



## Analisis Hasil Uji Lentur Penampang Silindris Baja Karbon, Penampang Persegi Empat Kayu Usuk, Paving Stone, dan Bata Ringan

Muchamad Fachryan Winata<sup>1</sup>, Syamsul Hadi<sup>2\*</sup>, Ilham Fadilla Kusuma<sup>3</sup>, Wira Atha<sup>1</sup>, Dzakwan Firdaus<sup>4</sup>, Bagus Aditya Nurhidayat<sup>5</sup>, Ahmed Ibn Fadlan<sup>6</sup>, Salwa Najma Fahira<sup>7</sup>

<sup>1,3-7</sup>Program Studi Diploma III, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Doktor Terapan, Optimasi Desain Mekanik, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: [yanryyan13345@gmail.com](mailto:yanryyan13345@gmail.com)<sup>1</sup>, [syamsul.hadi@polinema.ac.id](mailto:syamsul.hadi@polinema.ac.id)<sup>2\*</sup>, [fadillailham12@gmail.com](mailto:fadillailham12@gmail.com)<sup>3</sup>, [wiraatha33@gmail.com](mailto:wiraatha33@gmail.com)<sup>4</sup>, [bagusadit500@gmail.com](mailto:bagusadit500@gmail.com)<sup>5</sup>, [ahmedibnfadlan23@gmail.com](mailto:ahmedibnfadlan23@gmail.com)<sup>6</sup>, [salwafahira123@gmail.com](mailto:salwafahira123@gmail.com)<sup>7</sup>

\*Penulis Korespondensi: [syamsul.hadi@polinema.ac.id](mailto:syamsul.hadi@polinema.ac.id)<sup>1</sup>

**Abstract.** The unknown exact flexural strength of low carbon steel, Randu ribs wood, paving stones, and lightweight bricks is a problem faced. The purpose of this research is to obtain the flexural strength of low carbon steel, Randu ribs, paving stones, and lightweight bricks. The research method is carried out through the preparation of low carbon steel specimens 16mmx200mm, Randu ribs 40mmx60mmx250mm, paving stones 55mmx100mmx200mm, lightweight bricks 95mmx100mmx300mm, Tarno Grocky flexural testing machine settings, flexural testing support distance for low carbon steel 160mm, Randu ribs 220mm, paving stones 170mm, and lightweight bricks 260mm, flexural testing of each material, making flexural stress and deflection curves for low carbon steel, and analyzing flexural test results. The results of the study showed that the flexural strength of low carbon steel was 698 MPa at a deflection of 1.1 mm, the flexural strength of Randu rib wood in an upright position was 40.7 MPa, in a horizontal position was 55.5 MPa, in a normal position of paving stone in an upper position (normal) was 6.64 MPa, in a lower position (upside down) was 6.62 MPa, and in a lightweight brick was 1.28 MPa, which implies that the type of material, the distance between supports and the cross-section of the specimen greatly affect its flexural strength, except for ductile materials for low carbon steel which do not have flexural strength, but have yield strength at a certain deflection.

**Keywords:** Flexural Strength; Lightweight Brick; Low Carbon Steel; Paving Stone; Randu Rib Wood

**Abstrak.** Tidak diketahuinya secara tepat kekuatan lentur baja karbon rendah, kayu usuk Randu, paving stone, dan bata ringan, sebagai masalah yang dihadapi. Tujuan penelitian untuk memperoleh kekuatan lentur baja karbon rendah, kayu usuk Randu, paving stone, dan bata ringan. Metode penelitian dilakukan melalui persiapan spesimen baja karbon rendah φ16mmx200mm, kayu usuk Randu 40mmx60mmx250mm, paving stone 55mmx100mmx200mm, bata ringan 95mmx100mmx300mm, setting mesin uji lentur Tarno Grocky, jarak tumpuan pengujian lentur untuk baja karbon rendah 160mm, kayu usuk Randu 220mm, paving stone 170mm, dan bata ringan 260mm, pengujian lentur masing-masing bahan, pembuatan kurva tegangan lentur dan defleksi untuk baja karbon rendah, dan analisis hasil uji lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan lentur baja karbon rendah 698 MPa pada defleksi 1,1 mm, kekuatan lentur kayu usuk Randu posisi tegak 40,7 MPa, posisi mendatar 55,5 MPa, paving stone posisi atas di atas (normal) 6,64 MPa, posisi bawah di atas (telungkup) 6,62 MPa, dan bata ringan 1,28 MPa yang berimplikasi bahwa jenis bahan, jarak tumpuan dan penampang spesimen sangat mempengaruhi kekuatan lenturnya, kecuali bahan yang ulet untuk baja karbon rendah tidak memiliki kekuatan lentur, melainkan memiliki kekuatan luluh pada defleksi tertentu.

**Kata kunci:** Baja Karbon Rendah; Bata Ringan; Kayu Usuk Randu; Kekuatan Lentur; Paving Stone

### 1. LATAR BELAKANG

Kekuatan lentur beberapa bahan teknik untuk baja karbon rendah, kayu usuk Randu, paving stone, dan bata ringan dalam kenyatannya tidak diketahuinya secara tepat, oleh karenanya perlu dilakukan suatu penelitian uji lentur padanya.

Dari penelitian terdahulu diperoleh hasil diantaranya hasil uji kuat tekan beton komposisi pasir-semen 25%:75% diperoleh senilai 323,61 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil uji tekan paving blok pada sisi

memanjang diperoleh senilai 52,16 kg/cm<sup>2</sup> dengan faktor koreksi 4,32, dan pada sisi lebar senilai 408,86 kg/cm<sup>2</sup> dengan faktor koreksi 0,64 dan pada sisi tebal senilai 406,55 kg/cm<sup>2</sup> pada faktor koreksi 0,61 (Djau et al., 2024). Kuat tekan *paving block* dengan tambahan campuran limbah las asetelin pada 1%, 2%, 4%, 5%, 6%, 7%, 9%, 11% memenuhi klasifikasi SNI03-0691-1996 mutu D untuk taman dan 8% mutu C untuk pejalan kaki yang sangat layak dipakai (Kurniati et al., 2021). Kuat tekan *paving block* dengan tambahan potongan kawat-bendrat 3% yaitu 22,15 MPa > 17 MPa (mutu B) SNI 03-0691-1996 yang termasuk dalam mutu B dan sesuai untuk lahan parkir, kuat tekan *paving block* memakai tambahan bendrat 5% yaitu 10,24 MPa, dan 7% yaitu 7,89 MPa, sehingga masuk ke mutu D yang sesuai untuk taman (Razak & Hasanuddin, 2019). Kuat lentur kayu Gelam ukuran 50 mmx50mmx760 mm mengacu pada ASTM D-198 diperoleh 100,13 MPa yang lebih besar daripada kayu Sengon senilai 82,62 MPa (Basyaruddin, Alnovia, & Jatmoko, 2019). Uji lentur ST 41 penampang silindis yang dipanaskan di dalam campuran larutan garam sejumlah 30% NaOH, 10% NaNO<sub>3</sub>, 10% NaNO<sub>2</sub>, dan sisanya 50% Aquades (H<sub>2</sub>O) dalam durasi 30, 60, dan 90 menit dan temperatur 100, 150, dan 200°C menunjukkan ketebalan *blackening* tertebal pada durasi 30 menit, 150°C senilai 19,11 µm (Kamayuda & Sakti, 2021).

Kekuatan lentur dari paving stone 150x150x600 mm pada penambahan 0,60% PET terhadap berat gabungan Batu Petangis dan Pasir Semboja meningkat senilai 3,3 MPa atau 3,1% yang lebih baik daripada paving normal (Widianto et al., 2023).

Kekuatan lentur bata dari ringan jenis Autoclaved Aerated Concrete (AAC) senilai 0,047 MPa dan bata ringan dari jenis Cellular Lightweight Concrete (CLC) senilai 0,27 MPa (Ibrahim, 2022).

Kuat lentur kayu jati merah 50mmx50mmx760 mm senilai 75,83 MPa yang menurut SNI 7973:2013 senilai 32,20, jadi hasil tersebut lebih besar 136,21% (Nge et al., 2020).

Kekuatan lentur kayu cempaka putih dengan sambungan tegak lebih kuat dengan jarak 3cm = 220,03 kg/cm<sup>2</sup>, 6cm = 245,77 kg/cm<sup>2</sup>, 9cm = 230,90 kg/cm<sup>2</sup> dibandingkan dengan sambungan mendatar dengan jarak 3cm = 199,09 kg/cm<sup>2</sup>, 6cm = 170,50 kg/cm<sup>2</sup>, 9cm = 150,70 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga kayu dengan sambungan tegak pada jarak 6 cm berkekuatan lebih daripada sambungan mendatar (Matana et al., 2017).

Pengujian lentur pada baja ST60 menunjukkan bahwa perlakuan *post weld heat treatment* (PWHT) dapat memperbaiki nilai tegangan lentur menjadi 713,83 MPa lebih baik daripada tanpa PWHT senilai 711 MPa atau naik 0,39 % (Hilalqil et al., 2024).

Spesimen pelat ASTM A36 dengan jenis kampuh *raw material* memiliki kekuatan lentur 558,55 MPa pada defleksi 33,46 mm, sedangkan spesimen hasil pengelasan SMAW dan

GTAW dengan jenis kampuh V tegangan lentur nya senilai 1129,61 MPa pada defleksi 36,40 mm dan 1145,39 MPa pada defleksi 38,07 mm (Ardi et al., 2024).

Kekuatan lentur sisal *fiber-reinforced concrete* (SFRC) tertinggi diperoleh pada campuran 20% *foam* diantara campuran *foam* lainnya pada 0%, 15%, dan 30% yang mencapai nilai 5,54 MPa (Santos et al., 2025)

Peningkatan kekuatan lentur spesimen tanpa aditif (AC4) dari 1,69 MPa menjadi 34,47 MPa setelah ditambahkan serat karbon, dan peningkatan kekuatan lentur spesimen tanpa aditif (VR1) dari 0,92 MPa menjadi 25,14 MPa setelah ditambahkan kain karbon (Markuszewski et al., 2025).

Gaya lentur uji komposit beton yang diapit kayu dengan panjang 115 cm dengan jarak tumpuan bentang 100 cm, penampang balok beton lebar 5 cm, tinggi 10 cm dengan ketebalan kayu sebelah bawah 1 cm dan kayu sebelah atas 0,5 cm yang diberi paku-paku sejumlah 14 buah paku dengan panjang 5 cm dan diameter 0,31 cm berjarak 15 cm di sepanjang bentang balok diperoleh nilai 4,77 kN untuk kayu Kamper untuk dan 3,70 kN kayu Bengkirai yang berarti kekuatan katu kampur lebih tinggi daripada kayu Bengkirai (Yoresta, 2015).

Kekuatan lentur balok pasangan bata adalah 0,29 MPa, 1,27 MPa, dan 3,41 MPa untuk balok tanpa tulangan (kode spesimen BR0), balok dengan tulangan berdiameter 16 mm (BR16), dan balok dengan tulangan berdiameter 22 mm (BR22) (Budiwati & Sudarsana, 2019).

## 2. KAJIAN TEORITIS

Uji lentur atau *flexure test* sesuai dipakai untuk bahan yang menerima hanya beban lentur, untuk contoh pemakaian pegas daun kendaraan, keramik lantai, papan meja, kayu usuk, dan gelagar beton. Kekuatan lentur umumnya diuji dengan metoda *three-point bending* yaitu gaya lentur di posisi tengah dari panjang batang yang diuji dan 2gsris tumpuan di bagian bawah yang ditempatkan secara simetri berjarak sama dai sebelah kiri dan kanannya (Callister, 2007). Tegangan lentur/*flexure strength*,  $\sigma_L$  diperoleh dari Rumus (1).

$$1) \quad \sigma_L = M.c/I$$

dengan M adalah momen lentur maksimum, c adalah jarak serat terluar dari pusat spesimen, dan I adalah momen inersia penampang melintang.

Momen didapat:  $M = \text{gaya} \times \text{jarak tegak lurusnya}$ .

Momen nilai maksimum, M pada titik pembebanan yaitu reaksi di sebelah kiri  $\times$  setengah jarak tumpuan yang dihitung dengan Rumus (2).

$$2) \quad M = (F/2) \times (L/2) = FL/4$$

Nilai momen adalah  $M = FL/4$  dengan  $c$  untuk penampang segi empat  $= d/2$ , dan  $c$  untuk penampang lingkaran  $= R$ .

Momen inersia penampang,  $I$  untuk penampang segi empat dihitung dengan Rumus (3).

$$3) \quad I = bd^3/12$$

Momen inersia penampang,  $I$  untuk penampang lingkaran dihitung dengan Rumus (4).

$$4) \quad I = \pi R^4/4$$

Tegangan lentur untuk penampang segi empat dihitung dengan Rumus (5).

$$5) \quad \sigma_L = 3FL/2bd^2$$

Tegangan lentur untuk penampang lingkaran dihitung dengan Rumus (6).

$$6) \quad \sigma_L = FL/\pi R^3$$

### 3. METODE PENELITIAN

Semua spesimen uji lentur dipersiapkan dengan masing-masing ukuran untuk: baja karbon rendah berukuran  $\phi 16\text{mm}$  dengan panjang 200 mm, kayu usuk Randu penampang dengan tebal 40 mm, tinggi 60 mm, dan panjang 250mm, *paving stone* dipilih berukuran tebal 55 mm, lebar 100 mm dan panjang 200 mm, bahan bata ringan dibuat tinggi 95 mm menyesuaikan dengan kecukupan spasi siantara pendesak dan dua penumpu pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki, lebar 100 mm, dan panjang 300 mm. Jarak tumpuan pengujian lentur untuk bahan baja karbon rendah 160 mm, kayu usuk Randu 220 mm, *paving stone* 170 mm, dan bata ringan 260 mm.

Jarak tumpuan diatur mulai dari posisi 2 penumpu yang berdiameter 50 mm berimpit satu sama lain, dan pendesak yanb ujungnya berradius 25 mm sebagai gaya lentur diposisikan ditengah antara 2 penumpu, kemudian 2 tumpuan dipisahkan menjauh dari jarak setekah jarak tumpuannya dengan pantuan mistar yang terpasang pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki. Pengujian memperoleh gaya lentur dan defleksi yang dicatat pada interval tertentu secara manual yang serentak dan dicatat untuk selanjutnya dihitung tegangan lenturnya menggunakan Rumus (5) untuk penampang bahan segi empat dan menggunakan Rumus (6) untuk penampang silindris.

Untuk bahan baja karbon rendah yang ulet tidak diperoleh kekuatan lentur, tetapi diperoleh kekuatan luluh, karena spesimen tidak patah, melainkan menjadi bengkok. Berbeda dengan kayu usuk, pasing stone, dan bata ringan yang ketiga bahan tersebut termasuk bahan getas yang menjadi patah jika dilenturkan hingga defleksi tertentu.

Spesimen baja karbon rendah setelah ditandai jarak tumpuanya dari posisi di tengah panjang spesimen siap diuji lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki sebagaimana Gambar 1.



**Gambar 1.** Spesimen Baja Karbon Rendah Setelah Ditandai Jarak Tumpuanya dan Siap Diuji Lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki.

Spesimen kayu usuk posisi berdiri/tegak sebelum dan sesudah diuji lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki sebagaimana Gambar 2.



**Gambar 2.** Spesimen Kayu Usuk Posisi Berdiri Sebelum dan Sesudah Diuji Lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki.

Spesimen kayu usuk posisi tidur/mendarat sebelum dan sesudah diuji lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki sebagaimana Gambar 3.



**Gambar 3.** Spesimen Kayu Usuk Posisi Tidur Sebelum dan Sesudah Diuji Lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki.

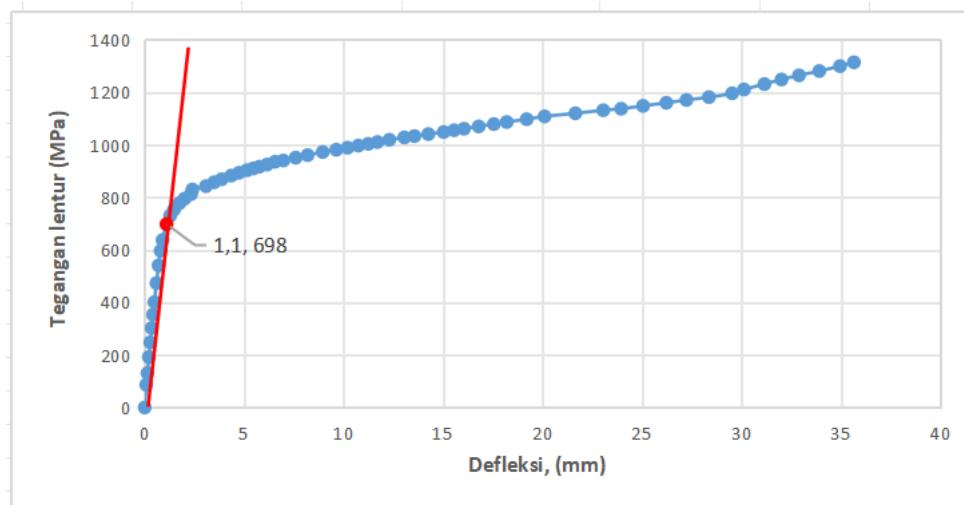
Spesimen bata ringan (bata putih) sebelum dan sesudah diuji lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki sebagaimana Gambar 4.



**Gambar 4.** Spesimen Bata Ringan Sebelum dan Sesudah Diuji Lentur pada Mesin Uji Lentur Tarno Grocki.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji lentur bahan baja karbon rendah dengan  $\phi$  16 mm panjang 200 mm dan jarak tumpuan 160 mm berupa Tegangan Lentur terhadap Defleksinya sebagaimana Gambar 5.



**Gambar 5.** Tegangan Lentur terhadap Defleksi Bahan Baja Karbon Rendah  $\phi$  16 mm Panjang 200 mm.

Untuk kayu usuk, *paving stone*, dan bata ringan, karena bersifat getas, tidak diperlukan plot grafik tegangan lentur terhadap defleksi, tetapi langsung dihitung tegangan lenturnya menggunakan rumus tegangan lentur untuk penampang segi empat dihitung dengan Rumus (5) dan untuk penampang lingkaran dihitung dengan Rumus (6).

Tegangan lentur baja karbon rendah  $\phi$  16 mm,  $R = 8$  mm, jarak tumpuhan,  $L = 160$  mm diperoleh gaya lentur maksimum,  $F = 7013,5$  N, maka kekuatan luluh yang terjadi:  $\sigma_L = FL/\pi R^3 = 7013,5 \text{ N} \times 160 \text{ mm} / \pi (8)^3 = 698 \text{ MPa}$ .

Dari Gambar 5 diperoleh regangan pada kekuatan luluh adalah 1,1 %, yang berarti bahwa jika pembebanan pada bahan baja karbon rendah tersebut dibebani gaya melebihi 7013,5 N atau 715 kg, berisiko menjadi plastis yang berakibat berlanjut dengan deformasi permanen yang menjadi lebih pendek panjangnya pada posisi jarak tumpuan yang berlanjut menjadi

runtuhnya batang/gelagar tersebut. Jadi agar tidak terjadi kecelakaan, beban harus dibatasi di bawah 715 kg atau jika diambil suatu angka/faktor keselamatan (*safety factor*), misalnya 1,2, maka beban maksimum yang diizinkan adalah  $715 \text{ kg} / 1,2 = 596 \text{ kg}$ .

Untuk kayu usuk posisi mendatar diperoleh gaya lentur maksimum,  $F = 14204,9 \text{ N}$ , jarak tumpuhan,  $L = 220 \text{ mm}$ , tebal,  $b = 40 \text{ mm}$ , tinggi,  $h = 60 \text{ mm}$ , maka :

$$\sigma_L = 3FL/(2bh^2) = (3 \times 14204,9 \text{ N} \times 220 \text{ mm})/(2 \times 40 \text{ mm} \times (60 \text{ mm})^2) = 55,5 \text{ MPa.}$$

Untuk kayu usuk posisi tegak diperoleh gaya lentur maksimum,  $F = 15646,9 \text{ N}$ , jarak tumpuhan,  $L = 220 \text{ mm}$ , tebal,  $b = 40 \text{ mm}$ , tinggi,  $h = 60 \text{ mm}$ , maka :

$$\sigma_L = 3FL/(2bh^2) = (3 \times 15646,9 \text{ N} \times 220 \text{ mm})/(2 \times 60 \text{ mm} \times (40 \text{ mm})^2) = 40,7 \text{ MPa.}$$

Untuk *paving stone* posisi sebelah atas di atas diperoleh gaya lentur maksimum,  $F = 7877,4 \text{ N}$ , jarak tumpuhan,  $L = 170 \text{ mm}$ , tebal,  $b = 100 \text{ mm}$ , tinggi,  $h = 55 \text{ mm}$ , maka :

$$\sigma_L = 3FL/(2bh^2) = (3 \times 7877,4 \text{ N} \times 170 \text{ mm})/(2 \times 100 \text{ mm} \times (55 \text{ mm})^2) = 6,64 \text{ MPa.}$$

Untuk *paving stone* posisi sebelah bawah di atas diperoleh gaya lentur maksimum,  $F = 7857,8 \text{ N}$ , jarak tumpuhan,  $L = 170 \text{ mm}$ , tebal,  $b = 100 \text{ mm}$ , tinggi,  $h = 55 \text{ mm}$ , maka :

$$\sigma_L = 3FL/(2bh^2) = (3 \times 7857,8 \text{ N} \times 170 \text{ mm})/(2 \times 100 \text{ mm} \times (55 \text{ mm})^2) = 6,62 \text{ MPa.}$$

Untuk bata ringan diperoleh gaya lentur maksimum,  $F = 2570,2 \text{ N}$ , jarak tumpuhan,  $L = 250 \text{ mm}$ , tebal,  $b = 100 \text{ mm}$ , tinggi,  $h = 95 \text{ mm}$ , maka :

$$\sigma_L = 3FL/(2bh^2) = (3 \times 2570,2 \text{ N} \times 250 \text{ mm})/(2 \times 100 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2) = 1,28 \text{ MPa.}$$

Selisih kekuatan lentur kayu usuk posisi mendatar terhadap kayu usuk posisi tegak adalah  $((55,5 \text{ MPa} - 40,7 \text{ MPa})/55,5 \text{ Pa}) \times 100\% = 26,6\%$  lebih besar daripada kayu usuk posisi tegak.

Selisih kekuatan lentur antara *paving stone* posisi sebelah atas di atas terhadap *paving stone* posisi sebelah bawah di atas adalah  $((6,64 \text{ MPa} - 6,62 \text{ MPa})/6,64 \text{ MPa}) \times 100\% = 0,3\%$  atau relatif sama.

Kekakuan kayu usuk posisi tegak dibandingkan kayu usuk posisi mendatar adalah  $((15646,9 \text{ N} - 14204,9 \text{ N})/15646,9 \text{ N}) \times 100\% = 9,2\%$  lebih besar, karena gaya lentur maksimumnya lebih besar.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan lentur baja karbon rendah 698 MPa pada jarak tumpuan 160 mm dengan defleksi 1,1 mm, kekuatan lentur kayu usuk Randu posisi tegak 40,7 MPa, posisi mendatar 55,5 MPa pada jarak tumpuan 220 mm, *paving stone* pada jarak tumpuan 170 mm, posisi atas di atas (normal) 6,640 MPa, posisi bawah di atas (telungkup)

6,624 MPa, dan bata ringan 1,35 MPa pada jarak tumpuan 260 mm yang berimplikasi bahwa jenis bahan, jarak tumpuan, dan penampang spesimen sangat mempengaruhi kekuatan lenturnya, kecuali bahan yang ulet untuk baja karbon rendah tidak memiliki kekuatan lentur, melainkan memiliki kekuatan luluh pada defleksi tertentu.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Para penulis menyampaikan rasa terima kasih atas dukungan fasilitas peralatan uji lentur oleh Kepala Laboratorium Pengujian dan Perlakuan Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang dalam pengujian batang baja silindris, kayu usuk, *paving stone*, dan bata ringan.

## **DAFTAR REFERENSI**

- Ardi, A., Halim, M. A., & Mardin. (2024). Analisis pengaruh variasi bentuk sambungan terhadap karakteristik mekanis baja karbon rendah hasil pengelasan SMAW dan GTAW. *Journal of Social Science Research*, 4(1), 12201–12219.
- Basyaruddin, Suryaningsih, A., & Awali, J. (2019). Potensi pemanfaatan kayu gelam dan kayu sengon dalam dunia konstruksi berdasarkan uji kuat lentur. *Rekayasa Sipil*, 13(3), 193–198.
- Budiwati, I. A. M., & Sudarsana, I. K. (2019). Flexural tests of masonry beam with and without reinforced bar. *MATEC Web of Conferences*, 276, 01018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201927601018>
- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Djau, R. A., Yunus, H. P., Bumulo, N., Nento, S., & Olii, M. R. (2024). Analisis faktor koreksi dimensi paving blok. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*, 8(1), 63–69.
- Hilaqil, M. F. S., Amiruddin, W., & Kiryanto. (2024). Analisis pengaruh durasi post weld heat treatment annealing pada pengelasan GMAW baja ST60 terhadap kekuatan uji tarik, uji impak, uji bending, dan struktur mikro. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(3), 1–11. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Ibrahim, A. (2022). Studi karakteristik bata ringan di Kota Makassar. *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, 2(2), 69–76.
- Kamayuda, R. T., & Sakti, A. M. (2021). Analisa waktu pemanasan dan temperatur pemanasan pada proses blackening baja ST41 bentuk plat dan silinder terhadap ketebalan lapisan permukaan dan uji bending. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 11(1), 163–167.
- Kurniati, D., Saputro, I. T., Nurhidayatullah, E. F., Saputro, C. D., & Asyifa, A. (2021). Kekuatan tekan paving block dengan memanfaatkan limbah las asetelin. *Jurnal Karkasa*, 7(2), 49–53.
- Markuszewski, D., Cięzkowski, P., & Blumbergs, I. (2025). Flexural strength enhancement of lightweight concrete beams using carbon fiber and epoxy resin. *Materials*, 18(23), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ma18235297>

- Matana, M. N., Kumaat, E. J., & Pandaleke, R. (2017). Pengujian kuat lentur kayu profil tersusun bentuk I. *Jurnal Sipil Statik*, 5(2), 103–112.
- Nge, K. A., Hunggurami, E., & Pah, J. J. S. (2020). Identifikasi kuat acuan terhadap kayu jati merah yang diperdagangkan di Kota Kupang. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 219–228.
- Razak, B. A., & Hasanuddin, H. A. (2019). Analisis kekuatan tekan paving block yang menggunakan bahan pengganti kawat bendrat. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian kepada Masyarakat*, 11–14.
- Santos, D. O. J. de, Lima, P. R. L., & Filho, R. D. T. (2025). Flexural behavior of lightweight sandwich panels with rice husk bio-aggregate concrete core and sisal fiber-reinforced foamed cementitious faces. *Materials*, 18, 1850. <https://doi.org/10.3390/ma18081850>
- Widianto, T. W., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Kuat lentur beton menggunakan agregat batu Petangis dan pasir Semboja dengan penambahan botol plastik. *Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil*, 6(2), 113–122.
- Yoresta, F. S. (2015). Flexural testing of wood-concrete composite beam made from Kamper and Bangkirai wood. *Langkau Betang*, 2(2), 108–115.