

**STUDI EKSPERIMENTAL FENOMENA DEFLEKSI
PADA KONSTRUKSI BALOK SEDERHANA SEBAGAI MODUL PEMBELAJARAN
MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL**

Agustinus Purna Irawan

Laboratorium Fenomena Mesin

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara

Jl. Let.Jend. S. Parman No. 1 Jakarta

E-mail : agustinuspi@tarumanagara.ac.id

Abstrak

Pembelajaran berbasis kompetensi antara lain harus didukung dengan alat-alat peraga yang sesuai dengan topik pembahasan sehingga dapat dipahami fenomena yang terjadi sesuai dengan teori yang diberikan. Dengan mengerti fenomena yang terjadi diharapkan mahasiswa dapat memahami konsep dasar dasar dari suatu topik. Pengembangan alat peraga dan modul praktikum dapat dilakukan sendiri dengan menggunakan komponen yang tersedia di pasaran. Dalam makalah ini akan dibahas pengembangan alat uji defleksi balok sebagai modul pembelajaran matakuliah mekanika kekuatan material. Pembahasan dibatasi pada desain alat uji dan pengujian hasil desain yang akan dibandingkan dengan analitis teoritis dan pengamatan fenomena yang terjadi selama pengujian. Tumpuan yang akan digunakan adalah tumpuan sendi dan rol dengan beban terpusat dengan beberapa kondisi pembebanan. Alat ukur defleksi menggunakan dial gauge dengan pengujian di lakukan pada dengan variasi beban dan balok uji dibuat dari bahan alumunium. Hasil pengembangan alat uji ini berupa modul praktikum defleksi balok dan data pengujian yang akan disajikan dalam grafik sehingga fenomena yang terjadi dapat dianalisis. Diharapkan hasil pengembangan alat uji ini dapat digunakan untuk mengamati fenomena yang terjadi pada pengujian defleksi balok sederhana dalam proses pembelajaran mekanika kekuatan material.

Kata kunci : desain alat uji defleksi balok, fenomena, mekanika kekuatan material.

1. Pendahuluan

Pengamatan fenomena yang terjadi dalam suatu konstruksi akibat beban yang diterima merupakan hal yang sangat penting. Pemahaman fenomena tersebut dapat dijadikan dasar dalam menganalisis kekuatan dan desain konstruksi selanjutnya. Dalam proses pembelajaran berbasis kompetensi, pengamatan harus didukung dengan alat-alat peraga yang sesuai dengan topik pembahasan sehingga dapat dipahami fenomena yang terjadi sesuai dengan teori yang diberikan.

Pengembangan alat peraga dan modul praktikum dapat dilakukan sendiri dengan menggunakan komponen yang tersedia di pasaran. Dalam makalah ini akan dibahas pengembangan alat uji defleksi balok sebagai modul pembelajaran matakuliah mekanika kekuatan material. Pembahasan dibatasi pada desain alat uji dan pengujian hasil desain yang akan dibandingkan dengan analitis teoritis. Tumpuan yang akan digunakan adalah tumpuan sendi dan rol dengan variasi beban terpusat, menggunakan beberapa kondisi pembebanan. Besar reaksi tumpuan dapat diukur dengan menggunakan timbangan gaya. Alat ukur defleksi menggunakan dial gauge dengan pengujian di lakukan pada beberapa titik dengan variasi beban dengan balok uji dibuat dari bahan alumunium yang mempunyai profil persegi empat. Hasil pengembangan alat uji ini berupa modul praktikum defleksi balok dan data pengujian yang akan disajikan dalam grafik sehingga fenomena yang terjadi dapat dianalisis. Diharapkan hasil pengembangan alat uji ini dapat digunakan untuk mengamati fenomena yang terjadi pada pengujian defleksi balok sederhana dalam proses pembelajaran mekanika kekuatan material.

2. Kaji Literatur

Desain konstruksi balok biasanya didasarkan pada kekakuan dari balok tersebut dari pada berdasarkan kekuatannya. Misalnya ketika merancang mesin-mesin untuk pekerjaan yang membutuhkan ketelitian seperti mesin bubut, frais, gerinda, maka deformasi yang terjadi harus sekecil mungkin dan berada di bawah toleransi yang diijinkan. Hal ini sangat berkaitan dengan hasil kerja yang diinginkan (Singer, 1995)

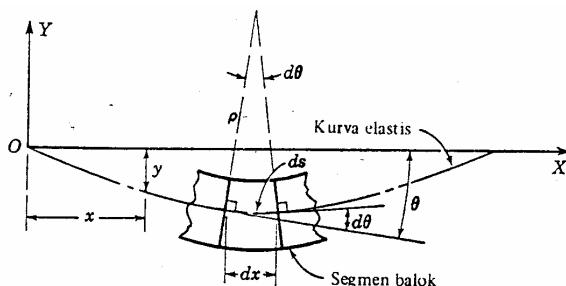
1. Keseimbangan Statis

Dalam konstruksi balok sederhana, terdiri dari komponen utama berupa tumpuan dan beban. Tumpuan yang biasa digunakan dalam suatu konstruksi yaitu tumpuan sendi, tumpuan roll, tumpuan jepit. Sifat tumpuan sendi adalah : mampu menerima reaksi gaya vertikal dan gaya horizontal, tidak dapat menerima momen. Sifat tumpuan roll dapat memberikan reaksi gaya vertikal, tidak dapat menerima gaya horizontal dan tidak dapat menerima momen. Sifat tumpuan jepit yaitu dapat menerima semua reaksi: gaya vertikal, gaya horizontal, dan momen.

Syarat perlu dan cukup untuk keseimbangan suatu benda tegar secara analitis adalah : jumlah gaya arah $x = 0$ ($\sum F_x = 0$), jumlah gaya arah $y = 0$ ($\sum F_y = 0$), jumlah momen = 0 ($\sum M = 0$). Dari persamaan tersebut dapat dikatakan bahwa benda tidak bergerak dalam arah translasi atau arah rotasi (diam). Jika ditinjau dari Hukum III Newton, maka keseimbangan terjadi jika gaya aksi mendapat reaksi yang besarnya sama dengan gaya aksi tetapi arahnya saling berlawanan.

2. Metode Integrasi Ganda

Lendutan yang terjadi pada balok dapat dianalisis dan dihitung dengan menggunakan berbagai metode, seperti metode integrasi ganda, momen luas, balok konyugat dan superposisi. Pada dasarnya metode-metode tersebut menggunakan prinsip yang sama, tetapi teknik penyelesaiannya berbeda. Sebagai dasar dalam penelitian ini, digunakan metode integrasi ganda. Metode ini menggunakan kurva elastis balok sebagai pendekatan untuk melakukan analisis.



Gambar 1. Skema Kurva Elastis Pada Balok (Singer, 1995)

Gambar di atas memperlihatkan skema kurva elastis dari permukaan netral dari sebuah balok. Sumbu X ke arah horizontal, searah dengan kedudukan balok tanpa lendutan dan sumbu vertikal ke atas Y. Lendutan dianggap kecil sehingga tidak terdapat perbedaan panjang awal balok dengan proyeksi panjang lendutannya. Konsekuensinya kurva elastis sangat datar dan kemiringannya pada setiap titik sangat kecil. Harga kemiringan adalah :

$$\tan \theta = \frac{dy}{dx} \text{ maka } \theta = \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

$$\text{Jika persamaan (1) dideferensialkan terhadap } x, \text{ maka diperoleh : } \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2)$$

Analisis terhadap variasi θ dalam panjang deferensial ds yang disebabkan oleh lendutan pada balok, diperoleh : $ds = \rho d\theta$ dengan ρ adalah jari-jari kurva sepanjang busur ds . $\quad (3)$

Jika kurva elastis yang sangat datar, maka dapat dikatakan bahwa $ds = dx$, sehingga persamaan persamaan (2) dapat ditulis menjadi :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \approx \frac{d\theta}{dx} \frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (4)$$

Persamaan (4) adalah kebalikan jari-jari kurva elastis yang dikenal dengan kelengkungan kurva elastis. Hubungan antara kelengkungan kurva elastis dengan momen lentur adalah berbanding langsung. Oleh karena itu jika M adalah momen lentur, E adalah modulus elastisitas bahan balok dan I adalah momen inersia penampang balok, maka hubungan antara jari-jari kelengkungan kurva dan momen lentur dapat dituliskan :

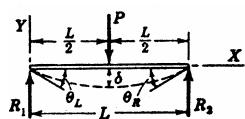
$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (5)$$

Dengan menggabungkan persamaan (4) dan (5) diperoleh hubungan :

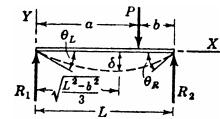
$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M$ yang dikenal dengan persamaan diferensial kurva elastis balok.

3. Persamaan Defleksi Balok Sederhana

Dengan menggunakan prinsip dasar persamaan keseimbangan statis dan metode integrasi ganda, persamaan umum yang digunakan untuk menganalisis fenomena yang terjadi konstruksi balok sederhana dengan tumpuan sendi dan rol adalah sebagai berikut :



a. Center Load



b. Intermediate Load

Gambar 2. Konstruksi Balok Sederhana

Tabel 1. Persamaan Umum Balok Center Load

No.	Komponen	Persamaan
1.	Reaksi tumpuan	$R_1 = \frac{F}{2}, R_2 = \frac{F}{2}$
2.	Momen Maksimum	$M_{\max} = \frac{FL}{4}$
3.	Sudut kemiringan	$\theta_L = \theta_R = \frac{PL^2}{16EI}$
4.	Persamaan defleksi	$EIy = \frac{Px}{12} \left(\frac{3}{4} L^2 - x^2 \right)$ untuk $0 < x < \frac{L}{2}$
5.	Defleksi maksimum	$\delta = \frac{PL^3}{48EI}$

Tabel 2. Persamaan Umum Balok Intermediate Load

No.	Komponen	Persamaan
1.	Reaksi tumpuan	$R_1 = \frac{F(b)}{L}, R_2 = \frac{F(a)}{L}$
2.	Momen Maksimum	$M_{\max} = \frac{Fab}{L}$ pada $x = a$
3.	Sudut kemiringan	• $\theta_L = \frac{Pb(L^2 - b^2)}{6EIL}, \theta_R = \frac{Pa(L^2 - a^2)}{6EIL}$
4.	Persamaan defleksi	• $EIy = \frac{Pbx}{6L} (L^2 - x^2 - b^2)$ untuk $0 < x < a$ • $EIy = \frac{Pb}{6L} \left(\frac{L}{b} (x-a)^3 + (L^2 - b^2)x - x^3 \right)$ untuk $a < x < L$
5.	Defleksi maksimum	$\delta = \frac{Pb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3} EIL}$ pada $x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$

3. Metode Pengujian

Pada penelitian ini, pengukuran defleksi balok sederhana dilakukan dengan beban terpusat, berupa center load dan intermediate load dilakukan dengan set – up percobaan terdiri dari sebuah batang kuningan (brass) dan baja. Reaksi tumpuan diukur dengan timbangan gaya. Defleksi dititik tertentu diukur dengan menggunakan *dialogage* yang dapat diubah-ubah posisinya sesuai dengan kebutuhan pengujian dan pengamatan yang diinginkan.

Spesifikasi alat dan benda uji sebagai berikut :

- Konstruksi alat uji dengan tumpuan roll dan sendi.
- Reaksi tumpuan diukur dengan timbangan gaya digital.

- c) Alat ukur defleksi dial gauge dengan ketelitian 0,01 mm.
- d) Benda uji baja, panjang : 550 mm, lebar 25 mm, tebal 4 mm.
- e) Bahan uji kuningan, panjang : 550 mm, lebar 25 mm, tebal 3 mm.
- f) Beban 250 – 1500 g

Prosedur yang digunakan untuk melaksanakan pengujian adalah sebagai berikut :

- a) Set-up batang uji pada tumpuan kombinasi engsel dan roll.
- b) Pemasangan timbangan gaya sebagai alat ukur reaksi tumpuan dan dial gauge sebagai alat ukur defleksi.
- c) Pemasangan beban pada lokasi yang dikehendaki dan penambahan beban secara periodik untuk memperoleh fenomena perubahan defleksi pada balok.
- d) Mencatat besar gaya reaksi di tumpuan dan defleksi balok yang terjadi akibat beban.
- e) Mengulangi langkah kerja di atas untuk beberapa kali untuk mendapatkan data yang valid.
- f) Membandingkan hasil uji dengan perhitungan teoritis dan mengamati fenomena yang terjadi selama percobaan.
- g) Menganalisis fenomena yang terjadi dan membuat kesimpulan terhadap kinerja alat uji yang dirancang.



Gambar 3. Alat Uji Defleksi Hasil Desain

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian alat untuk mendapatkan karakteristik alat uji disajikan dalam tabel di bawah ini secara berurutan untuk bahan kuningan dan bahan baja dengan beban center load dan intermediate load. Hasil tersebut juga dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan teoretik.

Tabel 3. Hasil Pengujian dan Perhitungan Teoretik Defleksi Benda Uji Kuningan dengan Center Load

No.	Beban (g)	Reaksi Tumpuan Roll (g)	Reaksi Tumpuan Sendi (g)	Defleksi Maksimum Pengujian (mm)	Defleksi Maksimum Teoretik (mm)	Perbedaan (%)
1	250	125	125	1.32	1.54	14.29
2	500	250	250	3.4	3.08	10.39
3	750	375	375	5.01	4.62	8.44
4	1000	500	500	6.52	6.16	5.84
5	1250	625	625	7.5	7.7	2.60
6	1500	750	750	9.72	9.24	5.19
Perbedaan rata-rata						7.79

Tabel 4. Hasil Pengujian dan Perhitungan Teoretik Defleksi Benda Uji Kuningan dengan Intermediate Load

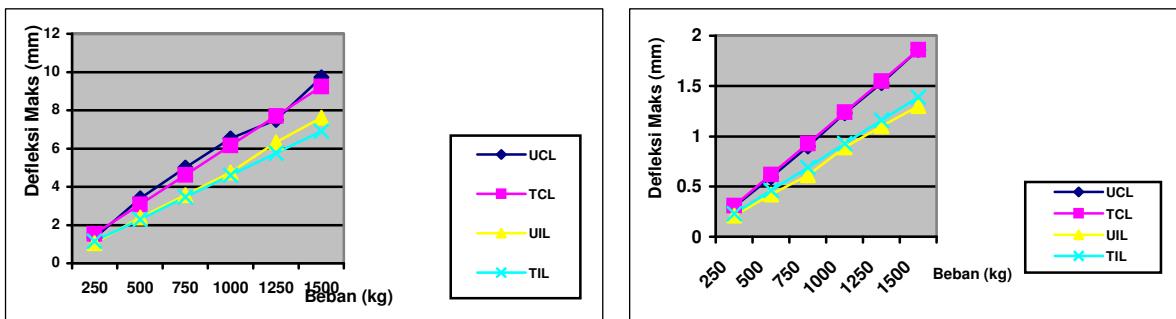
No.	Beban (g)	Reaksi Tumpuan Roll (g)	Reaksi Tumpuan Sendi (g)	Defleksi Maksimum Pengujian (mm)	Defleksi Maksimum Teoretik (mm)	Perbedaan (%)
1	250	68	182	1,05	1.15	8.70
2	500	136	364	2,40	2.30	4.35
3	750	205	545	3,56	3.46	2.89
4	1000	273	727	4,75	4.61	3.04
5	1250	341	909	6,32	5.76	9.72
6	1500	409	1091	7,61	6.91	10.13
Perbedaan rata-rata						6.33

Tabel 5. Hasil Pengujian dan Perhitungan Teoretik Defleksi Benda Uji Baja dengan Center Load

No.	Beban (g)	Reaksi Tumpuan Roll (g)	Reaksi Tumpuan Sendi (g)	Defleksi Maksimum Pengujian (mm)	Defleksi Maksimum Teoretik (mm)	Perbedaan (%)
1	250	125	125	0.3	0.31	3.23
2	500	250	250	0.59	0.62	4.84
3	750	375	375	0.9	0.93	3.23
4	1000	500	500	1.23	1.24	0.81
5	1250	625	625	1.53	1.55	1.29
6	1500	750	750	1.86	1.86	0.00
Perbedaan rata-rata						2.23

Tabel 6. Hasil Pengujian dan Perhitungan Teoretik Defleksi Benda Uji Baja dengan Intermediate Load

No.	Beban (g)	Reaksi Tumpuan Roll (g)	Reaksi Tumpuan Sendi (g)	Defleksi Maksimum Pengujian (mm)	Defleksi Maksimum Teoretik (mm)	Perbedaan (%)
1	250	68	182	0.21	0.23	8.70
2	500	136	364	0.42	0.46	8.70
3	750	205	545	0.61	0.69	11.59
4	1000	273	727	0.89	0.93	4.30
5	1250	341	909	1.1	1.16	5.17
6	1500	409	1091	1.3	1.39	6.47
Perbedaan rata-rata						7.49



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Beban dan Defleksi Maksimum Balok Sederhana

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mendapatkan karakteristik alat uji defleksi balok yang telah dirancang dan dibandingkan dengan hasil perhitungan teoretik, ternyata alat tersebut dapat digunakan untuk mengamati fenomena defleksi yang terjadi pada konstruksi balok sederhana. Perbedaan hasil uji dan teoretik rata-rata baik untuk bahan kuningan maupun bahan baja dengan beban center load dan intermediate load masih berada di bawah 10 %. Perbedaan ini diakibatkan ketelitian alat ukur yang tidak terlalu besar dan sangat dipengaruhi oleh proses pengamatan data yang terukur. Peletakan beban yang kurang tepat dan pemasangan dial gauge yang tidak pada posisi yang dikehendaki menyebabkan penyimpangan data yang dihasilkan.

Secara umum, fenomena defleksi yang terjadi pada konstruksi balok sederhana adalah penambahan besar defleksi maksimum di posisi yang diamati seiring dengan penambahan beban. Makin besar beban yang diterima, maka defleksi yang terjadi juga bertambah. Defleksi yang terjadi juga sangat dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran profil balok. Makin besar ukuran profil balok, maka defleksi yang terjadi makin kecil karena balok makin kaku. Kekakuan konstruksi balok menjadi sangat penting dan mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan. Demikian juga dengan kekuatan bahan uji seperti yang telah dilakukan di atas, kuningan akan mengalami defleksi maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan baja. Posisi beban juga sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya defleksi. Dari pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa defleksi maksimum akan terjadi pada balok yang menerima beban center load. Hal ini berlaku baik bahan kuningan maupun baja. Dengan pemahaman fenomena ini maka dalam mendesain konstruksi balok perlu diperhitungkan profil, modulus elastisitas dan posisi beban. Hal ini sangat berkaitan dengan kekuatan dan keamanan konstruksi yang dirancang.

4. Kesimpulan

1. Desain alat uji defleksi balok yang dikembangkan dapat digunakan sebagai alat untuk mengamati fenomena defleksi, dengan kesalahan kurang dari 10 %.
2. Fenomena yang terjadi dari pengujian yang telah dilakukan adalah defleksi maksimum akan terjadi pada konstruksi balok yang menerima beban center load jika dibandingkan dengan beban intermediate load.
3. Dalam mendesain konstruksi balok perlu dipertimbangkan posisi beban, profil balok, kekakuan dan kekuatan balok agar konstruksi kuat dan aman dalam menerima beban dengan defleksi yang terjadi sekecil mungkin di bawah harga yang diijinkan.

Daftar Pustaka

1. Agustinus P. Irawan, 2008, *Pengembangan Alat Uji Reaksi Tumpuan Sebagai Modul Pembelajaran Statika Struktur*, Prosiding SNMI-04 2008. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jakarta.
2. Beer, Ferdinand P., E Russel Johnston, Jr., 2004, *Vector Mechanics of Engineer: Statics & Dynamics*, Seventh edition, McGraw-Hill, Singapore.
3. Ferdinand L. Singer, 1995, *Kekuatan Bahan*, Terjemahan Darwin Sebayang, Penerbit Erlangga, Jakarta.
4. Hibbeler, R.C., 1998, *Mekanika Teknik*, Terjemahan Yaziz Hasan. Penerbit Prenhallindo, Jakarta.
5. Popov, E.P., 1994, *Mekanika Teknik*, Terjemahan, edisi ke-2, Penerbit Erlangga, Jakarta
6. Timoshenko, S., D.H. Young., 1996, *Mekanika Teknik*, Terjemahan., Edisi ke-4, Penerbit Erlangga, Jakarta.