

ANALISIS DEFLEKSI PADA MATERIAL BAJA KARBON RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI POSISI PEMBEBANAN

Kristian Selleng

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Sukarno-Hatta Km.9 Tondo, Palu 94119

Email: utamapratama@yahoo.com

Abstract: Deflection Analysis on Low Carbon Steel Materials with Variations of Loading Position. The aim of this research is to analyze the deflection on low carbon steel materials theoretically and experimentally with variations of loading positions. Double integration method is used for theoretical analysis, while the testing methods used for experimental analysis. The support used were a the hinge roller with the materials such as low carbon steel with dimensions of length 600 mm, width 30 mm and thickness 5 mm. The results of the study obtained: the maximum deflection occurs at loading position of 150 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,2913$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,1957$ mm), loading position of 300 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,9183$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,7391$ mm), and loading position of 450 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,2943$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,1957$ mm). Deflection occurs of experimentally and teoretically at loading position of 300 mm is greater when compared with at loading position of 150 mm and 450 mm. The value of deflection obtained experimentally was greater than value obtained theoretically with the maximum error percentage of 9.43%.

Keyword: Deflection, low carbon steel, variations of loading position.

Abstrak: Analisis Defleksi pada Material Baja Karbon Rendah dengan Variasi Posisi Pembebanan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis defleksi pada material baja karbon rendah secara teoritis dan secara eksperimental dengan variasi posisi pembebanan. Metode integrasi ganda digunakan untuk analisis secara teoritis, sedangkan metode pengujian digunakan untuk analisis eksperimental. Tumpuan yang digunakan dalam penelitian adalah engsel rol dengan bahan berupa baja karbon rendah dengan dimensi panjang 600 mm, lebar 30 mm dan tebal 5 mm. Hasil penelitian yang diperoleh adalah: defleksi maksimum yang terjadi pada posisi pembebanan 150 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,2913$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,1957$ mm), posisi pembebanan 300 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,9183$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,7391$ mm), dan posisi pembebanan 450 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,2943$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,1957$ mm). Defleksi yang terjadi secara eksperimental maupun secara teoritis pada posisi pembebanan 300 mm lebih besar jika dibandingkan dengan defleksi yang terjadi pada posisi pembebanan 150 mm dan 450 mm. Nilai defleksi yang diperoleh secara eksperimental lebih besar jika dibandingkan dengan secara teoritis dengan prosentase kesalahan maksimum 9,34 %.

Kata Kunci: Defleksi, baja karbon rendah, variasi posisi pembebanan.

PENDAHULUAN

Perkembangan bidang industri manufaktur seperti industri otomotif semakin pesat demi untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Setiap industri harus menghasilkan suatu produk yang berkualitas tinggi dan tentunya harus seiring dengan harga yang terjangkau. Salah satu faktor penunjang kualitas suatu produk adalah material yang digunakan dalam mendesain produk tersebut. Dengan

demikian pemilihan material yang sesuai dan standar merupakan hal yang sangat penting sebagai bahan baku dalam industri.

Baja merupakan salah satu jenis bahan bangunan yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, sifat dan kekuatannya, cocok untuk pemikul beban. Dengan demikian baja banyak dipakai sebagai bahan struktur, seperti 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. (Kristian, 2014).

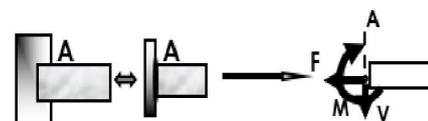
Menurut Popov, E.P (1993), bahwa kemampuan untuk menentukan beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu konstruksi sangat penting. Olehnya itu, dalam aplikasi keteknikan, kebutuhan tersebut haruslah disesuaikan dengan pertimbangan ekonomis dan pertimbangan teknis, seperti kekuatan, kekakuan, dan kestabilan. Hal penting yang harus menjadi perhatian dalam mendesain konstruksi elemen mesin, pesawat pengangkat dan konstruksi jembatan adalah besarnya defleksi pada elemen yang diakibatkan oleh beban sendiri maupun beban luar. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur yang dipengaruhi oleh adanya komponen menyimpang dari fungsi utamanya, walaupun tegangan yang terjadi masih lebih kecil daripada tegangan yang diijinkan. *Beam* merupakan salah satu tipe elemen yang sering mengalami defleksi.

Menurut Mustafa (2007), 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. Demikian juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Viktus K. Koten (2005) bahwa peningkatan defleksi yang terjadi seiring dengan besarnya gaya yang diberikan padanya dan defleksi maksimum terjadi pada pertengahan rentang batang ketika menggunakan tumpuan engsel-roll. Sedangkan menurut Mustafa dkk (2013), bahwa Adanya perbedaan posisi peletakan pembebanan dan besarnya beban yang diberikan mempengaruhi perbedaan hasil defleksi yang diperoleh. Peletakan pembebanan

yang jauh dari tumpuan pada posisi $L/2$ memberikan hasil defleksi lebih besar jika dibandingkan dengan peletakan posisi pembebanan pada $L/4$, baik secara metode elemen hingga dengan program matlab maupun secara eksperimental. Selain daripada itu hasil penelitian juga dilakukan oleh 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%.

Suatu batang jika mengalami pembebanan lateral, baik itu beban terpusat maupun beban terbagi rata, maka batang tersebut mengalami defleksi. Jenis tumpuan dan posisi pembebanan merupakan dua hal yang dapat mempengaruhi defleksi pada suatu balok adalah jenis tumpuan yang digunakan. Menurut S. Timoshenko (1986), bahwa jenis-jenis tumpuan yang sering digunakan ada 3 yaitu :

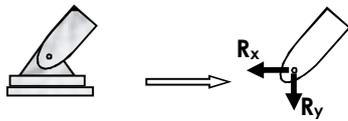
- a. Tumpuan jepit (fixed support)
Tumpuan jepitan merupakan tumpuan yang dapat menahan momen dan gaya dalam arah vertikal maupun horizontal.



Gambar 1. Tumpuan jepit

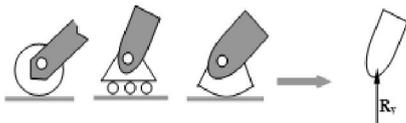
- b. Tumpuan engsel
Tumpuan engsel merupakan tumpuan yang dapat menahan gaya horizontal

disamping gaya vertikal yang bekerja padanya.



Gambar 2. Tumpuan engsel

- c. Tumpuan rol
Tumpuan rol merupakan tumpuan yang bisa menahan komponen gaya vertikal yang bekerja padanya.



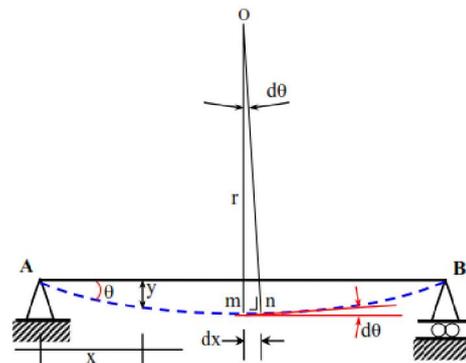
Gambar 3. Tumpuan rol

Salah satu variabel yang sangat berpengaruh dalam penentuan defleksi adalah elastisitas suatu material. Elastisitas merupakan sifat yang menyebabkan sebuah benda kembali ke bentuk semula apabila gaya yang bekerja padanya dihilangkan. Sifat elastis ini digolongkan menjadi dua bagian, yaitu elastis sempurna dan elastis parsial. Sebuah benda yang kembali sepenuhnya kepada bentuk semula dikatakan elastis sempurna, dimana usaha yang dilakukan oleh gaya-gaya luar selama deformasi sepenuhnya ditransformasikan menjadi energi potensial regangan. Sedangkan benda yang tidak kembali sepenuhnya kepada bentuk semula dikatakan elastis parsial, dimana sebagian dari usaha yang dilakukan oleh gaya luar selama deformasi diubah ke dalam bentuk panas yang timbul dalam benda tersebut selama berlangsungnya deformasi non elastic.

Salah satu metode yang dapat dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan defleksi pada balok adalah metode integrasi ganda (*double integrations*). Metode ini sangat cocok dipergunakan untuk mengetahui defleksi

sepanjang batang. Asumsi yang dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan tersebut adalah hanyalah defleksi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu balok, defleksi yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan panjang baloknya, dan irisan yang berbentuk bidang datar akan tetap berupa bidang datar walaupun terdeformasi.

Konsep dasar penggunaan metode integrasi ganda dapat dianalisis pada suatu struktur sederhana yang mengalami lenturan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Balok sederhana yang mengalami lenturan

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh bahwa :

$$dx = r \operatorname{tg} d\theta \quad (1)$$

Oleh karena besarnya $d\theta$ relative sangat kecil, maka $\operatorname{tg} d\theta \cong d\theta$ saja, sehingga persamaan (1) menjadi :

$$dx = r d\theta \text{ atau } \frac{1}{r} = \frac{d\theta}{dx} \quad (2)$$

Jika dx bergerak kekanan maka besarnya $d\theta$ kan semakin berkurang sehingga diperoleh persamaan :

$$\frac{1}{r} = -\frac{d\theta}{dx} \quad (3)$$

Defleksi relatif sangat kecil sehingga $\theta = \operatorname{tg} \theta = \frac{dy}{dx}$, sehingga persamaan (3) menjadi :

$$\frac{1}{r} = -\frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx} \right) = -\left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) \quad (4)$$

Jika persamaan dimasukkan ke dalam persamaan tegangan lentur $\frac{1}{r} = \frac{M}{EI}$, maka akan diperoleh persamaan kurva defleksi:

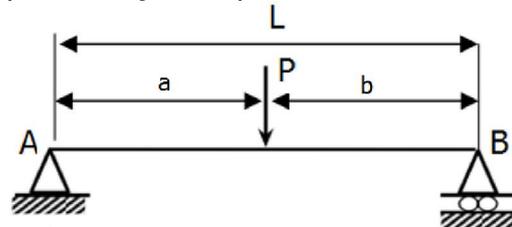
$$EI \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) = -M \quad (5)$$

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis defleksi yang terjadi pada balok baja karbon rendah baik secara teoritis maupun secara eksperimental dengan variasi posisi pembebanan.

METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian defleksi untuk menganalisis defleksi secara eksperimental dan menggunakan metode integrasi ganda untuk menganalisis secara teoritis. Pada analisis defleksi secara tepritis, metode integrasi ganda menjadi dasar yang digunakan untuk menurunkan persamaan defleksi sesuai dengan tumpuan sederhana seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tumpuan sederhana dengan posisi beban a (150 mm, 300 mm dan 450 mm)

Persamaan defleksi yang digunakan berdasarkan Gambar 5 adalah:

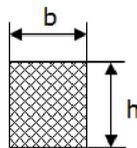
Untuk : $x \leq a$

$$y = -\frac{Pbx}{6EIL} (L^2 - b^2 - x^2) \quad (6)$$

Untuk : $x \geq a$

$$y = -\frac{Pbx}{6EIL} (L^2 - b^2 - x^2) + \frac{P(x-a)^3}{6EI} \quad (7)$$

Momen inersia balok dapat dihitung berdasarkan penampang balok pada Gambar 6.



Gambar 6. Penampang balok

Sehingga momen inersia (I) adalah:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (8)$$

Prosentase kesalahan defleksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$PK = \left| \frac{\text{Hasil Eksp} - \text{Hasil Teoritis}}{\text{Hasil Eksp}} \right| \times 100\% \quad (9)$$

B. Peralatan, Bahan dan Metode Pengambilan Data

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat uji defleksi yang terdiri dari :

1. Dial gauge dengan skala terkecil 0,01 mm untuk mengukur besarnya defleksi yang terjadi.
2. Mistar sebagai pengukur jarak.
3. Tumpuan terdiri dari tumpuan engsel dan tumpuan rol untuk menumpu batang uji selama pengujian defleksi.
4. Pembebanan yang diberikan sama untuk ketiga variasi posisi pembebanan yang digunakan yaitu sebesar 0,5 kg; 1,0 kg; 1,5 kg; 2,0 kg dan 2,5 kg.
5. Panjang batang yang digunakan adalah 600 mm.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah berbentuk balok dengan panjang 600 mm, lebar 30 mm, tebal 5 mm, dengan nilai modulus elastisitas (E) 20700 kg/mm² dan momen inersia (I) = 313 mm⁴.

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

Adapun langkah pelaksanaan pengujian defleksi secara eksperimental sebagai berikut:

- Untuk pembebanan dengan posisi pembebanan 150 mm dari tumpuan engsel:
- a. Batang uji ditumpu pada tumpuan engsel pada salah satu ujungnya dan tumpuan rol pada ujung lainnya.

- b. Meletakkan dial gauge setiap jarak 150 mm; 300 mm; dan 450 mm dengan menset dial gauge pada posisi nol.
- c. Memberikan beban sebesar 0,5 kg; 1,0 kg; 1,5 kg; 2,0 kg dan 2,5 kg dan mencatat besarnya defleksi yang terjadi untuk masing-masing beban yang diberikan.

Untuk pembebanan dengan posisi pembebanan 300 mm dan 450 mm, prosedurnya sama saja dengan pada posisi pembebanan 150 mm. Bedanya adalah peletakan bebannya.

Adapun langkah penentuan defleksi secara teoritis adalah:

- a. Menggambar sistematika tumpuan engsel-rol dengan variasi posisi pembebanan yang digunakan.
- b. Menggunakan rumus yang sesuai berdasarkan kondisi tumpuan dan posisi pembebanan yang diberikan.
- c. Menghitung momen inersia berdasarkan bentuk material yang digunakan.
- d. Menghitung defleksi sesuai dengan pembebanan yang diberikan.

HASIL DAN DISKUSI

Dalam menganalisis defleksi yang terjadi pada penelitian ini mengacu pada Tabel 1, Tabel 2, Gambar 7 dan Gambar 8.

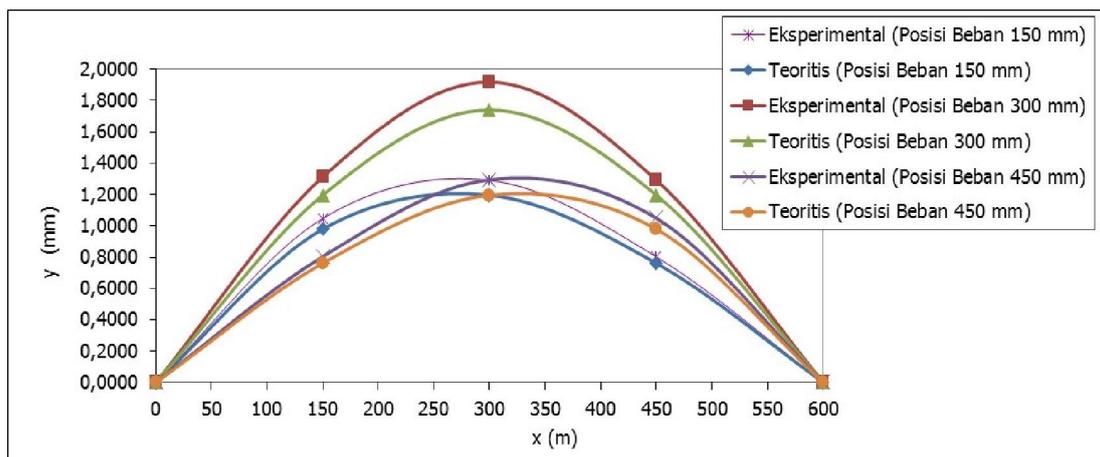
Hasil perhitungan secara teoritis seperti yang tercantum pada Tabel 1 diperoleh berdasarkan persamaan 6 sampai persamaan 8.

Tabel 1. Hasil Pengujian Defleksi Secara Eksperimental dan Teoritis untuk Posisi Pembebanan 150 mm, 300 mm dan 450 mm.

Posisi Beban P (mm)	Beban (kg) P	Defleksi Secara	y (mm)				
			0	150	300	450	600
150	Eksperimental	0,50	0,0000	0,2013	0,2483	0,1573	0,0000
		1,00	0,0000	0,4056	0,4995	0,3150	0,0000
		1,50	0,0000	0,6109	0,7548	0,4730	0,0000
		2,00	0,0000	0,8152	1,0130	0,6374	0,0000
		2,50	0,0000	1,0465	1,2913	0,8017	0,0000
	Teoritis	0,50	0,0000	0,1957	0,2391	0,1522	0,0000
		1,00	0,0000	0,3913	0,4783	0,3043	0,0000
		1,50	0,0000	0,5870	0,7174	0,4565	0,0000
		2,00	0,0000	0,7826	0,9565	0,6087	0,0000
		2,50	0,0000	0,9783	1,1957	0,7609	0,0000
300	Eksperimental	0,50	0,0000	0,2483	0,3627	0,2453	0,0000
		1,00	0,0000	0,5065	0,7413	0,4995	0,0000
		1,50	0,0000	0,7648	1,1270	0,7578	0,0000
		2,00	0,0000	1,0330	1,5126	1,0230	0,0000
		2,50	0,0000	1,3113	1,9183	1,2913	0,0000
	Teoritis	0,50	0,0000	0,2391	0,3478	0,2391	0,0000
		1,00	0,0000	0,4783	0,6957	0,4783	0,0000
		1,50	0,0000	0,7174	1,0435	0,7174	0,0000
		2,00	0,0000	0,9565	1,3913	0,9565	0,0000
		2,50	0,0000	1,1957	1,7391	1,1957	0,0000
450	Eksperimental	0,50	0,0000	0,1575	0,2486	0,2013	0,0000
		1,00	0,0000	0,3157	0,5005	0,4066	0,0000
		1,50	0,0000	0,4740	0,7568	0,6139	0,0000
		2,00	0,0000	0,6384	1,0150	0,8202	0,0000
		2,50	0,0000	0,8037	1,2943	1,0485	0,0000
	Teoritis	0,50	0,0000	0,1522	0,2391	0,1957	0,0000
		1,00	0,0000	0,3043	0,4783	0,3913	0,0000
		1,50	0,0000	0,4565	0,7174	0,5870	0,0000
		2,00	0,0000	0,6087	0,9565	0,7826	0,0000
		2,50	0,0000	0,7609	1,1957	0,9783	0,0000

Tabel 2. Prosentase Kesalahan Antara Hasil Pengujian Defleksi Secara Eksperimental dan Teoritis.

Posisi Beban P (mm)	Beban (kg) P	PK (%)				
		0	150	300	450	600
150	0,50	0,00	2,81	3,68	3,29	0,00
	1,00	0,00	3,53	4,26	3,38	0,00
	1,50	0,00	3,92	4,95	3,49	0,00
	2,00	0,00	4,00	5,58	4,50	0,00
	2,50	0,00	6,52	7,41	5,10	0,00
300	0,50	0,00	3,68	4,09	2,50	0,00
	1,00	0,00	5,58	6,16	4,26	0,00
	1,50	0,00	6,20	7,41	5,33	0,00
	2,00	0,00	7,41	8,02	6,50	0,00
	2,50	0,00	8,82	9,34	7,41	0,00
450	0,50	0,00	3,41	3,79	2,81	0,00
	1,00	0,00	3,59	4,45	3,76	0,00
	1,50	0,00	3,70	5,21	4,39	0,00
	2,00	0,00	4,65	5,77	4,59	0,00
	2,50	0,00	5,33	7,62	6,70	0,00



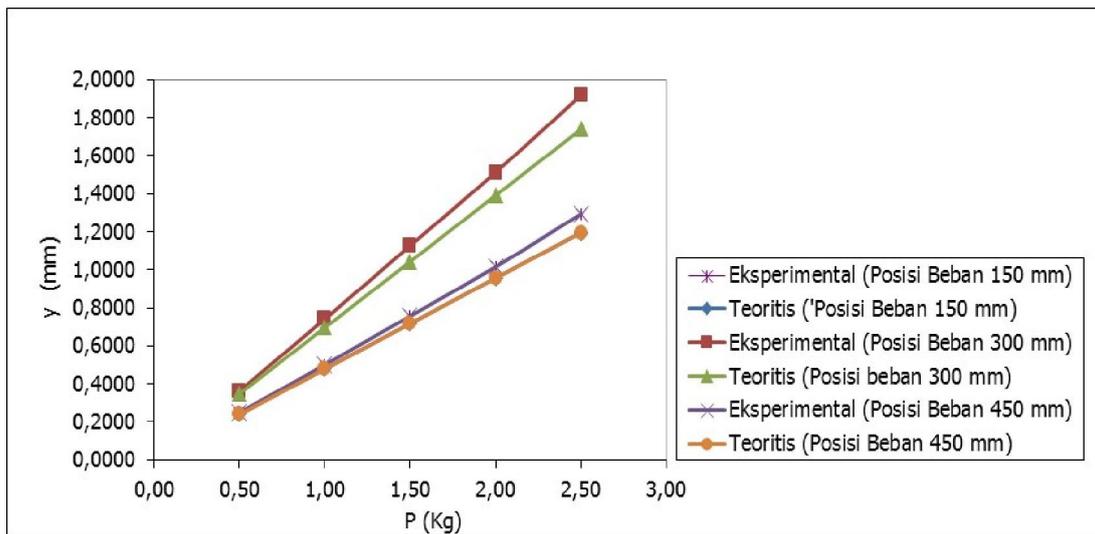
Gambar 7. Grafik Hubungan Defleksi (y) Terhadap Jarak (x) Untuk Pembebanan Maksimum (P = 2,5 kg).

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar nilai x (diukur dari tumpuan engsel pada sisi kiri balok) memberikan defleksi yang semakin besar sampai pada pertengahan balok mencapai maksimum. Setelah melewati pertengahan rentang balok, defleksinya semakin kecil sampai akhirnya menjadi nol pada tumpuan rol

yang ada di sisi kanan balok. Fenomena penurunan defleksi 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. Kondisi ini terjadi pada letak pembebanan 150 mm; 300 mm; maupun 450 mm. Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 7 diperoleh bahwa defleksi maksimum untuk posisi pembebanan 150 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,2913$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,1957$ mm), posisi pembebanan 300 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,9183$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,7391$ mm), dan posisi pembebanan 450 mm ($y_{\text{eksp}} = 1,2943$ mm; $y_{\text{teo}} = 1,1957$ mm). Hal ini menjelaskan bahwa defleksi

yang terjadi baik secara eksperimental maupun secara teoritis pada posisi pembebanan 300 mm lebih besar jika dibandingkan dengan defleksi yang terjadi pada posisi pembebanan 150 mm dan 450 mm. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh letak pembebanan yang berada di tengah balok dengan kondisi tumpuan yang digunakan adalah engsel rol.



Gambar 8. Grafik Hubungan Defleksi (y) Terhadap Beban (P) Pada Pertengahan Batang

Gambar 8 menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi semakin meningkat seiring dengan penambahan pembebanan, baik secara teoritis maupun eksperimental untuk posisi (letak) pembebanan 150 mm; 300 mm; dan 450 mm dari tumpuan engsel. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil yang diperoleh secara teoritis maupun eksperimental sesuai dengan konsep teori yang digunakan. Pada Gambar 8 juga menunjukkan bahwa hasil defleksi secara eksperimental lebih besar dibandingkan dengan hasil secara teoritis. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh kekakuan material dan pembebanan secara langsung sehingga menyebabkan pergeseran material uji yang lebih besar pada saat pengujian. Selain daripada itu adanya asumsi material yang digunakan adalah homogen dimana nilai modulus elastisitas dan momen inersia tidak mengalami perubahan dalam

perhitungan secara teoritis. Fenomena ini tidak terjadi dengan hasil yang diperoleh secara eksperimental, dimana tidak adanya jaminan homogenitas material yang digunakan seperti yang diasumsikan pada perhitungan secara teoritis.

Dari Tabel 2, menunjukkan bahwa perbedaan hasil defleksi yang diperoleh secara eksperimental dan teoritis tidak terlalu jauh perbedaannya, dengan prosentase kesalahan maksimum sebesar 9,34 % yang terjadi pada posisi beban 300 mm, jarak 300 mm, dengan pembebanan 2,5 kg.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh pada penelitian ini adalah:

1. Defleksi maksimum yang terjadi adalah untuk posisi pembebanan 150 mm (y_{eksp}

- =1,2913 mm; $y_{teo} = 1,1957$ mm), posisi pembebanan 300 mm ($y_{eksp} = 1,9183$ mm; $y_{teo} = 1,7391$ mm), dan posisi pembebanan 450 mm ($y_{eksp} = 1,2943$ mm; $y_{teo} = 1,1957$ mm), sehingga kondisi posisi pembebanan 300 mm memberikan defleksi lebih besar jika dibandingkan dengan posisi pembebanan 150 mm dan 450 mm.
2. Defleksi yang terjadi semakin meningkat seiring dengan penambahan pembebanan yang diberikan.
 3. Defleksi yang terjadi secara eksperimental lebih besar jika dibandingkan dengan secara teoritis dengan prosentase kesalahan tertinggi sebesar 9,34 %.

dengan Variasi Posisi Pembebanan.' *Prosiding Digital SNTTM XII* ISBN 978-979-8510-61-8. Universitas Lampung.

Popov, E.P. 1993. *Mechanics of Materials*. Erlangga, Jakarta.

Timoshenko, S. 1986. *Dasar-dasar Perhitungan Kekuatan Bahan*. Restu Agung, Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfandy, Munandar, F. 2014. 'Analisis Eksperimental Dan Teoritis Lendutan Pada Balok Dengan Variasi Ketebalan Dan Pembebanan.' <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/446>. Diakses pada tanggal 18 Desember 2011.
- Koten, Victus K. 2005. 'Analisis Eksperimental dan Teoritis Terhadap Defleksi Lateral Balok dengan Tumpuan Engsel-Rol.' *Jurnal Pembangunan Wilayah Masyarakat*, Volume 4 No 2.
- Kristian Selleng. 2014. 'Analisis Lendutan pada Material Baja Karbon Rendah dengan Variasi Pembebanan'. *Jurnal Ilmiah Mekanika* ISSN 2086-3403 Vol. 5 No. 2. Universitas Tadulako.
- Mustafa. 2007. 'Perbandingan Analisa Teoritis dan Eksperimental Defleksi pada Balok Segi empat dengan Variasi Material.' *Jurnal Ilmiah Matematika Dan Terapan* ISSN 1829-8133 Vol. 4 No. 2. Universitas Tadulako.
- Mustafa, Naharuddin, Kristian Selleng dan Ardi Rahmanto. 2013. 'Aplikasi Simulasi Program Matlab untuk Penentuan Lendutan pada Baja Ringan Profil U