

## **Analisis Rasio Defleksi Teoritis dan Eksperimental Terhadap Material Uji Baja Karbon dan Aluminium Campuran**

**Zulkifli Djafar**

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Kampus Tamalanrea KM.10 Makassar, Sulawesi Selatan 90245

E-mail : [kifli\\_djafar@yahoo.com](mailto:kifli_djafar@yahoo.com)

**Latar Belakang.** Pada semua konstruksi teknik bagian-bagian pelengkap suatu bangunan haruslah diberi ukuran-ukuran fisik yang tertentu. Bagian-bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk dapat menahan gaya-gaya yang sesungguhnya atau yang mungkin akan dibebankan kepadanya. Jadi lantai sebuah gedung haruslah cukup kuat untuk tujuan yang dikehendaki; poros sebuah mesin haruslah berukuran yang cukup memadai untuk memuat momen puntir yang diperlukan dan menahan gaya-gaya luar atau tekanan dalam. Demikian pula, bagian-bagian suatu struktur komposit harus cukup tegar hingga tidak akan melentur atau melengkung melebihi batas yang diizinkan bila bekerja di bawah beban yang diberikan (*E. P. Popov, 1993*). Dalam desain dan perencanaan suatu konstruksi baja, salah satu hal yang perlu ditindak lanjuti adalah menghitung defleksi pada elemen ketika mengalami suatu pembebanan. Hal ini sangat penting terutama dari segi kekuatan dan kekakuan, dimana suatu bidang horizontal yang diberi beban secara lateral akan mengalami perubahan. Defleksi yang terjadi pada elemen yang mengalami pembebanan harus berada pada suatu batas yang diizinkan agar dapat dicegah terjadi kerusakan pada elemen-elemen tersebut. Oleh karena itu variabel yang memberi pengaruh terhadap besar defleksi pada batang perlu diketahui

**Tujuan dari penelitian** ini adalah untuk menentukan momen lentur serta diagram gaya geser pada batang, mengetahui kebenaran ketiga metode yang digunakan antara lain metode integral, metode energi dan metode fungsi singularitas akan diperoleh hasil yang sama, dan membandingkan hasil defleksi teoritis dan eksperimental.

**Metodologi yang digunakan dalam penelitian dan pengujian** defleksi ini adalah besarnya defleksi yang terjadi pada batang prisma yang ditumpu sederhana untuk berbagai jenis spesimen. Berat batang dari spesimen diabaikan sehingga beban yang bekerja pada struktur adalah beban titik pada jarak  $x = L/4$  dan  $x = 3L/4$  (dari tumpuan kiri) dengan variasi beban  $P$  dari 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 dan 1 kg. Spesimen uji yang dipakai adalah jenis baja karbon dan aluminium. Sebagai pembanding, juga ditinjau konstruksi statis tak tentu, dan dalam penelitian ini digunakan beberapa metode antara lain : Metode Integral, Metode Energi dan Metode Fungsi Singularitas untuk mendapatkan hasil defleksi yang terjadi

**Hasil yang diperoleh** dalam penjabaran defleksi yang terjadi berdasarkan hasil penelitian pada setiap penampang yang ditinjau dengan menggunakan metode integral, metode energi dengan dalil Castigliano dimana penjabaran rumus menghasilkan perbedaan antara defleksi teoritis dan eksperimental pada tumpuan engsel-rol untuk bahan baja karbon adalah 6,19 % sedangkan untuk bahan aluminium adalah 7,78 %. Jika kedua nilai akhir ini dirata-ratakan menghasilkan 6,98 %, sedangkan rata-rata perbedaan antara defleksi teoritis dan eksperimental pada tumpuan jepit-rol untuk bahan baja karbon adalah 6,11 % sedangkan untuk bahan aluminium adalah 7,11 %. Jika kedua nilai akhir ini dirata-ratakan menghasilkan 6,61 %. Dengan merata-ratakan nilai perbedaan antara defleksi teoritis dan eksperimental pada tumpuan engsel-rol dan jepit-rol maka akan diperoleh rata-rata akhir = 6,795 %  $\approx$  7 %. Dimana diketahui bahwa hubungan antara modulus elastisitas dengan besarnya defleksi pada batang adalah berbanding terbalik. Hal ini berlaku pada kedua kombinasi tumpuan yaitu engsel-rol dan jepit-rol. Misalnya dapat dilihat pada tumpuan engsel-rol dengan beban  $P = 0,2$  kg, defleksi yang diperoleh pada  $x = \frac{1}{4} L = 0,25$  m adalah 0,000633 m untuk bahan baja karbon. Sedangkan untuk bahan aluminium dimana defleksi pada  $x = \frac{1}{4} L = 0,25$  m adalah 0,002142 m.

**Kata kunci :** Defleksi, Integral, Energi Castigliano, Fungsi Singularitas

## Pendahuluan

Pada semua konstruksi teknik bagian-bagian pelengkap suatu bangunan haruslah diberi ukuran-ukuran fisik yang tertentu. Bagian-bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk dapat menahan gaya-gaya yang sesungguhnya atau yang mungkin akan dibebankan kepadanya. Jadi lantai sebuah gedung haruslah cukup kuat untuk tujuan yang dikehendaki; poros sebuah mesin haruslah berukuran yang cukup memadai untuk memuat momen puntir yang diperlukan dan menahan gaya-gaya luar atau tekanan dalam. Demikian pula, bagian-bagian suatu struktur komposit harus cukup tegar hingga tidak akan melentur atau melengkung melebihi batas yang diizinkan bila bekerja di bawah beban yang diberikan (*E. P. Popov, 1993*). Defleksi yang terjadi pada elemen yang mengalami pembebanan harus berada pada suatu batas yang diizinkan, karena jika melewati batas yang diizinkan maka akan terjadi kerusakan pada elemen-elemen tersebut ataupun pada elemen lainnya. Misalnya pada poros transmisi. Jika defleksi terjadi cukup besar maka akan mengakibatkan amplitudo getaran yang semakin besar sehingga terjadi resonansi dan mengakibatkan bunyi serta getaran yang cukup kasar pada sistem transmisi atau bahkan dapat merusak poros itu sendiri dan menyebabkan keausan yang cepat pada sistem bantalan yang menumpu poros serta kerusakan pada gigi dan gear.

Maka penyusun ingin meneliti beberapa variabel yang memberi pengaruh terhadap besar defleksi pada batang. Terutama untuk menganalisa perbandingan defleksi secara teoritis dengan tiga metode yaitu metode integral, metode energi dengan dalil Castigliano dan metode fungsi singularitas dan defleksi secara eksperimental.

### a. Persamaan Metode Integral

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M, \quad EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C_1, \quad EI y = \iint M dx dx + C_1 x + C_2$$

### b. Persamaan Energi Dalil Castigliano

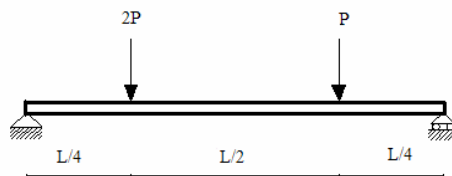
$$\Delta_n = \frac{\partial}{\partial P_n} \int \frac{M^2}{2EI} dx = \int \left( \frac{M}{EI} \right) \left( \frac{\partial M}{\partial P_n} \right) dx$$

### c. Persamaan fungsi singularitas

$$f_n(x) = \langle x - a \rangle^n$$

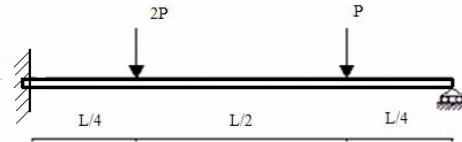
## METODOLOGI

Dalam pengujian defleksi ini yang diukur adalah besarnya defleksi yang terjadi pada batang prismatik yang ditumpu sederhana untuk berbagai jenis spesimen.



**Gambar 1. Gambar tumpuan sederhana**

Berat batang dari spesimen diabaikan sehingga beban yang bekerja pada struktur adalah beban titik pada jarak  $x = L/4$  dan  $x = 3L/4$  (dari tumpuan kiri) dengan variasi beban  $P$  dari 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 dan 1 kg. Spesimen uji yang dipakai adalah jenis baja karbon dan aluminium. Sebagai pembandingan, juga ditinjau konstruksi statis tak tentu.



**Gambar 2. Konstruksi Statis Tak tentu**

**a. Metode Integral**

Menjabarkan persamaan defleksi dengan menggunakan metode integral. Menggunakan persamaan kurva defleksi yakni pers. berikut

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -M$$

Menentukan persamaan atau besarnya gaya geser  $V$  dan momen lentur  $M$  dilakukan dengan menggunakan persamaan keseimbangan pada setiap potongan penampang yang ditinjau. Jika persamaan ini diintegrasikan menghasilkan, Persamaan slope :

$$EI \left( \frac{dy}{dx} \right) = -Mx + C_1 \dots\dots\dots(a)$$

Kemudian persamaan (a) diintegrasikan kembali akan diperoleh, Persamaan defleksi :

$$EI (y) = -\frac{1}{2} Mx^2 + C_1x + C_2 \dots(b)$$

**b. Metode Energi**

Menggunakan persamaan dari dalil castigliano yakni pers. Berikut :

$$\Delta_n = \frac{\partial}{\partial P_n} \int \frac{M^2}{2EI} dx = \int \left( \frac{M}{EI} \right) \left( \frac{\partial M}{\partial P_n} \right) dx$$

Jadi untuk mengetahui defleksi pada suatu titik tertentu maka harus dilihat beban yang bekerja pada titik tersebut, jika tidak ada beban maka diberi beban imajiner yang bernilai nol, untuk melihat peralihan yang terjadi pada titik tersebut.

**c. Metode Fungsi Singularitas**

Ini adalah fungsi singularitas yang digambarkan memiliki nilai jika pernyataannya positif. Ketika pernyataan itu positif, tanda kurung yang ditunjuk hanya berfungsi sama seperti tanda kurung biasa. Fungsi singularitas adalah

$$f_n(x) = \langle x - a \rangle^n \dots\dots\dots(c)$$

Mematuhi hukum integral

$$\int_{-\infty}^x \langle y - a \rangle^n dy = \frac{\langle x - a \rangle^{n+1}}{n + 1}$$

untuk  $n \geq 0$ .....(d)

Juga perlu ditentukan integrasi untuk  $n = -1$  dan  $n = -2$  seperti yang kita lakukan seperti dibawah ini

$$\int_{-\infty}^x \langle y - a \rangle^{-1} dy = \langle x - a \rangle^0 = \begin{cases} 0 & \text{jika } x < a \\ 1 & \text{jika } x > a \end{cases} \dots\dots(e)$$

$$\int_{-\infty}^x \langle y - a \rangle^{-2} dy = \langle x - a \rangle^{-1} \dots\dots(f)$$

Fungsi  $\langle ax - a \rangle^{-1}$  dan  $\langle ax - a \rangle^{-2}$  adalah nol untuk semua kecuali saat  $x = a$  dimana mereka takterhingga seperti pada persamaan (d) dan (e).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil penjabaran defleksi yang terjadi berdasarkan hasil penelitian pada setiap penampang yang ditinjau dengan menggunakan metode integral, metode energi dengan dalil castiglian penjabaran rumus pada dan dinyatakan dalam bentuk tabel pada tabel 1 dan 2 serta gambar 3 dan gambar 4. Dalam tabel ini dapat dilihat bahwa hasil penjabaran persamaan dari ketiga metode untuk persamaan defleksi adalah sama untuk setiap penampang yang 0 dan metode fungsi singularitas diperoleh dari ditinjau (pada  $x = \frac{1}{4}L$ ,  $x = \frac{2}{4}L$  dan  $x = \frac{3}{4}L$ ). Dengan demikian untuk menentukan, besarnya nilai defleksi teoritis pada setiap penampang yang ditinjau cukup dengan menggunakan hasil persamaan dari salah satu metode.

Setelah memasukkan data yang diperlukan untuk menghitung besarnya defleksi teoritis maka diperoleh hasil seperti diberikan dalam Tabel 3 untuk tumpuan engsel-rol dan Tabel 4 untuk tumpuan jepit-rol.

Pada jenis material yang sama dengan kombinasi tumpuan yang berbeda, diperoleh defleksi yang terjadi pada kombinasi tumpuan jepit-rol lebih kecil dibandingkan dengan kombinasi tumpuan engsel-rol. Hal ini terjadi karena pada jenis tumpuan jepit-rol terdapat momen tahanan pada tumpuan jepit yang dipakai sehingga defleksi yang terjadi akan mendapat tahanan dari momen jepitan tersebut. Hal ini berlaku untuk kedua jenis material yang digunakan yaitu baja karbon dan aluminium.

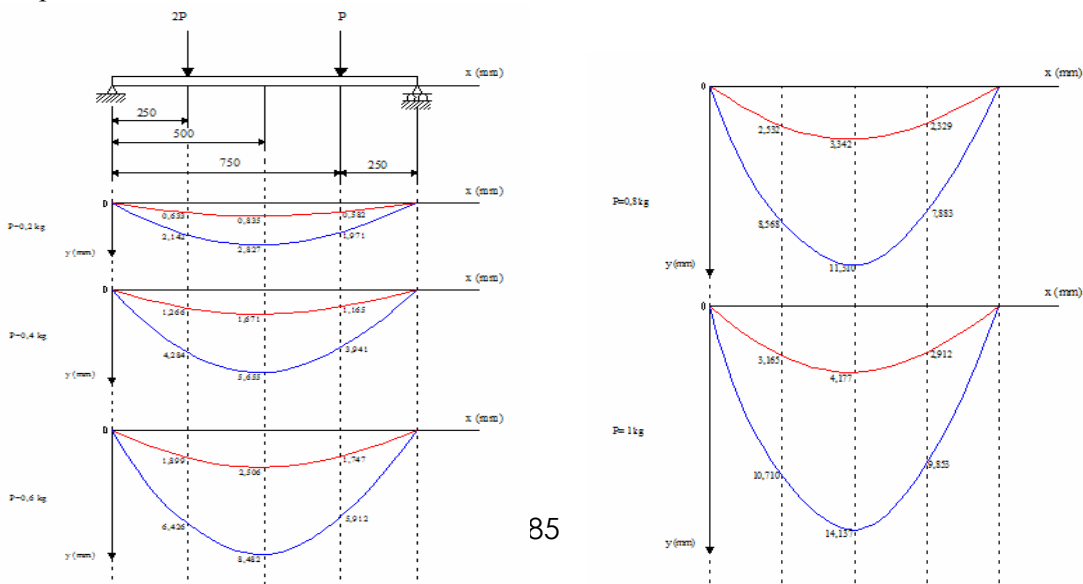
**Tabel 1. Hasil Penjabaran dengan Engsel-Rol**

| Jarak dari A (mm)   | $x = 0$                             | $x = \frac{L}{4}$                                                          | $x = \frac{2L}{4}$                       | $x = \frac{3L}{4}$                                                          | $x = L$                              |
|---------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Metode              | Gaya Geser                          |                                                                            |                                          |                                                                             |                                      |
| Integral            | $\frac{7P}{4}$                      | $\frac{7P}{4}$<br>$-\frac{P}{4}$                                           | $-\frac{P}{4}$                           | $-\frac{P}{4}$<br>$-\frac{5P}{4}$                                           | $-\frac{5P}{4}$                      |
| Energi Castigliano  | $\frac{3P_1 + 2Q + P_2}{4 + 4 + 4}$ | $\frac{3P_1 + 2Q + P_2}{4 + 4 + 4}$<br>$-\frac{P_1 + 2Q + P_2}{4 + 4 + 4}$ | $-\frac{P_1 + 2Q + P_2}{4 + 4 + 4}$      | $-\frac{P_1 + 2Q + P_2}{4 + 4 + 4}$<br>$-\frac{P_1 + 2Q + 3P_2}{4 + 4 + 4}$ | $-\frac{P_1 + 2Q + 3P_2}{4 + 4 + 4}$ |
| Fungsi Singularitas | $\frac{7P}{4}$                      | $\frac{7P}{4}$<br>$-\frac{P}{4}$                                           | $-\frac{P}{4}$                           | $-\frac{P}{4}$<br>$-\frac{5P}{4}$                                           | $-\frac{5P}{4}$                      |
|                     | Momen Lentur                        |                                                                            |                                          |                                                                             |                                      |
| Integral            | 0                                   | $\frac{7PL}{16}$                                                           | $\frac{6PL}{16}$                         | $\frac{5PL}{16}$                                                            | 0                                    |
| Energi Castigliano  | 0                                   | $\frac{3P_1 + 2Q + P_1}{16 + 16 + 16}$                                     | $\frac{2PL + 4QL + 2P_2L}{16 + 16 + 16}$ | $\frac{PL + 2QL + 3P_2L}{16 + 16 + 16}$                                     | 0                                    |
| Fungsi Singularitas | 0                                   | $\frac{7PL}{16}$                                                           | $\frac{6PL}{16}$                         | $\frac{5PL}{16}$                                                            | 0                                    |
|                     | Defleksi                            |                                                                            |                                          |                                                                             |                                      |
| Integral            | 0                                   | $0,032552 \frac{PL^2}{EI}$                                                 | $0,042969 \frac{PE}{EI}$                 | $0,029948 \frac{PE}{EI}$                                                    | 0                                    |
| Energi Castigliano  | 0                                   | $0,032552 \frac{PL^2}{EI}$                                                 | $0,042969 \frac{PE}{EI}$                 | $0,029948 \frac{PE}{EI}$                                                    | 0                                    |
| Fungsi Singularitas | 0                                   | $0,032552 \frac{PL^2}{EI}$                                                 | $0,042969 \frac{PE}{EI}$                 | $0,029948 \frac{PE}{EI}$                                                    | 0                                    |

Tabel 2. Hasil Penjabaran dengan Jepit-Rol

| Jarak dari A (mm)   | $x = 0$                                                     | $x = L/4$                                                                                                                  | $x = 2L/4$                                                       | $x = 3L/4$                                                                                                                 | $x = L$                                                      |
|---------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Metode              | Gaya Geser                                                  |                                                                                                                            |                                                                  |                                                                                                                            |                                                              |
| Integral            | $\frac{7P}{4} + \frac{M_A}{L}$                              | $\frac{7P}{4} + \frac{M_A}{L}$<br>$-\frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$                                                           | $-\frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$                                   | $-\frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$<br>$-\frac{5P}{4} + \frac{M_A}{L}$                                                          | $-\frac{5P}{4} + \frac{M_A}{L}$                              |
| Energi Castigliano  | $\frac{3P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$ | $\frac{3P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$<br>$-\frac{P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$ | $-\frac{P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$      | $\frac{P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$<br>$-\frac{P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{3P}{4} + \frac{M_A}{L}$ | $-\frac{P}{4} + \frac{2Q}{4} + \frac{3P}{4} + \frac{M_A}{L}$ |
| Fungsi Singularitas | $\frac{7P}{4} + \frac{M_A}{L}$                              | $\frac{7P}{4} + \frac{M_A}{L}$<br>$-\frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$                                                           | $-\frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$                                   | $-\frac{P}{4} + \frac{M_A}{L}$<br>$-\frac{5P}{4} + \frac{M_A}{L}$                                                          | $-\frac{5P}{4} + \frac{M_A}{L}$                              |
|                     | Momen Lentur                                                |                                                                                                                            |                                                                  |                                                                                                                            |                                                              |
| Integral            | $-M_A$                                                      | $\frac{7PL}{16} - \frac{3M_A}{4}$                                                                                          | $\frac{6PL}{16} - \frac{2M_A}{4}$                                | $\frac{5PL}{16} - \frac{M_A}{4}$                                                                                           | 0                                                            |
| Energi Castigliano  | $-M_A$                                                      | $\frac{3P}{16} - \frac{2Q}{16} - \frac{P}{16} - \frac{3M_A}{4}$                                                            | $\frac{2P}{16} - \frac{4Q}{16} - \frac{2P}{16} - \frac{2M_A}{4}$ | $\frac{P}{16} - \frac{2Q}{16} - \frac{3P}{16} - \frac{M_A}{4}$                                                             | 0                                                            |
| Fungsi Singularitas | $-M_A$                                                      | $\frac{7PL}{16} - \frac{3M_A}{4}$                                                                                          | $\frac{6PL}{16} - \frac{2M_A}{4}$                                | $\frac{5PL}{16} - \frac{M_A}{4}$                                                                                           | 0                                                            |
|                     | Defleksi                                                    |                                                                                                                            |                                                                  |                                                                                                                            |                                                              |
| Integral            | 0                                                           | $0,008199 \frac{PL^2}{EI}$                                                                                                 | $0,015137 \frac{PL^2}{EI}$                                       | $0,012553 \frac{PE}{EI}$                                                                                                   | 0                                                            |
| Energi Castigliano  | 0                                                           | $0,008199 \frac{PL^2}{EI}$                                                                                                 | $0,015137 \frac{PL^2}{EI}$                                       | $0,012553 \frac{PE}{EI}$                                                                                                   | 0                                                            |
| Fungsi Singularitas | 0                                                           | $0,008199 \frac{PL^2}{EI}$                                                                                                 | $0,015137 \frac{PL^2}{EI}$                                       | $0,012553 \frac{PE}{EI}$                                                                                                   | 0                                                            |

Untuk kombinasi tumpuan yang sama dengan jenis material yang berbeda akan mempunyai harga defleksi yang berbeda pula. Besarnya defleksi yang terjadi pada material baja lebih kecil dibandingkan dengan material aluminium. Hal ini disebabkan karena harga modulus elastisitas baja lebih besar dari aluminium ( $E_{\text{baja}} = 2,097.10^{10} \text{ kg/mm}^2$  dan  $E_{\text{aluminium}} = 6,195.10^9 \text{ kg/mm}^2$ ). Dimana modulus elastisitas itu sendiri merupakan harga perbandingan antara tegangan dan regangan material dalam daerah elastis. Ini berarti semakin besar nilai modulus elastisitas suatu material maka besar gaya yang dibutuhkan untuk dapat berdefleksi semakin besar pula. Hingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara modulus elastisitas dengan besarnya defleksi pada batang adalah berbanding terbalik. Hal ini berlaku pada kedua kombinasi tumpuan yaitu engsel-rol dan jepit-rol. Sebagai contoh, perbedaan ini dapat dilihat misalnya untuk tumpuan engsel-rol dengan  $P = 0,2 \text{ kg}$ , defleksi pada  $x = \frac{1}{4}L = 0,25 \text{ m}$  adalah  $0,000633 \text{ m}$  untuk bahan baja karbon. Sedangkan untuk bahan aluminium dimana defleksi pada  $x = \frac{1}{4}L = 0,25 \text{ m}$  adalah  $0,002142 \text{ m}$ .

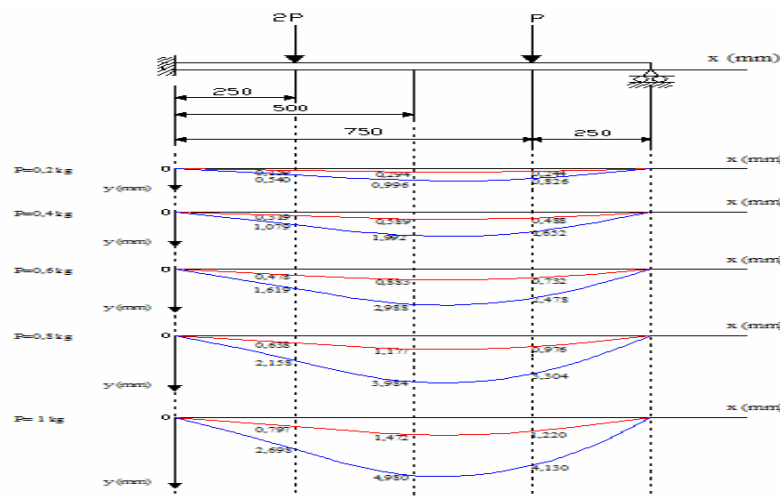


**Gambar 3 Defleksi pada Tumpuan Engsel-Rol**

Selanjutnya dari hasil perhitungan perbedaan defleksi teoritis dan eksperimental untuk kedua jenis kombinasi tumpuan dan jenis bahan yang diberikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4. Dalam tabel ini memperlihatkan bahwa pada setiap pembebanan dan pada setiap penampang yang ditinjau memberikan nilai perbedaan defleksi yang bervariasi baik untuk bahan baja karbon maupun aluminium.

Nilai rata-rata perbedaan antara defleksi teoritis dan eksperimental pada tumpuan engsel-rol untuk bahan baja karbon adalah 6,19 % sedangkan untuk bahan aluminium adalah 7,78 %. Jika kedua nilai akhir ini dirata-ratakan menghasilkan 6,98 %, sedangkan rata-rata perbedaan antara defleksi teoritis dan eksperimental pada tumpuan jepit-rol untuk bahan baja karbon adalah 6,11 % sedangkan untuk bahan aluminium adalah 7,11 %. Jika kedua nilai akhir ini dirata-ratakan menghasilkan 6,61 %

Dengan merata-ratakan nilai perbedaan antara defleksi teoritis dan eksperimental pada tumpuan engsel-rol dan jepit-rol maka akan diperoleh rata-rata akhir = 6,795 %  $\approx$  7 %. Dari hasil pengamatan besarnya defleksi yang terjadi pada eksperimen lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis dengan persentase kesalahan ditunjukkan pada tabel 3 dan tabel 4 tersebut.

**Gambar 4. Defleksi pada Tumpuan Jepit-Rol**

### Kesimpulan

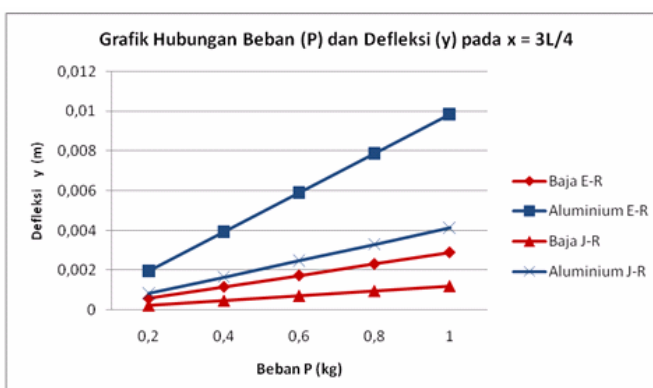
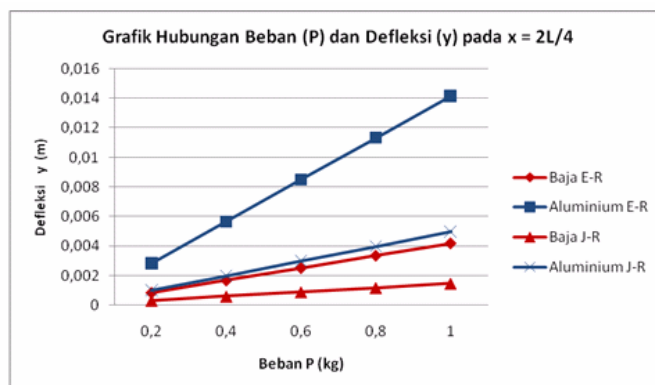
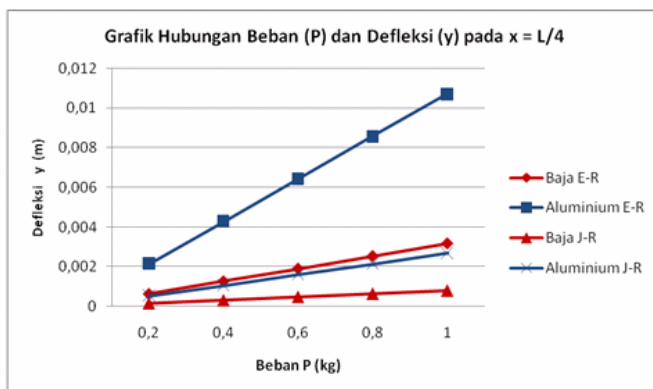
Sesuai dengan hasil analisis terhadap konstruksi batang dengan kombinasi tumpuan Engsel-rol dan Jepit-rol dengan beban  $2P$  yang diletakkan pada penampang  $x = \frac{1}{4}L$  dan beban  $P$  yang diletakkan pada penampang  $x = \frac{3}{4}L$  ( $L = 1 \text{ m}$ ), dimana beban  $P = 0.2 \text{ kg}, 0.4 \text{ kg}, 0.6 \text{ kg}, 0.8 \text{ kg}$  dan  $1 \text{ kg}$  dan tidak memperhitungkan berat batang, untuk material uji baja karbon dan aluminium, dapat disimpulkan bahwa untuk setiap pembebanan yang diberikan :

1. Besarnya gaya geser  $V$  dan momen lentur  $M$  pada setiap kombinasi tumpuan yang sama adalah sama untuk kedua jenis material. Untuk tumpuan Engsel-rol, gaya geser maksimum terjadi pada  $x = \frac{1}{4}L$  (dari tumpuan A) yakni pada pembebanan  $2P$ , terjadilah peralihan gaya geser  $V$  dari nilai positif ke nilai negative dan pada penampang ini menghasilkan momen lentur maksimum. Sedangkan Untuk tumpuan jepit-rol, gaya geser maksimum terjadi pada  $x = \frac{3}{4}L$  (dari tumpuan A) yakni pada pembebanan  $P$ , terjadilah peralihan gaya geser  $V$  dari nilai positif ke nilai negative dan pada penampang ini pula menghasilkan momen lentur maksimum
2. Penjabaran defleksi teoritis pada setiap penampang yang ditinjau dengan menggunakan metode integral, metode energi dengan dalil castigliano maupun metode fungsi singularitas memberikan hasil persamaan defleksi yang sama besar.

- Defleksi teoritis maupun defleksi eksperimental untuk bahan aluminium lebih besar dari bahan baja karbon. Dan Defleksi teoritis maupun defleksi eksperimental untuk tumpuan engsel-rol lebih besar dibanding tumpuan jepit-rol. Perbandingan defleksi teoritis dan eksperimental untuk kedua konstruksi sekitar 6,795 %. Sehingga diperoleh secara umum antara defleksi teoritis dan eksperimental adalah 7 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dullah, Buchary 1999. *Analisis Defleksi dan Tegangan Pada Batang yang Ditumpu Dengan Kombinasi Tumpuan Engsel, Roll dan Jepit*, Laporan Hasil Penelitian No. 4382/J04.8/PL.06/1999, Univesitas Hasanuddin, Makassar
- Gere, James M, S. Timoshenko, Bambang Suryoatmono, 2000. *Mekanika Bahan* (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta
- Nash A. William, 1983. *Strength of Materials Second Edition*. McGraw-Hill International Book Company, Singapura
- Niemann, G, Anton Budiman dan Bambang Priambodo, 1994. *Elemen Mesin* (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Popov, E. P., Zainul Astamar, 1993. *Mekanika Teknik* (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Singer, Ferdinand L, Pytel Andrew, Darwin Sebayang, 1995. *Ilmu Kekuatan Bahan* (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.



| Tabel. 3 Hasil Perhitungan perbedaan Defleksi Teoritis dan Eksperimental untuk bahan baja karbon dan aluminium dengan Tumpuan Engsel-Rol |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           |                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|-------------|-------------------------------------|-------|-------------|-------------------------------------|--------|-------------|-------------|-------|-------------|-----------|--------------------------------|
| Defleksi (mm)                                                                                                                            | Baja Karbon                        |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           |                                |
|                                                                                                                                          | (Y <sub>1</sub> ) <sub>x=L/4</sub> |       |             | (Y <sub>2</sub> ) <sub>x=2L/4</sub> |       |             | (Y <sub>3</sub> ) <sub>x=3L/4</sub> |        |             | Teori-Eksp. |       |             | Rata-rata |                                |
|                                                                                                                                          | Teori                              | Eksp. | Teori-Eksp. | Teori                               | Eksp. | Teori-Eksp. | Teori                               | Eksp.  | Teori-Eksp. | Teori       | Eksp. | Teori-Eksp. |           |                                |
| Beban                                                                                                                                    |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           |                                |
| 0,2                                                                                                                                      | 0,633                              | 0,684 | 0,0747      | 7,47 %                              | 0,835 | 0,899       | 0,0707                              | 7,07 % | 0,582       | 0,62        | 0,072 | 7,28 %      | 0,072     | 7,27 %                         |
| 0,4                                                                                                                                      | 1,266                              | 1,352 | 0,0637      | 6,37 %                              | 1,671 | 1,790       | 0,0665                              | 6,65 % | 1,165       | 1,24        | 0,062 | 6,23 %      | 0,064     | 6,42 %                         |
| 0,6                                                                                                                                      | 1,899                              | 2,021 | 0,0605      | 6,05 %                              | 2,506 | 2,657       | 0,0567                              | 5,67 % | 1,747       | 1,85        | 0,059 | 5,93 %      | 0,058     | 5,88 %                         |
| 0,8                                                                                                                                      | 2,532                              | 2,685 | 0,0571      | 5,71 %                              | 3,342 | 3,541       | 0,0562                              | 5,62 % | 2,329       | 2,46        | 0,055 | 5,59 %      | 0,056     | 5,64 %                         |
| 1                                                                                                                                        | 3,165                              | 3,365 | 0,0595      | 5,95 %                              | 4,177 | 4,426       | 0,0562                              | 5,62 % | 2,912       | 3,08        | 0,056 | 5,62 %      | 0,057     | 5,73 %                         |
|                                                                                                                                          |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           | 6,19 %                         |
|                                                                                                                                          |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           | Rata-rata akhir = 0,061        |
| Aluminium                                                                                                                                |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           |                                |
| 0,2                                                                                                                                      | 2,142                              | 2,335 | 0,0826      | 8,26 %                              | 2,827 | 3,101       | 0,0882                              | 8,82 % | 1,971       | 2,16        | 0,089 | 8,98 %      | 0,086     | 8,69 %                         |
| 0,4                                                                                                                                      | 4,284                              | 4,655 | 0,0797      | 7,97 %                              | 5,655 | 6,158       | 0,0817                              | 8,17 % | 3,941       | 4,29        | 0,082 | 8,23 %      | 0,081     | 8,12 %                         |
| 0,6                                                                                                                                      | 6,426                              | 6,930 | 0,0727      | 7,27 %                              | 8,482 | 9,238       | 0,0818                              | 8,18 % | 5,912       | 6,44        | 0,083 | 8,30 %      | 0,079     | 7,92 %                         |
| 0,8                                                                                                                                      | 8,568                              | 9,270 | 0,0759      | 7,59 %                              | 11,31 | 12,23       | 0,0752                              | 7,52 % | 7,883       | 8,54        | 0,077 | 7,78 %      | 0,076     | 7,63 %                         |
| 1                                                                                                                                        | 10,71                              | 11,45 | 0,0646      | 6,46 %                              | 14,13 | 15,15       | 0,0668                              | 6,68 % | 9,853       | 10,5        | 0,065 | 6,51 %      | 0,065     | 6,55 %                         |
|                                                                                                                                          |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           | Rata-rata akhir = 0,077        |
|                                                                                                                                          |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |             |       |             |           | Total Rata-rata = 6,98 % ≈ 7 % |



| Tabel. 4. Hasil Perhitungan perbedaan Defleksi Teoritis dan Eksperimental untuk bahan baja dan aluminium dengan Tumpuan Jepit-Rol |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             |                       |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|-------------|-------------------------------------|-------|-------------|-------------------------------------|--------|-------------|-----------------------|--------|-------------|-----------------------|--------|--------|
| Baja Karbon                                                                                                                       |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             |                       |        |        |
| Defleksi (mm)                                                                                                                     | (Y <sub>1</sub> ) <sub>x=L/4</sub> |       |             | (Y <sub>2</sub> ) <sub>x=2L/4</sub> |       |             | (Y <sub>3</sub> ) <sub>x=3L/4</sub> |        |             | Teori-Eksp. Rata-rata |        |             |                       |        |        |
|                                                                                                                                   | Teori                              | Eksp. | Teori-Eksp. | Teori                               | Eksp. | Teori-Eksp. | Teori                               | Eksp.  | Teori-Eksp. | Teori                 | Eksp.  | Teori-Eksp. | Teori-Eksp. Rata-rata |        |        |
| Beban (kg)                                                                                                                        |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             |                       |        |        |
| 0.2                                                                                                                               | 0.159                              | 0.171 | 0.0677      | 6.77 %                              | 0.294 | 0.315       | 0.0656                              | 6.56 % | 0.244       | 0.261                 | 0.0648 | 6.48 %      | 0.0661                | 6,61 % |        |
| 0.4                                                                                                                               | 0.319                              | 0.341 | 0.0650      | 6.50 %                              | 0.589 | 0.628       | 0.0627                              | 6.27 % | 0.488       | 0.521                 | 0.0630 | 6.30 %      | 0.0636                | 6,36 % |        |
| 0.6                                                                                                                               | 0.478                              | 0.511 | 0.0641      | 6.41 %                              | 0.883 | 0.941       | 0.0617                              | 6.17 % | 0.732       | 0.781                 | 0.0624 | 6.24 %      | 0.0627                | 6,27 % |        |
| 0.8                                                                                                                               | 0.638                              | 0.678 | 0.0595      | 5.95 %                              | 1.177 | 1.246       | 0.0552                              | 5.52 % | 0.976       | 1.037                 | 0.0585 | 5.85 %      | 0.0577                | 5,77 % |        |
| 1                                                                                                                                 | 0.797                              | 0.845 | 0.0567      | 5.67 %                              | 1.472 | 1.562       | 0.0579                              | 5.79 % | 1.220       | 1.287                 | 0.0518 | 5.18 %      | 0.0554                | 5,54 % |        |
|                                                                                                                                   |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             | Rata-rata akhir =     | 0,0611 | 6,11 % |
| Aluminium                                                                                                                         |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             |                       |        |        |
| 0.2                                                                                                                               | 0.540                              | 0.587 | 0.0809      | 8.09 %                              | 0.996 | 1.083       | 0.0803                              | 8.03 % | 0.826       | 0.897                 | 0.0791 | 7.91 %      | 0.0801                | 8,01 % |        |
| 0.4                                                                                                                               | 1.079                              | 1.168 | 0.0762      | 7.62 %                              | 1.992 | 2.148       | 0.0726                              | 7.26 % | 1.652       | 1.784                 | 0.0740 | 7.40 %      | 0.0742                | 7,42 % |        |
| 0.6                                                                                                                               | 1.619                              | 1.745 | 0.0725      | 7.25 %                              | 2.988 | 3.237       | 0.0769                              | 7.69 % | 2.478       | 2.660                 | 0.0684 | 6.84 %      | 0.0726                | 7,26 % |        |
| 0.8                                                                                                                               | 2.158                              | 2.303 | 0.0629      | 6.29 %                              | 3.984 | 4.312       | 0.0760                              | 7.60 % | 3.304       | 3.537                 | 0.0653 | 6.53 %      | 0.0681                | 6,81 % |        |
| 1                                                                                                                                 | 2.698                              | 2.865 | 0.0584      | 5.84 %                              | 4.980 | 5.293       | 0.0591                              | 5.91 % | 4.130       | 4.416                 | 0.0647 | 6.47 %      | 0.0607                | 6,07 % |        |
|                                                                                                                                   |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             | Rata-rata akhir =     | 0,0711 | 7,11 % |
|                                                                                                                                   |                                    |       |             |                                     |       |             |                                     |        |             |                       |        |             | Total Rata-rata =     | 6,61 % | ≈ 7 %  |

