

## KAJI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL LENDUTAN BALOK BAJA KARBON ST 60 DENGAN TUMPUAN ENGSEL - ROL

**Mustafa**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako  
Jl. Sukarno-Hatta Km.9 Tondo, Palu 94119  
Email: [mustafa7mesin@yahoo.co.id](mailto:mustafa7mesin@yahoo.co.id)

### Abstract

*The aim of this study is to analyze the deflection phenomena of ST 60 steel with numerically and experimentally placed on the hinge-roller support. The study applies the integration method for numerical analysis and testing method for experimental ones. The supports use a hinge-roller with the material of carbon steel of ST 60 with length 0.8 m, width 0.01 m and thickness 0.01 m. The result shows that the maximum deflection occurs at  $x = 0.4$  m with a loading of 2.5 kg for each location of loading. The value of deflection obtained experimentally was greater than of numerically.*

**Keyword:** *Deflection, Integration method.*

### PENDAHULUAN

Salah satu persoalan yang sangat penting diperhatikan dalam perencanaan-perencanaan tersebut adalah perhitungan defleksi/lendutan pada elemen-elemen ketika mengalami suatu pembebanan. Hal ini sangat penting terutama dari segi kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*), dimana pada batang horizontal yang diberi beban secara lateral akan mengalami defleksi.

Defleksi yang terjadi pada elemen-elemen yang mengalami pembebanan harus pada suatu batas yang diijinkan, karena jika melewati batas yang diijinkan, maka akan terjadi kerusakan pada elemen-elemen tersebut ataupun pada elemen-elemen lainnya. Misalnya pada poros transmisi, jika defleksi yang terjadi cukup besar, maka akan mengakibatkan amplitudo getaran yang semakin besar hingga terjadi resonansi dan mengakibatkan bunyi serta getaran yang kasar pada sistem transmisi atau bahkan dapat merusak poros itu sendiri, dan dapat menyebabkan keausan yang cepat

pada sisi bantalan yang menumpu poros serta kerusakan gigi-gigi dari gear.

Baja adalah suatu jenis bahan bangunan yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, sifat, dan kekuatannya, cocok untuk pemikul beban. Oleh karena itu baja banyak dipakai sebagai bahan struktur, misalnya untuk rangka utama bangunan bertingkat sebagai kolom dan balok, sistem penyangga atap dengan bentangan panjang seperti gedung olahraga, hanggar, menara antena, jembatan, penahan tanah, fondasi tiang pancang, bangunan pelabuhan, struktur lepas pantai, dinding perkuatan pada reklamasi pantai, tangki-tangki minyak, pipa penyaluran minyak, air, atau gas.

Menurut Victus K. Koten (2005), yang menganalisis defleksi lateral balok dengan tumpuan engsel rol bahwa semakin besar beban eksternal maka semakin besar pula defleksi yang terjadi. Pada panjang balok  $L/2$  selain menjadi tempat terjadinya defleksi maksimum akibat beban eksternal pada

L/2, juga sebagai tempat peralihan defleksi minimum ke maksimum dan sebaliknya. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan kesebandingan antara teoritis dan eksperimen. Hal ini mengisyaratkan bahwa cara teoritis yang dikemukakan dapat diterima kebenarannya.

Mustafa (2007) meneliti bahwa defleksi yang diperoleh secara eksperimental lebih besar jika dibandingkan dengan defleksi secara teoritis, dan besarnya defleksi maksimum cenderung terjadi pada pertengahan batang untuk tumpuan jepit-jepit.

Hasil penelitian yang diperoleh Munandar, dkk (2011), menunjukkan bahwa defleksi maksimum yang terjadi pada balok baja ST 50 baik secara eksperimental maupun teoritis terjadi pada jarak pembebanan L/2 (panjang batang = 200 mm), yakni sebesar 0,14 mm dan 0,13 mm dan defleksi minimum terjadi pada jarak pembebanan L/4 (panjang batang = 200 mm) sebesar 0,013 mm dan 0,014 mm, serta persentase kesalahan antara hasil penelitian secara eksperimental dengan teoritis berkisar antara 2 % - 8%.

Berdasarkan kondisi tersebut di atas, maka akan dilakukan penelitian berjudul Kaji Numerik dan Eksperimental Terhadap Lentutan Balok Baja Karbon ST.60 dengan Tumpuan Engsel-Rol.

Adapun tujuan dari penelitian ini, adalah untuk menganalisis fenomena lentutan yang terjadi pada balok baja secara numerik dan eksperimental yang diletakkan pada tumpuan engsel-rol.

Pada perencanaan konstruksi teknik, kemampuan untuk menentukan beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu konstruksi adalah penting.

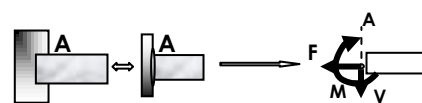
Dalam aplikasi keteknikan, kebutuhan tersebut haruslah disesuaikan dengan pertimbangan ekonomis dan pertimbangan teknis, seperti kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan kestabilan (*stability*) (Popov, E.P, 1993). Pemilihan atau desain suatu batang sangat bergantung pada segi teknik di atas yaitu kekuatan, kekakuan dan kestabilan. Pada kriteria kekuatan, desain beam haruslah cukup kuat untuk menahan gaya geser dan momen lentur, sedangkan pada kriteria kekakuan, desain haruslah cukup kaku untuk menahan defleksi yang terjadi agar batang tidak melendut melebihi batas yang telah diizinkan.

Suatu batang jika mengalami pembebanan lateral, baik itu beban terpusat maupun beban terbagi rata, maka batang tersebut mengalami defleksi.

Salah satu faktor yang menentukan besarnya defleksi pada batang yang dibebani adalah jenis tumpuan yang digunakan.

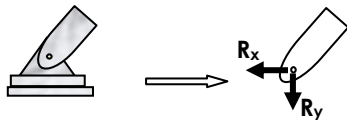
Adapun jenis-jenis tumpuan adalah :

- a. Tumpuan jepit (*fixed support*)  
Tumpuan jepitan merupakan tumpuan yang dapat menahan momen dan gaya dalam arah vertikal maupun horizontal. Pada gambar 1 ditunjukkan gaya-gaya dan momen pada jepitan, dimana A adalah titik tumpuan, V gaya reaksi pada sumbu y dalam arah vertikal, F adalah gaya reaksi pada sumbu x dalam arah horizontal, dan M adalah momen.



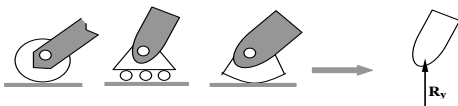
Gambar 1. Tumpuan jepit

- b. Tumpuan engsel  
Tumpuan engsel merupakan tumpuan yang dapat menahan gaya horizontal disamping gaya vertikal yang bekerja padanya. Pada gambar 2 ditunjukkan gaya-gaya reaksi pada tumpuan engsel, dimana  $R_x$  adalah gaya reaksi pada sumbu x dalam arah horizontal,  $R_y$  adalah gaya reaksi pada sumbu y dalam arah vertikal.



**Gambar 2.** Tumpuan engsel

- c. Tumpuan rol  
Tumpuan rol dapat menahan gaya vertikal yang bekerja padanya. Pada gambar 3 ditunjukkan gaya reaksi yang terjadi pada tumpuan rol, dimana  $R_y$  adalah gaya reaksi pada sumbu y dalam arah vertikal.



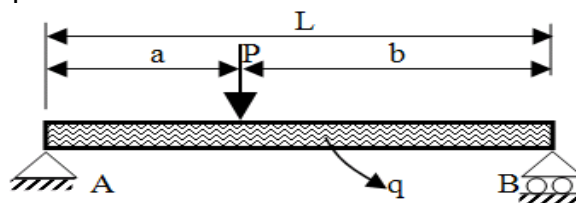
**Gambar 3.** Tumpuan rol

- ujung-nya dan ujung yang lainnya menggantung bebas.
- b. Batang yang ditumpu sederhana.  
Merupakan batang dimana batang bertumpu bebas diatas tumpuan kedua ujung-ujungnya.
- c. Batang tergantung.  
Merupakan batang dimana salah satu ujungnya dipegang secara kaku (dijepit) dan pada bagian lain dari batang yang ditumpu bebas.
- d. Batang jepit.  
Merupakan batang dimana kedua ujungnya dipegang secara kaku.
- e. Batang kontinu.  
Merupakan batang dimana batang di tumpu lebih dari dua tumpuan pada sepanjang batang.

Gambar 4 merupakan sebuah batang ditumpu sederhana, dimana tumpuan engsel pada salah satu ujungnya dan tumpuan rol pada ujung yang lain dengan beban terpusat P pada rentang batang dan beban terbagi merata q sepanjang batang.

Menurut S. Timoshenko (1986) ada 5 jenis batang yang digunakan pada jenis tumpuan yaitu :

- a. Batang kantilever.  
Merupakan batang yang ditumpu secara kaku pada salah satu



**Gambar 4.** Tumpuan sederhana dengan beban terpusat P pada rentang batang dan beban terbagi merata q sepanjang batang

Persamaan defleksi adalah :

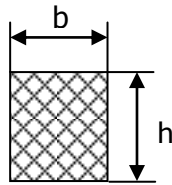
Untuk :  $0 \leq x \leq a$

$$y = -\frac{qx}{24 EI} \left[ L \cdot x^2 - x^3 - L^3 + \frac{P \cdot b \cdot x}{6L EI} (L^2 - b^2 - x^2) \right] \dots\dots\dots (1)$$

Untuk :  $a \leq x \leq L$

$$y = -\frac{qx}{24 EI} \left[ L \cdot x^2 - x^3 - L^3 + \frac{P \cdot a \cdot (L-x)}{6L EI} \{L^2 - a^2 - (L-x)^2\} \right] \dots\dots\dots (2)$$

Momen inersia balok dapat dihitung berdasarkan penampang balok pada gambar 5.



**Gambar 5.** Gambar penampang balok

Sehingga momen inersia (I) adalah :

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots (3)$$

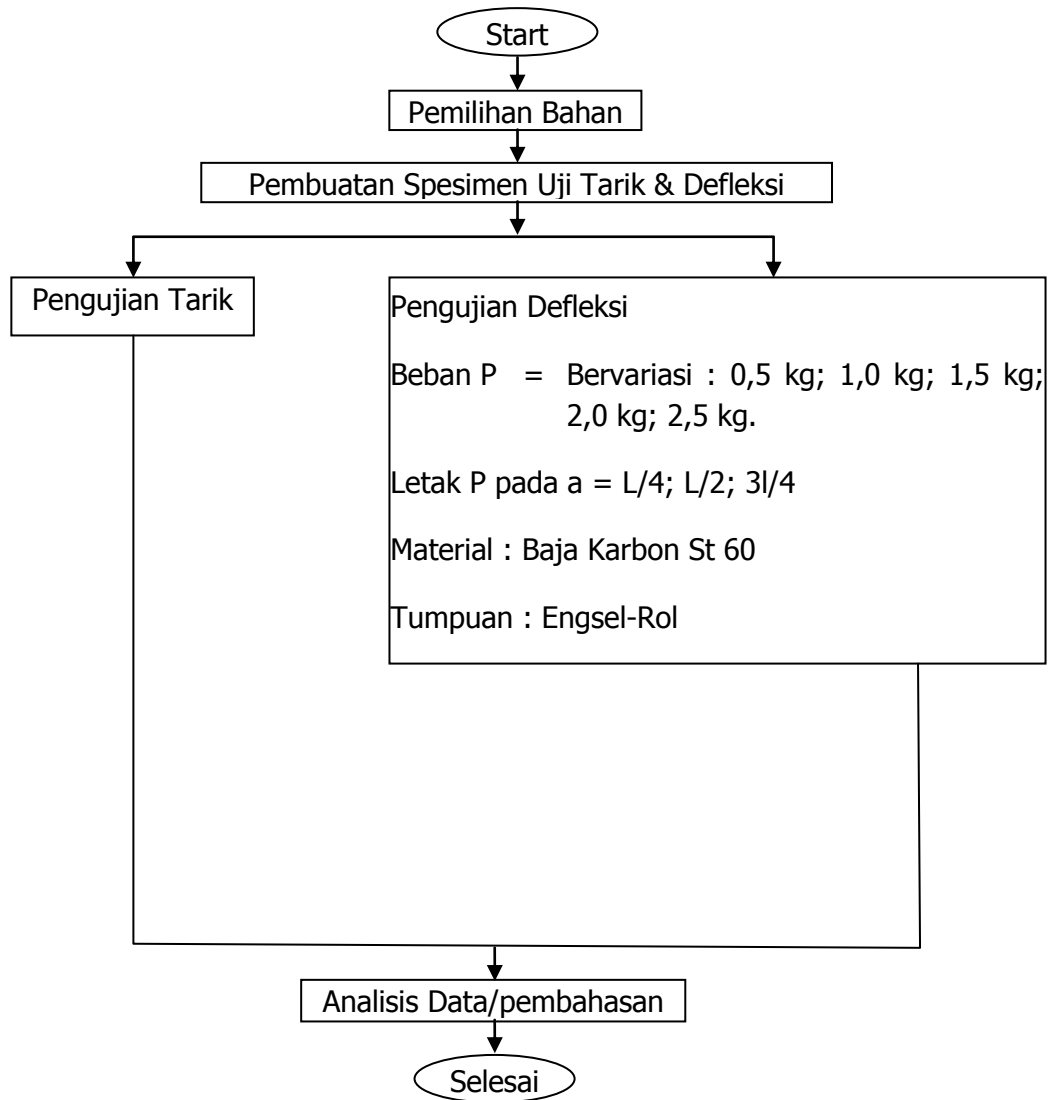
Prosentase kesalahan lentutan secara eksperimental dan numerik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$PK = \left| \frac{\text{Hasil Eksp} - \text{Hasil Numerik}}{\text{Hasil Eksp}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

**METODE PENELITIAN**

Dimulai pada diagram alir halaman berikutnya:

**A. Diagram Alir Penelitian**



**B. Peralatan, Bahan dan Metode Pengambilan Data**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- a. Mesin Uji Tarik dengan *Universal Testing Machine Type* yang dilengkapi dengan DIN 51221
- b. Seperangkat alat uji lendutan yang terdiri dari :
  - 1. Dial gauge dengan skala terkecil 0,01 mm untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi.

- 2. Mistar sebagai pengukur jarak.
- 3. Tumpuan terdiri dari tumpuan engsel dan tumpuan rol untuk menumpu batang uji selama pengujian lendutan.
- 4. Pembebanan dengan berat 0,5 kg, 1,0 kg, 1,5 kg, 2,0 kg dan 2,5 kg.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja Karbon.St.60 berbentuk balok dengan panjang 0,8 m; lebar 0,01 m; tebal 0,01 m.

Metode pengambilan data secara eksperimental pada penelitian ini dilakukan dengan dua tahapan, yaitu pengujian tarik dan pengujian lendutan. Dimana pada pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh modulus elastisitas (E) bahan sebagai salah satu variabel yang digunakan dalam perhitungan lendutan secara numerik. Sedangkan pada pengujian lendutan dilakukan untuk memperoleh besarnya lendutan yang terjadi sesuai dengan pembebanan yang diberikan.

Tahapan pelaksanaan pengujian tarik sebagai berikut :

- Penjepitan spesimen tarik pada clamping upper dan clamping down dengan mengatur naik turunnya spindle up dan spindle down.
- Menset nolkan jarum penunjuk beban sebelum mesin dihidupkan.
- Mengatur kecepatan spindle pada kecepatan 1 mm/min.
- Menjalankan mesin dan pencatatan besar beban tiap kenaikan 0,1 mm hingga material uji patah.
- Mengeluarkan material/spesimen yang sudah diuji.

Sistematika dalam pelaksanaan penelitian ini adalah balok ditumpu pada tumpuan engsel pada salah satu ujungnya dan tumpuan rol pada ujung yang lain.

Tahap pelaksanaan pengujian lendutan sebagai berikut :

- Batang uji ditumpu pada tumpuan engsel pada salah satu ujungnya dan tumpuan rol pada ujung lainnya.
- Meletakkan dial gauge setiap jarak 0,1 m mulai diukur dari tumpuan jepitan dengan menset dial gauge pada posisi nol.
- Memberikan beban sebesar 0,5 kg, 1,0 kg, 1,5 kg, 2,0 kg dan 2,5 kg, pada jarak 0,2 m dari tumpuan dan mencatat besarnya lendutan yang

terjadi untuk masing-masing beban yang diberikan.

- Mengulang langkah (c) untuk meletakkan beban P pada jarak 0,4 m dan 0,6 m.

Metode penyelesaian secara numerik dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Menggambar sistematika tumpuan engsel-rol dengan pembebanan yang yang diinginkan.
- Menggunakan rumus yang sesuai berdasarkan kondisi tumpuan dan pembebanan yang diberikan.
- Menghitung momen inersia berdasarkan bentuk bahan yang digunakan sesuai dengan kondisi pembebanan.
- Mengambil nilai modulus elastisitas yang diperoleh dari hasil pengujian tarik.
- Menghitung lendutan sesuai dengan peletakan pembebanan yang diberikan.

## HASIL DAN DISKUSI

Untuk menganalisis lendutan yang terjadi pada penelitian ini didasarkan pada hasil eksperimental (tabel 1), hasil perhitungan secara numerik (tabel 2), hasil perhitungan prosentase kesalahan (tabel 3) serta gambar 6 dan 7.

Hasil perhitungan secara numerik yang ditampilkan pada tabel 2 diperoleh dengan menggunakan rumus 1 dan 2, setelah memasukkan data-data sebagai berikut :

✚ Nilai modulus elastisitas =  $E = 2,113 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$  (hasil pengujian tarik),

✚ Momen inersia =  $I = 8,33 \times 10^{-10} \text{ m}^4$  (hasil perhitungan dengan menggunakan rumus 3).

- ✚ Berat per satuan panjang =  $q = 0,708 \text{ kg/m}$ .
- ✚ Panjang batang =  $L = 0,80 \text{ m}$
- ✚ Letak pembebanan pada jarak  $a$

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Lendutan Secara Eksperimental.

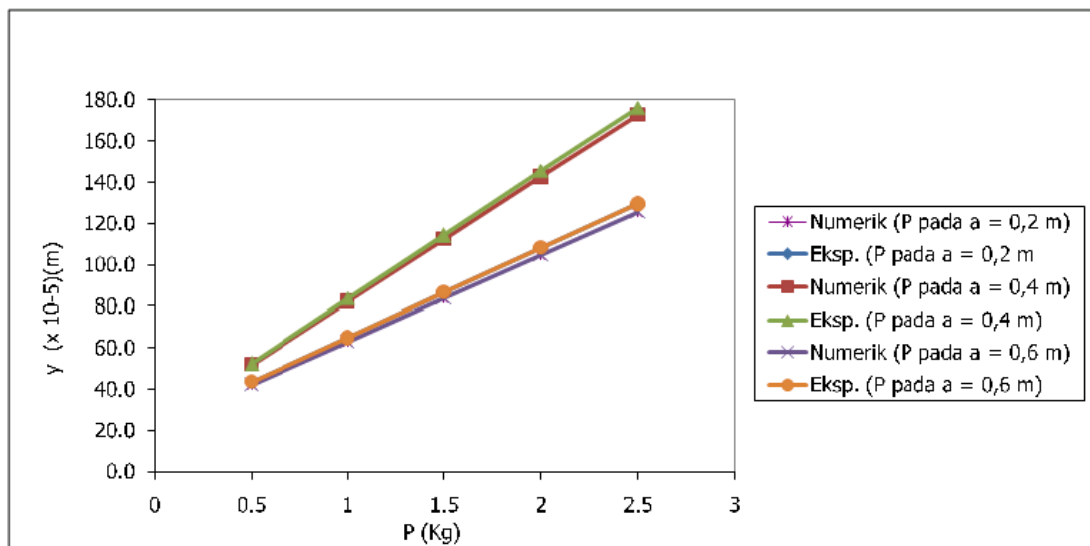
Letak Beban (a)	P (kg)	Lendutan ( $\times 10^{-5} \text{ m}$ )								
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.2 m	0.5	0.0	18.3	33.3	41.7	43.7	39.3	29.0	15.7	0.0
	1.0	0.0	28.0	50.7	62.7	64.7	58.0	42.7	23.0	0.0
	1.5	0.0	38.0	68.3	84.0	86.7	76.3	56.7	30.0	0.0
	2.0	0.0	47.3	85.7	105.3	108.0	95.7	70.0	37.3	0.0
	2.5	0.0	57.3	103.7	126.0	129.3	113.7	84.0	44.0	0.0
0.4 m	0.5	0.0	19.7	37.3	48.7	52.3	48.7	37.3	19.7	0.0
	1.0	0.0	31.3	58.3	76.7	83.7	77.0	58.7	31.3	0.0
	1.5	0.0	42.7	79.3	104.0	114.0	104.3	79.7	43.0	0.0
	2.0	0.0	54.3	101.0	132.7	145.7	133.0	101.3	54.3	0.0
	2.5	0.0	66.3	122.0	162.7	176.3	162.7	122.3	66.3	0.0
0.6 m	0.5	0.0	15.7	29.0	39.0	43.7	41.3	33.0	18.3	0.0
	1.0	0.0	23.0	42.3	58.0	64.7	62.3	50.0	28.0	0.0
	1.5	0.0	30.0	56.3	76.7	86.7	84.0	68.3	38.0	0.0
	2.0	0.0	37.3	70.0	96.0	108.0	105.3	85.7	47.0	0.0
	2.5	0.0	44.0	84.0	114.0	129.3	126.0	103.3	57.3	0.0

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Lendutan Secara Numerik.

Letak Beban (a)	P (kg)	Lendutan ( $\times 10^{-5} \text{ m}$ )								
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.2 m	0.5	0.0	17.9	32.3	40.6	42.3	38.0	28.5	15.3	0.0
	1.0	0.0	27.5	49.4	61.3	63.1	56.1	41.8	22.3	0.0
	1.5	0.0	37.1	66.4	82.0	83.9	74.2	55.1	29.3	0.0
	2.0	0.0	46.7	83.5	102.7	104.8	92.3	68.3	36.3	0.0
	2.5	0.0	56.3	100.5	123.4	125.6	110.4	81.6	43.2	0.0
0.4 m	0.5	0.0	19.5	36.1	47.6	51.8	47.6	36.1	19.5	0.0
	1.0	0.0	30.6	56.9	75.3	82.1	75.3	56.9	30.6	0.0
	1.5	0.0	41.7	77.8	103.0	112.4	103.0	77.8	41.7	0.0
	2.0	0.0	52.8	98.6	130.6	142.7	130.6	98.6	52.8	0.0
	2.5	0.0	64.0	119.4	158.3	173.0	158.3	119.4	64.0	0.0
0.6 m	0.5	0.0	15.3	28.5	38.0	42.3	40.6	32.3	17.9	0.0
	1.0	0.0	22.3	41.8	56.1	63.1	61.3	49.4	27.5	0.0
	1.5	0.0	29.3	55.1	74.2	83.9	82.0	66.4	37.1	0.0
	2.0	0.0	36.3	68.3	92.3	104.8	102.7	83.5	46.7	0.0
	2.5	0.0	43.2	81.6	110.4	125.6	123.4	100.5	56.3	0.0

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Prosentase Kesalahan Lendutan

Letak Beban (a)	P (kg)	Prosentase Kesalahan Lendutan (%)								
		0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.2 m	0.5	0	2.09	2.91	2.70	3.24	3.38	1.58	2.46	0
	1.0	0	1.77	2.62	2.25	2.45	3.31	2.11	3.06	0
	1.5	0	2.39	2.76	2.38	3.17	2.77	2.90	2.40	0
	2.0	0	1.31	2.61	2.46	2.98	3.55	2.41	2.78	0
	2.5	0	1.80	3.08	2.04	2.85	2.90	2.89	1.71	0
0.4 m	0.5	0	1.24	3.17	2.35	1.04	2.35	3.17	1.24	0
	1.0	0	2.29	2.32	1.88	1.97	2.27	2.98	2.29	0
	1.5	0	2.32	1.92	1.01	1.44	1.29	2.41	3.00	0
	2.0	0	2.70	2.36	1.55	2.09	1.77	2.65	2.70	0
	2.5	0	3.53	2.09	2.68	1.90	2.68	2.34	3.53	0
0.6 m	0.5	0	2.46	1.58	2.64	3.24	1.76	2.03	2.09	0
	1.0	0	3.06	1.19	3.31	2.45	1.62	1.25	1.77	0
	1.5	0	2.40	2.21	3.27	3.17	2.38	2.76	2.39	0
	2.0	0	2.78	2.41	3.86	2.98	2.46	2.61	0.68	0
	2.5	0	1.71	2.89	3.15	2.85	2.04	2.70	1.80	0



**Gambar 6.** Grafik Hubungan Lendutan (y) Terhadap Beban (P) Pada Pertengahan Batang.

Gambar 6 menunjukkan bahwa lendutan yang terjadi semakin meningkat seiring dengan penambahan pembebanan. Hal ini terjadi pada hasil numerik maupun eksperimental untuk

posisi (letak) pembebanan pada jarak 0,2 m; 0,4 m; dan 0,6 m dari tumpuan engsel. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil yang diperoleh secara numerik

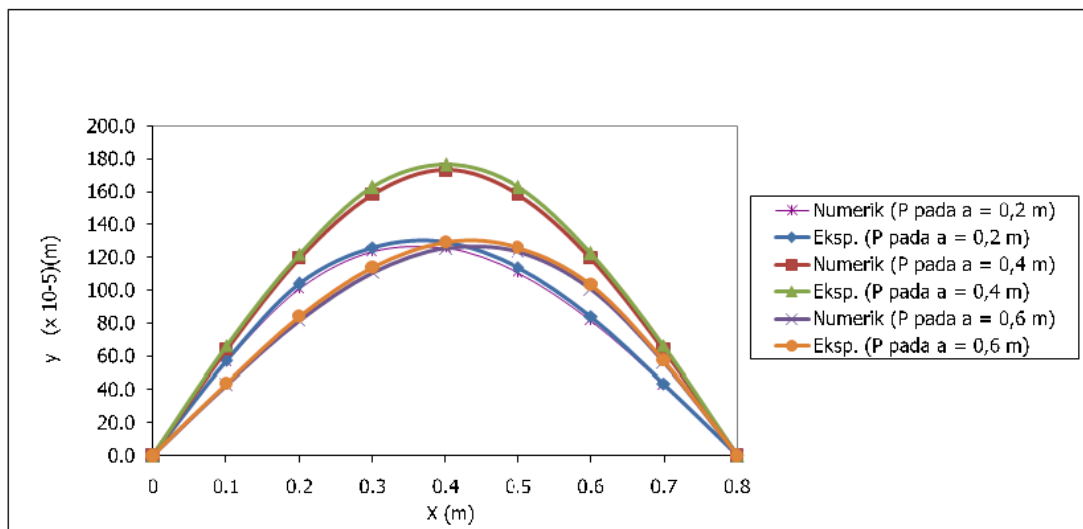


maupun eksperimental sesuai dengan konsep teori yang digunakan.

Grafik hubungan antara lendutan terhadap beban pada gambar 6 juga menunjukkan bahwa hasil lendutan secara eksperimental lebih besar dibandingkan dengan hasil secara numerik. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh kekakuan material dan pembebanan secara langsung sehingga menyebabkan pergeseran material uji yang lebih besar pada saat pengujian.

Dari tabel 1 dan 2 serta gambar 6 diperoleh bahwa lendutan maksimum terjadi pada  $x = 0,4$  m (pertengahan batang) dengan pembebanan 2,5 kg untuk setiap letak pembebanan. Pada

letak pembebanan 0,2 m dari tumpuan engsel diperoleh lendutan maksimum pada  $129,5 \times 10^{-5}$  m (secara eksperimental) dan  $125,6 \times 10^{-5}$  m (secara numerik). Untuk letak pembebanan 0,4 m dari tumpuan engsel diperoleh lendutan maksimum  $176,3 \times 10^{-5}$  m (secara eksperimental) dan  $173,0 \times 10^{-5}$  m (secara numerik). Sedangkan pada letak pembebanan 0,6 m dari tumpuan engsel diperoleh lendutan maksimum pada  $129,3 \times 10^{-5}$  m (secara eksperimental) dan  $125,6 \times 10^{-5}$  m (secara numerik).



**Gambar 7.** Grafik Hubungan Lendutan (y) Terhadap Jarak (x) Untuk Pembebanan Maksimum (P = 2,5 kg)

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar nilai x (diukur dari tumpuan engsel pada sisi kiri balok) memberikan lendutan yang semakin besar sampai pada pertengahan balok ( $L/2 = 0,4$  m). Setelah melewati pertengahan rentang balok, lendutannya semakin kecil sampai akhirnya menjadi nol pada tumpuan rol yang ada di sisi kanan balok. Fenomena penurunan lendutan tersebut hampir sama dengan fenomena yang terjadi

pada jarak dari tumpuan engsel di sisi kiri sampai pada pertengahan balok. Hal ini tentunya dipengaruhi kondisi tumpuan sederhana yang masing-masing hanya memberikan gaya aksi dan reaksi secara vertikal yang sama. pada Kondisi ini terjadi pada letak pembebanan 0,2 m; 0,4 m; maupun 0,6 m.

Dari tabel 1 dan 2 serta gambar 7 diperoleh bahwa lendutan secara numerik yang terjadi pada letak

pembebanan 0,2 m mempunyai nilai yang sama (dari tumpuan engsel ke tumpuan rol) dengan letak pembebanan 0,6 m, namun dari arah yang berlawanan (dari tumpuan rol ke tumpuan engsel), namun keduanya mempunyai nilai yang sama pada  $x = 0,4$  m (pertengahan batang). Fenomena yang sama ditunjukkan untuk letak pembebanan 0,4 m. Hal ini disebabkan oleh karena asumsi material yang digunakan adalah homogen dimana nilai modulus elastisitas dan momen inersia tidak mengalami perubahan dalam perhitungan secara numerik. Fenomena ini tidak terjadi dengan hasil yang diperoleh secara eksperimental. Hal ini disebabkan oleh karena tidak adanya jaminan homogenitas material yang digunakan seperti yang diasumsikan pada perhitungan secara numerik.

Dari tabel 3, menunjukkan bahwa perbedaan hasil lentutan yang diperoleh secara eksperimental dan numerik tidak terlalu signifikan, dengan prosentase kesalahan maksimum sebesar 3,86 % (jarak 0,3 m; pembebanan 2,0 kg pada letak pembebanan 0,6 m).

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Lentutan yang terjadi mengalami peningkatan seiring dengan adanya penambahan pembebanan.
2. Lentutan secara eksperimental lebih besar daripada lentutan secara numerik, baik pada letak pembebanan 0,2 m; 0,4 m dan 0,6 m.
3. Lentutan maksimum terjadi pada pertengahan batang untuk ketiga letak pembebanan yang dilakukan (0,2 m; 0,4 m dan 0,6 m).
4. Perbedaan lentutan yang diperoleh secara eksperimental dan numerik

tidak terlalu signifikan dengan prosentase kesalahan terbesar yaitu 3,86 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Koten, Victus K. 2005. *Analisis Eksperimental dan Teoritis Terhadap Defleksi Lateral Balok dengan Tumpuan Engsel-Rol*. Jurnal Pembangunan Wilayah Masyarakat, Volume 4 No 2.
- Mustafa. 2007. *Perbandingan Analisa Teoritis Dan Eksperimental Defleksi Pada Balok Segiempat Dengan Variasi Material*. Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan ISSN 1829-8133 Vol. 4 No. 2.
- Munandar, dkk. 2011. *Analisis Eksperimental dan Teoritis Lentutan Pada Balok Dengan Variasi Ketebalan dan Pembebanan*, diakses pada tanggal 18 Desember 2011 tersedia di Internet <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/446>.
- Popov, E.P. 1993. *Mechanics of Materials*. Erlangga, Jakarta.
- Timoshenko, S. 1986. *Dasar-dasar Perhitungan Kekuatan Bahan*. Restu Agung, Jakarta.