

## Analisis Teoritis dan Eksperimental Defleksi Balok Segiempat Dengan Variasi Posisi Pembebaan

*Theoretical and Experimental Analysis of Beam Quadrilateral Deflection With Variation Loading Position*

Onny S Sutresman<sup>1</sup>, dan Thomas Tjandinegara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin

Jl.Perintis Kemerdekaan km 10, Makassar, Sulawesi Selatan (90245)

E-mail: onny.sutresman@gmail.com

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin

Jl.Perintis Kemerdekaan km 10, Makassar, Sulawesi Selatan (90245)

E-mail:

### Abstrak

Salah satu persoalan yang sangat penting diperhatikan dalam perencanaan kontruksi, elemen mesin, pesawat pengangkat, struktur rangka, konstruksi jembatan adalah perhitungan defleksi/lendutan lateral pada elemen baik akibat beban sendiri maupun ketika mengalami suatu pembebaan luar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis defleksi pada balok segiempat secara teoritis dan eksperimental dengan memvariasikan letak pembebaan. Tumpuan yang digunakan dalam penelitian adalah tumpuan sederhana, menggunakan material baja karbon St.37 berbentuk balok segiempat dengan dimensi panjang 800 mm dengan tebal 10 mm dan lebar 10 mm. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat uji defleksi yang terdiri dari : *Dial indicator* dan *Loading Hunger*.

Metode penelitian ini menggunakan penurunan rumus defleksi dengan metode integrasi ganda untuk analisis secara teoritis dan pengujian defleksi baja karbon St.37 secara langsung untuk analisis secara eksperimental. Pada metode integrasi ganda, rumus defleksi diperoleh dengan cara menurunkan persamaan defleksi sesuai dengan jenis tumpuan yang digunakan, sedangkan untuk pengujian defleksi baja karbon St.37 secara langsung dilakukan dengan memberikan pembebaan pada jarak 200 mm, 400 mm dan 600 mm. Pelaksanaan pengujian defleksi secara langsung dilakukan sebagai berikut : baja karbon St.37 dibebani mulai dari pembebaan awal 500 gram, kemudian ditahan selama 1 menit dan diamati penurunannya. Pembebaan terus diberikan secara bertahap dan penurunannya selalu dicatat sesuai untuk beban 1000 gram, 1500 gram, 2000 gram, 2500 gram.

Hasil penelitian diperoleh bahwa defleksi maksimum untuk setiap letak pembebaan adalah pada letak pembebaan 200 mm dari tumpuan engsel diperoleh 1,307 mm (secara eksperimental) dan 1,256 mm (secara teoritis), pada letak pembebaan 400 mm dari tumpuan engsel diperoleh 1,780 mm (secara eksperimental) dan 1,729 mm (secara teoritis), sedangkan pada letak pembebaan 600 mm dari tumpuan engsel diperoleh 1,310 mm (secara eksperimental) dan 1,256 mm (secara teoritis). Hasil defleksi yang diperoleh secara eksperimental lebih besar dari nilai yang diperoleh secara teoritis dengan prosentase kesalahan maksimum 5,00 %.

**Keywords:** Defleksi, balok, St.37, pembebaan, engsel-rol

### Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat, kebutuhan manusia semakin kompleks dan semakin beragam, dimana kebutuhannya tersebut tergantung pada era pembangunan yang senantiasa berkembang demi tercapainya masyarakat adil dan makmur. Didorong oleh kebutuhan manusia yang semakin kompleks tersebut dan keinginan untuk memperoleh kemudahan-kemudahan dalam hidupnya, maka manusia senantiasa berfikir untuk terus mengembangkan teknologi yang telah ada guna

menemukan teknologi baru yang bermanfaat bagi kehidupan umat manusia.

Salah satu persoalan yang sangat penting diperhatikan dalam perencanaan kontruksi, elemen mesin, pesawat pengangkat, struktur rangka, konstruksi jembatan adalah perhitungan defleksi lateral pada elemen baik akibat beban sendiri maupun ketika mengalami suatu pembebaan luar. 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.

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.

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.

Menurut 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%.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis defleksi pada balok segiempat secara teoritis dan eksperimental dengan memvariasikan letak pembebanan.

## Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Metode pengambilan data secara eksperimental pada penelitian ini dilakukan dengan pengujian tarik dan pengujian defleksi. Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh modulus elastisitas bahan ( $E$ ) sebagai salah satu variabel yang digunakan dalam perhitungan defleksi secara teoritis. Sedangkan pada pengujian defleksi dilakukan untuk memperoleh besarnya defleksi yang terjadi sesuai dengan pembebanan yang diberikan.

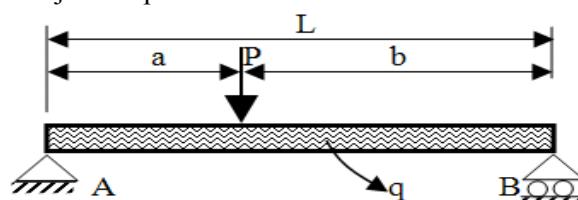
Pengujian defleksi baja karbon St.37 secara langsung pada analisis eksperimental dilakukan dengan memberikan pembebahan pada jarak 200 mm, 400 mm dan 600 mm. Pelaksanaan pengujian defleksi secara langsung dilakukan sebagai berikut : baja karbon St.37 dibebani mulai dari pembebahan awal 500 gram, kemudian ditahan selama 1 menit dan diamati penurunannya. Pembebahan terus diberikan secara bertahap dan penurunannya selalu dicatat sesuai untuk beban 1000 gram, 1500 gram, 2000 gram, 2500 gram.

Tumpuan yang digunakan dalam penelitian adalah tumpuan sederhana (engsel – rol), menggunakan material baja karbon St.37 berbentuk balok segiempat dengan dimensi panjang 800 mm dengan tebal 10 mm dan lebar 10 mm. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat uji defleksi yang terdiri dari : *Dial indicator* berfungsi untuk mengukur defleksi yang terjadi, *Loading Hunger* berfungsi untuk meletakkan beban pada benda uji.

## Skema Teoritis

Selain menggunakan metode eksperimental, penelitian ini juga menggunakan penurunan rumus defleksi dengan metode integrasi ganda untuk analisis secara teoritis, sebagai pembanding dengan pengujian eksperimental defleksi baja karbon St.37 yang berbentuk balok segiempat. Pada metode integrasi ganda, rumus defleksi diperoleh dengan cara menurunkan persamaan defleksi sesuai dengan jenis tumpuan yang digunakan yaitu tumpuan sederhana.

Tumpuan yang digunakan dalam penelitian adalah tumpuan sederhana (engsel – rol) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tumpuan sederhana dengan beban terpusat  $P$  dan beban terbagi merata  $q$ .

Persamaan defleksi berdasarkan Gambar 1 adalah :  
Untuk :  $0 \leq x \leq a$

$$y = -\frac{qx}{24EI} [2Lx^2 - x^3 - L^3] + \frac{Pb.x}{6L EI} (L^2 - b^2 - x^2) \quad \dots \dots (1)$$

Untuk :  $a \leq x \leq L$

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

Metode penyelesaian secara teoritis dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

- Menggambar sistematika tumpuan engsel-rol dengan pembebanan yang yang diinginkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.
- Menggunakan rumus yang sesuai berdasarkan kondisi tumpuan dan pembebanan yang diberikan, rumus 1 dan 2.
- Menghitung momen inersia berdasarkan bentuk bahan yang digunakan sesuai dengan kondisi pembebanan.
- Menggunakan nilai modulus elastisitas yang diperoleh dari hasil pengujian tarik.
- Menghitung defleksi sesuai dengan peletakan pembebanan yang diberikan.

Untuk membandingkan defleksi hasil eksperimental dan teoritis, maka digunakan persamaan persentase kesalahan sebagai berikut :

$$PK = \left| \frac{\text{Hasil Eksp - Hasil Teoritis}}{\text{Hasil Eksp}} \right| \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

### Hasil dan Pembahasan

Analisis defleksi yang terjadi pada penelitian ini mengacu pada hasil yang diperoleh secara teoritis (tabel 1), hasil perhitungan secara eksperimental (tabel 2), hasil perhitungan prosentase kesalahan (tabel 3) serta gambar 2 dan 3.

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

- ❖  $E = 21130 \text{ kg/mm}^2$  (hasil pengujian tarik),
- ❖  $I = 833,33 \text{ mm}^4$
- ❖  $q = 0,708 \times 10^3 \text{ kg/mm}$ .
- ❖  $L = 800 \text{ mm}$
- ❖ Letak pembebanan pada jarak a

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Defleksi Secara Teoritis.

Letak Beban (mm)	P (kg)	Defleksi (mm)				
		0	200	400	600	800
200	0.5	0.0	0.323	0.423	0.285	0.0
	1.0	0.0	0.494	0.631	0.418	0.0
	1.5	0.0	0.664	0.839	0.550	0.0
	2.0	0.0	0.834	1.047	0.683	0.0
	2.5	0.0	1.000	1.256	0.815	0.0
400	0.5	0.0	0.361	0.517	0.361	0.0
	1.0	0.0	0.569	0.820	0.569	0.0
	1.5	0.0	0.777	1.120	0.777	0.0
	2.0	0.0	0.986	1.426	0.986	0.0
	2.5	0.0	1.190	1.729	1.190	0.0

600	0.5	0.0	0.285	0.423	0.323	0.0
	1.0	0.0	0.418	0.631	0.494	0.0
	1.5	0.0	0.550	0.839	0.664	0.0
	2.0	0.0	0.683	1.047	0.834	0.0
	2.5	0.0	0.815	1.256	1.000	0.0

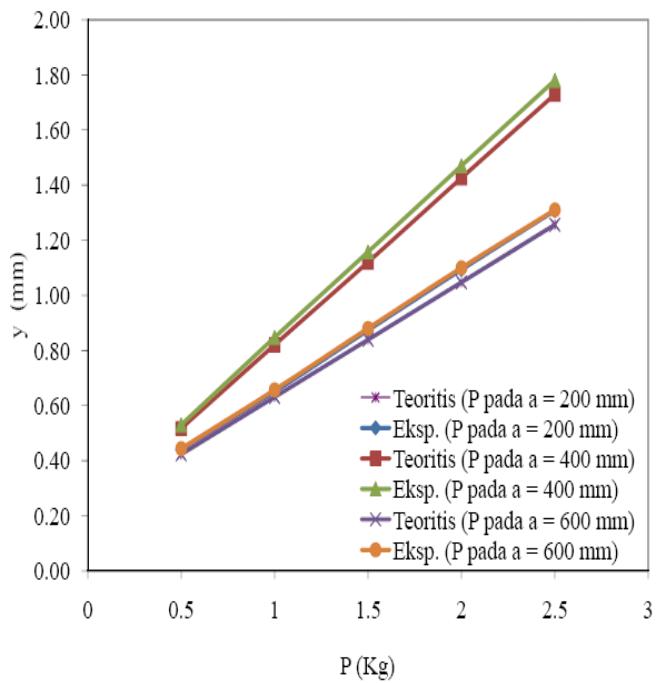
**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Defleksi Secara Eksperimental.

Letak Beban (mm)	P (kg)	Defleksi (mm)				
		0	200	400	600	800
200	0.5	0.0	0.337	0.440	0.293	0.0
	1.0	0.0	0.510	0.650	0.430	0.0
	1.5	0.0	0.696	0.873	0.570	0.0
	2.0	0.0	0.867	1.093	0.703	0.0
	2.5	0.0	1.050	1.307	0.847	0.0
400	0.5	0.0	0.377	0.530	0.373	0.0
	1.0	0.0	0.590	0.847	0.587	0.0
	1.5	0.0	0.800	1.157	0.797	0.0
	2.0	0.0	1.025	1.470	1.020	0.0
	2.5	0.0	1.240	1.780	1.230	0.0
600	0.5	0.0	0.297	0.444	0.340	0.0
	1.0	0.0	0.440	0.657	0.518	0.0
	1.5	0.0	0.578	0.880	0.698	0.0
	2.0	0.0	0.710	1.100	0.872	0.0
	2.5	0.0	0.852	1.310	1.048	0.0

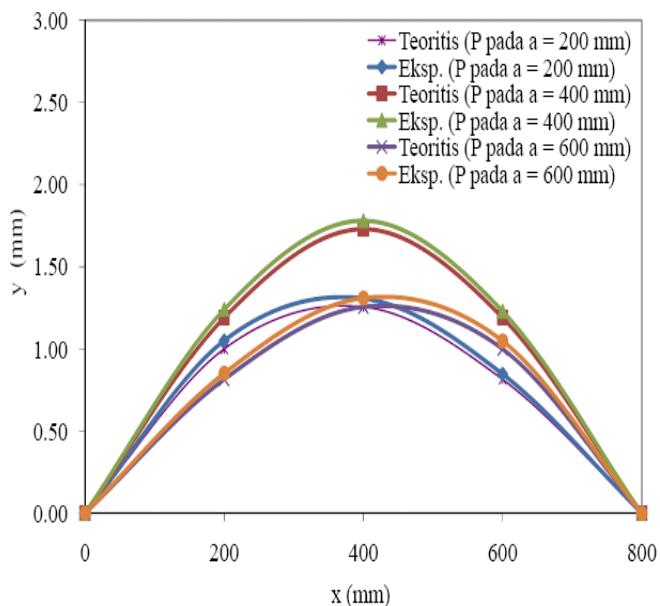
**Tabel 3.** Hasil Perhitungan Persentase Kesalahan Defleksi

Letak Beban (mm)	P (kg)	Defleksi (mm)				
		0	200	400	600	800
200	0.5	0.0	4.154	3.864	2.730	0.0
	1.0	0.0	3.137	2.923	2.791	0.0
	1.5	0.0	4.598	3.895	3.509	0.0
	2.0	0.0	3.806	4.209	2.845	0.0
	2.5	0.0	4.762	3.902	3.778	0.0
400	0.5	0.0	4.244	2.453	3.217	0.0
	1.0	0.0	3.559	3.188	3.066	0.0
	1.5	0.0	2.875	3.198	2.509	0.0
	2.0	0.0	3.805	2.993	3.333	0.0
	2.5	0.0	4.032	2.865	3.252	0.0

600	0.5	0.0	4.040	4.730	5.000	0.0
	1.0	0.0	5.000	3.957	4.633	0.0
	1.5	0.0	4.844	4.659	4.871	0.0
	2.0	0.0	3.803	4.818	4.358	0.0
	2.5	0.0	4.343	4.122	4.580	0.0



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Defleksi (y) Terhadap Beban (P) Pada Pertengahan Batang



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Defleksi (y) Terhadap Jarak (x) Untuk Pembebanan Maksimum (P = 2,5 kg).

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa defleksi semakin meningkat seiring dengan penambahan pembebahan, baik secara teoritis maupun secara eksperimental untuk posisi pembebahan pada jarak 200 mm; 400 mm; dan 600 mm dari tumpuan engsel. Hal ini membuktikan bahwa hasil yang diperoleh secara teoritis maupun eksperimental sesuai dengan konsep teori yang digunakan. Pada Gambar 2 juga menunjukkan bahwa hasil defleksi secara eksperimental lebih besar dibandingkan dengan hasil secara teoritis. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh kekakuan material dan pembebahan secara langsung sehingga menyebabkan pergeseran material uji yang lebih besar pada saat pengujian. Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2 serta Gambar 2 diketahui bahwa defleksi maksimum terjadi pada  $x = 400$  mm (pertengahan batang) dengan pembebahan 2,5 kg untuk setiap letak pembebahan. Pada letak pembebahan 200 mm dari tumpuan engsel diperoleh defleksi maksimum adalah 1,307 mm (secara eksperimental) dan 1,256 mm (secara teoritis). Untuk letak pembebahan 400 mm dari tumpuan engsel diperoleh defleksi maksimum 1,780 mm (secara eksperimental) dan 1,729 mm (secara teoritis). Sedangkan pada letak pembebahan 600 mm dari tumpuan engsel diperoleh defleksi maksimum pada 1,310 mm (secara eksperimental) dan 1,256 mm (secara teoritis).

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $x$  mm memberikan defleksi yang semakin besar sampai pada pertengahan balok. Setelah melewati pertengahan rentang balok, defleksinya semakin kecil sampai akhirnya menjadi nol. Hal ini tentunya dipengaruhi kondisi tumpuan sederhana yang masing-masing hanya memberikan gaya aksi dan reaksi secara vertikal yang sama. Berdasarkan Tabel 1 dan Gambar 3 diketahui bahwa defleksi secara teoritis yang terjadi pada letak pembebahan 200 mm mempunyai nilai yang sama (dari tumpuan engsel ke tumpuan rol) dengan letak pembebahan 600 mm, namun dari arah yang berlawanan (dari tumpuan rol ke tumpuan engsel), namun keduanya mempunyai nilai yang sama pada  $x = 400$  mm (pertengahan batang). Gejala yang sama ditunjukkan untuk letak pembebahan 400 mm. Kondisi ini terjadi karena asumsi material yang digunakan adalah homogen dimana nilai modulus elastisitas dan momen inersia tidak mengalami perubahan dalam perhitungan secara teoritis. Gejala tersebut tidak terjadi dengan hasil yang diperoleh secara eksperimental, oleh karena tidak adanya jaminan homogenitas material yang digunakan seperti yang diasumsikan pada perhitungan secara teoritis.

Besarnya defleksi secara eksperimental yang terjadi pada umumnya lebih besar jika dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis, namun perbedaannya tidak terlalu signifikan, dengan prosentase kesalahan maksimum sebesar 5,00 %.

**Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin besar pembebahan maka defleksi yang terjadi juga semakin meningkat.
2. Hasil defleksi secara eksperimental lebih besar daripada defleksi secara teoritis, untuk letak pembebahan 200 mm; 400 mm dan 600 mm.
3. Defleksi maksimum terjadi pada pertengahan batang untuk ketiga letak pembebahan yang dilakukan (200 mm; 400 mm dan 600 mm).
4. Hasil defleksi yang diperoleh secara eksperimental dan teoritis tidak terlalu signifikan dengan prosentase kesalahan terbesar yaitu 5,00 %.

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

**Ucapan Terima kasih**

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada Ir. Abdullah Mappaita, MSME selaku Kepala Unit Laboratorium Mekanika Terpakai Universitas Hasanuddin sebagai tempat penelitian ini.

**Nomenklatur**

- a Letak pembebahan dari arah (mm)  
 E Modulus elastisitas ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )  
 I Momen inersia ( $\text{m}^4$ )  
 L Panjang batang (mm)  
 P Beban (kg)  
 q Berat per satuan panjang ( $\text{kg}/\text{mm}$ )  
 x Jarak (mm)  
 y Defleksi (mm)

**Subscripts**

eksp Eksperimental

**Referensi**

Koten, Victus K. *Analisis Eksperimental dan Teoritis Terhadap Defleksi Lateral Balok dengan Tumpuan Engsel-Rol*. Jurnal Pembangunan Wilayah Masyarakat, Volume 4 No 2. (2005).

Munandar, dkk. *Analisis Eksperimental Dan Teoritis Lendutan Pada Balok Dengan Variasi Ketebalan Dan Pembebahan*. <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/446>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2012.