

Analisis Defleksi Balok Dengan Metode Elemen Hingga (FEM) Dalam Rekayasa Struktur Modern

Sulle Jony¹, Benyamin Tangaran², Karel Tikupadang³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus
Jl. Perintis Kemerdekaan Km 13 Daya Makassar, 90243
Email korespondensi: kareltikukip2000@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis defleksi balok tumpuan sederhana dengan beban terpusat menggunakan metode elemen hingga. Pengujian defleksi atau lendutan pada balok tumpuan sederhana dengan beban terpusat menggunakan metode elemen hingga menghasilkan nilai yang sebanding dengan beban yang diberikan, dimana pada beban 10 N nilai defleksi eksperimen 0,38 mm dan nilai defleksi teoritis 0,49 mm. Beban 20 N nilai defleksi eksperimen 0,79 mm dan nilai teoritis 0,99 mm. Pada beban 30 N nilai defleksi eksperimen nya 1,13 mm dan nilai defleksi teoritisnya 1,49 mm. Dan pada beban 40 N nilai defleksi eksperimen 1,53 mm dan nilai defleksi teoritisnya 1,99 mm. Nilai defleksi ini selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh geometri balok, material yang digunakan dan juga tumpuan yang digunakan.

Kata kunci: Defleksi Balok, Beban Terpusat, Tumpuan Sendi-Rol, Metode Elemen Hingga (FEM)

1. PENDAHULUAN

Defleksi balok adalah perubahan yang terjadi akibat beban yang diterapkan, yang berpotensi mempengaruhi kinerja dan keamanan struktur. Defleksi yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan struktural atau kegagalan sistem. Oleh sebab itu, pemahaman yang mendalam tentang perilaku defleksi balok sangat penting dalam rekayasa sipil dan mekanik (Fuad, M.A., 2015).

Metode elemen hingga adalah pendekatan numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah teknik yang kompleks, termasuk analisis defleksi. FEM (*Finite Element Method*) membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang lebih mudah dianalisis, memungkinkan perhitungan yang lebih akurat untuk berbagai kondisi beban dan tumpuan. Dengan menggunakan FEM, insinyur dapat memodelkan dan menganalisis berbagai jenis material dan geometri tanpa memerlukan solusi analitik yang sering kali sulit diperoleh (ALHAKIM, F., 2021). Dalam era rekayasa modern, penggunaan FEM menjadi semakin umum karena kemampuannya untuk menangani geometri kompleks dan kondisi batas yang bervariasi. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode ini tanpa menggunakan perangkat lunak, sehingga memberikan pemahaman mendalam tentang prinsip dasar FEM dan aplikasinya dalam analisis defleksi balok. Pendekatan ini juga mendorong pengembangan keterampilan analitis dan pemecahan masalah dikalangan insinyur.

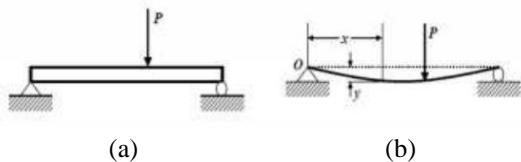
Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis defleksi balok secara teoritis dan

eksperimental menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemahaman lebih lanjut tentang perilaku defleksi balok serta meningkatkan kemampuan analitis dalam rekayasa struktural. Dengan demikian, hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk perancangan struktur yang lebih aman dan efisien di masa depan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah sumbu y akibat adanya pembebangan vertikal yang diberikan pada batang material. Deformasi pada balok dapat dijelaskan berdasarkan defleksi sesuai dengan bahan material, dari posisinya sebelum mengalami pembebangan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok (Basori, B., dkk, 2015).

Defleksi balok sangat penting dalam rekayasa struktur dalam teknik mesin dan teknik sipil agar kita bisa mengetahui seberapa jauh kekuatan lendutan dari bahan dan struktur yang digunakan. Dalam rekayasa struktur gedung defleksi balok sangat penting untuk mengetahui kekuatan dari balok untuk menahan suatu beban.



Gambar 2.1 (a) Balok Sebelum Terjadi Defleksi, (b) Balok Setelah Terjadi Defleksi

Terdapat berbagai faktor yang berperan dalam memengaruhi terjadinya defleksi, di antaranya adalah sebagai berikut:

a. Beban

Beban dapat diklasifikasikan menjadi beban statis, yaitu beban yang bekerja secara konstan dalam jangka waktu tertentu, dan beban dinamis, yakni beban yang mengalami perubahan intensitas maupun arah. Kedua jenis beban tersebut memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya defleksi yang terjadi.

b. Material

Karakteristik mekanik material, khususnya modulus elastisitas, memiliki peran penting dalam menentukan besarnya defleksi yang terjadi.

c. Geometri

Geometri dan dimensi elemen struktural, seperti panjang dan luas penampang balok, turut memberikan kontribusi terhadap terjadinya defleksi.

d. Tumpuan

Tumpuan yang digunakan dalam suatu struktur menentukan bagaimana beban didistribusikan dan bagaimana elemen struktural beraksara terhadap gaya eksternal. Tumpuan ini mempengaruhi distribusi momen lentur dan gaya geser dalam elemen struktural, yang menentukan besar defleksi yang terjadi.

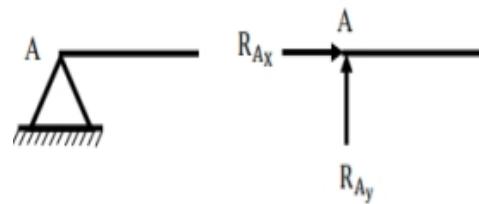
Terdapat juga jenis-jenis tumpuan yang digunakan dalam suatu struktur yang menentukan bagaimana beban didistribusikan dan bagaimana elemen struktural beraksara terhadap gaya eksternal. Jenis tumpuan ini mempengaruhi distribusi momen lentur dan gaya geser dalam elemen struktural, yang menentukan besar defleksi yang akan terjadi. Adapun tumpuan yang umum digunakan antara lain:

A. Jenis-Jenis Tumpuan

Jenis-jenis tumpuan yang biasa digunakan adalah sebagai berikut:

1. Tumpuan Engsel atau Sendi

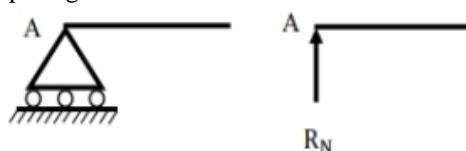
Tumpuan engsel merupakan jenis tumpuan yang dapat menahan dua komponen gaya reaksi, yaitu gaya vertikal dan gaya horizontal (Dayera. D., dkk. 2022). Seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Tumpuan Engsel atau Sendi

2. Tumpuan Rol

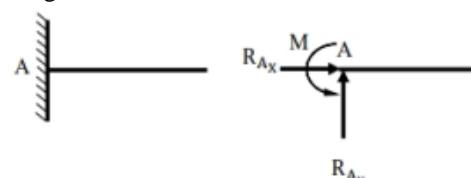
Tumpuan rol adalah jenis tumpuan yang hanya dapat menahan satu komponen gaya, yaitu gaya yang bekerja dalam arah vertikal. Ilustrasi lebih lanjut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Tumpuan Roll

3. Tumpuan Jepit

Tumpuan jepit merupakan jenis tumpuan yang tidak hanya mampu menahan gaya reaksi dalam arah vertikal dan horizontal, tetapi juga dapat menahan momen akibat penjepitan antara dua penampang. Perhatikan gambar berikut:



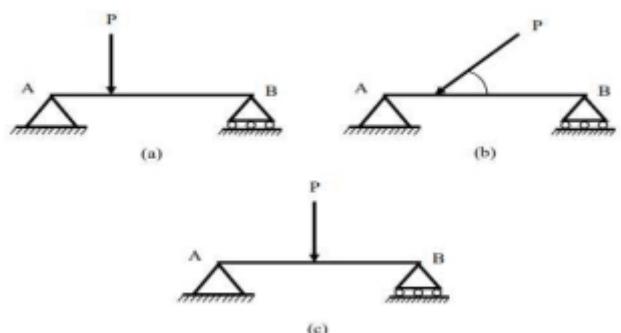
Gambar 2.4 Tumpuan Jepit

B. Jenis-Jenis Pembebanan

Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya defleksi adalah variasi jenis pembebanan yang diterapkan pada struktur. Adapun beberapa jenis pembebanan tersebut dijelaskan di bawah ini:

1. Beban Terpusat

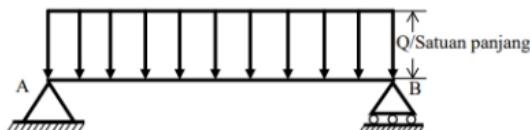
Sebagai bentuk pembebanan paling sederhana, beban terpusat bekerja pada satu titik saja dengan arah dan intensitas tertentu, menjadikannya berbeda dari jenis pembebanan lainnya yang lebih kompleks.



Gambar 2.5 Beban Terpusat

2. Beban Terbagi Merata

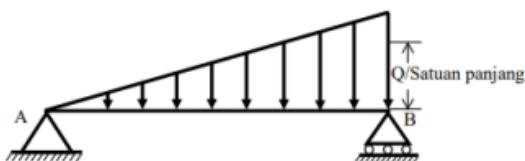
Beban terbagi merata adalah jenis pembebanan yang didistribusikan secara seragam sepanjang balok, baik dalam arah luas maupun memanjang. Besarnya beban ini umumnya dinyatakan dalam satuan linier, seperti kg/m atau kN/m.



Gambar 2.6 Beban Terbagi Merata

3. Beban Bervariasi Univorm

Beban ini disebut beban bervariasi uniform atau sering dikenal sebagai beban segitiga, karena diterapkan sepanjang batang dengan intensitas yang berubah-ubah di setiap titiknya.



Gambar 2.7 Beban bervariasi/segitiga

2.2 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah suatu pendekatan numerik yang digunakan dalam menyelesaikan berbagai permasalahan di bidang teknik dan matematika, yang melibatkan fenomena fisik seperti tegangan, regangan, kekuatan struktur, dan analisis dinamika getaran (Mulyadi, S., 2011).

Saat ini, metode elemen hingga merupakan salah satu metode yang paling serbaguna dalam menyelesaikan permasalahan pada domain kontinum. Pada awal pengembangannya, metode ini difokuskan untuk menyelesaikan persoalan dalam bidang mekanika benda padat. Namun, seiring perkembangannya, metode elemen hingga telah diterapkan secara luas dalam berbagai permasalahan teknik lainnya, seperti mekanika fluida, perpindahan panas, elektromagnetik, getaran, analisis modal, dan berbagai permasalahan rekayasa lainnya.

Metode elemen hingga pada dasarnya melibatkan dekomposisi permasalahan kompleks menjadi sejumlah elemen kecil, yang memungkinkan penyelesaian secara lebih terstruktur dan sederhana. Hasil analisis dari tiap elemen kemudian dikombinasikan untuk memperoleh solusi komprehensif terhadap keseluruhan sistem. Penyelesaian terhadap suatu permasalahan yang kompleks diaproksimasi melalui penyelesaian tiap elemen. Untuk memperoleh solusi pada tingkat elemen, metode ini menggunakan fungsi interpolasi guna mendekati solusi elemen secara matematis.

Dalam contoh ini, fungsi interpolasi yang digunakan adalah fungsi linear sederhana. Setelah solusi pada masing-masing elemen diperoleh, penggabungan seluruh solusi elemen menghasilkan penyelesaian keseluruhan. Dengan memanfaatkan fungsi interpolasi berbasis polinomial, seperti fungsi kuadratik, tingkat akurasi solusi dapat ditingkatkan.

A. Perkembangan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga pertama kali dikembangkan pada tahun 1950-an oleh industri penerbangan seperti Boeing dan Bell Aerospace untuk kebutuhan analisis struktur pesawat. Publikasi ilmiah pertama yang membahas metode ini ditulis oleh Turner dan rekan-rekannya, yang menguraikan proses perumusan elemen serta pembentukan matriks elemen. Namun, pada masa tersebut istilah *Finite Element Method* belum digunakan. Istilah tersebut baru diperkenalkan secara resmi oleh Clough pada tahun 1960 dalam tulisannya yang membahas penerapan metode ini pada permasalahan elastisitas.

Pada masa awal pengembangannya, metode elemen hingga mengalami pertumbuhan yang lambat karena keterbatasan kemampuan komputer saat itu serta minimnya dasar teori matematis yang kuat. Meskipun demikian, beberapa peneliti seperti Zienkiewicz, Iron, Owen, dan Gallagher menyadari potensi besar dari metode ini dan terus melakukan pengembangan. Seiring dengan kemajuan teknologi komputer, jenis permasalahan yang dapat dianalisis dengan metode ini pun semakin beragam, sehingga memunculkan berbagai perangkat lunak untuk mendukung analisis. Beberapa perangkat lunak komersial metode elemen hingga mulai bermunculan, seperti ABAQUS yang diperkenalkan pada tahun 1978 untuk analisis non-linear, dan LS-DYNA yang dikembangkan oleh John Hallquist di Livermore National Laboratory untuk masalah non-linear yang kompleks. Saat ini, metode elemen hingga telah menjadi bagian dari kurikulum wajib di banyak fakultas teknik, di mana mahasiswa, khususnya dari program studi teknik sipil dan teknik mesin, dituntut untuk memahami serta mampu mengaplikasikan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga.

B. Rumus Metode Elemen Hingga

Untuk analisis defleksi balok, digunakan model balok *Euler-Bernoulli*, yang mengasumsikan bahwa penampang melintang balok tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah deformasi.

Persamaan dasar dari balok *Euler-Bernoulli* adalah:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w(x)}{dx^2} \right) = q(x)$$

Keterangan:

- E = Modulus elastisitas bahan (GPa atau N/mm^2)
- I = Momen inersia penampang (mm^4)
- $w(x)$ = Defleksi balok sebagai fungsi dari posisi x
- $q(x)$ = Beban terdistribusi sepanjang balok (N/mm)

Formulasi Elemen Hingga untuk Balok;

Metode elemen hingga mendiskretkan balok menjadi beberapa elemen. Setiap elemen dihubungkan oleh node. Dalam kasus balok *Euler-Bernoulli* 1D, tiap node memiliki dua derajat kebebasan:

- Perpindahan vertikal (w)
- Perpindahan rotasi (θ) = dw/dx

Fungsi Bentuk (*Shape Function*):

Pada elemen balok dengan 2 node (node 1 dan node 2), digunakan fungsi bentuk (*shape function*) untuk mengaproksimasi bentuk defleksi (Logan, 2016):

$$w(x) = N_1(x)w_1 + N_2(x)\theta_2 + N_3(x)w_3 + N_4(x)\theta_4$$

Dengan:

$$N_1 = \frac{1}{L^3} (2x^3 - 3x^2L + L^3)$$

$$N_2 = \frac{1}{L^3} (x^3L - 2x^2L^2 + xL^3)$$

$$N_3 = \frac{1}{L^3} (-2x^3 + 3x^2L)$$

$$N_4 = \frac{1}{L^3} (x^3L - x^2L^2)$$

Dimana L adalah Panjang elemen

Matriks Kekakuan Elemen (*Element Stiffness Matrix*)

Untuk elemen balok 2 node dengan panjang (L), modulus elastisitas (E), dan momen inersia (I), matriks kekakuan elemen (untuk 4 derajat kebebasan) diberikan oleh:

$$K = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Setelah semua elemen dihitung, matriks kekakuan lokal dan vektor gaya lokal dari setiap elemen digabung menjadi matriks kekakuan global dan vektor gaya global untuk seluruh struktur.

Sistem persamaan linear kemudian dibentuk sebagai berikut:

$$[K]\{d\} = \{F\}$$

Keterangan:

$[K]$ = Matriks kekakuan global

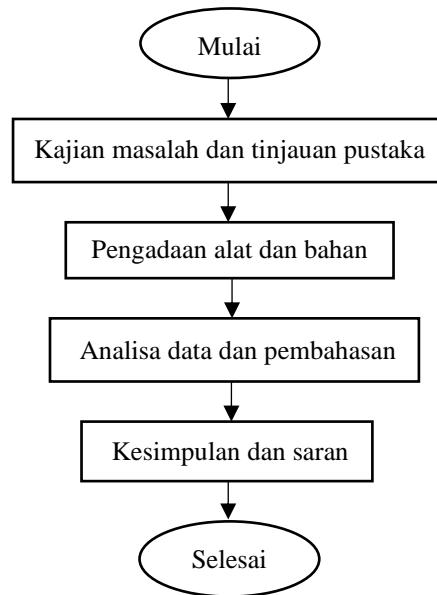
$\{d\}$ = Vektor simpangan (defleksi dan rotasi)

$\{F\}$ = Vektor gaya global

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Terapan prodi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia Paulus. Penelitian dimulai pada bulan Januari 2025 dan berakhir pada bulan Agustus 2025.

Penelitian dilakukan digambarkan melalui flowchart pada gambar berikut:

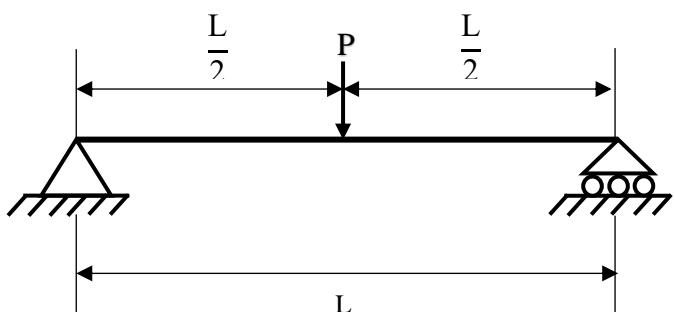


Gambar 3. Bagan Alir (Flowchart) Penelitian

4. HASIL

A Defleksi Eksperimen

Proses pengujian defleksi telah dilaksanakan berdasarkan skema pengujian yang dirancang dengan bentuk sebagaimana ditampilkan di bawah ini:



Gambar 4.1 Skema Pengujian Defleksi

data yang digunakan sebagai berikut:

- Panjang (L) = 500 mm = 0,5 m
- Lebar (b) = 25 mm = 0,025 m
- Tebal (h) = 5 mm = 0,005 m
- Modulus elastisitas = $200 \times 10^9 N/m^2$
- Beban (P) = (10, 20, 30, 40) N

Table 4.1 Hasil Pengujian Eksperimen

No	Beban (N)	Panjang Balok (mm)	Defleksi (mm)	Defleksi rata-rata (mm)
				$\frac{L}{2}$
1	10	250	0,38	0,38
			0,37	
			0,39	
2	20	250	0,78	0,79
			0,79	
			0,80	
3	30	250	1,12	1,13
			1,13	
			1,14	
4	40	250	1,52	1,53
			1,53	
			1,56	

B Perhitungan Defleksi Secara Teoritis

perhitungan inersia penampang (I)

Diketahui:

$$b = 0,025 \text{ m}$$

$$h = 0,005 \text{ m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I = \frac{0,025 \text{ m} \cdot (0,005 \text{ m})^3}{12}$$

$$I = \frac{0,025 \text{ m} \cdot 1,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3}{12}$$

$$I = \frac{0,03125 \times 10^{-7} \text{ m}^4}{12}$$

$$I = 0,002604 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$I = 2,604 \times 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$E.I = \frac{200 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 2,604 \times 10^{-10} \text{ m}^4}{(0,25 \text{ m})^3}$$

$$E.I = \frac{52,08 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{0,01562 \text{ m}^3}$$

$$E.I = 3.334,18 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$K = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$K^1 = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6(0,25) & -12 & 6(0,25) \\ 6(0,25) & 4(0,25)^2 & -6(0,25) & 2(0,25)^2 \\ -12 & -6(0,25) & 12 & -6(0,25) \\ 6(0,25) & 2(0,25)^2 & -6(0,25) & 4(0,25)^2 \end{bmatrix}$$

$$K^1 = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 1,5 & -12 & 1,5 \\ 1,5 & 0,25 & -1,5 & 0,125 \\ -12 & -1,5 & 12 & -1,5 \\ 1,5 & 0,125 & -1,5 & 0,25 \end{bmatrix}$$

$$K^2 = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6(0,25) & -12 & 6(0,25) \\ 6(0,25) & 4(0,25)^2 & -6(0,25) & 2(0,25)^2 \\ -12 & -6(0,25) & 12 & -6(0,25) \\ 6(0,25) & 2(0,25)^2 & -6(0,25) & 4(0,25)^2 \end{bmatrix}$$

$$K^2 = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 1,5 & -12 & 1,5 \\ 1,5 & 0,25 & -1,5 & 0,125 \\ -12 & -1,5 & 12 & -1,5 \\ 1,5 & 0,125 & -1,5 & 0,25 \end{bmatrix}$$

K global;

$$K = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 1,5 & -12 & 1,5 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0,25 & -1,5 & 0,125 & 0 & 0 \\ -12 & -1,5 & 24+12 & -1,5+1,5 & -12 & 1,5 \\ 15 & 0,125 & -1,5+1,5 & 0,25+0,25 & -1,5 & 0,125 \\ 0 & 0 & -12 & -1,5 & 12 & -1,5 \\ 0 & 0 & 1,5 & 0,125 & -1,5 & 0,25 \end{bmatrix}$$

Kondisi batas;

$$\text{Node 1: } v_1 = 0, \theta_1 = \text{bebas}$$

$$\text{Node 3: } v_3 = 0, \theta_3 = \text{bebas}$$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ M_1 \\ F_2 \\ M_2 \\ F_3 \\ M_3 \end{bmatrix} K = 3.334,18 \begin{bmatrix} 12 & 1,5 & -12 & 1,5 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0,25 & -1,5 & 0,125 & 0 & 0 \\ -12 & -1,5 & 24 & 0 & -12 & 1,5 \\ 15 & 0,125 & 0 & 0,50 & -1,5 & 0,125 \\ 0 & 0 & -12 & -1,5 & 12 & -1,5 \\ 0 & 0 & 1,5 & 0,125 & -1,5 & 0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

Reduksi matriks;

$$\begin{bmatrix} 0 \\ M_1 \\ 10 \\ M_2 \\ 0 \\ M_3 \end{bmatrix} K = 3.334,18 \begin{bmatrix} 12 & 1,5 & -12 & 1,5 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0,25 & -1,5 & 0,125 & 0 & 0 \\ -12 & -1,5 & 24 & 0 & -12 & 1,5 \\ 15 & 0,125 & 0 & 0,50 & -1,5 & 0,125 \\ 0 & 0 & -12 & -1,5 & 12 & -1,5 \\ 0 & 0 & 1,5 & 0,125 & -1,5 & 0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ 0 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} K = 3.334,18 \begin{bmatrix} 0,25 & -1,5 & 0,125 & 0 \\ -1,5 & 24 & 0 & 1,5 \\ 0,125 & 0 & 0,50 & 0,125 \\ 0 & 1,5 & 0,125 & 0,25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Invers matriks kekakuan elemen;

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ v_2 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 833,54 & -5.001,27 & 416,77 & 0 \\ -5.001,27 & 80.020,32 & 0 & 5.001,27 \\ 416,77 & 0 & 1.667,09 & 416,77 \\ 0 & 5.001,27 & 416,77 & 833,54 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$d = \begin{bmatrix} 0,0029 \\ 0,00049 \\ 0 \\ -0,0029 \end{bmatrix}$$

$$\theta_1 = 0,0029 \text{ rad} = 0,16^\circ$$

$$v_2 = 0,00049 \text{ m} = 0,49 \text{ mm}$$

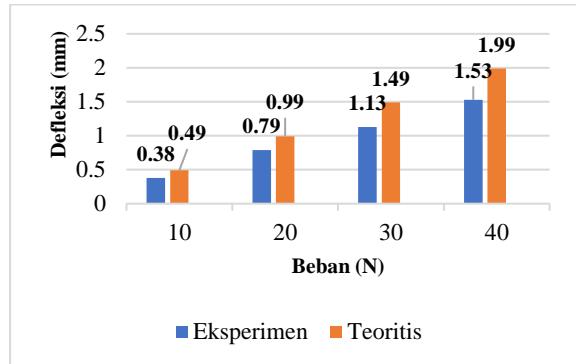
$$\theta_3 = -0,0029 \text{ rad} = -0,16^\circ$$

Untuk data berikutnya dihitung dengan cara yang sama.

Tabel 4.2 hasil perhitungan teoritis dan hasil pengujian eksperimen.

No	Beban (N)	Panjang Balok (mm)	Defleksi (mm)	
			$\frac{L}{2}$	Eksperimen
1	10	250	0,38	0,49
2	20	250	0,79	0,99
3	30	250	1,13	1,49
4	40	250	1,53	1,99

Pembahasan



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Defleksi dan Beban

Dari grafik diatas, menampilkan perbandingan antara hasil eksperimen dan teoritis terhadap nilai beban yaitu 10 N, 20 N, 30 N, dan 40 N. Grafik ini menunjukkan nilai yang sebanding antara nilai defleksi dan beban yang diberikan. Dimana pada beban 10 N, nilai defleksi eksperimen 0,38 mm dan nilai defleksi teoritis 0,49 mm. Pada beban 20 N, nilai defleksi eksperimen 0,79 mm dan nilai teoritis 0,99 mm. Pada beban 30 N hasil nilai defleksi eksperimen 1,13 mm dan nilai defleksi teoritis 1,49 mm. Sedangkan pada beban 40 N, nilai eksperimen 1,53 mm dan nilai defleksi teoritis 1,99 mm.

Nilai defleksi ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, beberapa faktor itu adalah geometri, seperti Panjang dan bentuk penampang balok. Kemudian ada faktor dari material yang digunakan dan juga tumpuan yang digunakan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengujian defleksi balok tumpuan sederhana dengan beban terpusat dan analisis data menggunakan metode elemen hingga, maka dapat disimpulkan bahwa:

Pengujian defleksi atau lendutan pada balok tumpuan sederhana dengan beban terpusat menggunakan metode elemen hingga menghasilkan nilai yang sebanding dengan beban yang diberikan, dimana pada beban 10 N nilai defleksi eksperimen 0,38 mm dan nilai defleksi teoritis 0,49 mm. Beban 20 N nilai defleksi eksperimen 0,79 mm dan nilai teoritis 0,99 mm. Pada beban 30 N nilai defleksi eksperimen 1,13 mm dan nilai defleksi teoritisnya 1,49 mm. Dan pada beban 40 N nilai defleksi eksperimen 1,53 mm dan nilai defleksi teoritisnya 1,99 mm. Nilai defleksi ini selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh geometri balok, material yang digunakan dan juga tumpuan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhakim, F., 2021. *Analisa Perhitungan Kekuatan Struktur Pondasi Windlass Pada Kapal Harbour Tug Dengan Metode Elemen Hingga* (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Basori, B., Syafrizal, S. and Suharwanto, S., 2015. Analisis Defleksi Batang Lentur menggunakan Tumpuan Jepit Dan Rol pada Material Aluminium 6063 Profil U Dengan Beban Terdistribusi. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 2(1), p.354312.
- Dayera, D., Palungan, M.B. and Ohello, F., 2022. Analisis Balok Kantilever Dengan Beban Terbagi Mereta. *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Papua Sorong, Indonesia*.
- Fuad, M.A., 2015. Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang*.
- Logan, Daryl L. (2016). *A First Course in the Finite Element Method*. Cengage Learning
- Mulyadi, S., 2011. Analisa tegangan-regangan produk tongkat lansia dengan menggunakan metode elemen hingga. *ROTOR*, 4(1), pp.50-58.