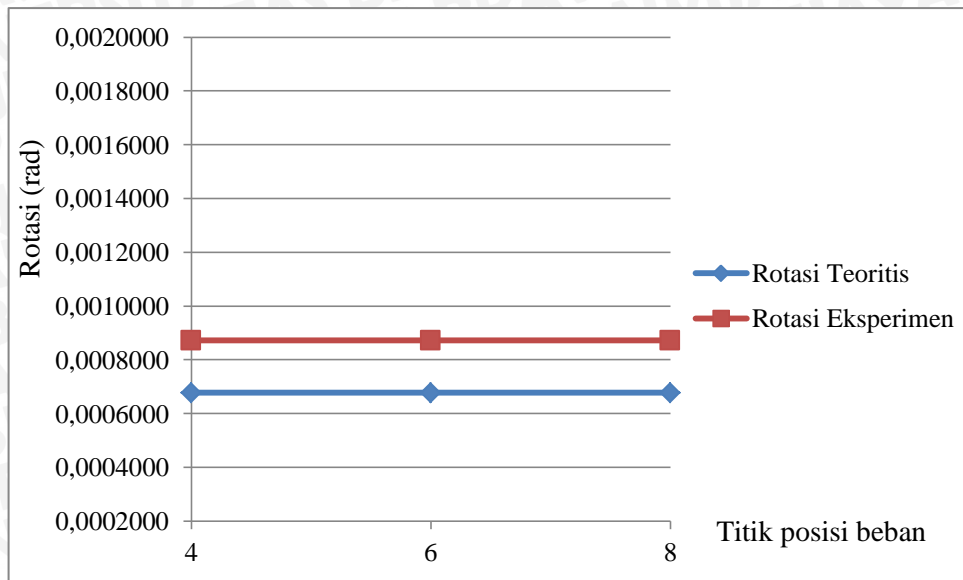
Beban di Titik	Rotasi Dekat Sendi		% Perbandingan
	Teoritis	Pengujian	
4	0,0006771	0,0008722	22,366
6	0,0006771	0,0008722	22,366
8	0,0006771	0,0008722	22,365



**Gambar 4. 30** Grafik posisi beban terhadap rotasi batang dekat sendi

**Tabel 4. 18** Perbandingan rotasi batang dekat rol akibat beban 400 kg

Beban di Titik	Rotasi Dekat Rol		% Perbandingan
	Teoritis	Pengujian	
4	0,0006772	0,0008722	22,365
6	0,0006771	0,0008722	22,366
8	0,0006771	0,0008722	22,366



**Gambar 4. 31** Grafik hubungan posisi beban terhadap rotasi batang dekat rol

Perubahan posisi beban di titik 4, 6, dan 8 tidak menunjukkan pengaruh terhadap rotasi batang. Perbedaan yang terjadi sangat kecil dan ditunjukkan pada hasil teoritis yaitu terlihat pada 7 angka di belakang koma.

Rotasi yang didapatkan dari hasil pengujian mempunyai perbedaan cukup besar hingga 22% dari hasil perhitungan teoritis. Saat pengujian, *inklinometer* yang digunakan hanya memiliki ketelitian  $0,05^\circ$ . Nilai rotasi baru terlihat setelah beban lebih dari 250 kg dan tidak ada perubahan rotasi hingga beban mencapai 400 kg. Sehingga rotasi hasil pengujian hanya terbaca  $0,05^\circ$  atau 0,0008722 rad. Hal tersebut menyebabkan persentase perbandingan antara perhitungan teoritis dan pengujian cukup besar.