

## PENGARUH DAYA LASER CO<sub>2</sub> TERHADAP PERUBAHAN WARNA PERMUKAAN KAYU MERANTI (*Shorea sp.*) DAN PREFERENSI KONSUMEN

*The Effect of CO<sub>2</sub> Laser Power on the Change of Meranti (*Shorea sp.*) Wood Surface Color and Consumer Preferences*

**Alim Fadila Rahman, Rasyidah Amany, Intan Fajar Suri, Indra Gumay Febryano, Duryat, Wahyu Hidayat\***

Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35141

**ABSTRACT.** *This study aims to determine the effect of CO<sub>2</sub> laser power on colour changes on the surface of meranti wood and determine the laser results that consumers prefer. Engraving the surface of meranti wood uses 2.5 Watt, 5 Watt, and 7.5 Watt laser power. Colour changes were analyzed using the CIE-Lab system, and consumer preferences were conducted by interviewing respondents. The results showed that brightness (L\*), red/green chromatization (a\*) and yellow/blue chromatization (b\*) tended to decrease with increasing laser power. The value of colour change ( $\Delta E^*$ ) obtained was > 12, showing the colour was completely changed after laser engraving. The results also showed that most consumer consumers preferred meranti wood engraved using laser power of 7.5 Watt. Based on the study's results, it was concluded that the overall colour change ( $\Delta E^*$ ) increased with increasing laser power. Consumer preference test results show that consumers prefer darker colours. As a result, laser CO<sub>2</sub> engraving could improve the colour properties of meranti wood for value-added products.*

**Keywords:** *CO<sub>2</sub> laser, color change, consumer preferences, meranti wood*

**ABSTRAK.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh daya laser CO<sub>2</sub> terhadap perubahan warna pada permukaan kayu meranti dan mengetahui hasil laser yang paling disukai oleh konsumen. Pengukiran pada permukaan kayu meranti menggunakan daya laser 2,5 Watt, 5 Watt dan 7,5 Watt. Perubahan warna dianalisis menggunakan system CIE-Lab dan preferensi konsumen dilakukan dengan mewawancarai responden. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecerahan (L\*), kromatisasi merah/hijau (a\*) dan kromatisasi kuning/biru (b\*) cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya daya laser. Nilai perubahan warna ( $\Delta E^*$ ) didapatkan nilai > 12 yang berarti warna berubah total. Preferensi konsumen diketahui bahwa hasil laser 7,5 Watt lebih disukai oleh konsumen. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa perubahan warna keseluruhan ( $\Delta E^*$ ) meningkat dengan meningkatnya daya laser. Hasil uji preferensi konsumen menunjukkan bahwa warna yang lebih gelap lebih disukai konsumen. Dengan demikian, laser CO<sub>2</sub> dapat meningkatkan warna kayu meranti dan nilai tambah produk.

**Kata kunci:** *Kayu meranti, laser CO<sub>2</sub>, perubahan warna, preferensi konsumen*

\*Penulis Korespondensi. Email: [wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id](mailto:wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id)

### PENDAHULUAN

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) adalah proses termal non-tradisional berdasarkan konversi energi listrik menjadi energi cahaya dan kemudian energi panas yang paling banyak digunakan dan dapat diterapkan untuk hampir semua jenis material (Rajesh dkk., 2019). Laser banyak digunakan dalam industri misalnya seperti pemotongan dan pengukiran (Varsi dan Gupta, 2022). Laser menghasilkan pancaran energi yang dapat dikontrol dengan baik, yang jika bersentuhan dengan bahan, menghasilkan panas yang cukup besar. Energi sinar laser difokuskan pada diameter titik kecil untuk mencapai kepadatan daya yang diperlukan. Bagian dari energi cahaya yang terkandung dalam radiasi laser diserap oleh benda kerja dan diubah menjadi energi panas (Gurau dkk., 2017).

Beberapa tahun terakhir teknologi laser telah menjadi yang terdepan dalam pemrosesan material. Dalam waktu dekat mungkin akan dipertimbangkan untuk menggantikan teknik tradisional seperti menggergaji (Gaff dkk., 2020). Penggunaan mesin laser CO<sub>2</sub> untuk pemotongan (*cutting*) dan pengukiran (*engraving*) telah meningkat pesat, termasuk pada industri kayu (Acik dan Tutus, 2020). Laser sering digunakan untuk pengukiran (*engraving*) dan pemotongan (*cutting*) berbagai bahan, seperti logam, plastik, karet, kayu, keramik, dan komposit (Choudhury, 2010; Eltawahni dkk., 2011; Xiong dkk., 2012). Pengukiran laser adalah penghilangan bahan dari permukaan atas hingga kedalaman tertentu, sehingga menjadi teknik paling efektif dalam pengerjaan bahan memiliki geometri yang kompleks (Sachin dkk., 2015). Laser selain untuk memotong kayu dan bahan berbasis kayu, telah digunakan untuk dekorasi kayu, metode yang populer untuk memproduksi barang-barang artistik dari kayu (Yakimovich dkk., 2016). Pengukiran laser adalah praktik menggunakan laser untuk mengukir atau menandai suatu objek. Pengukiran laser terdiri dari penghilangan material dari permukaan atas ke kedalaman tertentu (Gurau dan Petru, 2018). Teknologi laser dalam industri kayu umumnya diterapkan seperti untuk pemotongan dan pengukiran (Amany dkk., 2022; Yung dkk., 2021). Sinar laser mengubah struktur kimia permukaan kayu (Kacik dkk., 2011), anatomi dan morfologi (Aniszewska dkk., 2020), serta kekasaran dan warna (Acik and Tutus, 2020).

Beberapa penelitian terdahulu banyak melaporkan aplikasi pengukiran kayu. Gurau dkk. (2017) melakukan pengukiran menggunakan kayu Beech (*Fagus sylvatica*) dengan luaran daya laser dari 5,6 Watt – 6,8 Watt diuji dalam kombinasi dengan kecepatan pemindaian dari 100 hingga 500 mm/s dan melaporkan bahwa proses laser menghasilkan perbedaan warna total ( $\Delta E^*$ ) meningkat dengan bertambahnya kekuatan laser dan menurun dengan kecepatan pemindaian. Teknologi sinar laser memiliki banyak aplikasi di hampir semua bahan, tetapi telah diteliti secara ekstensif hanya untuk industri logam (Pritam 2016). Namun penelitian yang membahas terkait pengaruh daya laser khususnya pada jenis kayu meranti (*Shorea* sp.) masih belum ada yang melakukannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh daya laser CO<sub>2</sub> terhadap perubahan warna permukaan kayu pada kayu meranti (*Shorea* sp.) untuk optimalisasi kondisi yang paling baik sesuai keinginan dan mengetahui hasil laser yang paling disukai oleh konsumen.

## METODE PENELITIAN

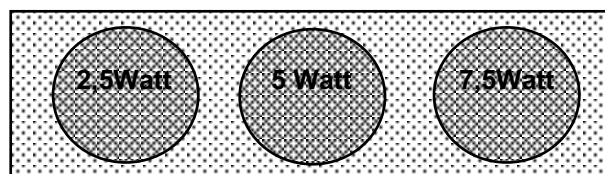
### 1. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung pada bulan Februari – April 2022. Bahan yang digunakan berupa papan kayu meranti dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 20 cm, dan tebal 5 cm. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen skala laboratorium dengan menggunakan 3 daya laser yang berbeda dengan total pengulangan pengukiran sebanyak 3 kali. Daya keluaran laser yang digunakan untuk penelitian ini adalah 2,5 Watt, 5 Watt, dan 7,5 Watt.

### 2. Parameter Pengamatan

#### 2.1. Pengujian Perubahan Warna

Pengujian warna permukaan dilakukan pada papan kayu sebelum dan sesudah laser CO<sub>2</sub> dengan menggunakan alat ukur warna *Colorimeter (AMT507, China)* sistem *CIE-Lab*. Pengujian warna dilakukan pada masing-masing titik atau pola yang sudah ditentukan setiap papan, dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan pada setiap persentasenya. Desain yang digunakan pada uji warna dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain pola pengukiran

Parameter pada uji ini adalah  $L^*$ ,  $a^*$ , dan  $b^*$ , dengan sumbu  $L^*$  menyatakan kecerahan dengan nilai maksimal 100 (putih) dan nilai minimum 0 (hitam), sumbu  $a^*$  menyatakan kromatisasi dengan nilai positif pada arah merah ( $+a^*$ ) dan nilai negatif pada arah hijau ( $-a^*$ ), dan sumbu  $b^*$  menyatakan kromatisasi dengan nilai positif pada arah kuning ( $+b^*$ ) dan nilai negatif pada arah biru ( $-b^*$ ) (Hidayat dkk., 2018). Perubahan warna keseluruhan ( $\Delta E^*$ ) dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

$\Delta L^*$  = Perbedaan antara nilai  $L^*$  sebelum dan sesudah pengukuran

$\Delta a^*$  = Perbedaan antara nilai  $a^*$  sebelum dan sesudah pengukuran

$\Delta b^*$  = Perbedaan antara nilai  $b^*$  sebelum dan sesudah pengukuran

$\Delta E^*$  = Perubahan warna akibat sebelum dan sesudah pengukuran

Klasifikasi derajat perubahan warna dapat dilihat pada Tabel 1 (Valverde dan Moya, 2014).

Tabel 1. Klasifikasi Perubahan Warna

Nilai Klasifikasi	Keterangan
$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$	Perubahan Dapat Dihiraukan
$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$	Perubahan Warna Sedikit
$1,5 < \Delta E^* \leq 3$	Perubahan Warna Nyata
$3 < \Delta E^* \leq 6$	Perubahan Warna Besar
$6 < \Delta E^* \leq 12$	Perubahan Warna Sangat Besar
$\Delta E^* > 12$	Warna Berubah Total

## 2.2. Preferensi Konsumen

Survei preferensi konsumen ini dilakukan dengan menyebar kuisioner pada responden dengan jumlah yang sesuai dengan metode penentuan responden yang digunakan melalui *google form*. Pemilihan responden yang diambil ditujukan kepada mahasiswa Universitas Lampung dengan asumsi rentang umur 18-23 tahun dengan jumlah mahasiswa 22.262 orang, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak (*random sampling*). Responden dipilih berdasarkan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan sebesar 10% dan tingkat kepercayaan 90%. Dengan rumus berikut:

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$$

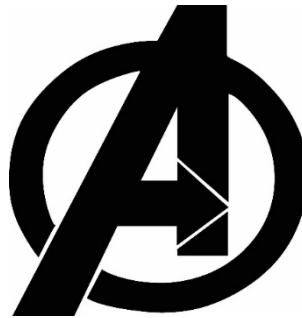
Keterangan:

n = Ukuran sampel/jumlah responden

N = Ukuran populasi

e = Perkiraan tingkat kesalahan

Maka berdasarkan rumus Slovin banyaknya responden yang dipilih sebanyak 100 responden. Pengambilan data dilakukan dengan mewawancarai konsumen terkait produk hasil laser yang mana yang paling disukai oleh konsumen tersebut dengan memperlihatkan ke-3 daya laser yang berbeda-beda dengan pola seperti pada Gambar 2, kemudian dilakukan wawancara mendalam yaitu apa alasan konsumen memilih produk laser tersebut.



Gambar 2. Motif preferensi konsumen terhadap hasil laser  
(Sumber: id.pinterest.com)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

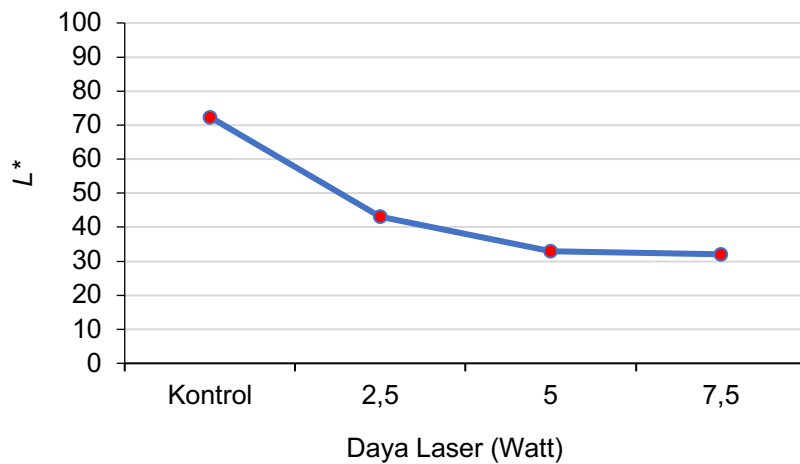
### 1. Perubahan Warna

Penampakan papan kayu meranti setelah pengukiran ditunjukkan pada Gambar 3 dan hasil pengukuran warna, yaitu perubahan kecerahan ( $L^*$ ), kromatisasi merah/hijau ( $a^*$ ), dan kromatisasi kuning/biru ( $b^*$ ) nilai setelah pengukiran pada daya 2,5 Watt, 5 Watt, dan 7,5 Watt ditunjukkan pada Gambar 4 sampai Gambar 6.



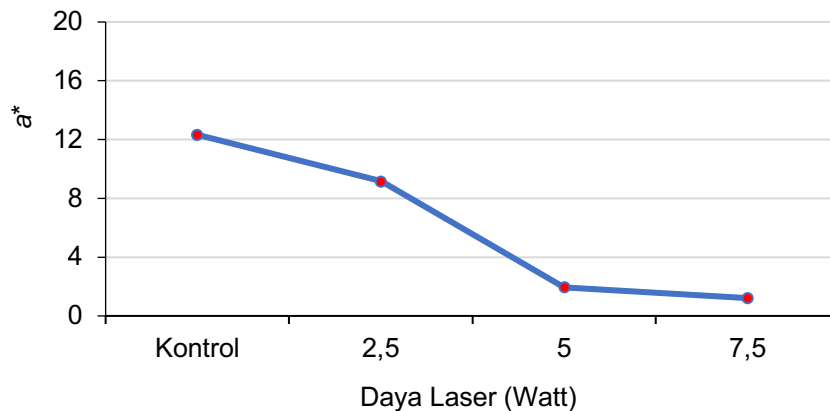
Gambar 3. Tampilan visual sampel setelah pengukiran laser pada berbagai daya laser di kayu meranti

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan meningkatnya daya laser mengakibatkan tingkat kecerahan ( $L^*$ ) cenderung mengalami penurunan (Gambar 4). Sebelum pengukiran, papan kayu meranti berwarna coklat muda dan setelah melalui proses pengukiran dengan sinar laser menjadi lebih gelap bersamaan saat meningkatnya daya laser menjadi berwarna gelap atau hitam dengan daya laser 7,5 Watt. Hidayat dkk. (2017), melaporkan bahwa kayu yang dimodifikasi perlakuan panas mengalami perubahan warna kayu menjadi lebih gelap. Perubahan tingkat kecerahan ( $L^*$ ) dikarenakan perubahan komposisi kimia pada kayu setelah perlakuan panas (Park dkk., 2016; Suri dkk., 2021; Suri dkk., 2022). Petru and Lunguleasa (2014), menjelaskan bahwa daya laser rendah tidak dapat menembus seluruh ketebalan permukaan kayu, sedangkan daya laser yang tinggi membakar dan menggelapkan warna permukaan kayu, karena warnanya dapat berkisar dari coklat muda hingga hitam.

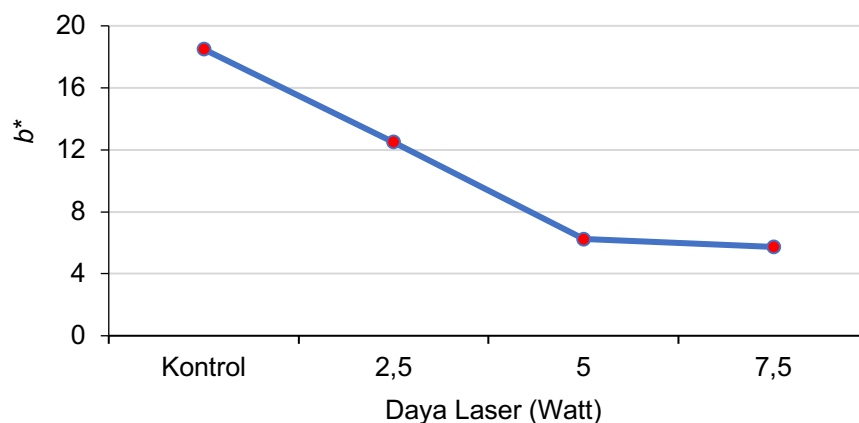


Gambar 4. Pengaruh daya laser CO<sub>2</sub> terhadap perubahan tingkat kecerahan ( $L^*$ ) kayu meranti

Kromatisasi merah/hijau ( $a^*$ ) dan kuning/biru ( $b^*$ ) menunjukkan tren yang sama dengan nilai  $L^*$ , dimana nilai  $a^*$  dan  $b^*$  semakin menurun seiring dengan meningkatnya daya laser tertinggi, dengan nilai bergeser ke arah hijau dan biru. Kúdela *dkk.* (2019), melaporkan bahwa nilai kromatisasi  $a^*$  dan  $b^*$  menurun secara nyata, mendekati nol pada daya laser tertinggi, dan nilai bergeser ke arah hijau dan biru. Sehingga warna permukaan kayu dilaser mengalami perubahan dari coklat tua menjadi hitam. Hasil penelitian menunjukkan kromatisasi hijau ( $a^*$ ) dan biru ( $b^*$ ) sesudah pengukiran kayu meranti terus mengalami penurunan pada daya laser 2,5 Watt –7,5 Watt sebagaimana disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Perubahan nilai kromatisasi merah/hijau ( $a^*$ ) pada kayu meranti



Gambar 6. Perubahan nilai kromatisasi biru kuning/biru ( $b^*$ ) pada kayu meranti

Li dkk. (2020), menyatakan bahwa prinsip pengoperasian sinar laser seperti daya laser, kecepatan gerak dan lebar radiasi berpengaruh signifikan terhadap komponen warna  $L^*$  dan  $\Delta E^*$ . Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa perubahan warna keseluruhan ( $\Delta E^*$ ) ditunjukkan pada Tabel 2 meningkat dengan meningkatnya daya laser.

Tabel 2. Perubahan warna permukaan kayu meranti

Daya Laser (Watt)	Warna			
	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
2,5	29,26 (1,12)	3,17 (1,03)	6,00 (1,28)	30,04 (1,99)
5	39,36 (0,60)	10,38 (0,49)	12,26 (0,44)	42,52 (0,89)
7,5	40,32 (0,71)	11,12 (0,82)	12,76 (0,70)	43,73 (1,29)

Keterangan: Angka dalam kurung merupakan standar deviasi

Hasil pengukuran perubahan warna papan kayu secara keseluruhan pada 2,5 Watt, 5 Watt, dan 7,5 Watt lebih dari 12, sehingga  $\Delta E^*$  dapat dikatakan “berubah total”. Dilihat dari perubahan warna pada kayu meranti menunjukkan perbedaan warna yang signifikan antara 2,5 Watt dengan 5 Watt. Hasil laser 5 Watt hingga 7,5 Watt cenderung mendekati. Perbedaan daya laser berpengaruh terhadap besaran energi yang dikeluarkan. Semakin tingginya daya laser yang digunakan, maka jumlah energi yang dikeluarkan semakin meningkat. Berdasarkan hal tersebut dapat dianggap bahwa daya laser CO<sub>2</sub> yang paling optimal adalah 5 Watt dilihat dari warna yang dihasilkan dan efektivitas penggunaan energi yang digunakan. Salah satu sifat dasar yang berpengaruh terhadap sifat kayu maupun pengolahannya adalah sifat kimia. Sifat yang bisa dipengaruhi antara lain sifat warna, keawetan alami, rekat, pengerjaan, kekuatan kayu dan sifat-sifat lainnya (Fatrawana dkk., 2019; Murda dkk., 2022; Purnawati dkk., 2018). Selain itu, sifat warna menjadi perhatian karena dapat meningkatkan nilai ekonomis produk akhir kayunya (Lukmandaru dkk., 2015; Zulkifli dkk., 2021).

## 2. Preferensi Konsumen

Studi yang mengungkapkan preferensi konsumen dapat memberikan informasi yang berguna untuk pemasaran dan pembuatan produk kayu, dan juga memberikan informasi yang relevan bagi perancang dan pengambil keputusan yang terlibat dalam proses desain (Hidayat dkk., 2017). Salah satu pertimbangan penting bagi beberapa pengambil keputusan di sektor kehutanan adalah informasi mengenai preferensi konsumen terhadap produk kayu (Hoibo dan Nyruud, 2010). Penelitian yang memaparkan preferensi konsumen dapat memberikan sebuah informasi yang bermanfaat dalam pemasaran dan pembuatan produk kayu (Gambar 7). Faktor penting yang mempengaruhi pelanggan dalam memilih produk kayu salah satunya adalah warna (Sandoval-Torres, 2010).

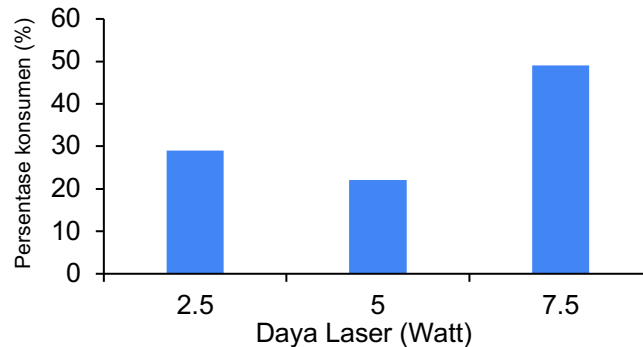


Gambar 7. Tampilan visual hasil pengukiran laser pada preferensi konsumen kayu meranti

Hasil penelitian ini, hasil keseluruhan dari tes preferensi warna mengungkapkan bahwa responden menyatakan preferensi yang lebih kuat untuk warna yang lebih gelap. Hasil penelitian ini menunjukkan dari 100 responden menyatakan preferensi hasil laser warna yang paling disukai konsumen yaitu kayu meranti dengan daya laser 7,5 Watt sebanyak 49 responden. Cao dkk



(2012), melaporkan bahwa warna coklat tua merupakan warna banyak disukai oleh pelanggan di pasar *furniture*, dekorasi dan *flooring*. Menurut penelitian Nguyen dkk. (2020), warna kayu adalah properti material yang penting dan pandangan pertama yang dapat dilihat oleh konsumen. Jadi, ini dapat sangat memengaruhi pengambilan keputusan konsumen. Hidayat dkk., (2017) melaporkan bahwa hasil keseluruhan dari tes preferensi warna mengungkapkan bahwa responden menyatakan preferensi yang lebih kuat untuk warna yang lebih gelap.



Gambar 8. Preferensi konsumen terhadap warna kayu meranti paling disukai

## SIMPULAN

Peningkatan daya laser CO<sub>2</sub> membuat warna permukaan kayu akan semakin gelap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan daya laser CO<sub>2</sub> yang paling optimal adalah 5 Watt. Hal ini dilihat dari warna yang dihasilkan dan efektivitas dari besaran energi yang dikeluarkan pada saat proses ukir. Hasil uji preferensi warna mengungkapkan bahwa konsumen lebih menyukai warna yang lebih gelap dari hasil pengukiran kayu meranti terutama pada daya 7,5 Watt. Sebaiknya dalam pada pengguna laser berikutnya menggunakan daya laser 5 Watt atau 7,5 Watt. Karena pada kedua daya laser ini merupakan yang optimal, dan paling dominan disukai konsumen.

## 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 CO<sub>2</sub>. *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.
- Cao, Y. Jiang, J., Lu, J., Huang, R., Jiang, J., Wu, Y. 2012. Color Change of Chinese Fir Through Steam-Heat Treatment. *BioResources*. 7(3): 2809-2819.
- 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 CO<sub>2</sub> Laser Cutting Parameters of MDF Wood Composite Material. *Optics and Laser Technology*. 43(3): 648-659.
- Fatrawana, A., Maulana, S., Nawawi, D. S., Sari, R. K., Hidayat, W., Park, S. H., Febrianto, F., Lee, S. H., Kim, N. H. 2019. Changes in Chemical Components of Steam-Treated Betung Bamboo Strands and Their Effects on the Physical and Mechanical Properties of Bamboo-Oriented Strand Boards. *European Journal of Wood and Wood Products*. 77: 731–739.

- Gaff, M., Razaeei, 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 CO<sub>2</sub> Laser Beam Power Output and Scanning Speed on Surface Roughness and Colour Changes of Beech (*Fagus sylvatica*). *BioResources*. 12(4): 7395-7412.
- Gurau, L., Irle., M. 2017. Surface Roughness Evaluation Methods for Wood Products: a Review. *Current Forestry Reports*. 3(2): 119–131.
- 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.
- Hidayat, W., Febrianto, F., Purusatama, B. D. and Kim, N. H. 2018. Effects of Heat Treatment on the Color Change and Dimensional Stability of *Gmelina arborea* and *Melia azedarach* Woods. *E3S Web of Conferences*. 03010.
- Hidayat, W., Febrianto, F. 2018. Teknologi Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan: Modifikasi Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat-sifat Kayu. *Pusaka Media*. Bandar Lampung.
- Hoibo, O. Nyrud., A. Q. 2010. Consumer Perception of Wood Surfaces: the Relationship Between Stated Preferences and Visual Homogeneity. *Journal of Wood Science*. 56(4): 276-283.
- Kac̣ík, F., Kubovský, I. 2011. Chemical Changes of Beech Wood Due to CO<sub>2</sub> Laser Irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 222: 105–110.
- Kúdela, J., Kubovský, I. 2016. Accelerated-Ageing-Induced Photo-Degradation of Beech Wood Surface Treated With Selected Coating Materials. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*. 58(2): 27-36.
- Kúdela, J., Kubovský, I. Andrejko, M. 2018. Impact of Different Radiation Forms on Beech Wood Discolouration. *Wood Research*. 63(6); 923-934.
- Li, R., Chen, J., Wang, X. A. 2020. Prediction of the Color Variation of Moso Bamboo During CO<sub>2</sub> Laser Thermal Modification. *BioResources*. 15(3): 5049-5057.
- Lukmandaru, G., Fatimah, S., Fernandes, A. 2015. Sifat Kimia dan Warna Kayu Keruing, Mersawa, dan Kapur. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*. 1(2): 69-80.
- Murda, R. A., Maulana, S., Fatrawana, A., Mangurai, S. U. N. M., Muhamad, S., Hidayat, W., and Bindar, Y. 2022. Changes in Chemical Composition of Betung Bamboo (*Dendrocalamus asper*) after Alkali Immersion Treatment under Various Immersion Times. *Jurnal Sylva Lestari*. 10(3): 358–371.
- Nguyen, T. T. H., Tran, V.C., Li, S., Li, J. 2020. Effects of Rosin-Aluminum Sulfate Treatment on The Leachability, Color Stability, and Decay Resistance of Wood Treated with a Boron Based Preservative. *BioResources*. 15(1): 172-186.
- Park, S. H., Jang, J. H., Qi, Y., Hidayat, W., Hwang, W. J., Febrianto, F., Kim, N. H. 2016. Color Change of Major Wood Species Planted in Indonesia by Ultraviolet Radiation. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 44(1): 9–18.
- Petru, A. Lunguleasa, A. 2014. Wood Processing by Laser Tools. *International Scientific Committee*. 213
- 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.
- Purnawati, R., Febrianto, F., Wistara, I. N. J., Nikmatin, S., Hidayat, W., Lee, S. H., Kim, N. H. 2018. Physical and Chemical Properties of Kapok (*Ceiba pentandra*) and Balsa (*Ochroma pyramidale*) Fibers. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 46(4): 393–401.



- Rajesh, K., Raju, M. K., Rajesh, S., Varma, S. K. 2019. Effect of Process Parameters on Machinability Characteristics of CO<sub>2</sub> Laser Process Used for Cutting SS - 304 Stainless Steels. *Materials Today: Proceedings*. 18: 2065-2072.
- Sachin, Sandip, B., Anup, B. 2015. A Review on Laser Engraving Process. *International Journal for Scientific Research and Development*. 3(1): 2321-0613.
- Sandoval-Torres, S., Jomaa, W., Marc, F., Puiggali, J. R. 2010. Causes of Color Changes in Wood During Drying. *Forest Studies in China*. 12(4): 167-175.
- Suri, I. F., Kim, J. H., Purusatama, B. D., Yang, G. U., Prasetya, D., Lee, S. H., Hidayat, W., Febrianto, F., Park, B. H., Kim, N.H. 2021. Comparison of the Color and Weight Change in *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* Wood Heat-treated in Hot Oil and Hot Air. *Journal BioResources*. 16(3): 5574-5585.
- 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*. 1–11.
- Varsi, A., Gupta, A. 2022. Influence of Resolution on Surface Roughness During CO<sub>2</sub> Laser Beam Machining. *International Journal of Mechanical Engineering*. 7(1).
- 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 Xylogologiae Zvolen*. 58(2): 45-50.
- Yang, G. U., Purusatama, B. D., Kim, J. H., Suri, I. F., Prasetya, D., Hidayat, W., Febrianto, F., Lee, S. H., Kim, N. H. 2022. Physical and Chemical Characteristics of the Bamboo Culm and Wood Carbonized at Low Temperature. *BioResources*. 17(3): 4837–4855.
- Yung, K. C., Choy, H. S., Xiao, T., Cai, Z. 2021. UV Laser Cutting of Beech Plywood. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*. 112:925–947.
- Zulkifli. 2021. Potensi dan Karakteristik Limbah Kayu Untuk Pemanfaatan Peti Buah Di Desa Binanga Karaeng Kecamatan Lembang Kabupaten Pinrang. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Makasar. Makasar.