

Analisa Balok Kantilever Dengan Beban Tidak Terbagi Merata

Musa Bondaris Palungan
Program Studi Teknik Mesin,
Universitas Kristen Indonesia Paulus
Kota Makassar Provinsi Sulawesi Selatan Indonesia
musa_ukip@yahoo.com

Disabella Dayera
Program Studi Teknik Mesin
Universitas Kristen Papua
Kota Sorong Provinsi Papua Barat Indonesia
disabella.dayera@ukip.ac.id

Marthinus Fatem
Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Papua
Kota Sorong Provinsi Papua Barat Indonesia
martinusfatem18@gmail.com

Abstrak— Pengujian defleksi penting dilakukan pada balok atau batang yang merupakan salah satu komponen konstruksi bangunan untuk mengetahui seberapa besar material tersebut mengalami deformasi atau sifat melengkungnya dimana memastikan bahwa suatu struktur solid dan dapat menangani beban seperti yang dirancang. Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan pengujian fenomena lendutan atau defleksi pada balok kantilever dengan beban tidak terbagi merata pada dua jenis material yaitu baja dan tembaga. Dimensi balok kantilever yang digunakan dengan panjang ($L = 1\text{m}$), lebar material ($a = 25\text{ mm}$) dan tebal material ($h = 10\text{ mm}$) menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan dilaboratorium Mekanika Terapan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar. Adapun hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu untuk beban yang sama (24 N/m), perputaran sudut material baja ($0,17^\circ$) lebih kecil dari perputaran sudut tembaga ($0,37^\circ$) karena elastisitas material baja ($E_{St} = 200\text{ GPa}$) lebih besar dari elastisitas tembaga ($E_{Cu} = 90\text{ GPa}$) dan untuk uji defleksi diperoleh bahwa untuk beban yang sama (24 N/m), defleksi atau lendutan material tembaga ($5,23\text{ mm}$) dan lebih besar dari defleksi atau lendutan material baja ($2,35\text{ mm}$) karena elastisitas material tembaga ($E_{Cu} = 90\text{ GPa}$) lebih kecil dari elastisitas baja ($E_{St} = 200\text{ GPa}$).

Kata kunci— Defleksi, Baja, Tembaga, Elastisitas, Kantilever

I. PENDAHULUAN

Balok kantilever merupakan komponen bangunan yang banyak dimanfaatkan karena dianggap mampu mengurangi penggunaan bahan konstruksi. Namun, kekuatan struktur balok kantilever harus dipertimbangkan dengan cermat agar tidak mengalami defleksi atau lendutan yang berlebihan terutama ketika beban yang signifikan. Konstruksi kantilever dapat ditemukan disekitar, misalnya, di atas bangunan tanpa penyangga, jembatan kantilever, balkon, dan banyak struktur lainnya. Bentuk kantilever biasanya memiliki bentuk prisma dan non-prisma, dengan balok kantilever prisma memiliki dimensi penampang yang sama dari satu ujung ke ujung lainnya dan balok kantilever non-

prisma, juga dikenal sebagai balok lancip kantilever, memiliki dimensi penampang yang berbeda dari satu ujung ke ujung lainnya. Selain dirancang untuk menanggung beban yang bekerja, suatu struktur juga tidak boleh mengalami defleksi yang berlebihan agar dapat berfungsi. Setiap defleksi yang terjadi harus tetap berada dalam kisaran yang diizinkan. Adapun beberapa hal yang dapat mempengaruhi defleksi seperti: jenis beban yang diberikan pada balok, kekakuan balok, besarnya gaya yang diberikan pada balok serta model tumpuan yang diberikan.[1]

Beban Kritis mengacu pada jumlah gaya yang menyebabkan struktur tetap berada dalam batas stabilitasnya. Beban Kritis, juga dikenal sebagai P_{cr} , adalah jumlah gaya yang diberikan pada batang struktural dalam bentuk gaya tekan aksial, di mana batang struktur masih mampu mendukung dasar gaya bahkan jika sudah mulai melenturkan. Jumlah Beban kritis ini ditentukan oleh elastisitas material, dimensi struktur, jenis pemuaian, dan faktor pengukuran.

A. Pengertian Defleksi

Defleksi atau lendutan adalah perubahan bentuk balok dalam arah y karena pemuaian batang material yang diterapkan secara vertikal. Perpindahan material dapat menjelaskan deformasi poros dari lokasinya sebelum memuat. Setelah deformasi, defleksi diukur dari permukaan netral asli ke posisi netral. Struktur yang diambil oleh deformasi permukaan netral disebut sebagai kurva elastis balok.[2]

Secara umum, defleksi atau lendutan pada balok harus diperiksa untuk memastikan bahwa tidak sampai melampaui nilai tertentu, karena mungkin terjadi karena kekuatan desain. Balok masih mampu mempertahankan, tetapi penundaannya sekarang terlalu besar untuk merasa nyaman. Desain yang mempertimbangkan batasan defleksi dikenal sebagai desain berdasarkan kekakuan (*design for stiffness*). [3]

B. Definisi Balok Kantilever

Kantilever adalah komponen struktural yang kaku, seperti balok atau pelat yang terpasang pada segmen pendukung yang memproyeksikan (biasanya vertikal); koneksi ini juga dapat tegak

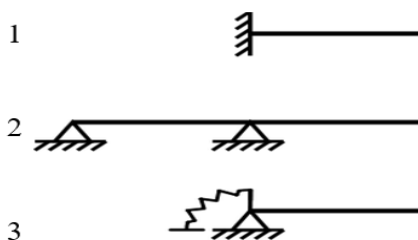
lurus terhadap permukaan datar dan vertical. kantilever menyalurkan beban ke buffer melalui teangan geser dan tekanan momen. Bertentangan dengan struktur dengan tiang penyangga di kedua ujungnya dengan berat yang terbatas di antara tiang penyangganya, seperti tiang penyangga balok pada sistem tiang pancang dan ambang, arsitektur kantilever memungkinkan struktur untuk digantung tanpa tiang penyangga atau tulangan eksternal.

Hukum kombinasi vektor gaya dimulai dengan Archimedes (287-212), yang mengeksplorasi konsep pengungkit dan arah kemampuan mengapung (Stevanus 1548-1620), yang mengartikulasikan sebagian besar prinsip dasar statika. Pemeriksaan pembengkokan awal dilakukan oleh Galileo Galilei (1564-1642) di atas fondasi yang diselesaikan secara menyeluruh oleh Auguste Columb (1736-1806). Atas dasar metode ini, analisis struktural yang sempurna lahir, yang telah digunakan dalam konstruksi bangunan dan industri hingga hari ini. Kombinasi komponen struktural dengan material merupakan elemen struktural. Kita harus mengkategorikan desain, bentuk, dan fungsi struktur dengan mengidentifikasi bagian-bagian penyusunnya.[4]

Persamaan kesetimbangan digunakan untuk menghitung gaya dalam pada batang atau balok kantilever, yang identik dengan persamaan yang digunakan untuk poros. Geometri diagram gaya standar, diagram gaya geser, dan diagram momen secara tepat cocok dengan spesifikasi balok. Pertimbangan yang dibuat dalam hal merancang pembagian konstruksi kantilever meliputi [5]:

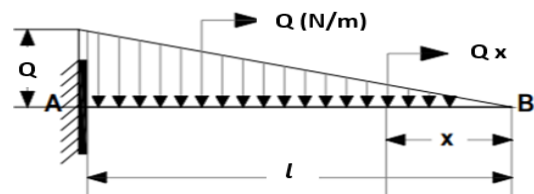
1. Momen di ujung bebas nol (0)
2. Momen puncak terjadi di bagian ujung tumpuan jepit
3. Momen negative yang akan terjadi

Struktur kantilever terdiri dari balok yang diikat hanya pada satu ujung. Struktur ini terutama tergantung pada torsi dan keseimbangan rotasi. Ini kontras dengan blok dasar yang terlihat dalam pengaturan tiang dan palang. Berikut adalah ilustrasi skematis dari tiga jenis kantilever.



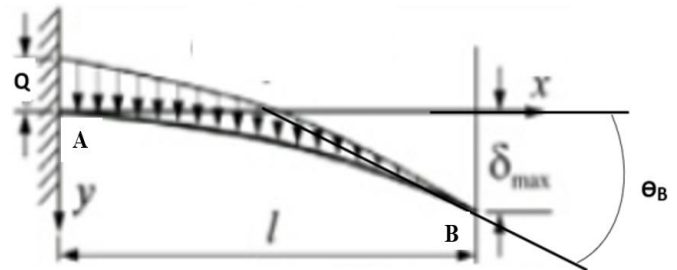
Gambar 1. Skematik 3 Jenis Kantilever

Balok kantilever memiliki beban yang didistribusikan secara tidak merata di ujung bebas, seperti yang ditunjukkan oleh batang AB yang dijepit di ujung A dan ujung B bebas. Pada batang AB, beban yang diarahkan ke bawah dengan distribusi yang tidak sama hadir.



Gambar 2. Balok AB

Yang akan mendapatkan beban yang tidak merata sebelum deformasi karena beban yang diberikan tidak merata akan menyebabkan batang AB menekuk ke bawah. Karena A berakhir dengan tumpuan jepit, A akan merespons secara vertikal ke atas selama beratnya tidak didistribusikan secara merata.



Gambar 3. Balok AB

Yang menerima beban tidak terbagi merata setelah mengalami deformasi. persamaan yang digunakan untuk menentukan atau menghitung defleksi atau lendutan pada setiap titik (y) yaitu:

$$y = \frac{Qx^2}{120 EI} (10 l^3 - 10 l^2 x + 5 l x^2 - x^3)$$

Defleksi Max (δ_{max})

$$\delta_{max} = \frac{Qx^4}{30 EI} \quad (1)$$

Perputaran Sudut(θ)

$$\theta = \frac{Q l^3}{24 EI} \quad (2)$$

Keterangan :

Q = Beban persatuan panjang (N/m)

L = Panjang balok (m)

E= Modulus Elastisitas material/balok (N/m²)

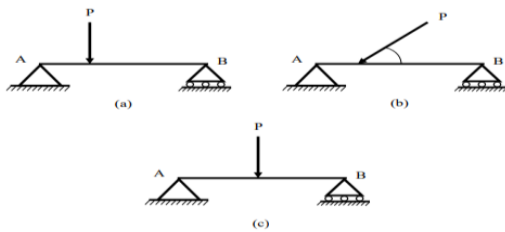
I= Inersia penampang material/balok (m⁴)

C. Jenis-Jenis Pembebanan

Dalam struktur konstruksi bangunan yang dikembangkan, ia melihat kapasitas untuk tidak mengalami defleksi yang berlebihan untuk memiliki kemudahan servis yang sangat baik selain mampu menahan beban yang beroperasi. Berikut ini adalah beberapa bentuk pembebanan[6]:

1. Beban Terpusat

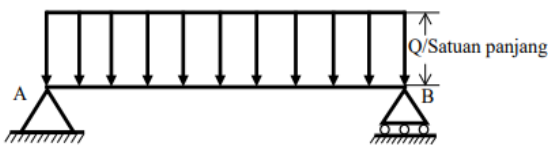
Beban terkonsentrasi atau terpusat adalah salah satu metode pembebanan yang paling sederhana. Pembebanan ini hanya efektif pada satu titik pegangan, dalam arah dan besarnya tertentu.



Gambar 4. Pembebanan Terpusat

2. Beban Terbagi Merata

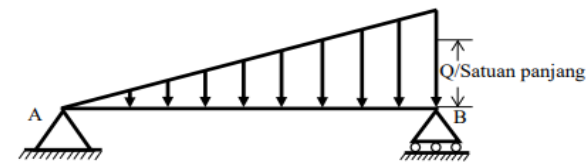
Beban terbagi merata adalah suatu pembebanan yang terbagi secara merata pada balok atau batang, dimana terdistribusi merata ke semua bidang batang atau balok, baik ke arah memanjang maupun ke arah yang lebih luas. Dapat dinyatakan dalam Q (kg/m atau KN/m).



Gambar 5. Pembebanan Tidak Merata

3. Beban Bervariasi Uniform

Adanya beban yang diamati di sepanjang batang atau balok bervariasi, itu disebut sebagai beban yang bervariasi secara seragam (*uniform*) atau beban segitiga.



Gambar 6. Pembebanan Bervariasi Atau Tidak Terbagi Merata

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen skala laboratorium. Adapun variable pengamatan dalam penelitian ini yaitu perputaran sudut atau slope dan defleksi/lendutan untuk jenis tumpuan balok atau batang kantilever dengan material baja dan tembaga, untuk dimensi balok atau batang berturut-turut: panjang ($L = 1m$), lebar material ($a = 25\text{ mm}$) dan tebal material ($h = 10\text{ mm}$) untuk jenis pembebanan yang diberikan yaitu jenis pembebanan tidak terbagi merata. Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Alat Uji Defleksi/lendutan
- b. Massa / Beban pemberat
- c. Dial indicator
- d. Jangka sorong

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Perhitungan Slope atau Perputaran Sudut Material Baja dan Tembaga

Balok kantilever yang digunakan dalam penelitian ini memiliki panjang 1 meter, memiliki tebal 10 mm dan lebar sebesar 25 mm. Kantilever tersebut menerima beban tidak

terbagi merata dan material yang digunakan adalah baja dan tembaga. Berikut ini nilai konstanta beberapa besaran yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan antara lain seperti:

$$L = 1m = 1 \times 10^3mm$$

$$I = 1,7 \times 10^3mm^4$$

$$E_{St} = 200\text{ GPa} = 200 \times 10^3\text{ N/mm}^2$$

$$E_{Cu} = 90\text{ GPa} E_{Cu} = 90 \times 10^3\text{ N/mm}^2$$

1. Slope (θ_B) Material Baja (St) dengan $q = 6\text{ N/m}$

Secara sistematis dapat dihitung menggunakan

$$\text{persamaan (2)} : (\theta_B)_{St} = \frac{qL^3}{24EI}$$

$$(\theta_B)_{St} = \frac{6 \times 10^{-3}\text{ N/mm} (1 \times 10^3\text{ mm})^3}{24 \times (200 \times 10^3\text{ N/mm}^2) \times (1,7 \times 10^3\text{ mm}^4)}$$

$$(\theta_B)_{St} = \frac{6 \times 10^6\text{ N/mm}^2}{24 \times (200 \times 1,7 \times 10^6\text{ N.mm}^2)}$$

$$(\theta_B)_{St} = \frac{6 \times 10^6\text{ N.mm}^2}{8160 \times 10^6\text{ N.mm}^2}$$

$$(\theta_B)_{St} = \frac{6}{8160}\text{ rad}$$

$$(\theta_B)_{St} = 0,000735\text{ rad} \times \frac{57,3^\circ}{\text{rad}}$$

$$(\theta_B)_{St} = 0,042^\circ$$

2. Slope (θ_B) Material Tembaga (Cu) dengan $q = 6\text{ N/m}$

Secara sistematis dapat dihitung menggunakan

$$\text{persamaan (2)} : (\theta_B)_{St} = \frac{qL^3}{24EI}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = \frac{qL^3}{24EI}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = \frac{6 \times 10^{-3}\text{ N/mm} (1 \times 10^3\text{ mm})^3}{24 \times (90 \times 10^3\text{ N/mm}^2) \times (1,7 \times 10^3\text{ mm}^4)}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = \frac{6 \times 10^6\text{ N/mm}^2}{24 \times (90 \times 1,7 \times 10^6\text{ N.mm}^2)}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = \frac{6 \times 10^6\text{ N.mm}^2}{2856 \times 10^6\text{ N.mm}^2}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = \frac{6}{3675}\text{ rad}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = 0,00210\text{ rad} \times \frac{57,3^\circ}{\text{rad}}$$

$$(\theta_B)_{Cu} = 0,120^\circ$$

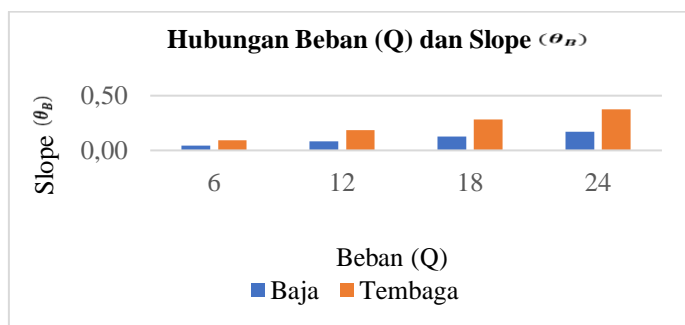
Berikut tabel hasil perhitungan nilai slope masing-masing material baja dan tembaga dengan variasi beban sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai Perputaran Sudut atau Slope Material Baja dan Tembaga

No	Beban Q (N/m)	I (mm ⁴)	Slope	
			(θ_B) _{ST}	(θ_B) _{CU}
1	6	$1,7 \times 10^3$	0,042	0,094
2	12	$1,7 \times 10^3$	0,084	0,187

3	18	$1,7 \times 10^3$	0,126	0,281
4	24	$1,7 \times 10^3$	0,168	0,374

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1 untuk nilai perputaran sudut (θ_B) dapat disimpulkan bahwa beban balok kantilever tidak terbagi merata berpengaruh terhadap sudut perputaran balok tersebut. Dimana, semakin besar beban yang diberikan maka perputaran sudut yang terjadi semakin besar dan sebaliknya atau secara sistematis pada persamaan 2, memperlihatkan bahwa perputaran sudut berbanding lurus terhadap beban yang diberikan. Hal ini dapat dilihat pada besarnya beban yang sama (6 N/m) diberikan kepada material baja dan tembaga diperoleh perputaran sudut material baja ($0,042^\circ$) lebih kecil dari material tembaga ($0,094^\circ$) hal ini karena nilai elastisitas material baja ($E_{St} = 200 \text{ GPa}$) lebih besar dari nilai elastisitas material tembaga ($E_{Cu} = 90 \text{ GPa}$), berikut grafik hubungan beban dan perputaran sudut balok kantilever yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Grafik Hubungan Beban dengan Perputaran Sudut atau Slope Material Baja dan Tembaga

B. Hasil Perhitungan Nilai Defleksi (y) Material baja dan Tembaga

1. Untuk Balok Baja (y_{St}) dengan nilai $q = 6 \text{ N/m}$

$$q = 6 \text{ N/m} = 6 \times 10^{-3} \text{ N/mm}$$

$$L = 1 \text{ m} = 1 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$I = 1,7 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$E_{St} = 200 \text{ GPa} = 200 \times 10^9 \text{ Pa} = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$E_{St} = 200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Maka, untuk menghitung nilai defleksi, sebagai berikut:

$$(y)_{St} = \frac{qL^4}{30EI}$$

$$(y)_{St} = \frac{6 \times 10^{-3} \text{ N/mm} (1 \times 10^3 \text{ mm})^4}{30 \times (200 \times 10^3 \text{ N/mm}^2) \times (1,7 \times 10^3 \text{ mm}^4)}$$

$$(y)_{St} = \frac{6 \times 10^6 \text{ N.mm}^3}{6 \times 10^9 \text{ N.mm}^3}$$

$$(y)_{St} = \frac{102 \times 10^9 \text{ N.mm}^2}{6}$$

$$(y)_{St} = \frac{102}{6} \text{ rad}$$

$$(y)_{St} = 0,59 \text{ mm}$$

2. Untuk Balok Tembaga (y_{Cu}) dengan nilai $q = 6 \text{ N/m}$

$$q = 6 \text{ N/m} = 6 \times 10^{-3} \text{ N/mm}$$

$$L = 1 \text{ m} = 1 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$I = 1,7 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$E_{Cu} = 90 \text{ GPa} = 90 \times 10^9 \text{ Pa} = 90 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$E_{Cu} = 90 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Maka, untuk menghitung nilai defleksi, sebagai berikut:

$$(y)_{Cu} = \frac{qL^4}{30EI}$$

$$(y)_{Cu} = \frac{6 \times 10^{-3} \text{ N/mm} (1 \times 10^3 \text{ mm})^4}{30 \times (90 \times 10^3 \text{ N/mm}^2) \times (1,7 \times 10^3 \text{ mm}^4)}$$

$$(y)_{Cu} = \frac{6 \times 10^{12} \text{ N.mm}^4}{30 \times (90 \times 1,7 \times 10^6 \text{ N.mm}^2)}$$

$$(y)_{Cu} = \frac{6 \times 10^9 \text{ N.mm}^3}{4590 \times 10^6 \text{ N.mm}^2}$$

$$(y)_{Cu} = \frac{6000}{4590} \text{ rad}$$

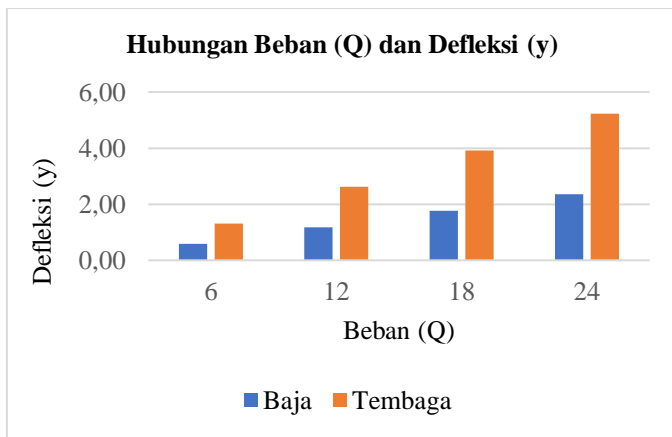
$$(y)_{Cu} = 1,31 \text{ mm}$$

Berikut tabel hasil perhitungan nilai defleksi masing-masing material baja dan tembaga dengan variasi beban sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai Defleksi Material Baja dan Tembaga

No	Beban Q (N/m)	I (mm ⁴)	Defleksi (y)	
			(y) _{St}	(y) _{Cu}
1	6	$1,7 \times 10^3$	0,59	1,31
2	12	$1,7 \times 10^3$	1,18	2,61
3	18	$1,7 \times 10^3$	1,76	3,92
4	24	$1,7 \times 10^3$	2,35	5,23

Berdasarkan hasil perhitungan nilai defleksi untuk material baja dan tembaga pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa nilai defleksi untuk material baja dan tembaga berbanding lurus terhadap beban yang diberikan hal ini dapat dilihat bahwa dengan semakin besarnya beban yang diberikan pada material baja ataupun tembaga maka pada balok atau batang tersebut akan mengalami perubahan atau terjadi defleksi/lendutan.[7] Hal ini dapat dilihat untuk beban yang sama (6 N/m), nilai defleksi atau lendutan yang diperoleh material tembaga (dan 1,31 mm) lebih besar dari material baja (0,59 mm) karena elastisitas material tembaga ($E_{Cu} = 90 \text{ GPa}$) lebih kecil dari elastisitas baja ($E_{Cu} = 200 \text{ GPa}$). Berikut grafik hubungan beban dan defleksi balok kantilever yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 8. Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Material Baja dan Tembaga

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap balok kantilever (baja, tembaga dan aluminium) yang diberi beban tidak terbagi merata maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban tidak terbagi merata berpengaruh terhadap perputaran sudut balok kantilever. Semakin besar beban yang diberikan maka perputaran sudut yang terjadi semakin besar atau perputaran sudut berbanding lurus terhadap beban yang diberikan. Untuk beban yang sama (24 N/m), perputaran sudut material baja ($0,17^\circ$) lebih kecil dari perputaran sudut tembaga ($0,37^\circ$) karena elastisitas material baja ($E_{St} = 200$ GPa) lebih besar dari elastisitas tembaga ($E_{Cu} = 90$ GPa)
2. Beban tidak terbagi merata berpengaruh terhadap defleksi pada balok kantilever dengan material baja dan tembaga. Semakin besar beban yang diberikan pada material baja dan tembaga, semakin besar pula defleksi atau lendutan pada material. Untuk beban yang sama (24 N/m), defleksi atau lendutan material tembaga (5,23 mm) dan lebih besar dari defleksi atau lendutan material baja (2,35 mm) karena elastisitas material tembaga (E_{Cu}

= 90 GPa) lebih kecil dari elastisitas baja ($E_{St} = 200$ GPa).

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami sampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penelitian ini dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. A. Pala'biran, R. S. Windah, and R. E. Pandaleke, "Perhitungan Lendutan Balok Taper Kantilever Dengan Menggunakan Sap2000," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 8, 2019.
- [2] S. Basori, Syafrizal, "Analisis Defleksi Batang Lenturmenggunakan Tumpuan Jepit Dan Rol pada Material Aluminium 6063 Profil U Dengan Beban Terdistribusi," *J. konversi energi dan manufaktur unj*, vol. 2, no. 1, pp. 50–58, 2015, doi: 10.21009/jkem.2.1.8.
- [3] N. Yusuf, H. Hariadi, and A. S. A. Tawar, "PERBANDINGAN EKSPERIMEN DEFLEKSI BATANG KANTILEVER BERPROFIL STRIP TERHADAP PERSAMAAN TEORITIS UNTUK BAHAN Fe DAN Al," *Rang Tek. J.*, vol. 3, no. 1, pp. 89–93, 2020.
- [4] A. Purnomo, "Karakteristik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprocket Rantai," *J. Energi Dan Manufaktur*, 2011.
- [5] W. C. Vis and K. Gideon, "Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Jilid I," *Erlangga, Jakarta*, 1994.
- [6] D. L. Schodek, D. Subagdja, and B. Suryoatmono, *Struktur*. Erlangga, 1999.
- [7] D. K. Amin, "Perhitungan Beban Aksial Kritis Pada Kolom Baja Dalam Sebuah Struktur Portal Baja," *J. Tek. Sipil USU*, vol. 3, no. 1, 2014.