

**PENGARUH DAYA LASER CO₂ TERHADAP KEKASARAN
PERMUKAAN DAN PERUBAHAN WARNA PERMUKAAN KAYU
SENGON (*Paraserianthes falcataria*) DAN KAYU MERANTI (*Shorea spp*)**

(Skripsi)

Oleh

**ALIM FADILA RAHMAN
NPM 1814151028**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH DAYA LASER CO₂ TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DAN WARNA PERMUKAAN KAYU SENGON (*Paraserianthes falcataria*) DAN KAYU MERANTI (*Shorea spp*)

Oleh

ALIM FADILA RAHMAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai daya laser CO₂ terhadap perubahan kekasaran permukaan dan warna permukaan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan kayu meranti (*Shorea spp*). Pengukiran (*engraving*) dilakukan pada daya laser 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt. Sifat-sifat yang dievaluasi meliputi perubahan kekasaran, perubahan warna, kadar air, kerapatan, mikroskop dan preferensi konsumen. Daya laser mempengaruhi sifat kekasaran kayu sengon dan meranti, menunjukkan nilai Ra sebesar 20,80 μm dan 19,16 μm . Warna pada kayu sengon dan meranti, menunjukkan nilai ΔE lebih dari 12 (warna berubah total). Kadar air dan kerapatan kayu sengon dan meranti yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan hasil pengukuran kadar air kayu sengon 17,99% dan meranti 15,44%. Daya laser meningkatkan lebar hasil laser seringan dengan meningkatnya daya laser dapat dilihat melalui mikroskop. Analisis preferensi konsumen dengan total 100 responden mendapatkan hasil bahwa konsumen lebih menyukai hasil laser pada kayu sengon dan kayu meranti dengan daya laser 7,5 Watt di kedua jenis kayu.

Kata kunci: daya laser, kayu sengon, kayu meranti, laser CO₂

ABSTRACT

THE EFFECT OF CO₂ LASER POWER ON SURFACE ROUGHNESS AND SURFACE COLOR OF SENGON (*Paraserianthes falcataria*) AND MERANTI (*Shorea spp*) WOOD

By

ALIM FADILA RAHMAN

This study aims to determine the effect of various CO₂ laser power on changes in surface roughness and surface colour of sengon wood (*Paraserianthes falcataria*) and meranti wood (*Shorea spp*). Engraving is carried out at 2.5 Watt, 5 Watt, 7.5 Watt, 10 Watt, and 12.5 Watt laser power. The properties evaluated include changes in roughness, colour changes, moisture content, density, microscopy and consumer preferences. Laser light affects the roughness of sengon and meranti wood, showing Ra values of 20.80 m and 19.16 m. The colour of sengon and meranti wood shows the value of ΔE more than 12 (the colour changes completely). The moisture content and density of sengon and meranti wood used in this study were based on the results of measurements of the moisture content of 17.99% sengon wood and 15.44% meranti. The laser power increases the width of the laser output as much as the laser power increases can be seen through the microscope. Consumer preference analysis with 100 respondents found that consumers prefer laser results on sengon wood and meranti wood with 7.5 Watt laser power in both types of wood.

Keywords: CO₂ Laser, meranti wood, power laser, sengon wood

**PENGARUH DAYA LASER CO₂ TERHADAP KEKASARAN
PERMUKAAN DAN WARNA PERMUKAAN KAYU SENGON
(*Paraserianthes falcataria*) DAN KAYU MERANTI (*Shorea spp*)**

Oleh

ALIM FADILA RAHMAN

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN**

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

RIWAYAT HIDUP



Alim Fadila Rahman, atau akrab disapa Alim, lahir di Kota Gajah, 26 April 2000. Penulis merupakan anak ke-1 dari 2 saudara dari pasangan Bapak Karyanto dan Ibu Endang Prihatin. Penulis menempuh pendidikan di TK Al-Zahra tahun 2005-2006, SD Negeri 1 Tanjung Iman tahun 2006-2012, SMP Negeri 1 Abung Selatan tahun 2012-2015, dan SMA Negeri 1 Abung Semuli tahun 2015-2018. Tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyilva) Universitas Lampung tahun 2021 sebagai Anggota Bidang Rumah Tangga. Selama 40 hari, penulis melakukan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Labuhan Ratu VII, Kecamatan Labuhan Ratu, Kabupaten Lampung Timur pada bulan Februari-Maret 2021. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktik Umum (PU) di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS), Resort Balik Bukit, Bukit Barisan Selatan pada bulan Agustus 2021 selama 20 hari. Tahun 2022, penulis mempublikasikan artikel pada *Journal of People, Forest and Environment (JOPFE)*, berjudul “Pengaruh Daya Laser CO₂ terhadap Perubahan Warna Permukaan Kayu Meranti (*Shorea sp.*) dan Preferensi Konsumen”.

*Karya tulis ini kupersembahkan khusus untuk kedua orang tuaku
tersayang, Ayahanda Karyanto dan Ibunda Endang Prihatin*

SANWACANA

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh. Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena memberikan berkat dan rahmat-nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah telah terselesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Daya Laser CO₂ Terhadap Kekasaran Permukaan dan Warna Permukaan Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan Kayu Meranti (*Shorea spp*)” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Universitas Lampung. Adanya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan pembahas, atas semua dukungan, kritik dan saran, serta nasihat yang telah diberikan kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan selaku pembahas yang telah memberikan bimbingan, dan motivasi kepada penulis
3. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc., selaku pembimbing tunggal. Terima kasih atas segala kesediannya untuk memberikan bimbingan, ilmu, gagasan, kritik dan saran, dengan penuh kesabaran selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung hingga proses skripsi ini terselesaikan.

4. Bapak Dr. Duryat S.Hut., M.Si. selaku pembahas, atas semua dukungan, kritik dan saran, serta motivasi yang telah banyak diberikan kepada penulis untuk mendukung kesempurnaan dalam skripsi ini.
5. Ibu Rommy Qurniati, S.P.,M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan dan motivasi kepada penulis selama menempuh perkuliahan.
6. Bapak dan Ibu Dosen tenaga kependidikan Jurusan Kehutanan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, dan membantu penulis selama menuntut ilmu dan menyelesaikan proses administrasi di Universitas Lampung.
7. Orang tua Penulis yaitu Bapak Karyanto dan Ibu Endang Prihatin, betapa sangat bangganya aku mempunyai dua orang tua hebat seperti kalian. Terima kasih sebesar-besarnya telah membesarkanku menjadi anak yang baik, kuat, dan tidak mudah menyerah. Semoga Allah memberikan kita semua umur yang panjang dalam kesehatan dan kebahagiaan agar bersama-sama kita dapat menikmati keberhasilanku dimasa depan.
8. Kepada adik penulis, Alya Fadiah Rahmah yang selalu memberikan semangat, motivasi, dan dukungan kepada penulis dalam penyelesaian perkuliahan dan skripsi.
9. Kepada teman sekaligus satu perjuangan konsentrasi Teknologi Hasil Hutan (THH), yaitu Agus Wisessa Gatra Perkasa, Bagus Saputra, Karina Gracia Agatha, Rachel Monica Panggabean, dan Rasyidah Amani yang telah membantu dalam pengambilan data dan memberikan semangat serta motivasi kepada penulis.
10. Kepada sahabat penulis, UKM-G (A. Nizam, Andhika, Bagus, Belinda, Dera, Dewi, Ilma, Rizky, Wulan, Yossy, Yolanda) yang telah kebersamai, memberikan pelajaran, dan motivasi kepada penulis pada masa-masa perkuliahan.
11. Saudara seperjuangan angkatan 2018 (CORSYL).
12. Keluarga besar Himasyilva Universitas Lampung.
13. Keluarga KKN (A. Nizam Syahiib, Bunga Kartini, Dania Safitri, Dera Anggraini, Novita Nur H, dan Satria Icha P) Desa Labuhan Ratu VII, Lampung Timur tahun 2021.

14. Serta kepada segala pihak yang terlibat dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi secara baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu-persatu. Semoga Allah SWT dapat membalas seluruh kebaikan dan ketulusan yang telah diberikan oleh para pihak kepada penulis, dan harapannya skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca

Bandar Lampung, Juli 2022

Alim Fadila Rahman

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Kerangka Pemikiran	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Gambaran Umum Kayu Sengon dan Meranti	6
2.2. Potensi Pasokan Kayu Sengon dan Meranti di Indonesia	7
2.3. Potensi Limbah Kayu	7
2.4. Laser	9
2.5. Jenis-jenis laser	10
2.5.1. <i>Laser Beam Machining</i> (LBM)	10
2.5.2. Laser He-Ne	11
2.5.3. YAG Laser	12
2.5.4. Laser <i>Diode-Pumped Solid State</i> (DPSS)	12
2.5.5. Laser CO ₂	13
2.6. Pengukuran Kekasaran	14
2.7. Pengukuran Warna	15
2.8. Preferensi Konsumen	15
III. METODE PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	17
3.3. Rancangan Penelitian	17
3.4. Prosedur Penelitian	18
3.4.1. Persiapan dan Setting Mesin Laser	18
3.4.2. Persiapan Kayu Sengon dan Kayu Meranti	19
3.4.3. Desain Pola Pengukiran	19
3.4.4. Tata Letak Papan Kayu Sengon dan Meranti	20
3.4.5. Parameter Proses Pengukiran	21

	Halaman
3.4.6. Analisis Hasil Pengukiran (<i>Engraving</i>)	23
3.4.7. Preferensi Konsumen	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Kadar Air	31
4.2. Kerapatan	32
4.3. Tingkat Kekasaran	32
4.4. Perubahan Warna	34
4.5. Analisis Mikroskopis	38
4.6. Preferensi Konsumen	40
V. SIMPULAN DAN SARAN	44
5.1. Simpulan	44
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi perubahan warna	24
2. Hubungan kerapatan dengan kelas kuat kayu	27
3. Kadar air papan kayu	31
4. Berat jenis kayu.....	32
5. Perubahan warna permukaan kayu.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	5
2. <i>Laser Beam Machining</i> (LBM)	11
3. Laser He-Ne	12
4. <i>Diode-Pumped Solid State</i> (DPSS)	13
5. Mesin Laser CO ₂	14
6. <i>Software</i> mesin laser CO ₂	19
7. Desain pola pengukiran	20
8. Alat ukur kalibrasi jarak ketinggian	21
9. Proses pengukuran jarak ketinggian	21
10. <i>Mainboard</i> daya laser	22
11. Proses Pengukiran	23
12. Alat ukur warna <i>Colorimeter Amtast</i> AMT507	25
13. Alat ukur kekasaran Mitutoyo SJ-201	26
14. Alat mikroskop stereo Leica EZ4	28
15. Desain pola laser pengujian mikroskop	29
16. Motif preferensi konsumen terhadap hasil laser	30
17. Pengaruh daya laser (Watt) terhadap perubahan Ra pada kayu sengon dan kayu meranti	33
18. Tampilan visual sampel setelah laser <i>engraving</i> pada berbagai daya laser: (a) kayu sengon, dan (b) kayu meranti	34
19. Pengaruh daya laser CO ₂ terhadap perubahan kecerahan (L^*) kayu sengon dan kayu meranti	35
20. Perubahan nilai kromatisasi merah/hijau (a^*) pada kayu sengon dan kayu meranti	36
21. Perubahan nilai <i>kuning/biru</i> (b^*) pada kayu sengon dan kayu meranti	36

22. Pengaruh daya laser (Watt) terhadap lebar pengukiran pada kayu sengon dan kayu meranti	39
23. Tampilan visual lebar pengukiran setelah laser <i>engraving</i> pada berbagai daya laser pada kayu meranti: (a) 2,5 Watt, (b) 5 Watt, (c) 7,5 Watt, (d) 10 Watt, dan (e) 12,5 Watt.....	39
24. Tampilan visual lebar pengukiran setelah laser <i>engraving</i> pada berbagai daya laser pada kayu meranti: (a) 2,5 Watt, (b) 5 Watt, (c) 7,5 Watt, (d) 10 Watt, dan (e) 12,5 Watt.	40
25. Tampilan visual hasil laser <i>engraving</i> pada preferensi konsumen; (a) kayu sengon, dan (b) kayu meranti	41
26. Preferensi konsumen terhadap warna kayu sengon dan kayu meranti.....	41
27. Preferensi konsumen menurut jenis kelamin terhadap warna; (a) kayu sengon, dan (b) kayu meranti	42
28. Preferensi konsumen berdasarkan usia terhadap warna kayu sengon dan kayu meranti	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi penelitian	55

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara terpenting penghasil kayu bulat dan produk berbasis kayu, dan hasil kayu lainnya. Luas kawasan hutan di Indonesia yaitu 125.797.052 ha, dengan luas lahan berhutan seluruh daratan Indonesia sebesar 95,6 juta ha atau 50,9% dari total daratan (KLHK, 2021). Produksi kayu bulat baik dari Hutan Alam (HA) maupun Hutan Tanaman (HT) pada Tahun 2020 yaitu 53,12 juta m³ (KLHK, 2022). Industri mengolah kayu bulat untuk menghasilkan produk lanjutan seperti kayu lapis, *block board*, kayu gergaji, *chips*, *wood working*, dan lainnya (Erwinsyah *et al.*, 2017).

Kayu adalah salah satu material pengukiran Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). Permesinan sinar laser merupakan proses termal non-tradisional berdasarkan konversi energi listrik menjadi energi cahaya dan kemudian energi panas yang paling banyak digunakan yang dapat diterapkan untuk hampir semua jenis material (Rajesh *et al.*, 2019). Meningkatnya kebutuhan mesin produksi yang efisien dan produktif terus bertambah. Seiring dengan meningkatnya permintaan barang berkualitas tinggi oleh konsumen. Saat ini persaingan pasar sangatlah ketat, hal ini menyebabkan setiap produsen harus terus berinovasi agar tidak ditinggalkan. Inovasi yang dapat dilakukan dengan melakukan pembaruan mesin produksi menerapkan teknologi terbaru. Teknologi pengolahan material menggunakan sinar laser menghasilkan celah pemotongan yang sangat sempit. Akibatnya, teknologi tersebut telah menemukan berbagai penggunaan dalam pemotongan material. Selain itu, ada potensi baru yang muncul mengenai perawatan permukaan bahan logam dan non-logam dengan pengukiran (Kubovsky *et al.*, 2020; Patel *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2019; Yung., 2021).

Pengukiran laser adalah penghilangan bahan dari permukaan atas hingga kedalaman tertentu, sehingga menjadi teknik paling efektif dalam pengerjaan bahan yang memiliki geometri kompleks (Sachin *et al.*, 2015). Perubahan dalam struktur kimia kayu yang diradiasi dengan daya laser menyebabkan kayu menjadi gelap. Perubahan kimia permukaan kayu juga tercermin pada perubahan morfologi permukaan kayu (Kudela *et al.*, 2019). Tidak seperti metode pewarnaan konvensional, kita dapat mengubah warna (dalam berbagai warna kayu yang khas) hanya dengan menyalurkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik (Kačik dan Kubovsk, 2011).

Kekasaran permukaan dapat diartikan sebagai suatu ketidakteraturan konfigurasi serta penyimpangan karakteristik pada permukaan berupa goresan yang dapat dilihat pada profil permukaan atau ketidakteraturan tekstur dalam suatu penampang yang terjadi karena adanya perlakuan selama produksi (Arsana *et al.*, 2019; Sugiantoro *et al.*, 2014). Kekasaran permukaan sangat mempengaruhi kualitas pada suatu produk yang dihasilkan. Kekasaran permukaan dapat ditunjukkan pada jarak antara lembah terendah dan puncak tertinggi sebagai ukuran suatu kekasaran permukaan, dapat juga ditunjukkan dari profil ke garis tengah sebagai jarak rata-rata (Arsana *et al.*, 2019).

Warna adalah ciri khas permukaan kayu, karena warna permukaan kayu itu penting untuk identifikasi jenis kayu, dan juga berfungsi sebagai tolak ukur penilaian kualitas kayu. Pengaruh berbagai jenis radiasi, permukaan kayu dapat mengalami degradasi, dan perubahan warna (Kúdela and Andor, 2018; Kúdela and Kubovský, 2016; Persze and Tolvaj, 2012). Warna kayu dipengaruhi oleh kromofor dalam lignin dan sampai batas tertentu oleh zat ekstraktif. Proses modifikasi warna kayu tidak hanya bergantung pada sumber radiasi, tetapi juga pada spesies kayu karena struktur kimia kayu adalah spesifik pada setiap spesies (Kudela *et al.*, 2018). Secara visual yang paling terlihat setelah perlakuan panas adalah perubahan dari penurunan *lightness* (L^*) atau penggelapan pada warna kayu. Menurunnya tingkat nilai kecerahan merupakan akibat dari degradasi hemiselulosa sepanjang modifikasi panas. Perubahan kecerahan (ΔL^*) merupakan parameter terpenting yang menyebabkan terjadinya perubahan warna (Hidayat dan Febrianto, 2018).

Petutschnigg *et al.* (2013) mengamati tren *global* dalam penggunaan laser untuk jenis kayu yang cepat tumbuh. Jenis ini dianggap bermutu rendah oleh peneliti lain dari sudut pandang sifat fisik dan mekanik, serta estetika kualitas. Untuk meningkatkan nilai estetika dari parameter yang diselidiki menurut Petutschnigg *et al.* (2013) adalah daya laser dan jumlah titik laser di permukaan sangat mempengaruhi hasil *engraving* pada kayu. Penelitian terkait kekasaran dan warna terhadap permukaan kayu sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, diantaranya dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Gurau *et al.*, 2017; Gurau dan Petru, 2018; Ummu *et al.*, 2019; Kúdela *et al.*, 2020). Gurau *et al.* (2017) meneliti pengaruh variasi *output* daya laser dan kecepatan pemindaian CO₂ sinar laser terhadap kekasaran permukaan dan warna kayu Beech (*Fagus sylvatica*) dan Gurau dan Petru (2018) meneliti efek dari variasi keluaran daya laser (5-8 Watt) dan kecepatan pemindaian sinar laser CO₂ (100-500 mm/s) terhadap kualitas permukaan Maple Norwegia (*Acer platanoides*). Namun, penelitian mengenai laser CO₂ terhadap kekasaran dan warna permukaan pada kayu sengon dan meranti masih belum ada yang pernah melakukannya. Oleh sebab itu penelitian ini penting dilakukan untuk mengembangkan informasi mengenai kedua pengaruh parameter tersebut pada kualitas permukaan kayu, sehingga mendapatkan kekasaran permukaan dan warna permukaan kayu yang optimal.

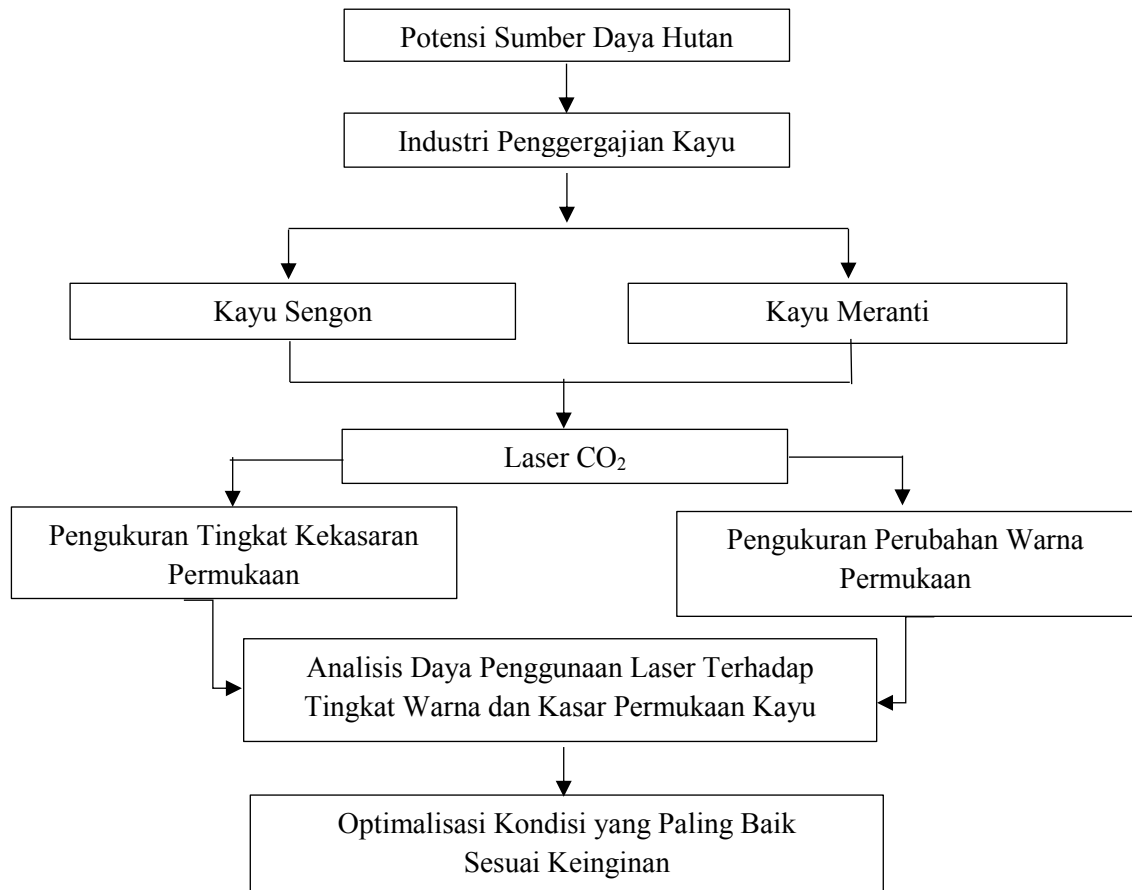
1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh daya laser CO₂ terhadap kekasaran permukaan kayu sengon dan meranti.
2. Mengetahui pengaruh daya laser CO₂ terhadap warna permukaan kayu sengon dan meranti.
3. Menganalisis preferensi konsumen terhadap produk laser CO₂ yang paling disukai.

1.3. Kerangka Pemikiran

Kebutuhan akan kayu bulat semakin meningkat setiap tahunnya. Permintaan produk berbasis kayu yang terus bertambah harus diimbangi dengan inovasi dari produk berbasis kayu itu sendiri. Potensi pasokan kayu cepat tumbuh di hutan tanaman dan hutan rakyat yang meningkat, menyebabkan perlu adanya pembaharu dari produk berbasis kayu untuk meningkatkan nilai dari produk berbasis kayu tersebut. Kayu sengon dan meranti merupakan kayu yang tergolong ke dalam kayu cepat tumbuh, pemanfaatan kayu ini tergolong banyak namun hanya terhadap kayu dengan kualitas yang sangat baik saja yang dapat di jadikan untuk interior ataupun furnitur, di balik itu kayu ini memiliki kemampuan daya tahan yang mudah rusak atau kurang baik, sehingga perlu diberikan perlakuan atau pengawetan terlebih dahulu. Laser CO₂ dapat menjadi sebuah inovasi dalam produk berbasis kayu khususnya pada kayu sengon dan meranti. Perlakuan atau daya dari laser CO₂ ini dapat memberikan pengaruh kasar permukaan dan warna permukaan pada kayu, sehingga produk kayu tersebut akan mempunyai nilai estetika tersendiri. Kemudian dengan mengetahui pengaruh daya laser ini kita dapat menentukan atau memprediksi hasil laser CO₂ yang optimal untuk terciptanya produk dengan estetika yang diinginkan. Berdasarkan uraian tersebut dapat dilihat kerangka penelitian yang telah disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gambaran Umum Kayu Sengon dan Meranti

Kayu sengon dan kayu meranti merupakan salah satu jenis kayu komersil yang memiliki banyak peminatnya pada kedua jenis kayu ini (Utama *et al.*, 2019). Kayu sengon tergolong, kelas kuat IV-V, kelas awet IV-V dan berat jenis antara 0,24-0,49 g/cm³ dengan kadar air 15%. Kayu meranti merah tergolong, kelas kuat II-IV, kelas awet III-IV dan berat jenis antara 0,3 – 0,86 g/cm³ dengan kandungan air 15% (Wibowo *et al.*, 2020). Kayu sengon berserat lurus dan sedikit kasar tetapi mudah untuk dikerjakan dengan warna kuning mengkilap pada kayu terasnya (Ridjayanti *et al.*, 2021). Sedangkan kayu meranti merah termasuk ke dalam kayu keras dengan bobot ringan hingga sedang (Wijaya *et al.*, 2022). Kayu terasnya memiliki ciri warna merah muda pucat, hingga merah tua ataupun hingga merah tua kecokelatan (Dayadi, 2021; Morenaa *et al.*, 2021; Puluhulawa *et al.*, 2018).

Klasifikasi tanaman sengon menurut Dwiyantri, (2009) adalah:

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Fabale
Famili	: Leguminoceae
Genus	: Paraserianthes
Spesies	: <i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen

Menurut Wahyu (2014), klasifikasikan taksonomi pada kayu meranti adalah:

Kerajaan : Plantae
 Divisi : Magnoliophyta
 Kelas : Magnoliopsida
 Ordo : Theales
 Famili : Dipterocarpaceae
 Genus : Shorea
 Spesies : *Shorea* sp.

2.2. Potensi Pasokan Kayu Sengon dan Meranti di Indonesia

Kayu adalah bahan yang digunakan manusia dalam mencukupi keperluan hidupnya, baik dimanfaatkan menjadi bahan bangunan, peralatan rumah tangga maupun alat bantu lain sebagainya. Kebutuhan kayu di dunia akan menjadi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya penduduk, baik dalam kayu berbentuk gelondongan ataupun hasil dari pengerjaan lebih lanjut, maka dari itu dibutuhkan jumlah kayu yang cukup banyak agar mencukupi kebutuhan manusia (Widiati *et al.*, 2018). Hasil pengumpulan dari data Kehutanan Triwulanan tahun 2019, bahwa jumlah produksi kayu bulat di Indonesia mencapai 57,93 juta m³, sebesar 36,17 juta m³ (62,43%) berasal dari Pulau Sumatera, sebesar 10,65 juta m³ (18,38%) berasal dari Pulau Kalimantan, sebesar 8,87 juta m³ (15,32%) berasal dari Pulau Jawa, 1,98 juta m³ (3,41%) berasal dari Pulau Maluku dan Papua, 0,18 juta m³ (0,31%) berasal dari Pulau Sulawesi, dan sisanya sebesar 0,08 juta m³ (0,14%) berasal dari Pulau Bali dan Nusa Tenggara (BPS, 2019). Berdasarkan produksi kayu bulat menurut jenisnya dengan produksi kayu sengon sebanyak 5,47 juta m³ (9,44%) dan kayu meranti sebanyak 3,53 juta m³ (6,09%) di Indonesia pada tahun 2019 (BPS, 2019).

2.3. Potensi Limbah Kayu

Kegiatan pemanenan hasil hutan adalah salah satu tindakan pengelolaan hutan. Namun, kegiatan pemanenan dari hasil hutan juga menyebabkan beberapa

persoalan seperti besarnya limbah kayu pada kegiatan pemanenan ini (Wulandari, 2019). Tidak semua bagian pohon yang sudah ditebang dapat dimanfaatkan seutuhnya, bagian tersebut seperti berbentuk cabang, tunggak dan potongan pendek. Bagian-bagian ini yang tidak dimanfaatkan disebut dengan limbah, tempat yang terdapat limbah seperti petak tebang, tempat pengumpulan (TPn), tempat tujuan akhir (TPK), dan limbah akibat pembuatan jalan sarad (Surasana *et al.*, 2020). Selain limbah yang bermula dari kegiatan pemanenan, terdapat juga limbah yang berasal dari kegiatan di industri hasil hutan kayu. Limbah dari kegiatan industri hasil hutan kayu ini berupa potongan kayu, sampah *vener* basah, serbuk, potongan pinggir, dan sisa kupasan (Hidayat *et al.*, 2022; Wulandari, 2019).

Limbah kayu merupakan bagian kayu sisa potongan dalam berbagai ukuran, dan bentuk dalam proses produksinya, pada bagian ini harus dipilah karena tidak menghasilkan produk (*output*) dengan segi nilai ekonomi yang tinggi, dan pengolahannya menggunakan tahapan teknologi pengolahan tertentu (Muhamad *et al.*, 2019; Wulandari, 2019). Limbah kayu ini banyak terdapat pada lokasi penebangan kayu, pemanenan, ataupun di lokasi pengolahan kayu seperti limbah di lokasi industri penggergajian, di industri kayu lapis, dan di lokasi yang lainnya. Proses penggergajian adalah upaya meningkatkan efektivitas produksi dan meminimalkan rendemen yang dihasilkan. Rendemen penggergajian merupakan perbandingan dari nilai keluaran (*output*) dengan masukan (*input*) dalam suatu unit produksi yang dinyatakan pada satuan persen (Laksono *et al.*, 2016).

Ada beberapa faktor yang menjadi pengaruh rendemen pada log seperti mesin berkapasitas kecil, keadaan log yang tidak silindris, dan tenaga kerja yang kurang terampil atau ahli (Shobir *et al.*, 2018). Limbah kayu salah satunya berasal dari industri pengolahan kayu seperti industri penggergajian yang mampu menghasilkan berkisar lebih dari 50% dari bahan bakunya. Limbah penggergajian adalah potongan kayu dalam ukuran dan bentuk tertentu yang disingkirkan karena keterbatasan teknologi dalam pengolahan kayu. Masyarakat menganggap bahwa limbah itu adalah sampah yang tidak memiliki nilai, dan harus dibuang bahkan dibakar. Namun, apabila limbah terus dibiarkan menumpuk akan terjadi

penumpukan sampah. Tidak selamanya limbah harus dibuang, banyak limbah yang dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai (Wijaya *et al.*, 2021). Bahkan pada beberapa kategori limbah bisa mempunyai nilai jual tinggi dan menjadi sangat berguna juga apabila diolah kembali menjadi suatu produk (Baskara *et al.*, 2022; Wulandari, 2019).

2.4. Laser

Laser atau *Light Amplification by Stimulated of Radiation*, merupakan terbentuknya proses penguatan cahaya dari emisi radiasi yang di stimulasi. Interaksi antara cahaya dengan materi terdapat tiga prinsip yaitu absorpsi, emisi spontan dan emisi terstimulasi (Winingsih, 2015). Laser memiliki karakteristik yang tidak dimiliki oleh sumber cahaya lainnya. Sifat khas dari laser seperti satu arah/kesearahan, daya, monokromatis, dan koherensi (Sulistri dan Masturi, 2013).

Laser merupakan cahaya dengan sifat monokromatis yaitu dengan satu panjang gelombang dan satu warna, bersifat sejajar, tidak menyebar/utuh, dan sangat terarah dan koheren (Suliyanti dan Maria, 2013). Beberapa kemampuan dari mesin laser adalah:

a. Memotong (*cutting*)

Sinar laser di *setting* menembus bahan agar potongan yang diinginkan terlepas, dengan proses pemotongan dilakukan dengan menggunakan kecepatan sedang dan kekuatan besar.

b. Menggores (*marking*)

Sinar laser hanya merusak bagian permukaan bahan, dan meninggalkan bekas/tanda berupa goresan. Penggoresan ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan tinggi dan kekuatan rendah.

c. Gravir (*engraving*)

Sinar laser di *setting* untuk menggores permukaan bahan pada berbagai kedalaman yang berbeda. Gravir dilakukan dengan menggunakan kecepatan rendah dan kekuatan sedang.

d. Melubangi (*perforating/punching*)

Sinar laser di *setting* untuk melubangi bahan dengan bentuk bulatan bulatan kecil. Perforasi dilakukan dengan menggunakan kecepatan tinggi dan

kekuatan sedang (Amaludin, 2017).

Ada banyak sekali bahan yang dapat dipotong dengan menggunakan laser ini, antara lain:

- a. *Acrylic*
- b. MDF
- c. *Tripleks/Multipleks*
- d. Kayu *Veneer Cork*
- e. Karet
- f. Kulit
- g. Karton/kertas
- h. Kain (kain tertentu) (Ismail, 2012).

2.5. Jenis-jenis laser

Laser memiliki karakteristik unik yang membuatnya berbeda dari sinar lainnya. Karena sifat unik dari sinar laser, laser ini sangat istimewa dibandingkan dengan sinar lainnya. Sinar laser dapat dibagi menjadi laser kontinu dan laser pulsa. Setiap laser memiliki karakteristik tersendiri, tergantung jenisnya. Setiap jenis laser memiliki panjang gelombang, keluaran, dan profil sinar yang berbeda, masing-masing dengan kekuatan dan kelemahannya sendiri (Manurung, 2013).

2.5.1. Laser Beam Machining (LBM)

Laser Beam Machining (LBM) merupakan suatu metode pemotongan dimana benda kerja dilebur dan diuapkan oleh sinar laser monokromatik yang kuat. Ketika pancaran mengenai benda kerja, panas menghasilkan lelehan dan benda kerja meleburkan bahan paling keras sekalipun (Gambar 2) (Suliyanti dan Maria, 2013).

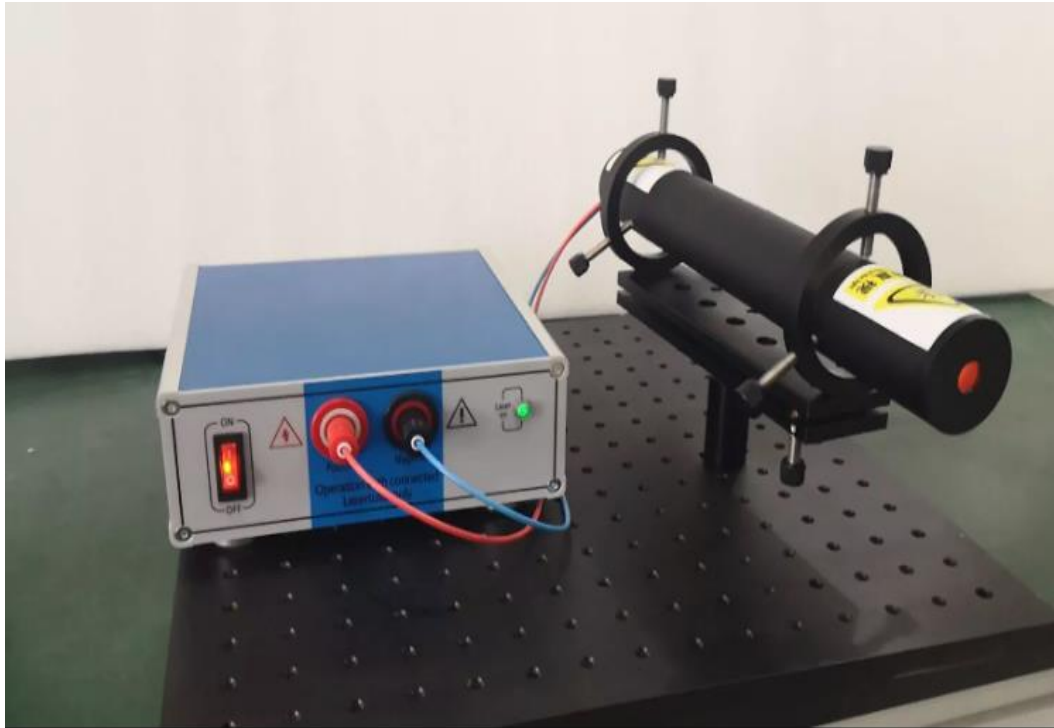


(Sumber: mighty-mechanical.weebly.com)

Gambar 2. *Laser Beam Machining (LBM)*.

2.5.2. Laser He-Ne

Laser *Helium Neon* (He-Ne) merupakan laser gas yang ekonomis dan umum digunakan secara umum. Laser He-Ne dalam penggunaannya dirancang untuk bekerja pada panjang gelombang 632,8 nm dengan cahaya berwarna merah, dengan variasi panjang gelombang 543,5 nm (hijau), 594,1 nm (kuning), 611,9 nm (jingga) dan lain sebagainya. Umumnya laser He-Ne digunakan pada holografi, spektroskopi, metrologi, perawatan medis, *barcode scanning* dan sebagainya (Manurung, 2013). Contoh bentuk laser He-Ne dapat dilihat pada Gambar 3.



(Sumber: indonesian.alibaba.com)

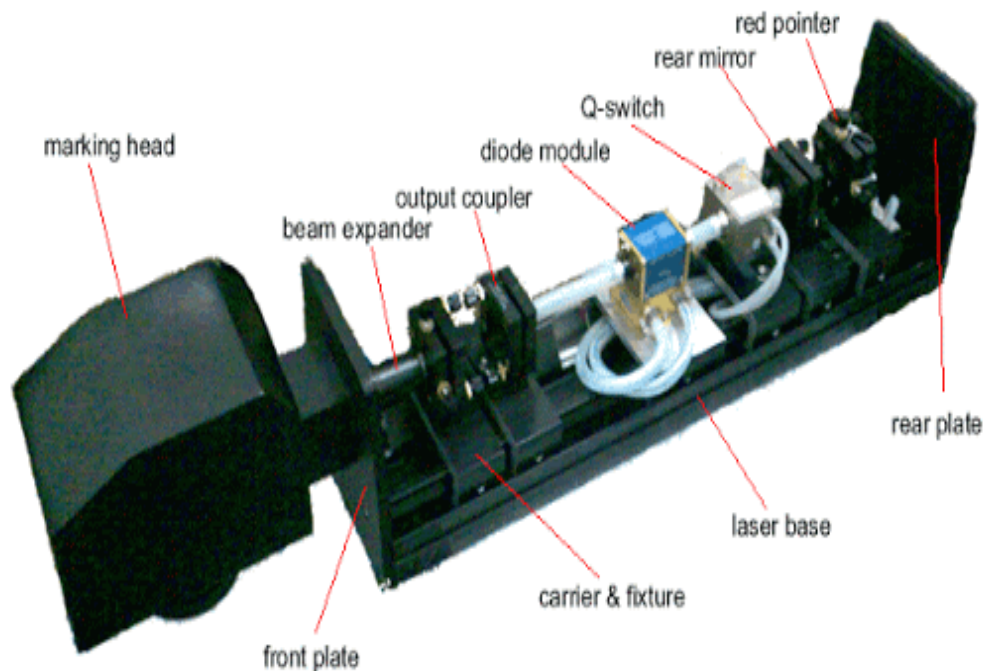
Gambar 3. Laser He-Ne.

2.5.3. YAG Laser

Laser Nd-YAG adalah sistem laser dengan 4 tingkat, yang berarti bahwa 4 tingkat energi terlibat dalam tindakan laser. Laser ND-Yag adalah jenis laser solid-state yang sangat populer dan lebih disukai dan sangat banyak digunakan di berbagai bidang karena kelebihanannya. Laser ini menggunakan kristal Nd-YAG sebagai media laser dan memiliki koherensi yang sangat baik dan spektrum output yang sempit, sehingga dapat diproduksi di berbagai daya bervariasi. (Wulandari, 2018).

2.5.4. Laser *Diode-Pumped Solid State* (DPSS)

Laser DPSS sebuah laser dengan resonator optik yang di dalamnya terdapat penguat elemen yang bentuknya paling dasar (Gambar 4). Untuk mengeluarkan pancaran laser, penguat elemen perlu distimulasi. Stimulasi ini dapat dilakukan melalui pelepasan elektrik (plasma) yang digunakan pada radiasi optik seperti yang diberikan pada cahaya lampu (Manurung, 2013).



(Sumber: sintecoptronics.com)

Gambar 4. *Diode-Pumped Solid State (DPSS)*.

2.5.5. Laser CO₂

Laser memiliki beberapa komponen utama, diantaranya *pumping device* berupa *electrode*, laser resonator/*laser tube*, *mirror*/cermin, dan lensa (Gambar 5). Laser resonator (rongga) merupakan bahan aktif yang di dalamnya terdapat gas CO₂. Dua cermin sejajar yang saling berhadapan ditempatkan pada kedua sisi tabung resonator. *Pumping device/electrode* memiliki fungsi untuk mengekstasi atom-atom gas CO₂. Atom yang tereksitasi tersebut mengemisi foton sehingga mengakibatkan pergerakan foton (gelombang elektromagnetik). Gelombang elektromagnetik merambat dengan arah tegak lurus dari cermin, hal ini mengakibatkan pemantulan oleh kedua cermin dan diperkuat pada setiap lintasan melalui gas CO₂ (Tohir, 2016).

Keunggulan-keunggulan yang dimiliki laser CO₂ seperti ketepatan kombinasi yang tinggi dan juga keluaran daya yang tinggi. Biasanya berkisar antara 5-20% dari daya yang digunakan untuk sinar yang dihasilkan, ini merupakan nilai tertinggi jika dibandingkan dengan jenis laser gas yang lain. Laser CO₂ memancarkan panjang gelombang antara 9-11 μm , tetapi lebih banyak yang menyimpulkan bahwa panjang gelombang laser CO₂ adalah 10,6 μm .

Dengan panjang gelombang tersebut laser CO₂ dapat digunakan untuk material organik, keramik, dll (Ismail, 2012).



Gambar 5. Mesin Laser CO₂.

2.6. Pengukuran Kekasaran

Permukaan benda kerja memiliki nilai kekasaran permukaan yang berbeda tergantung pada kebutuhan alat. Kekasaran permukaan merupakan salah satu penyimpangan yang diakibatkan oleh kondisi pemotongan pada saat proses permesinan (Ady, 2018). Oleh sebab itu, untuk mendapatkan produk bermutu serta tingkat kepresisian tinggi dengan kekasaran permukaan yang baik perlu ditunjang oleh proses permesinan yang tepat (Yanuar *et al.*, 2014).

Selama pengukuran permukaan kayu, energi yang terkonsentrasi pada sinar laser dan disuplai ke tempat yang ditentukan diubah menjadi panas. Suhu tinggi menyebabkan sublimasi lapisan permukaan kayu tipis. Selain jumlah dan konsentrasi energi yang disuplai, ketebalan lapisan sublim juga bergantung pada jenis kayu, karena terdapat keragaman yang cukup besar dalam struktur dan kekerasan, serta kadar air setiap jenis kayu. Jenis laser yang digunakan juga dapat menyebabkan variabilitas (jumlah jalur sinar laser per-satu milimeter melintasi lebar) (Dolan, 2014; Kačik dan Kubovsk, 2011). Selama iradiasi kayu dengan laser CO₂ lebih banyak energi yang dipasok berarti penurunan yang lebih besar

dalam jumlah polisakarida yang terkandung dalam kayu (Kacik dan Kubovsky, 2011). Kekasaran permukaan memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu material, karena suatu komponen nantinya harus memiliki suatu nilai kekasaran spesifik agar dapat sesuai dengan fungsinya (Prasetyo, 2015).

2.7. Pengukuran Warna

Sifat dasar yang mempengaruhi sifat kayu dan pengolahannya adalah sifat kimia. Sifat-sifat yang dapat dipengaruhi antara lain sifat-sifat seperti sifat warna, keawetan alami, daya rekat, pengolahan, kekuatan kayu dan sifat-sifat lainnya. Selain itu, sifat warna penting karena dapat meningkatkan nilai ekonomis pada produk akhir kayu (Lukmandaru *et al.*, 2015; Zulkifli *et al.*, 2021). Secara alami kayu memiliki struktur selulosa yang tersusun atas grup hidroksil *chromophoric aromatic* yang mampu menyerap cahaya, sehingga pada saat terjadi radiasi sinar menyebabkan reaksi kimia delignifikasi dan pelunturan zat warna pada kayu (Krisdianto *et al.*, 2018).

Warna kayu merupakan salah satu ciri kayu yang biasanya dapat diamati tanpa menggunakan alat (Ismanto, 2017; Suri *et al.*, 2021a). Warna merupakan spektrum spesifik yang terkandung dalam cahaya sempurna. Warna akan membantu pengguna produk kayu saat memilih kayu. Warna kayu coklat dan gelap semakin diminati untuk produk *furniture, flooring*, dekorasi (Hidayat *et al.*, 2017a; Suri *et al.*, 2021b).

2.8. Preferensi Konsumen

Preferensi atau dapat disebut sebagai "selera". Tidak dapat dipungkiri bahwa selera setiap orang akan ditentukan oleh berbagai hal seperti hobi, kondisi sosial, ekonomi, hingga lingkungan hidupnya. Preferensi seorang konsumen akan sangat penting bagi suatu perusahaan (Suhairiyah *et al.*, 2021). Preferensi dapat diartikan sebagai perasaan suka, pilihan, atau menyukai sesuatu (Taluke dan Dryon, 2019). Preferensi merupakan cara untuk mengidentifikasi kecenderungan seseorang pada berbagai pilihan yang tersedia (Situmorang dan Harianja, 2018). Arifandi (2018), berpendapat terdapat empat faktor preferensi terhadap barang dan jasa, yaitu:

- a. Faktor kebudayaan
- b. Faktor sosial
- c. Faktor pribadi
- d. Faktor psikologis

Preferensi konsumen muncul ketika mengevaluasi alternatif selama proses pengambilan keputusan pembelian, dalam hal ini konsumen dihadapkan pada berbagai macam produk dan jasa yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda.. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa preferensi dibuat berdasarkan suatu pilihan konsumen dari berbagai pilihan yang ada. Tingkat ini dapat dilihat melalui kapan tahap preferensi tersebut pada konsumen (Hidayat *et al.*, 2017b; Kurniawati dan Sukma, 2015). Tahapan-tahapan itu seperti kesadaran, pengetahuan, menyukai, memilih, keinginan untuk membeli, membeli, dan diakhiri dengan loyal jika terpenuhinya kepuasan pelanggan.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di beberapa lokasi yaitu Pengambilan data warna permukaan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Menganalisis tingkat kekasaran permukaan papan kayu dilakukan di Laboratorium Material, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung dan pengujian mikroskop dilakukan Laboratorium Ilmu Hama Tumbuhan, Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, pada bulan Desember 2021 – Mei 2022. Penentuan lokasi penelitian dilakukan secara sengaja (*purposive*) melalui pertimbangan bahwa lokasi tersebut menyediakan alat yang dibutuhkan untuk penelitian ini.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin laser CO₂ CNC LS-6040 50 Watt, alat ukur warna *Colorimeter* Amtast AMT507, alat ukur kekasaran Mitutoyo SJ-201, mikroskop stereo Leica EZ4, timbangan digital ketelitian 0,0001 g, kaliper digital ketelitian 0,001 mm, *oven* dan *software Corel Laser DRW X7*. Sedangkan bahan yang digunakan ialah papan persegi dari kayu sengon dan meranti dengan ukuran 30 cm (panjang) × 20 cm (lebar) × 5 cm (tebal) masing-masing jenis sebanyak 3 papan.

3.3. Rancangan Penelitian

Metode pada penelitian ini adalah metode eksperimen skala laboratorium. Penelitian menggunakan satu faktor yang diperkirakan mempengaruhi hasil dari daya laser CO₂ terhadap kekasaran permukaan dan warna permukaan kayu sengon

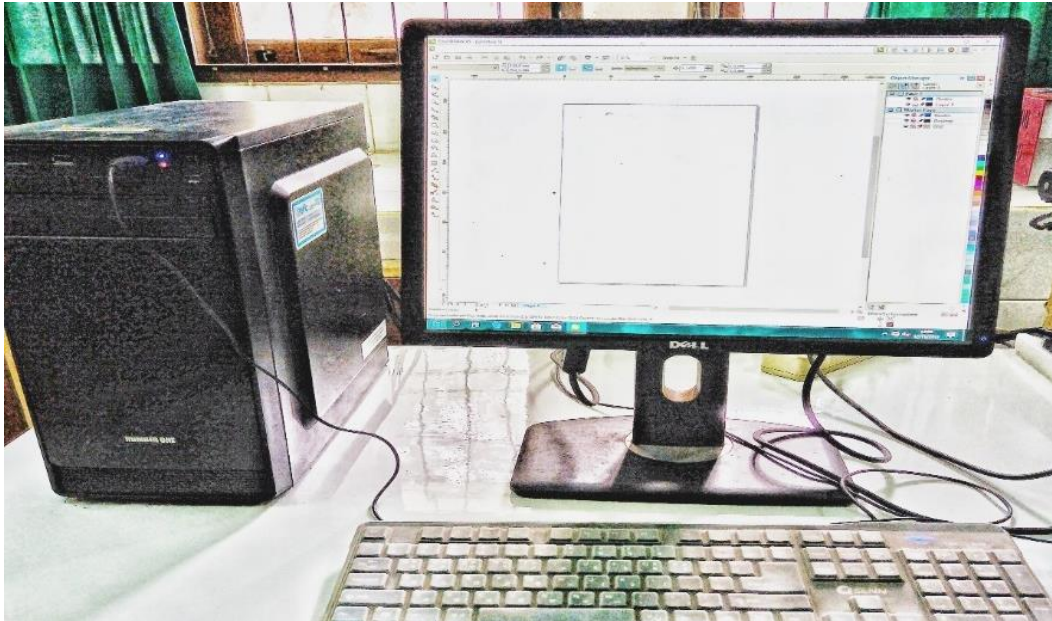
dan meranti. Faktor dalam penelitian ini daya laser yang dikeluarkan. Daya keluaran laser yang digunakan untuk penelitian ini adalah pecahan dari daya keluaran maksimum 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt. Masing-masing daya laser akan mendapat tiga pengulangan pada 2 jenis kayu berbeda yaitu kayu sengon dan meranti, sehingga total keseluruhan terdapat 30 sampel hasil perlakuan.

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Persiapan dan Setting Mesin Laser

Alat Tahapan pertama dilakukan penginstalan *hardware* maupun *software* mesin laser. *Hardware* mesin laser meliputi *smoke pipe*, *smoke fan*, *water pump*, *power wire*, *ground wire*, *parallel port wire* dan *USB key* dipasang pada mesin laser. *Smoke pipe* dan *smoke fan* digunakan sebagai pengatur sirkulasi keluar masuknya udara ke dalam mesin laser. *Water pump* digunakan untuk mengalirkan air keluar masuk ke dalam mesin laser sebagai pendingin mesin laser. *Power wire* digunakan sebagai penghubung mesin laser dengan sumber tegangan. *Ground wire* digunakan sebagai komputer *grounding* pada mesin laser yang menghubungkan mesin laser dengan *ground*. *Parallel port wire* digunakan sebagai penghubung antara mesin laser dengan komputer sebagai pengendali mesin laser melalui *software*.

Penelitian ini digunakan *software* yaitu *Corel Laser DRW X5* (Gambar 6). *Software* ini merupakan *software* yang dapat digunakan untuk pengoperasian mesin laser. Melalui *software* ini akan dibuat pola yang akan dikerjakan serta dipilih proses yang akan dikerjakan. *Software* ini juga sudah dapat digunakan untuk harus yang membuka beberapa ekstensi *file*. Pada saat penggunaan *software* ini diperhatikan adalah pada *Engraving machine properties*, yaitu *Device ID* yang harus diisi sesuai dengan *Device ID* mesin laser yang digunakan. Setelah selesai penginstalan *hardware* dan *software*, dipastikan mesin laser sudah terhubung dengan komputer, maka mesin laser ini siap dioperasikan.



Gambar 6. *Software* mesin laser CO₂.

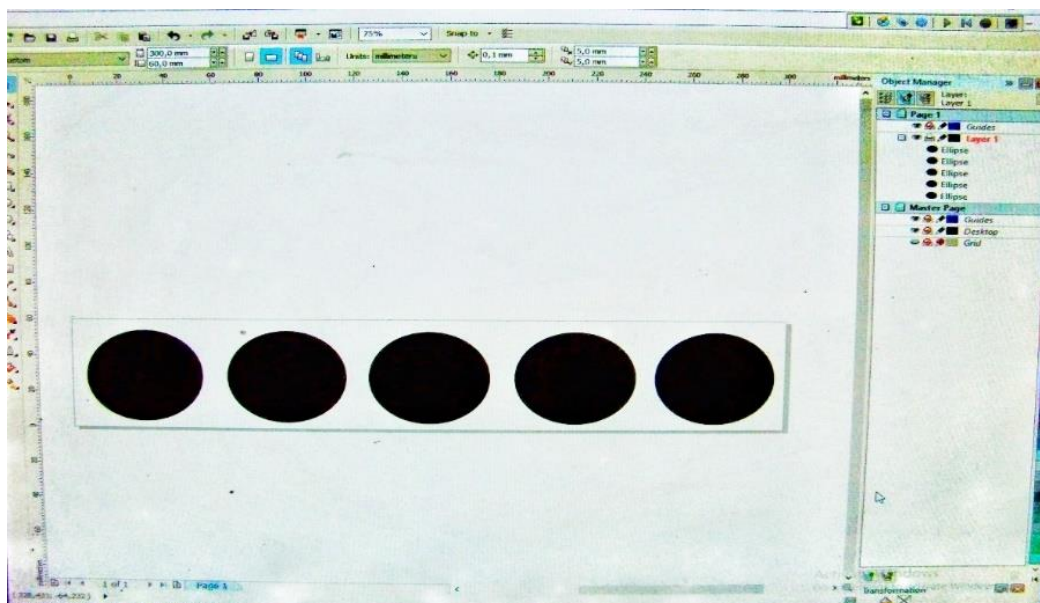
3.4.2. Persiapan Kayu Sengon dan Kayu Meranti

Persiapan papan kayu sengon dan meranti yang akan digunakan masing-masing tiga buah dengan setiap daya laser yang digunakan yaitu 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt untuk pengukiran laser CO₂. Setiap daya laser menggunakan papan kayu dari lembar yang sama di setiap pengulangannya untuk mengetahui perbandingan atau variasi dari setiap papan kayu yang digunakan. Papan kayu sengon dan meranti sebelum dilakukan pengukiran harus melalui tahap pengampelasan dengan ukuran ampelas P320, agar pada permukaan papan mendapatkan hasil yang sama halus atau tingkat kedataran seragam.

3.4.3. Desain Pola Pengukiran

Tahapan sebelum melakukan proses pengukiran adalah pembuatan desain pola pengukiran. Tahap ini akan dilakukan desain *layout* yang akan menjadi lembar kerja pada program *Corel Laser DRW X7* dan juga desain pola yang akan di pengukiran pada papan kayu sengon dan meranti. Langkah pertama setelah membuka program *Corel Laser DRW X7* adalah mendesain *layout* sesuai dengan luas papan kayu sengon dan meranti yang digunakan yaitu 30 cm (panjang) × 20 cm (lebar) × 5 cm (tebal). Setelah *layout* sudah tersedia maka selanjutnya yaitu

membuat pola yang akan diukir pada papan kayu. Untuk pengukuran pada permukaan papan kayu sengon dan meranti, dibuat berbagai macam pola garis dengan daya laser yang bervariasi. Daya laser CO₂ yang digunakan yaitu 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt seperti pada Gambar 7. Pengujian kekasaran dan warna dilakukan pada satu arah yaitu arah horizontal yang akan diukir yaitu persegi panjang dengan ukuran 5 cm × 5 cm dengan posisi lingkaran. Masing-masing pola akan diukir dengan arus dan kecepatan yang sama pada papan kayu sengon dan meranti.



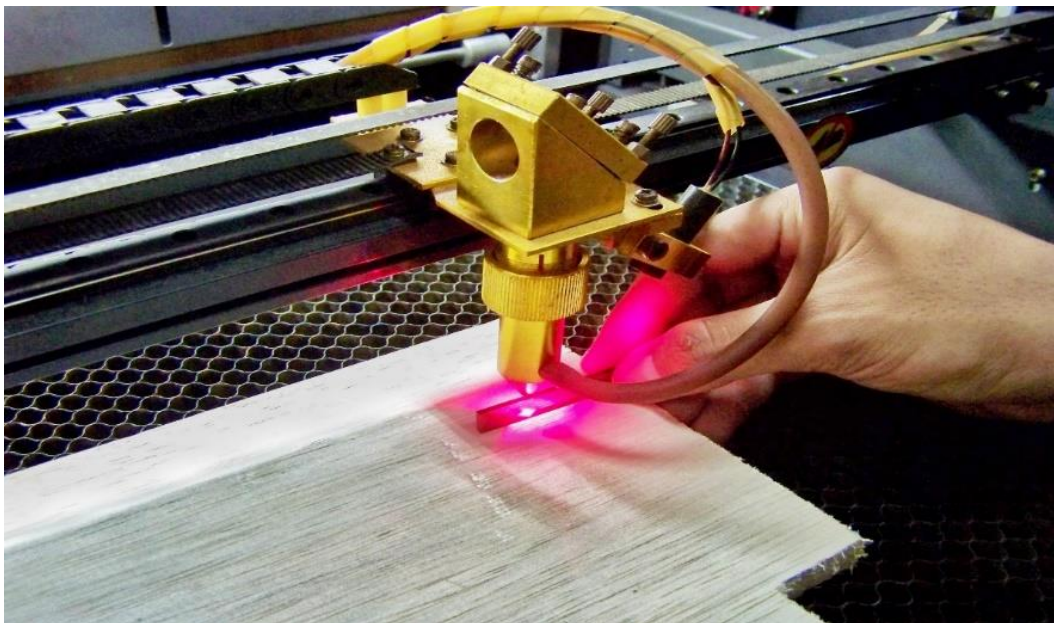
Gambar 7. Desain pola pengukuran.

3.4.4. Tata Letak Papan Kayu Sengon dan Meranti

Papan kayu sengon dan meranti yang sudah siap untuk di laser diletakan pada penampang obyek laser. Jarak antara *head laser* dengan permukaan papan untuk pola pengukuran jaraknya adalah 1 cm (Gambar 8 dan Gambar 9). Jarak antara *head laser* dengan permukaan papan ini sangat berpengaruh terhadap hasil proses pengukiran. Kedataran alas meja kerja juga mempengaruhi hasil laser. Untuk mengatur kedataran meja kerja ini digunakan *waterpass*. Alas meja kerja diatur hingga *waterpass* menunjukkan keadaan seimbang.



Gambar 8. Alat ukur kalibrasi jarak ketinggian.



Gambar 9. Proses pengukuran jarak ketinggian.

3.4.5. Parameter Proses Pengukuran

Penelitian ini dilakukan proses pengukuran terhadap masing-masing bahan papan kayu. Setelah pola sudah didesain pada *software* serta papan kayu sengon dan meranti sudah berada pada yang benar di posisi alas meja kerja yang dibuat, maka dilakukan proses pengukuran. Program *Corel Laser DRW X5* dipilih ikon

engraving kemudian diatur terlebih dahulu urutan yang ingin dikerjakan disetiap daya lasernya. Setelah mengatur urutan daya lasernya kemudian berpindah ke mesin laser pada bagian *mainboard* untuk mengatur daya laser yang akan digunakan seperti pada Gambar 10. Kemudian setelah semua telah siap tinggal mengklik *starting* dan mesin laser secara otomatis akan langsung melakukan pengukiran sesuai dengan pola yang sudah ditentukan (Gambar 11). Proses pengukiran ini dipengaruhi oleh beberapa parameter-parameter. Parameter pada penelitian ini yang dikendalikan yaitu daya dari laser. Pengendalian daya laser pengukiran dilakukan dengan mengubah pengaturan pada *software Corel Laser DRW X7* dan *mainboard* pada mesin laser.



Gambar 10. *Mainboard* daya laser.



Gambar 11. Proses Pengukiran.

3.4.6. Analisis Hasil Pengukiran (*Engraving*)

Analisis pengaruh daya laser CO₂ terhadap kekasaran permukaan dan warna permukaan pada kayu sengon dan kayu meranti dilakukan dengan beberapa metode antara lain pengujian kekasaran permukaan, pengujian perubahan warna, pengujian kadar air, pengujian kerapatan, dan pengujian mikroskopis.

3.4.6.1. Pengujian Perubahan Warna

Pengujian warna terhadap kayu sengon dan meranti dilakukan sebelum dan setelah di pengukiran laser dengan menggunakan alat *Colorimeter* Amtast AMT507 seperti pada Gambar 12. Perubahan warna ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* dapat dihitung dengan persamaan Penilaian perubahan warna menggunakan sistem CIE-Lab untuk mengukur tingkat kecerahan (L^*), kromatisitas merah/hijau (a^*), dan kromatisitas kuning/biru (b^*) dari parameter warna. Perubahan warna ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L^*_1 - L^*_0 \\ \Delta a^* &= a^*_1 - a^*_0 \\ \Delta b^* &= b^*_1 - b^*_0 \\ \Delta E^* &= (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}\end{aligned}$$

Keterangan:

L^* = Tingkat kecerahan (hitam atau putih)

L^*_0 = Kecerahan sampel sebelum pengukuran

L^*_1 = Kecerahan sampel sesudah pengukuran

a^* = Kromatisitas (merah atau hijau)

a^*_0 = Kromatisitas (merah ke hijau) sebelum pengukuran

a^*_1 = Kromatisitas (merah ke hijau) sesudah pengukuran

b^* = Kromatisitas (kuning atau biru)

b^*_0 = Kromatisitas (kuning ke biru) sebelum pengukuran

b^*_1 = Kromatisitas (kuning ke biru) sesudah pengukuran

ΔL^* = Perbedaan antara nilai L^* sebelum dan sesudah pengukuran

Δa^* = Perbedaan antara nilai a^* sebelum dan sesudah pengukuran

Δb^* = Perbedaan antara nilai b^* sebelum dan sesudah pengukuran

ΔE^* = Perubahan warna akibat sebelum dan sesudah pengukuran

Tingkat kecerahan (L^*) dinyatakan nilainya antara 0 (hitam) sampai dengan 100 (putih). Nilai a^* menyatakan warna kromatik campuran merah hijau dengan nilai a (positif) dari 0 sampai dengan 120 untuk warna merah, $-a$ (negatif) dari 0 sampai dengan -120 untuk warna hijau. Nilai b^* menyatakan warna kromatik campuran biru-kuning dengan nilai b (positif) dari 0 sampai dengan 120 untuk warna kuning dan nilai $-b$ (negatif) dari 0 sampai dengan -120 untuk warna biru (Widyasanti *et al.*, 2019). Perubahan warna dapat dinilai dari derajat perubahan warna menurut klasifikasi pada Tabel 1.

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

Sumber: Valverde dan Moya (2014).



Gambar 12. Alat ukur warna *Colorimeter Amtast AMT507*.

3.4.6.2. Pengujian Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness Test*)

Kekasaran permukaan memiliki peranan penting bagi suatu material. Hal ini disebabkan untuk material yang akan dihasilkan sebagai suatu komponen harus memiliki nilai kekasaran tersendiri sehingga dapat sesuai dengan fungsi komponennya (Prasetyo, 2015). Nilai kekasaran rata-rata dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). Ra diartikan menjadi rata-rata aritmatika dan penyimpangan mutlak profil kekasaran dari garis tengah rata-rata. Profil permukaan dikategorikan menjadi dua yaitu permukaan bergelombang (*wavy*) dan kasar (*roughness*), gabungan keduanya mengakibatkan adanya kesalahan bentuk (Hakim *et al.*, 2017).

Mengukur kekasaran permukaan untuk benda kerja dapat menggunakan alat *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-201. Cara pemakaiannya dengan menempelkan sensor pada alat ukur ke titik benda kerja kayu yang akan diukur kekasarannya secara berlawanan dengan arah serat kayu untuk menentukan nilai kekasaran permukaan. Kemudian setelah sensor diletakkan dengan benar tekan tombol start maka nilai kekasaran permukaan akan ditunjukkan di layar alat ukur (Azhar, 2014), nilai kekasaran permukaan seperti yang terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Alat uji kekasaran Mitutoyo SJ-201.

Pengoperasian alat ini menggunakan *transducer* dan diproses melalui mikro *processor*. *Roughness Tester* dapat digunakan pada permukaan di setiap posisi, *horizontal*, maupun *vertikal*. Proses pengukuran kekasaran permukaan yaitu sensor diletakkan pada permukaan dan kemudian sensor bergerak maju dan mundur sepanjang permukaan obyek. Sensor mendapatkan kekasaran permukaan dengan membaca gelombang permukaan. Instrumen *roughness* ini memenuhi empat standar yang ada dunia saat ini yaitu ISO, DIN, ANSI, dan JIS (Prasetyo, 2014).

Proses memperoleh nilai kekasaran permukaan, sensor pada alat bergerak di sepanjang jalur profil benda itu sendiri untuk mengikuti titik-titik pada permukaan profil benda kerja. Setelah pengukuran sensor selesai, nilai kekasaran permukaan dihitung sesuai dengan hasil nilai kekasaran yang terdeteksi di sepanjang jalur yang diukur. Bagian nilai terukur yang dibaca oleh sensor pengukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel. Parameter dari kekasaran permukaan misalnya seperti kekasaran rata-rata aritmatik (R_a) yang merupakan nilai rata-rata aritmatik antara garis terukur dan garis tengah (Prasetyo, 2014).

3.4.6.3. Pengujian Kerapatan

Pengukuran kerapatan dihitung berdasarkan SNI 7973-2013 yang merupakan perbandingan antara massa kayu dalam kondisi kering udara dan kering *oven* dengan volumenya. Pengukuran kerapatan papan kayu dengan membuat sampel yang berukuran 5 cm (panjang) \times 5 cm (lebar) \times 5 cm (tebal), kemudian

dengan mengukur dimensi sampel kayu yang berbentuk persegi untuk mendapatkan volumenya dan menimbang berat sampel kayu dalam kondisi kering udara dan kering *oven*. Penentuan kelas kuat kayu dapat ditentukan melalui besarnya kerapatan dan kisaran kekuatan kayu (Tabel 2) (Uar *et al.*, 2018). Rumus yang digunakan untuk mengukur kerapatan papan kayu yaitu:

$$KR = \frac{m}{v}$$

Keterangan:

KR = Kerapatan (g/cm³)

M = Massa kayu (g)

V = Volume (cm³)

Tabel 2. Hubungan kerapatan dengan kelas kuat kayu

Kelas Kuat	Kerapatan (g/cm ³)
I	≥ 0,90
II	0,60 - 0,90
III	0,40 - 0,60
IV	0,30 - 0,40
V	< 0,30

3.4.6.4. Pengujian Kadar Air

Pengukuran kadar air dengan sampel kayu sengon dan meranti 5 cm × 5 cm × 5 cm dari setiap jenis papan dan pengulangannya. Kadar air diperoleh melalui perbandingan antara air bebas di dalam sampel kayu pada kondisi kesetimbangan, dengan berat sampel kayu yang kandungan airnya telah diuapkan dengan energi panas hingga mencapai titik didih air. Pengukuran kadar air ini dilakukan dengan menimbang sampel kayu sebelum, dan setelah dikeringkan melalui pengovenan dengan suhu 100±3°C selama 24 jam. Sampel yang sudah dioven kemudian didinginkan dan ditimbang lagi beratnya. Kadar air papan kayu utuh berdasarkan SNI 7973-2013 dapat dihitung dengan rumus:

$$KA = \frac{(BA - BK)}{BK} \times 100\%$$

Keterangan:

KA = Kadar Air (%)

BA = Berat Awal (g)

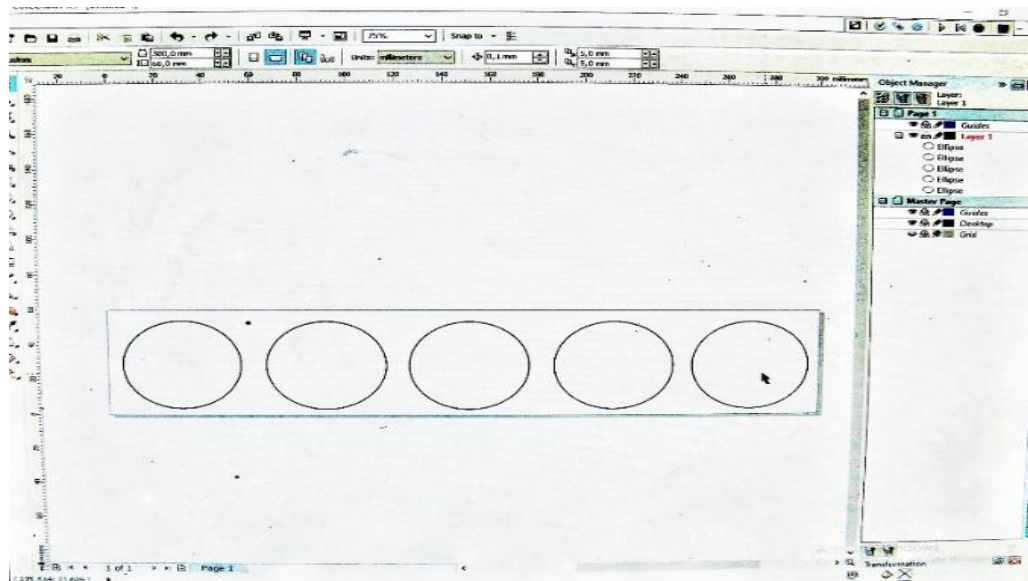
BK = Berat Kering Oven (g)

3.4.6.5. Pengujian Mikroskopis

Pengujian mikroskopis dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo Leica EZ4 (Gambar 14). Selanjutnya gambar yang telah dihasilkan melalui pengamatan mikroskopis tersebut dianalisis untuk mengukur lebar hasil pengukiran dengan daya laser yang berbeda-beda (mm) yang dapat dilihat pada Gambar 15. Pengukuran lebar hasil laser menggunakan perangkat lunak Leica LAS EZ sebagai pengukuran lebar hasil pengukiran, dan pengukuran untuk setiap daya pengukiran dilakukan sebanyak empat kali yaitu pada posisi lingkaran sisi kanan, kiri, atas dan bawah lingkaran.



Gambar 14. Alat mikroskop stereo Leica EZ4.



Gambar 15. Desain pola laser pengujian mikroskop.

3.4.7. Preferensi Konsumen

Proses pengambilan preferensi konsumen ini dilaksanakan dengan membagikan kuesioner ke responden berdasarkan jumlah yang telah ditentukan pada metode penentuan responden yang digunakan melalui *google form*. Penentuan 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;

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

Keterangan:

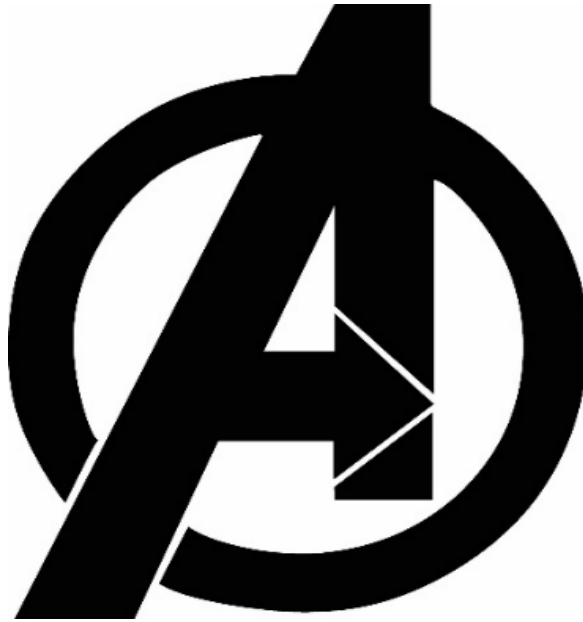
n = Ukuran sampel/jumlah responden

N = Ukuran populasi

e = Perkiraan tingkat kesalahan

Maka berdasarkan rumus *slovin* sampel yang diambil sebanyak 100 responden. Pengambilan data dilakukan dengan mewawancarai konsumen terkait produk hasil laser yang mana yang paling disukai oleh konsumen tersebut dengan memperlihatkan ke-5 daya laser yang berbeda-beda dengan pola seperti pada

Gambar 16, kemudian dilakukan wawancara mendalam yaitu apa alasan konsumen memilih produk laser tersebut.



(Sumber: id.pinterest.com)

Gambar 16. Motif preferensi konsumen terhadap hasil laser.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah.

1. Daya laser CO₂ berkorelasi terhadap tingkat kekasaran permukaan kayu sengon dan kayu meranti semakin tinggi daya laser, maka tingkat kekasaran pada kayu cenderung semakin meningkat.
2. Daya laser CO₂ berkorelasi terhadap warna permukaan kayu sengon dan meranti. Semakin tingginya daya laser, maka warna permukaan kayu akan semakin gelap (hitam). Berdasarkan hasil yang diperoleh, disimpulkan bahwa penggunaan daya laser CO₂ yang paling optimal adalah 5 Watt. Hal ini dilihat dari warna yang dihasilkan dan efektivitas dari besaran energi yang dikeluarkan pada saat proses pengukiran.
3. Preferensi konsumen sesuai dengan jenis kelamin dan usia responden terhadap hasil pengukiran untuk jenis kayu sengon terbanyak pada daya laser 10 Watt. Beberapa alasan konsumen memilih seperti gambar terlihat lebih menyala dan tidak berbayang sehingga enak untuk dilihat, ataupun terlihat terang dan jelas warnanya. Sedangkan, minat konsumen sesuai dengan jenis kelamin dan usia responden terhadap hasil pengukiran untuk jenis kayu meranti terbanyak pada daya laser 10 Watt alasannya karena warna dan tampilan lebih menarik, ada juga yang berpendapat bahwa warna tidak terlalu lihat tebal dan lebih natural.

5.2. Saran

Penggunaan laser CO₂ semakin meningkat, pada pengguna laser berikutnya sebaiknya menggunakan daya laser 5 Watt dan 7,5 Watt. Karena pada daya laser 5 Watt merupakan daya laser yang optimal, dan hasil daya laser 7,5 Watt yang paling dominan disukai konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- Ady, B.P. 2018. *Pengaruh Kadar Air terhadap Tingkat Kekasaran pada Pembuatan Topeng Kayu dengan Mesin CNC Router 3 Axis*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. 16p
- Agalianos, F., Patelis, S., Kyratsis, P., Maravelakis, E., Vasarmidis, E., Antoniadis, A. 2011. Industrial applications of laser engraving: influence of the process parameters on machined surface quality. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 5(11): 2219-2222.
- Amaludin, I. 2017. *Pengaruh Pengendalian Arus dan Kecepatan pada Laser Engraving Machine terhadap Permukaan Bahan Kaca dan Akrilik*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang. 117p
- Andrejko, M., Kudela, J., Misikova, O., Kminiak, R. 2020. Studium morfológie povrchu dubového dreva po opracovaní gravírovacím CO₂ laserom. (oak wood surfacemorphology inspected after engraving with a CO₂ laser). *Chip and Chipless Woodworking Processes*. 12(1): 5-13.
- Arifandi, P.R. 2018. *Pengaruh Persepsi dan Preferensi terhadap Sikap Masyarakat Kota Surabaya pada Pembiayaan Rumah Syariah*. Skripsi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya. Surabaya. 85p
- Arsana, P., Nugraha, P.I.N., Dantes, R.K. 2019. Pengaruh variasi media pendingin terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil pembubutan rata pada baja ST 37. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*. 7(1): 7-17.
- Azhar, M.C. 2014. *Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja dengan Variasi Jenis Material dan Pahat Potong*. Skripsi. Universitas Bengkulu. Bengkulu. 49p.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2019. Statistik Produksi Kehutanan 2019. <https://www.bps.go.id/publication/2020/11/27/969702bd7c227b224b29395/statistik-produksi-kehutanan-2019.html>

- Baskara, M. I. A., Hapsoro, D., Maulana, M. I., Prasetya, D., Hidayat, W., Lubis, M. A. R., Kim, N. H., and Febrianto, F. 2022. Physical and mechanical properties of oriented strand board from three species of plantation forests at various resin contents. *Jurnal Sylva Lestari*. 10(1): 49-62.
- Bowyer, J.L., Shmulky, R., Haygreen, J.G. 2003. *Forest Product Wood Science AN Introduction 4 th Ed*. Buku. Iowa State Press. Iowa. 554p.
- 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.
- Conroy, K., Yan, L., Morrell, J. J. Knowles, C. 2019. Thermally modified douglas-fir color preferences of home show attendees. *BioResources*. 14(4): 8174-8181.
- Dayadi, I. 2021. Ketahanan api kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) yang diawetkan dengan bahan pengawet boraks. *Perennial*. 17(1): 19-25.
- Dolan, J.A. 2014. *Characterization of Laser Modified Surfaces for Wood Adhesion*. Thesis. The Faculty of Virginia Polytechnic Institute. Blacksburg. 100p
- Dwiyanti, F.G. 2009. *Keragaman Sengon Solomon (Paraserianthes falcataria (L) Nielsen) pada Uji Keturunan di Hutan Percobaan Cirangsad*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 49p.
- Erwinsyah, E., Harianto, H., Sinaga, B.M., Simangunsong, B.C.H. 2017. Analisis penawaran dan permintaan kayu bulat untuk pemenuhan kebutuhan industri kayu lapis, kayu gergaji dan pulp di Indonesia. *Sosio E-Kons*. 9(2): 117-124.
- 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., Petru, A. 2018. The influence of CO₂ laser beam power output and scanning speed on surface quality of norway maple (*Acer platanoides*). *J.BioResource*. 13(4): 8168-8183.
- Hakim, R., Widiastuti, H., Rendi. 2017. Analisa hasil kekasaran permukaan kayu terhadap jenis ketam. *Jurnal Integrasi Article History*. 9(2): 119-124.

- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H., Chae, H.M., Kondo, T., Kim, N.H. 2017a. Carbonization characteristics of juvenile woods from some tropical trees planted in Indonesia. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*. 62(1): 145-152.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J., Park, B., Banuwa, I.S., Febrianto, F. and Kim, N., 2017b. 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., Kim, N. H. 2018. Effects of heat treatment on the color change and dimensional stability of *gmelina arborea* and *melia azedarach* woods. in: *E3S Web of Conferences*. 1(68): 1-11.
- Hidayat, W., Aprilliana, N., Asmara, S., Bakri, S., Hidayati, S., Banuwa, I. S., Lubis, M. A. R., and Iswanto, A. H. 2022. Performance of eco-friendly particleboard from agro-industrial residues bonded with formaldehyde-free natural rubber latex adhesive for interior applications. *Polymer Composites*. 43(4): 2222–2233.
- 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.
- Ismail, M. 2012. *Analisis Fabrikasi Perangkat Mikrofluidik pada Material Acrylic Menggunakan Laser CO₂ Daya Rendah*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok. 116p.
- Ismanto, A. 2017. Stabilisasi warna kayu tusam (*Pinus merkusii* jungh. dan *De Vriese*) dan kemiri (*Aleurites moluccanus* (L.)Willd.). *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 7(1): 1-7.
- Kacik, F., Kubovsky, I. 2011. Chemical changes of beech wood due to CO₂ laser irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology a: Chemistry*. 222(1): 105-110.
- Kasmudjo. 2010. *Teknologi Hasil Hutan*. Buku. Cakrawala Media. Yogyakarta. 60p.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). 2021. Capaian TOR dan Perhutanan Sosial di Tahun 2021. <http://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/6330/capaian-tora-dan-perhutanan-sosial-di-tahun-2021>

- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). 2022. Potensi Lonjakan Kontribusi Multiusaha Kehutanan bagi Kesejahteraan Bangsa https://www.menlhk.go.id/site/single_post/4713/potensi-lonjakan-kontribusi-multiusaha-kehutanan-bagi-kesejahteraan-bangsa
- Krisdianto., Sasiti, E.R., Supriadi, A. 2018. Perubahan warna dan lapisan finishing lima jenis kayu akibat pencucayaan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 36(3): 205-218.
- Kubovsky, I., Krišt'ák, E., Suja, J., Gajtanska, M., Igaz, R., Ružiak, I., Rék, R. 2020. Optimization of parameters for the cutting of wood-based materials by a CO₂ laser. *Appl Sci*. 10(22): 1-16.
- Kúdela, J., Kubovský, I. 2016. Accelerated ageing induced photo degradation of beech wood surface treated with selected coating materials. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 58(2): 27-36.
- Kúdela, J., Andor, T. 2018. Beech wood discoloration induced with specific modes of thermal treatment. *Annals of Warsaw Agricultural University-Forestry and Wood Technology*. 103(1): 64-69.
- Kúdela, J., Kubovský, I., Andrejko, M. 2018. Impact of different radiation forms on beech wood discolouration. *Wood Research*. 63(6): 923-934.
- Kúdela, J., Reinprecht, L., Vidholdová, Z., Andrejko, M. 2019. Surface properties of beech wood modified by CO₂ laser. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 61(1): 5-18.
- Kúdela, J., Kubovský, I., Andrejko, M. 2020. Surface properties of beech wood after CO₂ laser engraving. *Coatings*. 10(1): 1-16.
- Kúdela, J., Andrejko, M., Mišíková, O. 2021. Wood surface morphology alteration induced by engraving with CO₂ laser under different raster density values. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 63(1): 35-47.
- Kurniawati, N., Sukma, A. 2015. Preferensi masyarakat kabupaten sukabumi dalam pengambilan keputusan membayar zakat. *Jurnal Syarikah*. 1(2): 91-112.
- Laksono, A.D., Susdiyanti., Bintani, T.K.M. 2016. Produktivitas dan rendemen industri penggergajian kayu di kecamatan cigudeg kabupaten bogor. *Nusa Sylva*. 16(2): 50-58.
- Li, R., Chen, J., Wang, X. A. 2020. Prediction of the color variation of moso bamboo during CO₂ 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.
- Malau, N.K. Iskandar, R., Sitompul, I., Sandhyavitri, A. 2018. Uji fisik dan mekanik laminasi kayu akasia (*Acacia mangium*) menggunakan perekat epoxy. *Jom FTEKNIK*. 5(2): 1-11.
- Manurung, H.M. 2013. *Pengukuran Daya Laser CO₂ dan Laser DPSS Serta Pengamatan Beam Profiler Sinar Laser DPSS dan Laser He-Ne Menggunakan Ccd*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan. 88p.
- Morena, Y., Ermiyati, Novan, A., Novianti, Y. 2021. Pengujian kuat lentur dan kuat tekan kayu sengon dengan menggunakan lapisan/ coating resin. *Jurnal Sainstek Stt Pekanbaru*. 2(9): 137-142.
- Muhamad, S., Marwanto, Maulana, M. I., Maulana, S., Fatrawana, A., Hidayat, W., Sari, R. K. and Febrianto, F. 2019. Sifat fisis dan mekanis papan partikel hibrida dari kayu cepat tumbuh dan bambu dengan perlakuan perendaman panas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 17(1): 47-57.
- 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. *BioRes*. 15(1): 172-186.
- Patel, D.P., Mrugesh, B. Khatr. 2012. Optimization of high power CO₂ laser machining centre's machining parameters by experimental analysis. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. 2(2): 1190-1196.
- Patel, D.K., Patel, D.M. 2014. Analysis the effect of laser engraving process for surface roughness measurement on stainless steel (304). *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*. 4(3): 725-730.
- Patel, C., Patel, A., Patel, R.C. 2017. A review on laser marking process for different materials. *IJSRD*. 3(1): 1458-1462.
- Persze, L., Tolvaj, L. 2012. Photodegradation of wood at elevated temperature: colour change. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 108(1): 44-47.
- Petru, A., Lunguleasa, A. 2014. *Wood Processing By Laser Tools*. Buku. International Scientific Committee. 213p.
- Petutschnigg, A., Stöckler, M., Steinwendner, F., Schnepf, J., Gütler, H., Blinzer, J. Holzer, H., Schnabel, T. 2013. Laser treatment of wood surfaces for ski cores: an experimental parameter study. *Advances in Materials Science and Engineering*. 1(11): 1-7.

- Prakosa, G.G., Muttaqin, T., Harjoko. 2018. Sifat fisik dan keawetan kayu cemara gunung (*Casuarina junghuniana*) di pegunungan Bromo Kabupaten Probolinggo. *Jurnal Daun*. 5(2): 71-82.
- Prasetyo, D.E. 2015. Analisis perbandingan metode pengujian kekasaran permukaan pada material polimer dan komposit - review. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(3): 171-175.
- Prasetyo, R.J. 2014. *Analisa Kekasaran Permukaan Dudukan Bearing Hummer Mill dan Dudukan Shredder dengan Proses Pengerjaan Milling*. Skripsi. Universitas Bengkulu. Bengkulu. 44p.
- Puluhulawa, I., Alamsyah., Rafika, D., Khoirunisak. 2018. Pengaruh penambahan baut dan paku terhadap kuat lentur balok laminasi kayu mahang dan meranti. *INERSIA*. 14(1): 62-74.
- 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(1): 2065-2072.
- Ridjayanti, S. M., Hidayat, W., Bazenet, R. A., Banuwa, I. S., and Riniarti, M. 2021. Pengaruh variasi kadar perekat tapioka terhadap karakteristik briket arang limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*). *Perennial*. 17(1): 5-11.
- Sachin., Sandip, B., Anup, B. 2015. A review on laser engraving process. international. *Journal for Scientific Research and Development*. 3(1): 2321-0613.
- Shobir, M., Abidin, Z., Ulfah, D. 2018. Rendemen kayu sengon (*paraserianthes falcataria*) dan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) dari hutan tanaman rakyat pada pengolahan finir di PT. Surya Satria Timur Banjarmasin. *Jurnal Sylva Scienteeae*. 1(1): 1-11.
- Situmorang, R.O.P., Harianja, A.H. 2018. Tingkat preferensi masyarakat mengelola sagu di Kabupaten Asahan, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*. 15(2): 129-147.
- Sugiantoro, B., Rusnaldy., Widyanto, S.A. 2014. Optimasi parameter proses milling terhadap kualitas hasil permesinan aluminium dengan metode taguchi. *TRAKSI*. 14(1): 42-57.
- Suhairiyah, Kunaifi, A., Kadir, A. 2021. Preferensi masyarakat pedesaan terhadap produk keuangan syariah. *Jurisy: Jurnal Ilmiah Syariah*. 1(2): 1-14.

- Sulistri, E., Masturi. 2013. Analisis interferensi cahaya laser terhambur menggunakan cermin datar “berdebu” untuk menentukan indeks bias kaca. *Jurnal Fisika*. 3(1): 1-8.
- Suliyanti., Maria, M. 2013. Pembuatan laser karbon dioksida pulsa. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. 31(1): 75-80.
- Surasana, N., Limbong, K.D., Yosep. 2020. Limbah penebangan kayu di perusahaan PT. Dwimajaya Utama. *Journal of Environment and Management*. 1(3): 253-258.
- Suri, I. F., Kim, J. H., Purusatama, B. D., Yang, G. U., Prasetia, D., Lee, S. H., Hidayat, W., Febrianto, F., Park, B. H., and Kim, N. H. 2021a. Comparison of the color and weight change in *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood heat-treated in hot oil and hot air. *BioResources*. 16(3): 5574-5585.
- Suri, I. F., Purusatama, B. D., Lee, S., Kim, N., Hidayat, W., Ma'ruf, S. D., & Febrianto, F. 2021. Characteristic features of the oil-heat treated woods from tropical fast growing wood species. *Wood Research*. 66(3): 365-378.
- Taluke., Dryon. 2019. Analisis preferensi masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove di pesisir pantai Kecamatan Loloda Kabupaten Halmahera Barat. *Spasial: Perencanaan Wilayah Dan Kota*. 6(2): 531-540.
- Tohir, A.T. 2016. *Studi Tentang Kekuatan dan Kekakuan Struktur Laser Carrier pada Mesin Fiber Laser Cutting*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 88p.
- 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.
- Uar, N.I., Wali, M., Tuharea, M.S. 2018. Sifat fisis kayu marsegu (*Nauclea orientalis* L) dari pulau Buru, Maluku. *Jurnal Agrohut*. 9(2): 110-116.
- Ummu, K., Isleyena, Karamanoglu, M. 2019. The influence of machining parameters on surface roughness of mdf in milling operation. *BioResources*. 14(2): 3266-3277.
- Utama, R. C., Febryano, I. G., Herwanti, S., Hidayat, W. 2019. Marketing channels of sengon (*Falcataria moluccana*) on the local community sawn timber industry in Sukamarga Village, Abung Tinggi Sub-district, North Lampung Regency. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(2): 195-203.

- Valverde, J. C., Moya, R. 2014. Correlation and modeling between color variation and quality of the surface between accelerated and natural tropical weathering in acacia mangium, cedrela odorata and tectona grandis wood with two coating. *Color Research and Application*. 39(5): 519-529.
- Wahyu, E. 2014. Inventarisasi permudaan meranti (*Shorea spp.*) pada arboretum kawasan Universitas Riau Kota Pekanbaru Provinsi Riau. *Jurnal Online Mahasiswa*. 1(1): 1-14.
- Wibowo, T. I. R., Rinarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niwati, A., and Hidayat, W. 2020. Karakterisasi arang hayati dari limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan meranti (*Shorea sp.*). *Prosiding: Konservasi sumberdaya alam untuk pembangunan berkelanjutan*. 1(1): 560–563.
- Widiati, K.Y., Suprpto, B., Tripratono, A.B.Y. 2018. Karakteristik sifat fisika dan mekanika kayu lamina kombinasi jenis kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nilsen) dan jenis kayu merbau (*Intsia spp.*). *Jurnal Hut Trop*. 2(2): 93-97.
- Widyasanti, A., Silvianur., Zain, S. 2019. Pengaruh perlakuan blanching dan level daya pengeringan microwave terhadap karakteristik tepung kacang bogor (*Vigna subterranea* (L.) Verdcourt). *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*. 23(1): 80-90.
- Wijaya, B. A., Riniarti, M., Prasetya, H., Hidayat, W., Niswati, A., Hasanudin, U., and Banuwa, I. S. 2021. Interaksi perlakuan dosis dan suhu pirolisis pembuatan biochar kayu meranti (*Shorea spp.*) mempengaruhi kecepatan tumbuh sengon (*Paraserianthes moluccana*). *ULIN: Jurnal Hutan Tropis* 5(2): 78–89.
- Wijaya, B. A., Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetya, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Kim, S., Lee, S., and Yoo, J. 2022. Meranti (*Shorea sp.*) biochar application method on the growth of sengon (*Falcataria moluccana*) as a solution of phosphorus crisis. *Energies*. 15(6): 2110.
- Winingsih, P.H. 2015. Rancang bangun laser untuk pembelajaran optika dalam menentukan indeks bias dan difraksi kisi. *Jurnal Science Tech*. 1(1): 77-82.
- Wulandari, W. 2018. *Pengaruh Variasi Waktu Paparan Laser Nd-Yag untuk Fabrikasi Fotokatalis Zinc Oxide untuk Degradasi Methylene Blue*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan. 86p.
- Wulandari, F.T. 2019. Karakteristik limbah pemanenan dan industri hasil hutan kayu serta alternatif pemanfaatannya. *Jurnal Sangkareang Mataram*. 5(3): 60-64.

- Wulandari, F.T. 2019. Limbah industri penggergajian: kajian dan pemanfaatannya. *Jurnal Silva Samalas*. 2(2): 75-78.
- Yang, C., Jiang, T., Yu, Y., Bai, Y., Song, M., Miao, Q., Ma, Y., Liu, J. 2019. Water-jet assisted nanosecond laser micro cutting of northeast China ash wood: experimental study. *BioResources*. 14(1): 128-138.
- Yanuar, H., Syarief, A., Kusairi, A. 2014. Pengaruh variasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan berbagai media pendingin pada proses frais konvensional. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*. 03(1): 27-33.
- Yung, K. Ch., Choy, H. S., Xiao, T., Cai, Z. 2021. UV laser cutting of beech plywood. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 112(9): 1-23.
- Zulkifli. 2021. *Potensi dan Karakteristik Limbah Kayu untuk Pemanfaatan Peti Buah di Desa Binanga Karaeng Kecamatan Lembang Kabupaten Pinrang*. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Makasar. Makasar. 50p.