



PENGARUH VARIASI DAYA LASER CO₂ TERHADAP PERUBAHAN WARNA PERMUKAAN DAN PREFERENSI KONSUMEN PADA KAYU CEMPAKA (*Michelia champaca*)

The Effect of CO₂ Laser Power Variation on Surface Color Changes and Consumer Preferences in Cempaka Wood (*Michelia champaca*)

Intan Fajar Suri*, Muhammad Dimaz Nugraha, Faiz Al Qorny, Indra Gumay Febryano, dan Wahyu Hidayat⁵

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Lampung;

*Corresponding author;: intan.fajar@fp.unila.ac.id

Diterima : 07 Mei 2025

Direvisi : 22 Mei 2025

Disetujui : 13 Juni 2025

ABSTRACT

*Laser technology has become one of the main innovations in material delivery, especially in the wood industry for cutting and engraving purposes. One of the advantages of this technology is the ability to produce precise and aesthetic patterns on the wood surface. However, each type of wood has unique characteristics to the heat treatment of the laser beam, so further research is needed to understand the specific response of each type of wood. This study aims to trigger the effect of variations in CO₂ laser power on changes in the surface color of cempaka wood (*Michelia champaca*) and to identify consumer preferences for the color results. The study was conducted at the Forest Products Technology Laboratory, University of Lampung, using three variations of laser power: 2.5 watts, 5 watts, and 7.5 watts, with each treatment repeated three times. The surface color was described using a CIE-Lab system-based colorimeter (parameters L*, a*, and b*) before and after engraving. In addition, a consumer preference survey was conducted boldly involving 100 students from the University of Lampung to assess the visualization of the engraving results. The results showed that higher laser power (7.5 watts) produced darker and more contrasting wood colors, with a decrease in L* values and an increase in a* and b* values. Most respondents preferred the results of engraving using 7.5 watts of power because it produced darker colors and was considered more aesthetic and gave sharper results.*

Keywords: CO₂ laser, Michelia champaca, color change, laser power, consumer preferences, wood engraving

ABSTRAK

Teknologi laser telah menjadi salah satu inovasi utama dalam pemrosesan material, khususnya dalam industri kayu untuk keperluan pemotongan dan pengukiran. Salah satu keunggulan teknologi ini adalah kemampuannya menghasilkan pola yang presisi dan estetis pada permukaan kayu. Namun, setiap jenis kayu memiliki karakteristik unik terhadap perlakuan panas dari sinar laser, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami respons spesifik dari masing-masing jenis kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi daya laser CO₂ terhadap perubahan warna permukaan kayu cempaka (*Michelia champaca*) serta mengidentifikasi preferensi konsumen terhadap hasil warna tersebut. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Universitas Lampung, menggunakan tiga variasi daya laser: 2,5 watt, 5 watt, dan 7,5 watt, dengan masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Warna permukaan dianalisis menggunakan colorimeter berbasis sistem CIE-Lab (parameter L*, a*, dan b*) sebelum dan sesudah pengukiran. Selain itu, survei preferensi konsumen dilakukan secara daring dengan melibatkan 100 mahasiswa Universitas Lampung untuk menilai visualisasi hasil pengukiran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya laser yang lebih tinggi (7,5 watt) menghasilkan warna kayu yang lebih gelap dan kontras, dengan penurunan nilai L* serta peningkatan nilai a* dan b*. Sebagian besar responden menyukai hasil pengukiran menggunakan daya 7,5 watt karena menghasilkan warna yang lebih gelap dan dinilai lebih menimbulkan kesan estetika dan hasil yang lebih tajam.

Kata kunci: Laser CO₂, kayu cempaka (*Michelia champaca*), perubahan warna, daya laser, preferensi konsumen, pengukiran kayu.

I. PENDAHULUAN

Salah satu metode pemrosesan termal non-konvensional yang paling populer adalah teknologi laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Teknologi ini beroperasi dengan mengonversi energi listrik menjadi sinar cahaya terfokus, yang kemudian menghasilkan panas intens untuk memproses material (Rajesh *et al.*, 2019). Laser memiliki fleksibilitas tinggi dan dapat diaplikasikan pada hampir semua jenis bahan, mulai dari logam, plastik, hingga kayu, sehingga penggunaannya sangat luas dalam berbagai sektor industri, termasuk pemotongan presisi, pengukiran artistik, dan fabrikasi material lainnya (Varsi & Gupta, 2022). Ketika sinar laser diarahkan secara presisi ke permukaan material, energi yang dipancarkan menghasilkan panas dalam jumlah besar. Untuk mencapai kepadatan daya yang tinggi, energi laser difokuskan pada area yang sangat kecil. Material akan menyerap sebagian energi cahaya tersebut dan mengubahnya menjadi energi termal (Gurau dan Irle, 2017).

Perkembangan teknologi pemrosesan material terus mengalami kemajuan pesat, salah satunya melalui penerapan teknologi laser. Dalam beberapa tahun terakhir, laser telah menjadi metode unggulan dan berpotensi menggantikan teknik pemrosesan konvensional seperti penggergajian (Gaff *et al.*, 2020). Teknologi ini memanfaatkan sinar berenergi tinggi untuk memotong, mengukir, atau menghias permukaan material dengan tingkat presisi yang tinggi. Penggunaan mesin laser, khususnya laser CO₂, mengalami peningkatan signifikan di berbagai sektor industri, termasuk industri pengolahan kayu (Açık & Tutus, 2020). Laser memiliki keunggulan karena dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material, seperti logam, plastik, karet, kayu, keramik, dan komposit (Choudhury, 2010; Eltawahni *et al.*, 2011; Xiong *et al.*, 2012). Di antara berbagai aplikasi tersebut, pengukiran laser menjadi salah satu metode paling efisien, terutama

untuk memproses material dengan bentuk geometris yang rumit. Proses ini melibatkan penghilangan material dari permukaan hingga kedalaman tertentu, memungkinkan penciptaan pola yang presisi (Sachin *et al.*, 2015). Dalam industri kayu, selain digunakan untuk pemotongan, teknologi laser juga dimanfaatkan untuk dekorasi dan pembuatan objek-objek kreatif (Yakimovich *et al.*, 2016). Proses pengukiran laser tidak hanya berdampak pada bentuk visual, tetapi juga memengaruhi sifat fisik dan kimia kayu, seperti kekasaran permukaan, perubahan warna (Açık & Tutus, 2020), anatomi dan morfologi jaringan (Aniszewska *et al.*, 2020), serta struktur kimianya (Kačák *et al.*, 2011).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mendokumentasikan aplikasi pengukiran laser pada kayu. Salah satunya dilakukan oleh Gurau *et al.* (2017b), yang menggunakan kayu beech (*Fagus sylvatica*) untuk mengevaluasi efek variasi daya laser antara 5,6 hingga 6,8 watt serta kecepatan pemindaian antara 100 hingga 500 mm/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan warna total (ΔE^*) menurun seiring dengan peningkatan kecepatan pemindaian, dan meningkat seiring bertambahnya daya laser. Meskipun teknologi laser telah diterapkan secara luas pada berbagai jenis material, penelitian mendalam umumnya masih terfokus pada industri logam (Pritam, 2016). Penelitian lain yang dilakukan oleh Rahman *et al.* (2022) mengungkapkan bahwa penggunaan daya laser sebesar 5 dan 7,5 watt pada kayu meranti (*Shorea sp.*) menyebabkan permukaan kayu mengalami penggelapan warna. Studi tersebut juga menemukan bahwa konsumen lebih menyukai hasil ukiran dengan daya 7,5 watt karena tampilannya dianggap lebih menarik. Hingga saat ini, belum ada penelitian yang secara spesifik mengeksplorasi pengaruh variasi daya laser terhadap perubahan warna pada kayu cempaka (*Michelia champaca*). Penelitian semacam ini sangat penting untuk memahami bagaimana kayu

cempaka bereaksi terhadap perbedaan tingkat daya laser, yang akan memungkinkan penyesuaian hasil akhir sesuai dengan preferensi estetika konsumen. Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak dari penggunaan laser CO₂ terhadap perubahan warna permukaan kayu cempaka, dengan harapan dapat menentukan parameter optimal yang dapat diterapkan untuk kebutuhan estetika dan fungsional.

II. METODE PENELITIAN

A. Prosedur Penelitian

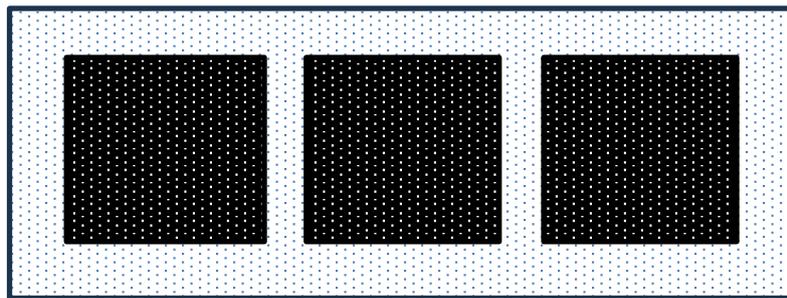
Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret hingga April 2025 di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bahan uji yang digunakan berupa kayu cempaka (*Michelia champaca*) dengan dimensi 30 cm (panjang) × 20 cm (lebar) × 5 cm (tebal). Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dalam skala laboratorium dengan menerapkan tiga variasi daya keluaran laser, yaitu 2,5 watt, 5 watt, dan 7,5 watt. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali

pengukuran untuk memastikan konsistensi data dan keandalan hasil pengamatan.

B. Parameter Pengamatan

a. Pengujian perubahan warna

Pengujian perubahan warna permukaan kayu dilakukan dengan membandingkan kondisi sebelum dan setelah perlakuan menggunakan laser CO₂, dengan bantuan alat pengukur warna Colorimeter (AMT507, China) yang menggunakan sistem pengukuran CIE-Lab untuk memberikan hasil yang lebih akurat dan terstandarisasi. Pengukuran dilakukan pada titik-titik atau pola tertentu yang sudah direncanakan dan ditandai dengan cermat pada setiap papan kayu, memastikan konsistensi posisi pengukuran di setiap sampel. Untuk meningkatkan reliabilitas data, setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali pada setiap variasi daya laser yang digunakan, sehingga diperoleh hasil yang lebih valid dan representatif. Desain dan distribusi titik pengukuran warna yang diterapkan dalam penelitian ini dapat dilihat secara jelas pada Gambar 1, yang menunjukkan secara rinci posisi pengukuran yang dilakukan pada permukaan kayu yang diuji.



Gambar 1. Pola pengujian perubahan warna pada kayu cempaka.

Dalam analisis perubahan warna pada kayu, beberapa parameter warna utama yang digunakan adalah nilai L*, a*, dan b*. Nilai L* menggambarkan tingkat kecerahan warna, di mana 0 berarti warna hitam sepenuhnya dan 100 mewakili warna putih cerah. Nilai a* mencerminkan posisi warna dalam spektrum merah-hijau; nilai positif (+a*) menunjukkan

dominasi warna merah, sementara nilai negatif (-a*) menunjukkan dominasi warna hijau. Nilai b*, di sisi lain, menggambarkan arah warna dalam spektrum kuning-biru; nilai positif (+b*) menunjukkan kecenderungan menuju warna kuning, sementara nilai negatif (-b*) menunjukkan kecenderungan ke arah warna biru (Hidayat *et al.*, 2018). Perubahan warna

total yang terjadi akibat perlakuan laser dihitung dengan rumus ΔE^* , yang merupakan kombinasi dari perbedaan nilai L^* , a^* , dan b^* . Klasifikasi tingkat perubahan warna yang dihasilkan dari perhitungan ΔE^* disajikan dalam Tabel 1, untuk menggambarkan sejauh mana perubahan warna yang dialami oleh kayu setelah perlakuan laser. Formula yang digunakan untuk menghitung ΔE^* adalah sebagai berikut:

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

Keterangan:

ΔL^* = Selisih nilai L^* antara sebelum dan sesudah proses pengukiran

Δa^* = Selisih nilai a^* antara sebelum dan sesudah pengukiran

Δb^* = Selisih nilai b^* antara sebelum dan sesudah pengukiran

ΔE^* = Total perubahan warna yang terjadi akibat proses pengukiran

Tabel 1. Klasifikasi perubahan warna

Nilai klasifikasi	Keterangan
$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$	Perubahan warna sangat kecil hingga dapat diabaikan
$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$	Terjadi sedikit perubahan warna
$1,5 < \Delta E^* \leq 3$	Perubahan warna terlihat jelas
$3 < \Delta E^* \leq 6$	Perubahan warna cukup signifikan
$6 < \Delta E^* \leq 12$	Perubahan warna sangat mencolok
$\Delta E^* > 12$	Terjadi perubahan warna total

b. Preferensi konsumen

Preferensi konsumen terhadap warna kayu hasil pengolahan laser dievaluasi melalui survei publik yang difokuskan pada aplikasi perabot rumah tangga. Survei ini dilaksanakan

di Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, dengan melibatkan mahasiswa sebagai responden. Pemilihan responden dilakukan secara sukarela berdasarkan kesediaan untuk berpartisipasi dalam survei. Instrumen survei berupa kuesioner daring yang memuat gambar kayu hasil perlakuan laser dengan tiga variasi daya yang berbeda.

Responden diminta untuk mengisi data diri (nama, nomor induk mahasiswa, dan jenis kelamin) serta memilih warna hasil laser yang paling mereka sukai berdasarkan visualisasi pola yang disajikan pada Gambar 2. Selain itu, responden juga diminta memberikan alasan atas pilihan mereka. Total partisipan dalam survei ini berjumlah 100 orang, yang terdiri dari 50 laki-laki dan 50 perempuan.



Gambar 2. Pola desain preferensi konsumen pada produk kayu cempaka.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

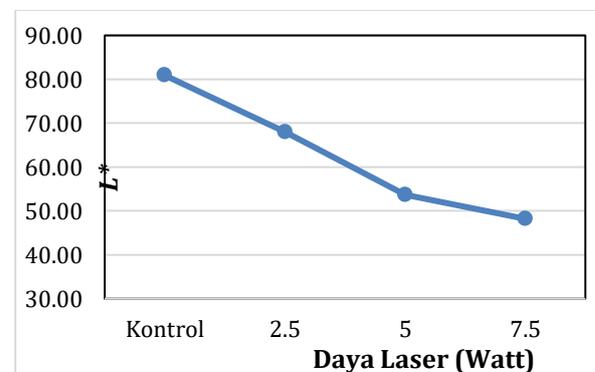
A. Perubahan Warna

Setelah dilakukan proses pengukiran dengan laser CO_2 pada kayu cempaka menghasilkan warna seperti yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil visual setelah dilakukan pengukiran laser CO₂ pada kayu cempaka dengan berbagai daya laser.

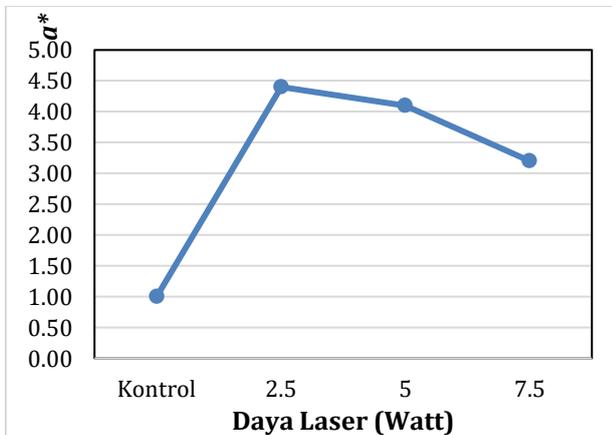
Peningkatan daya laser secara signifikan mempengaruhi penurunan tingkat kecerahan (L^*) pada kayu cempaka. Sebelum proses pengukiran, kayu cempaka memiliki warna kuning pucat. Setelah melalui proses pengukiran dengan laser, warnanya menjadi semakin gelap, mencapai coklat tua atau hitam pada daya laser 7,5 Watt (Gambar 3). Perubahan warna tersebut terjadi akibat terdegradasinya komponen kimiawi kayu, terutama lignin dan hemiselulosa, yang rusak akibat paparan panas sehingga permukaan kayu tampak lebih gelap (Čabalová *et al.*, 2018). Paparan panas pada kayu memicu modifikasi struktur kimia, yang pada akhirnya menyebabkan warna kayu menjadi lebih gelap (Hidayat *et al.*, 2017; Suri *et al.*, 2022). Bessala *et al.* (2023) menyatakan bahwa perlakuan panas pada kayu, menyebabkan penurunan nilai L^* yang signifikan, menunjukkan penggelapan warna kayu. Daya laser yang rendah hanya mampu mempengaruhi lapisan permukaan kayu secara dangkal dan tidak menembus seluruh ketebalan kayu, sementara daya laser yang lebih tinggi mampu membakar permukaan kayu dan membuat warnanya menjadi lebih gelap, dengan variasi warna mulai dari coklat muda hingga hitam (Petru dan Lunguleasa, 2014).



Gambar 4. Dampak penggunaan laser CO₂ terhadap perubahan tingkat kecerahan (L^*) pada kayu cempaka.

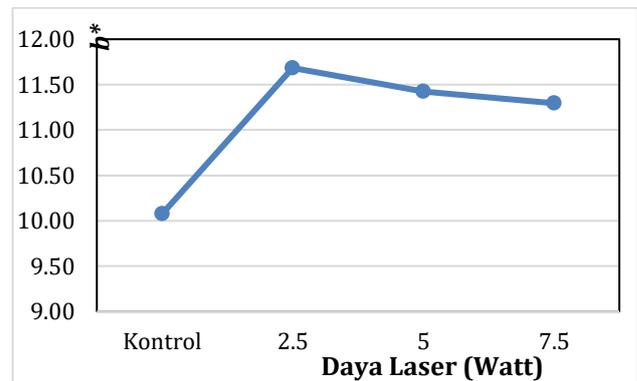
Peningkatan daya laser CO₂ dari 2,5 watt hingga 7,5 watt menunjukkan penurunan nilai kecerahan (L^*) pada permukaan kayu cempaka, yang mengindikasikan perubahan warna kayu menjadi lebih gelap (Gambar 4). Pada daya 2,5 watt, nilai L^* relatif tinggi, mencerminkan warna kayu yang lebih terang. Namun, saat daya meningkat ke 5 watt dan 7,5 watt, nilai L^* menurun secara signifikan, menunjukkan penggelapan warna permukaan kayu. Fenomena ini disebabkan oleh peningkatan energi termal yang dihasilkan oleh laser, yang menyebabkan degradasi termal pada komponen kimia kayu seperti lignin dan hemiselulosa, menghasilkan senyawa kromofor yang menyebabkan warna kayu menjadi lebih gelap. Penelitian serupa pada kayu jabon juga menunjukkan bahwa peningkatan daya laser CO₂ menyebabkan penurunan nilai L^* dan

perubahan warna permukaan kayu menjadi lebih gelap (Rahman *et al.*, 2023).



Gambar 5. Dampak variasi daya laser CO₂ terhadap perubahan nilai kromatis merah-hijau (a*) pada kayu cempaka.

Gambar 5 pada grafik menunjukkan daya laser CO₂ berpengaruh terhadap nilai a^* , yaitu parameter kromatisasi merah-hijau pada kayu cempaka. Pada sampel kontrol (tanpa perlakuan), nilai a^* rendah, yang menunjukkan dominansi rona hijau atau warna netral. Saat kayu terkena laser dengan daya 2,5 watt, terjadi peningkatan tajam nilai a , menandakan peningkatan rona merah yang kemungkinan disebabkan oleh reaksi termal ringan yang memodifikasi senyawa di permukaan kayu (Gambar 5). Namun, pada daya yang lebih tinggi (5 watt dan 7,5 watt), nilai a^* menurun secara bertahap, yang diduga akibat proses karbonisasi atau degradasi termal yang menutupi rona alami kayu. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Kúdela *et al.* (2024), menyatakan bahwa pada kayu beech, nilai a meningkat hingga titik tertentu dengan peningkatan dosis iradiasi laser CO₂, namun menurun pada dosis lebih tinggi akibat perubahan kimia dan karbonisasi permukaan.



Gambar 6. Dampak daya laser CO₂ terhadap perubahan nilai kromatis kuning-biru (b*) pada kayu cempaka.

Gambar 6 memperlihatkan grafik peningkatan daya laser CO₂ dari 2,5 watt hingga 7,5 watt menunjukkan pengaruh signifikan terhadap nilai b^* pada kayu cempaka, yang merefleksikan pergeseran warna dari biru ke kuning dalam ruang warna CIE Lab*. Pada perlakuan laser 2,5 watt, terjadi peningkatan nilai b^* , yang mengindikasikan kecenderungan warna permukaan kayu menuju rona kekuningan akibat pengaruh pemanasan oleh laser. Sementara itu, pada perlakuan dengan daya 5 watt dan 7,5 watt, nilai b justru mengalami penurunan, yang diduga merupakan dampak dari proses pemanasan berlebih yang menyebabkan penggelapan permukaan akibat pembentukan karbon atau kerusakan struktur kimia kayu. Menurut Gurău *et al.* (2017), pada kayu beech nilai b meningkat hingga titik tertentu dengan peningkatan dosis iradiasi laser CO₂, namun menurun pada dosis lebih tinggi akibat perubahan kimia dan karbonisasi permukaan.

Tabel 2. Perubahan warna permukaan kayu cempaka.

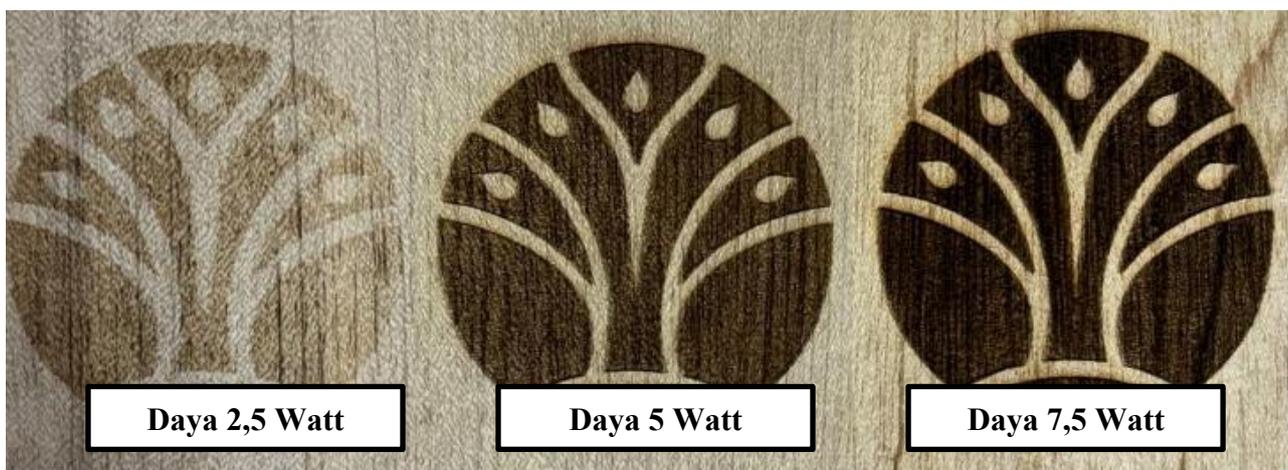
Daya Laser (Watt)	Warna			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE
2,5	12.90	-3.40	-1.61	13.44
5	27.20	-3.10	-1.35	27.41
7,5	32.70	-2.20	-1.22	32.80

Berdasarkan data pada Tabel 2, terlihat bahwa peningkatan daya laser CO₂ berpengaruh signifikan terhadap perubahan warna

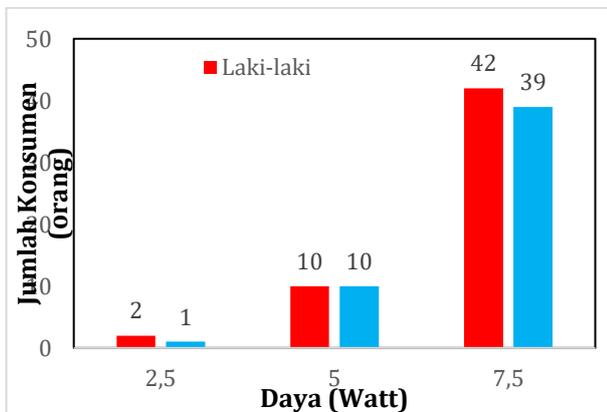
permukaan kayu cempaka yang ditunjukkan oleh nilai ΔL^* , Δa^* , Δb^* , dan ΔE^* . Nilai ΔL^* meningkat dari 12,90 pada daya 2,5 watt menjadi 27,20 pada 5 watt, dan terus naik hingga 32,70 pada 7,5 watt. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi daya laser, semakin tebal hasil ukiran pada permukaan kayu, yang dapat dikaitkan dengan intensitas panas yang lebih tinggi menghilangkan lebih banyak lapisan permukaan kayu. Selain itu nilai ΔE^* yang merupakan indikator keseluruhan perubahan warna meningkat drastis dari 13,44 (2,5 watt) menjadi 27,41 (5 watt), dan mencapai 32,80 pada daya 7,5 watt. Nilai ini menunjukkan bahwa perubahan warna secara keseluruhan menjadi semakin besar seiring peningkatan daya laser. Hal ini sejalan dengan temuan sebelumnya bahwa daya laser tinggi menghasilkan intensitas termal lebih besar yang menyebabkan karbonisasi atau perubahan struktur permukaan kayu yang lebih intens (Suri *et al.*, 2022). Hal ini sejalan dengan ini sejalan dengan temuan Pangabean (2023), yang melaporkan bahwa perlakuan panas pada kayu yaitu pengukiran dengan laser mengubah parameter warna akibat degradasi kimiawi lignin dan hemiselulosa.

B. Preferensi Konsumen

Preferensi konsumen terhadap warna hasil pengukiran laser CO₂ pada kayu sangat dipengaruhi oleh aspek estetika dan nilai visual yang ditimbulkan oleh kontras antara bagian terukir dan permukaan kayu asli. Warna yang dihasilkan dari proses pembakaran oleh sinar laser tidak hanya menunjukkan detail ukiran, tetapi juga memberikan kesan eksklusif dan artistik yang meningkatkan daya tarik produk kayu. Dalam konteks industri hasil hutan, nilai tambah ini penting untuk menunjang pemasaran produk kerajinan kayu lokal, seperti kayu cempaka, yang memiliki karakteristik warna dan tekstur khas. Semakin kuat kontras warna yang dihasilkan, umumnya semakin tinggi pula persepsi kualitas yang ditangkap oleh konsumen, terutama dalam produk dekoratif dan souvenir (Yung *et al.*, 2021). Preferensi konsumen terhadap warna kayu dapat bervariasi berdasarkan jenis kelamin, di mana laki-laki dan perempuan cenderung memiliki persepsi visual dan preferensi estetika yang berbeda terhadap karakteristik warna produk kayu (Hasanah *et al.*, 2019). Pemahaman terhadap preferensi visual ini menjadi penting dalam pengembangan desain dan pemrosesan produk kayu berkelanjutan berbasis hasil hutan kayu.



Gambar 7. Tampilan hasil pengukiran pada kayu cempaka.



Gambar 8. Preferensi konsumen berdasarkan jenis kelamin terhadap warna kayu cempaka.

Berdasarkan Gambar 8 grafik mengenai preferensi konsumen terhadap pengukiran laser CO₂ pada kayu cempaka, ditemukan bahwa baik konsumen laki-laki maupun perempuan menunjukkan preferensi yang lebih tinggi terhadap hasil ukiran yang dihasilkan dengan daya laser 7,5 watt. Hasil ukiran dengan daya ini menghasilkan warna yang lebih gelap dan kontras yang tajam, yang dianggap lebih menarik secara visual oleh kedua kelompok gender karena gambar lebih tegas dan terlihat jelas (Gambar 7). Preferensi ini sejalan dengan temuan Amany *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa konsumen cenderung menyukai hasil ukiran dengan warna yang lebih gelap karena memberikan kesan estetika yang lebih kuat dan detail ukiran yang lebih jelas. Selain itu, Rahman *et al.* (2022) juga menemukan bahwa peningkatan daya laser CO₂ pada kayu meranti menghasilkan perubahan warna yang signifikan, yang berpengaruh terhadap preferensi konsumen terhadap produk tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa dalam konteks produk kayu dan kehutanan, pengaturan daya laser yang optimal dapat meningkatkan daya tarik visual produk dan memenuhi preferensi konsumen berdasarkan karakteristik gender (Hidayat *et al.*, 2017).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa konsumen, baik laki-laki maupun perempuan, memiliki preferensi yang tinggi terhadap hasil ukiran kayu cempaka menggunakan laser CO₂ dengan daya 7,5 watt. Hasil ukiran pada daya ini menghasilkan tampilan visual yang lebih menarik, dengan warna lebih gelap dan kontras yang lebih jelas dibandingkan daya lainnya. Sejalan dengan nilai ΔE^* , yang menunjukkan tingkat perbedaan warna antar hasil ukiran. Semakin tinggi nilai ΔE^* , semakin besar perbedaan warna yang dihasilkan, dan hal ini berbanding lurus dengan peningkatan daya laser. Ukiran dengan daya 7,5 watt memiliki nilai ΔE^* tertinggi, menandakan bahwa perbedaan warnanya paling mencolok dan paling disukai konsumen. Hal ini mengindikasikan bahwa aspek visual berupa ketajaman dan kontras warna merupakan faktor penting dalam preferensi konsumen terhadap hasil ukiran. Oleh karena itu, penggunaan daya laser yang optimal dapat meningkatkan kualitas dan daya tarik estetika produk kayu.

B. Saran

Pada penelitian terkait yang akan datang, perlu ditambahkan variabel lain yang mempengaruhi preferensi, seperti tekstur hasil ukiran, kedalaman ukiran, atau kehalusan permukaan, untuk memberikan gambaran yang lebih holistik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dua pengulas anonim atas komentar berharga dan umpan balik konstruktif mereka pada draf awal naskah ini. Saran-saran mereka yang berwawasan telah memberikan kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan kualitas karya ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Açık, C., & Tutus, A. (2020). The effect of traditional and laser cutting on surface roughness of wood materials used in furniture industry. *Wood Industry and Engineering*, 2(2), 45-50.
- Amany, R., Rahman, A.F., Febryano, I.G., Iswandaru, D., Suri, I.F., & Hidayat, W. (2022). Preferensi konsumen terhadap perubahan warna papan partikel hasil ukir laser CO₂. *Journal of People, Forest and Environment*, 2(2), 51-59.
- Aniszewska, M., Maciak, A., Zychowicz., W. Zowczak., W. Mühlke., T. Christoph., B. Lamrini., S. & Sujecki., S. (2020). Infrared laser application to wood cutting. *Materials*, 13, 5222.
- Bessala, L.F.B., Gao, J., He, Z., Wang, Z., & Yi, S. (2023). Effects of heat treatment on color, dimensional stability, hygroscopicity and chemical structure of afrormosia and newtonia wood: a comparative study of air and palm oil medium. *Polymers*, 15(3), 774.
- Čabalová, I., Kačík, F., Kačíková, D., & Ďurkovič, J. (2018). Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. *Journal of Wood Science*, 64, 406–416.
- Choudhury., I.A. & Shirley., S. (2010). Laser cutting of polymeric materials: an experimental investigation. *Optics and Laser Technology*, 42(3), 503-508.
- Eltawahni., H.A., Olabi., A.G. & Benyounis., K.Y. (2011). Investigating the CO₂ laser cutting parameters of mdf wood composite material. *Optics and Laser Technology*, 43(3), 648- 659.
- Gaff, ., Razaee, F., Sikora, A., Hysek, S., Sedlecky, M., Ditommaso, G., Corleto, R., Kamboj, G., Sethy, A., Valis, M., & Ripa, K. (2020). Interactions of monitored factors upon tensile glue shear strength on laser cut wood. *Composite Structures*, 234, 111679.
- Gurau, L. Petru, A., Varodi, A., & Timar, M. C. (2017). The influence of CO₂ laser beam power output and scanning speed on surface roughness and colour changes of beech (*Fagus sylvatica*). *BioResources*, 12(4), 7395-7412.
- Gurau, L., & Irlé., M. (2017). Surface roughness evaluation methods for wood products: a review. *Current Forestry Reports*, 3(2), 119–131.
- Gurau, L., & Petru, A. (2018). The influence of CO₂ laser beam power output and scanning speed on surface quality of norway maple (*Acer platanoides*). *BioResources*, 13(4), 8168-8183.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Park, B.H., Banuwa, I.S., Febrianto, F., & Kim, N.H. (2017). Color change and consumer preferences towards color of heat-treated korean white pine and royal paulownia woods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 45(2), 213–222.
- Kačík, F., & Kubovský, I. (2011). Chemical changes of beech wood due to CO₂ laser irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 222, 105–110.
- Kúdela, J., Kubovský, I., & Andrejko, M. (2024). Discolouration and chemical changes of beech wood after CO₂ laser engraving. *Forests*, 15(12), 2211.
- Pangabea, R.M. (2023). *Pengaruh Daya Laser CO₂ terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan dan Perubahan Warna Kayu Pinus (Pinus merkusii)*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Konservasi II, 296–303, Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Petru, A. & Lunguleasa, A. (2014). *Wood processing by laser tools*. Makalah disajikan dalam International Conference of Scientific Paper, Brasov: Afases.
- Pritam, A. (2016). Experimental investigation of laser deep engraving process for AISI 1045 stainless steel by fibre laser. *International Journal of Information Research I and Review*, 3(1), 1730-1734.
- Rahman, A.F., Amny, R., Suri, I.F., Febryano, I.F., Duryat, D., & Hidayat, W. (2022). Pengaruh daya laser CO₂ terhadap perubahan warna permukaan kayu meranti (*Shorea* sp.) dan preferensi konsumen. *Journal of People, Forest and Environment*, 2(2), 60-68.
- Rajesh, K., Raju, M.K., Rajesh, S., & Varma, S.K. (2019). Effect of process parameters on machinability characteristics of CO₂ laser process used for cutting SS - 304 stainless steels. *Materials Today: Proceedings*, 18, 2065-2072.
- Sachin, S.B., & Anup, B. (2015). A review on laser engraving process. *International. Journal for Scientific Research and Development*, 3(1), 2321-0613.
- Suri, I.F., Purusatama, B.D., Kim, J.H., Yang, G.U., Prasetya, D., Kwon, G.J., Hidayat, W., Lee, S. H., Febrianto, F., & Kim, N.H. (2022). Comparison of physical and mechanical properties of *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood heat-treated in oil and air. *European Journal of Wood and Wood Products*, 80, 1389–1399.
- Varsi, A., & Gupta, A. (2022). Influence of resolution on surface roughness during CO₂ laser beam machining. *International Journal of Mechanical Engineering*, 7(1), 4797-4805.
- Xiong, J., Ma, L., Vaziri, A., Yang, J., & Wu, L. (2012). Mechanical behavior of carbon fiber composite lattice core sandwich panels fabricated by laser cutting. *Acta Mater*, 60, 5322-5334.



Yakimovich, B., Chernykh, M., Stepanova, A. L., & Siklienka, M. (2016). Influence of selected laser parameters on quality of images engraved on the wood. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 58(2), 45-50.

Yung, K. C., Choy, H. S., Xiao, T., & Cai, Z. (2021). UV laser cutting of beech plywood. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112, 925–947.