

**PENGARUH DAYA DAN KECEPATAN LASER CO₂ TERHADAP
TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN DAN WARNA KAYU JABON
(*Anthocephalus cadamba*)**

Skripsi

Oleh

**Agus Wisesa Gatra Perkasa
NPM 1814151060**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGARUH DAYA DAN KECEPATAN LASER CO₂ TERHADAP TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN DAN WARNA KAYU JABON (*Anthocephalus cadamba*)

Oleh

AGUS WISESA GATRA PERKASA

Penelitian ini bertujuan yaitu untuk mengetahui pengaruh daya laser CO₂ terhadap perubahan warna dan kekasaran permukaan kayu yang terjadi pada kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*). Papan kayu jabon diukir menggunakan laser CO₂ dengan daya yang bervariasi, yakni 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt dengan kecepatan pengerjaan 50 mm/s, 75 mm/s dan 100 mm/s. Perubahan warna diuji menggunakan *colorimeter* dan kekasaran permukaan kayu diuji menggunakan *surface roughness tester*. Hasil penelitian menunjukkan kecerahan (L*) dan kromatisasi kuning/biru (b*) pada kayu jabon mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya daya laser. Nilai kromatisasi merah/hijau (a*) menunjukkan kenaikan pada daya laser 2,5 Watt dan setelah itu nilai kromatisitas pada daya laser yang lebih tinggi cenderung menurun. Nilai perubahan warna (ΔE^*) pada kayu jabon setelah diukir dengan daya laser 2,5 – 12,5 Watt menunjukkan nilai > 12 yang berarti warna berubah total. Kekasaran permukaan kayu mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya daya laser yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa perubahan warna total (ΔE^*) pada papan jabon yang terjadi menjadi lebih gelap, dan kekasaran permukaan kayu akan semakin meningkat.

Kata kunci: laser CO₂, warna, kekasaran, daya laser, kayu jabon (*anthocephalus cadamba*)

ABSTRACT

EFFECT OF CO₂ LASER POWER AND SPEED ON THE LEVEL OF SURFACE ROUGHNESS AND COLOR OF JABON WOOD (Anthocephalus cadamba)

By

AGUS WISESA GATRA PERKASA

This study aimed to determine the effect of CO₂ laser power on the color change and surface roughness of jabon (Anthocephalus cadamba) wood. Jabon wood is engraved using a CO₂ laser with a power of 2.5 Watt, 5 Watt, 7.5 Watt, 10 Watt and 12.5 Watt with processing speeds of 50 mm/s, 75 mm/s and 100 mm/. The color change was tested using a colorimeter, and the surface roughness was tested using a surface roughness tester. The results showed that the brightness (L) and yellow/blue chromatization (b*) of Jabon wood decreased with increasing laser power. The red/green chromatization (a*) shows an increase in 2.5 Watt laser power while the chromaticity value at higher laser power tends to decrease. The color change (ΔE^*) on jabon wood after engraved with the power of 2.5 – 12.5 Watt shows a value of > 12 or totally changed. The roughness of the wood surface increases with increasing laser power. The results show that the total color change (ΔE^*) on the jabon board becomes darker, and the surface roughness of the wood increased.*

Keywords: *CO₂ Laser, Color, Roughness, Laser Power, Jabon Wood (Anthocephalus cadamba)*

**PENGARUH DAYA DAN KECEPATAN LASER CO₂ TERHADAP
TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN DAN WARNA KAYU JABON
(*Anthocephalus cadamba*)**

Oleh

AGUS WISESA GATRA PERKASA

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

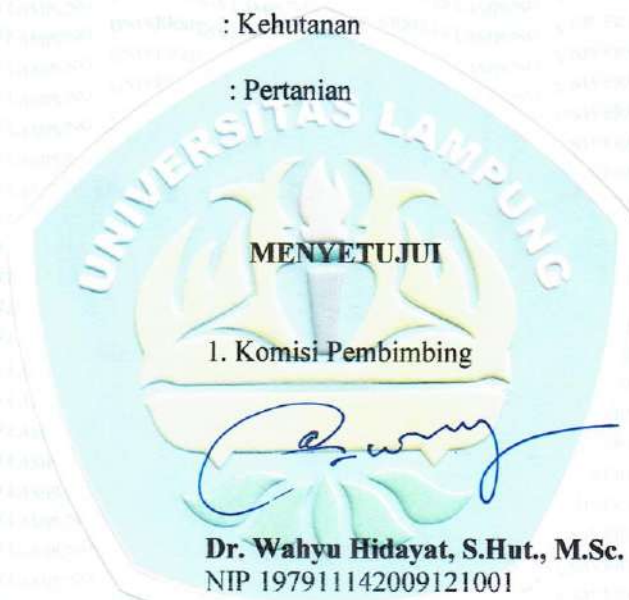
Judul : PENGARUH DAYA DAN KECEPATAN
LASER CO₂ TERHADAP TINGKAT
KEKASARAN PERMUKAAN DAN WARNA
KAYU JABON (*Anthocephalus cadamba*)

Nama Mahasiswa : Agus Wisesa Gatra Perkasa

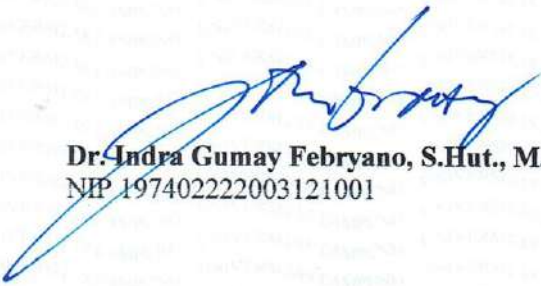
Nomor Pokok Mahasiswa : 1814151060

Jurusan : Kehutanan

Fakultas : Pertanian



2. Ketua Jurusan Kehutanan


Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si.
NIP 197402222003121001

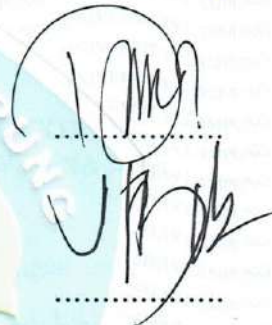
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Komisi : Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc.



Anggota : Duryat, S.Hut., M.Si.



Anggota : Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si.

2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 196110201986031002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 25 Januari 2023.

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agus Wisesa Gatra Perkasa

Npm : 1814151060

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sungguh-sungguh, bahwa skripsi saya yang berjudul:

“PENGARUH DAYA DAN KECEPATAN LASER CO2 TERHADAP TINGKAT KEKASARAN PERMUKAAN DAN WARNA KAYU JABON (*Anthocephalus cadamba*)”

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar lampung, 25 Februari 2023

Yang menyatakan



Agus Wisesa Gatra Perkasa

NPM 1814151060.

RIWAYAT HIDUP



Agus Wisesa Gatra Perkasa lahir di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 24 Agustus 2000. Dilahirkan sebagai anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Lujen Malik dan Ibu Ir Satsanawati Purbani. Pendidikan formal pertama penulis diawali pada tahun 2005 di TK Ki Hajar Dewantara Way Kanan, Lampung dan dilanjutkan ke Sekolah Dasar Negeri 01 Gedung Harapan Way kanan tahun 2006-2012, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 10 Bandar Lampung tahun 2012-2015, lalu melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas Negeri 4 Bandar Lampung 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 menjadi mahasiswa, penulis aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Kehutanan (Himasyilva) sebagai anggota Bidang 1 Rumah tangga dan tergabung dalam Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) tingkat Fakultas Pertanian sebagai Kepala Departemen Seni dan Olahraga. Penulis telah melakukan Praktik Umum (PU) di Taman Nasional Bukit Barisan Selatan (TNBBS) pada tahun 2021. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Rajabasa Lama I Kecamatan Labuhan Ratu Kabupaten Lampung Timur pada bulan Januari hingga Februari 2020. Tahun 2022, penulis mempublikasikan karya ilmiah dengan judul “Pengaruh Daya Laser CO₂ Terhadap Perubahan Warna dan Kekasaran Permukaan Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*)” pada acara Seminar Nasional Ilmu Lingkungan-III, Pascasarjana Universitas Lampung.

Bismillahirrahmanirrahim

**Teruntuk Kedua Orang Tuaku Tercinta
Alm. Lujen Malik dan Ir. Satsanawati Purbani**

Serta untuk Diriku Sendiri

“Bebas lah engkau dari malas, pupus sudah jika terbelenggu olehnya”

(Agus Wisesa Gatra Perkasa)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh.

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Daya dan Kecepatan Laser CO₂ terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan dan Warna Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*)”. Shalawat beserta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan pengikutnya. semoga kita semua senantiasa mendapatkan syafaat dan lindungannya kelak di yaumul akhir nanti. Aamiin yaa robbalalamiin.

Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Universitas Lampung, dan sebagai wadah untuk memberikan pengetahuan dan ilmu yang bermanfaat kepada para pembaca. Selama proses penulisan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan, bimbingan, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc. selaku pembimbing tunggal yang telah memberikan bimbingan, masukan serta kesabaran yang tinggi selama penulis mengemban pendidikan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung hingga skripsi ini dapat terselesaikan;
4. Bapak Dian Iswandar, S.Hut., M.Sc. selaku pembimbing akademik atas bimbingan, motivasi dan saran kepada penulis selama menempuh perkuliahan;

5. Bapak Dr. Duryat S.Hut., M.Si. selaku penguji atas dukungan, kritik maupun saran yang telah diberikan;
6. Bapak dan Ibu Dosen tenaga kependidikan Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah membimbing dan mendidik, serta membantu penulis dalam hal pendidikan maupun administrasi selama masa studi berlangsung;
7. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah membantu dan mengizinkan penulis melakukan penelitian uji kekasaran kayu di Laboratorium Metrologi;
8. Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah membantu dan mengizinkan penulis melakukan penelitian uji mikroskopis di Laboratorium Hama Penyakit Tumbuhan;
9. Teruntuk kedua orang tua ku, Alm Lujen Malik dan Ir. Satsanawati Purbani, sosok teladan yang telah memberikan ilmu bermanfaat untuk penulis, penegak dalam keadilan hidup, penyeimbang arah keluarga, penyejuk hati dan pikiran. Semoga Allah memberikan tempat terbaik untuk Bapak di Surga dan memberikan kita umur yang panjang dan kehidupan yang barokah sampai akhir nanti;
10. Kakak dan adik yang saya sayangi Masyuni Eka Putri, Kurnia Hanna Ramadhanti serta Abdul Malik Zaki Akbari yang selalu mengingatkan, menguatkan dan memberikan semangat serta motivasi kepada penulis;
11. Mba Intan Fajar Suri, S.Hut., M.Sc atas waktu, ilmu dan motivasi yang diberikan;
12. Teman-teman seperbimbingan saya Rasyidah Amany, Alim Fadila Rahman, Bagus Saputra, Karina Gracia Agatha Tambunan dan Rahel Monica Panggabean yang telah membantu, mendampingi dan memberikan motivasi kepada saya selama saya melaksanakan penelitian;
13. Saudara seperjuangan Angkatan 2018 Jurusan Kehutanan (Corsyl) atas banyaknya bantuan, saran, informasi dan kenangan serta persaudaraan erat yang telah diberikan selama ini;
14. Keluarga besar Himasyilva Universitas Lampung;
15. Teruntuk penghuni Hati penulis, Sekar Kinasih yang selalu ada untuk

menemani, mengasihi, menyayangi, memotivasi dan mendukung untuk selalu melangkah menyelesaikan skripsi ini sampai tuntas;

16. Semua pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karenanya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca dan memerlukannya.

Bandar Lampung, 25 Januari 2023
Penulis,

Agus Wisesa Gatra Perkasa

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Kerangka Pemikiran.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pasokan Kayu Jabon (<i>Anthocephalus cadamba</i>)	7
2.2. Pengertian Laser.....	9
2.3. Laser Engraving	10
2.4. Jenis-Jenis Laser	12
2.4.1. Laser YAG	12
2.4.2. Laser CO ₂	13
2.4.3. Laser <i>Fiber</i>	14
2.4.4. Laser <i>Cutting</i>	15
2.5. Pengaruh Laser Terhadap Kekasaran Permukaan Kayu	16
2.6. Pengaruh Laser Terhadap Warna Permukaan Kayu	18
2.7. Preferensi Konsumen	19
2.8. Kelebihan dan Kekurangan Laser CO ₂	19
III. METODE PENELITIAN	20
3.1. Waktu dan Tempat	20
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.3. Rancangan Penelitian	20
3.4. Prosedur Penelitian	21
3.4.1. Persiapan dan Pengaturan Alat	21
3.4.2. Desain Pola	23
3.4.3. Peletakan Papan Kayu Jabon (<i>Anthocephalus cadamba</i>) ...	23
3.4.4. Pengujian Gravir dengan Beberapa Parameter	24
3.4.5. Analisis Hasil Pengukiran (<i>Engraving</i>)	24
3.4.5.1. Pengujian Perubahan Warna	25

3.4.5.2. Pengujian Kadar Air	26
3.4.5.3. Pengujian Kerapatan	27
3.4.5.4. Pengujian Kekasaran Permukaan (<i>Surface Roughness Test</i>).....	27
3.4.5.6. Uji Mikroskopis	28
3.4.5.7. Preferensi Konsumen.....	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1. Kadar Air.....	30
4.2. Kerapatan	30
4.3. Perubahan Warna	31
4.4. Kekasaran.....	37
4.5. Mikroskopis Hasil Laser	39
4.6. Preferensi Konsumen	41
V. SIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Simpulan	46
5.2. Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi perubahan warna	26
2. Nilai kadar air papan jabon pada beberapa tingkat konsentrasi kecepatan.....	30
3. Nilai kerapatan papan kayu	31
4. Perubahan warna papan kayu jabon (<i>Anthocephalus cadamba</i>).....	36
5. Nilai kekasaran (Ra) papan kayu jabon (<i>Anthocephalus cadamba</i>)	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran	6
2. Pohon jabon (<i>Anthocephalus cadamba</i>).....	8
3. Tegakan jabon (<i>Anthocephalus cadamba</i>).....	8
4. Prototype mesin laser engraving.	11
5. Mesin laser Nd-YAG.	13
6. Mesin laser CO ₂	13
7. Skema laser CO ₂	14
8. Mesin laser fiber.....	15
9. Mesin laser <i>Cutting</i>	16
10. <i>Surfaces Roughness Tester</i>	18
11. <i>Software</i> laser CO ₂	22
12. Mesin laser CO ₂	22
13. Power <i>wire</i> pada mesin Laser CO ₂	22
14. Papan kayu di meja kerja.	24
15. Alat uji warna.....	26
16. Alat <i>surface roughness tester</i>	28
17. Tampilan visual sampel kayu jabon setelah laser <i>engraving</i> pada	32
18. Perubahan nilai L* pada papan kayu jabon.....	33
19. Perubahan nilai a* pada papan kayu jabon.	34
20. Perubahan nilai b* pada papan kayu jabon.	36
21. Perubahan nilai Ra pada papan kayu jabon.....	38
22. Perubahan lebar pengukiran (mm) pada papan kayu jabon.	40
23. Lebar pengukiran papan kayu jabon kecepatan pengerjaan 50 mm/s.	40
24. Lebar pengukiran papan kayu jabon kecepatan pengerjaan 75 mm/s..	41

Gambar	Halaman
25. Lebar pengukiran papan kayu jabon kecepatan pengerjaan 100 mm/s.	41
26. Produk hasil pengukiran logo Universitas Lampung pada preferensi .	42
27. Preferensi konsumen pada papan kayu jabon 50 mm/s	43
28. Preferensi konsumen pada papan kayu jabon 75 mm/s	44
29. Preferensi konsumen pada papan kayu jabon 100 mm/s	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi penelitian.....	57

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Industri berbasis hutan di Indonesia merupakan penggerak vital pertumbuhan ekonomi nasional dan berperan penting dalam upaya meningkatkan pendapatan pemerintah dari sektor kehutanan (Aminah *et al.*, 2013; Suryandari 2008). Kegiatan industri yang terus berkembang menyebabkan kebutuhan kayu semakin meningkat (Chaowana, 2013; Hidayat *et al.*, 2021). Sebelumnya pemanfaatan hasil hutan di Indonesia hanya terbatas pada pemanfaatan kayu bulat, dan banyak sumber kayu bulat terdapat pada hutan tanaman yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia (Zain *et al.*, 2020).

Hutan tanaman adalah hutan yang berfungsi sebagai pemasok kayu yang sebagian besar berasal dari hutan rakyat, dan sebagian besar kayu yang dipasok dari hutan rakyat adalah kayu cepat tumbuh dan cepat panen (Siadari *et al.*, 2013; Rubiyanti, 2019). Jabon (*Anthocephalus cadamba*) merupakan satu-satunya jenis tumbuhan berkayu yang diprioritaskan dalam pembangunan hutan tanaman penghasil kayu (Ramayanti *et al.*, 2009; Mindawati *et al.*, 2010; Hidayat *et al.*, 2021). Tanaman ini tergolong cepat tumbuh atau *quick grower*, dan dapat mencapai tinggi 18m dengan diameter batang 42 cm pada umur 6 (enam) tahun dalam keadaan budidaya yang optimal (Hidayat *et al.*, 2013; Halawane *et al.*, 2015; Sulistio *et al.*, 2020; Suri *et al.*, 2021). Banyaknya potensi yang dimiliki oleh pohon jabon, dapat dimaksimalkan lagi dengan teknologi terbaru yaitu salah satunya adalah teknologi laser.

Laser CO₂ merupakan teknologi yang dalam penggunaannya memakai laser gas yang bersumber dari pencampuran gas utama yaitu karbondioksida (CO₂) dan gas lainnya yang distimulasikan menggunakan proses elektrik untuk memotong dan mengukir (Rahman *et al.*, 2022 Amany *et al.*, 2022). Cara

penggunaan laser CO₂ dengan mengarahkan laser dengan diatur kekuatannya agar dapat memotong maupun mengukir kayu atau material lain dan diarahkan melalui komputer yang sudah mempunyai sistem untuk terhubung ke laser CO₂ (Saputro dan Darwis, 2020).

Pengukiran laser adalah salah satu teknologi yang paling menjanjikan untuk menandai atau mengukir sesuatu dalam pemrosesan dan pembuatan prototipe cepat saat ini. Sinar laser digunakan untuk menimbulkan korosi benda padat, dalam pola yang telah ditentukan. Pola yang diinginkan dibuat dengan mengulangi proses ini pada setiap lapisan tipis yang berurutan. Ada banyak keuntungan dari metode ini dibandingkan dengan pemesinan tradisional, seperti: tidak ada kontak mekanis dengan permukaan, pengurangan limbah industri, akurasi pemesinan yang baik dan kualitas serta detail yang sangat baik pada produk akhir (Dahotre *et al.*, 2008). Metode pengukiran laser memiliki banyak aplikasi dalam industri, seperti: pembuatan cetakan, informasi pengukiran yaitu nama dan nomor seri pada chip silikon, pengukiran langsung tanggal kadaluwarsa pada kemasan makanan, ukiran gambar di bawah permukaan bahan padat (kaca), dan ukiran langsung plat *flexographic* (Genna *et al.*, 2010).

Menurut Patel *et al.* (2015), pengukiran laser adalah teknik mengukir dan menandai suatu objek dengan menggunakan laser, menghilangkan material dari permukaan atas hingga kedalaman tertentu. Beberapa penelitian ada tentang pengukiran logam, dan bahkan ada lebih sedikit penelitian yang terkait ukiran kayu. Tinjauan penting dilakukan pada pengukiran laser untuk berbagai bahan, termasuk kayu, yang menyelidiki pengaruh parameter proses (daya laser, kecepatan pemindaian, dan frekuensi laser) pada kedalaman ukiran dan kekasaran permukaan. Demikian pula Pritam (2016) menemukan bahwa untuk meminimalkan kekasaran permukaan dan memaksimalkan kedalaman pengukiran dengan kekasaran yang lebih sedikit, pemindaian laser dapat dilakukan dengan daya yang lebih rendah dan kecepatan pemindaian yang lebih tinggi.

Proses pengukiran laser adalah proses pemesinan non-konvensional yang digunakan untuk penandaan/ukiran pada hampir setiap bahan yang tidak dapat ditandai dengan proses pemesinan konvensional. Dalam proses pengukiran laser, permukaan bahan dipanaskan dan kemudian bahan menguap. Pengukiran laser

dapat dilakukan menggunakan parameter masukan yang berbeda seperti diameter titik, daya laser, frekuensi laser, panjang gelombang yang berbeda, dll. Dan mendapatkan perubahan dalam parameter keluaran seperti tingkat penghilangan bahan, permukaan akhir dan lekukan (Dharmesh *et al.*, 2014). Definisi lain dari pengukiran laser menurut Dubey *et al.* (2008), Pengukiran laser adalah salah satu metode penggilingan sinar laser. Dalam metode ini, balok intensitas tinggi bergerak di atas permukaan sesuai dengan geometri yang diinginkan. Selama interaksi sinar laser dengan material, sejumlah energi laser diserap oleh material. Energi ini, yang dipengaruhi oleh kecepatan pindai, daya laser, dan laju tumpang tindih berkas, menentukan jumlah material yang dibuang. Oleh karena itu, kecepatan *scan* dan daya efektif adalah parameter terpenting pada tingkat kekasaran permukaan dan tingkat penghilangan material. Kecepatan pindai menentukan waktu interaksi antara sinar laser dan material. Setiap peningkatan waktu interaksi menyebabkan peningkatan suhu lokal. Dengan kenaikan suhu, suhu permukaan mencapai titik penguapan, dan sejumlah material menguap dari daerah interaksi. Sebagai hasil dari proses interaksi tersebut, terjadi kawah dan lapisan perombakan. Waktu interaksi antara sinar laser dan permukaan material menentukan bentuk dan kedalaman kawah. Bentuk kawah menentukan kekasaran permukaan (Kaldos *et al.*, 2004).

Laser CO₂ dapat digunakan untuk melakukan aktivitas pemotongan kontur, membuat lubang, pengeboran, pengelasan, dan ukiran kayu. Beberapa aspek parameter dari proses pemotongan dan pengukiran laser meliputi daya laser, tekanan gas, kecepatan nosel, jenis pemotongan gas, dan ketebalan pelat. Proses dalam setiap parameternya akan mempengaruhi kualitas hasil pemotongan dan pengukiran kayunya (Bram dan Gesang, 2015).

Dalam penelitian ini parameter yang akan diamati adalah tingkat kasar permukaan kayu dan perubahan warna. Pada aspek tingkat kasar permukaan kayu dapat dilihat dari berat jenis kayu. Kayu jabon memiliki tingkat kerapatan 0,42 (0,29 - 0,56) g/cm³, kadar air segar berkisar antara 78,46% sampai 184,52%, Kelas Kuat III-IV, dan Kelas Awet V. (Widiyanto dan Siarudin, 2016), dengan nilai keteguhan lentur patah (*Modulus of Rupture*) antara 438,76-633,31 kg/cm² (Sitompul, 2019). Selain tingkat kasar permukaan kayu, perubahan warna

pun menjadi parameter yang akan diamati. Kedua hal tersebut terjadi lantaran adanya perlakuan pada sebidang objek yang diakibatkan oleh pembakaran laser CO₂. Akibat dari proses pembakaran atau perlakuan panas laser CO₂, perubahan yang paling jelas dapat terlihat secara visual, dimana tingkat kecerahan (L*) atau penggelapan warna pada kayu mengalami penurunan (Hidayat dan Febrianto, 2018). Menurut Parta (2019), dalam kekasaran permukaan suatu produk berdasarkan fungsinya, pemrosesan suatu mesin membutuhkan nilai kekasaran permukaan yang besar, walaupun terkadang nilai yang dimiliki merupakan nilai yang kecil.

Mesin laser yang digunakan memiliki 3 fungsi yaitu pengukiran atau grafir (*engraving*), memotong (*cutting*), dan menandai (*marking*). Dari ketiga proses tersebut dengan ciri dan metode tersendiri, dapat meningkatkan mutu dan nilai jual dari bahan baku yang diproduksi. Bahan baku produksi yang telah diproses dengan mesin laser menghasilkan produk hasil laser. Dari proses pengukiran tersebut dihasilkan produk yang beragam dan bervariasi.

Setelah proses pengukiran laser pada sebidang benda bahan baku produksi, hasil dari produksi tersebut adalah produk hasil laser. Produk hasil pelaseran sangat beragam dan banyak sekali variasinya. Pada dasarnya, mesin laser CO₂ dapat melakukan pengukiran atau grafir (*engraving*), memotong (*cutting*) dan menandai (*marking*). Hal ini sesuai selaras dengan Yakimovich *et al.* (2016), laser telah digunakan untuk mendekorasi kayu, membuat produk indah dari kayu, selain memotong kayu, mengukir kayu yang berbahan dasar kayu. Produk yang dihasilkan dari ketiga macam proses tersebut memiliki ciri dan metode tersendiri yang mampu membuat bahan baku produksi memiliki nilai mutu dan harga yang tinggi. Untuk menimbulkan inovasi terbaru mengenai industri pengolahan laser, maka dibutuhkan ide ide yang terbaru dengan tetap memanfaatkan sumber daya kayu yang ada.

Penelitian pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap tingkat kekasaran permukaan dan warna kayu pada jabon (*Anthocephalus cadamba*) penting untuk dilakukan mengingat belum adanya penelitian yang mengacu pada perubahan kekasaran permukaan kayu serta perubahan warnanya. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan teknologi laser CO₂ yang mampu

menghasilkan produk ukiran, memotong (*cutting*) serta menandai (*marking*) yang bisa disesuaikan dengan keinginan konsumen yang tentu saja dapat menghasilkan pertumbuhan ekonomi yang baik.

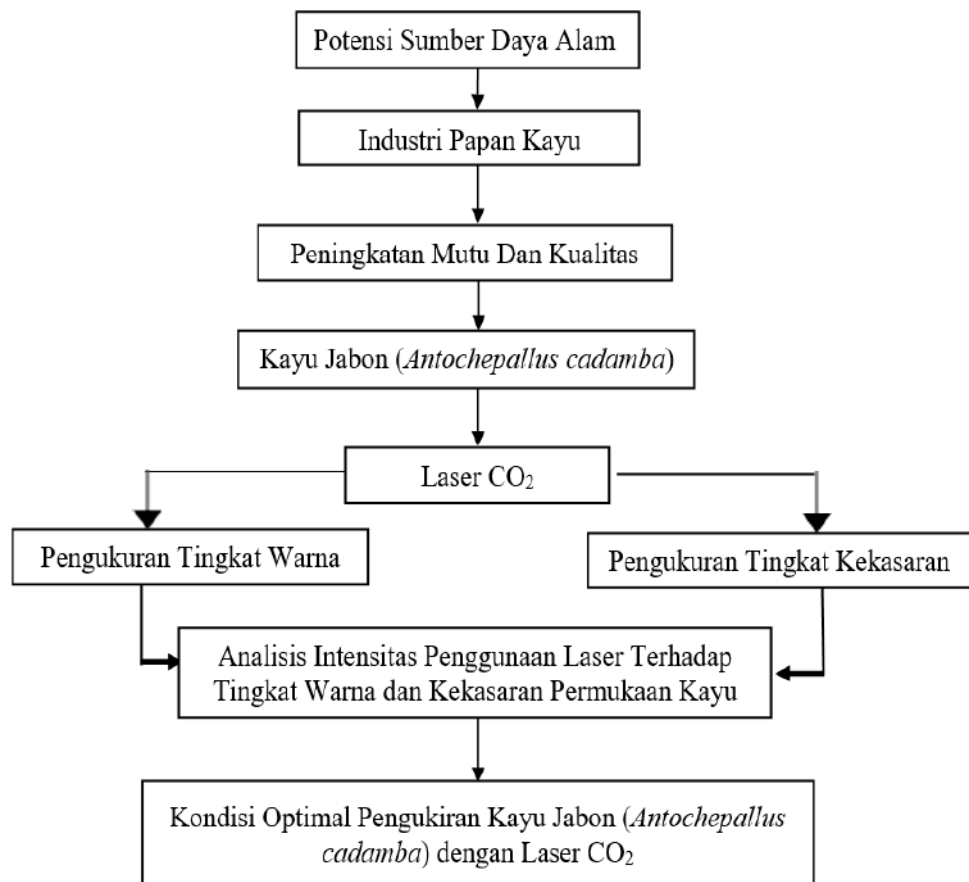
1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan dengan judul penelitian pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap tingkat kekasaran permukaan dan warna kayu pada jabon (*Anthocephalus cadamba*) bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap kasar permukaan kayu jabon.
2. Mengetahui pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap perubahan warna jabon.
3. Menganalisis preferensi konsumen terhadap produk laser CO₂ yang paling disukai.

1.3. Kerangka Pemikiran

Sumber daya alam seperti kayu menawarkan banyak potensi di Indonesia, khususnya di sektor industri. Dunia industri saat ini berkembang dengan sangat cepat, seperti industri pengolahan kayu. Perubahan yang terjadi cukup signifikan, seperti pemanfaatan kayu yang dulu banyak menggunakan cara konvensional kini sudah menggunakan teknologi tinggi dan jauh lebih modern. Dengan majunya teknologi saat ini, maka sebaiknya mampu meningkatkan nilai mutu pada kayu. Kayu cepat tumbuh seperti jabon (*Anthocephalus cadamba*) marak sekali dijumpai di penjual kayu dalam bentuk papan namun kurang diminati oleh konsumen yang cenderung menginginkan kayu Sengon. Oleh karena ini dalam meningkatkan nilai ekonomi dari produk kayu Jabon tersebut perlu dilakukannya inovasi-inovasi baru seperti pembuatan, hiasan, dan ukiran di atas permukaan papan kayu agar mendongkrak nilai mutu dan juga ekonomi dari produk tersebut. Kerangka pikiran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pasokan Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*)

Jabon putih umumnya ditemukan di daerah hutan sekunder, sepanjang pinggiran aliran sungai, rawa, juga di daerah dengan kualitas air yang tinggi, tergenang secara permanen ataupun sementara/berselang-seling (periodik). (Krisnawati *et al.*, 2011). Jabon putih (*Anthocephalus cadamba*) adalah tanaman penghasil pulp dan kertas berkualitas tinggi, mengandung serat dengan panjang 1,56 mm, diameter 23,95 mm, dan tebal 2,78 mm. (Agri, 2011; Halawane *et al.*, 2015; Raharja, 2011). *Anthocephalus cadamba* atau dikenal dengan sebutan Jabon putih merupakan spesies potensial asli Indonesia yang cepat tumbuh dan serbaguna. Tanaman ini juga memiliki kemampuan pertumbuhan yang cepat dan persebaran yang luas (Prayoga *et al.*, 2020). Tanaman ini juga menghasilkan kayu yang dapat diolah lebih lanjut sehingga dapat dimanfaatkan menjadi kayu lapis, konstruksi, *pulp*, *fiberboard*, *chipboard* (Sudrajat, 2015), dan bahan obat-obatan alami sebagai penghilang sakit, penurun demam, radang, antimikroba (Acharyya *et al.*, 2011) dan anti bakteri (Mishra dan Siddique, 2011). Jabon putih memiliki kemampuan untuk tumbuh mencapai 45 m, panjang bebas cabang 30 m, dan diameter batang dapat mencapai 160 cm.

Pohon Jabon secara alami memiliki batang yang lurus dan berbentuk silinder. Daun jabon tunggal berukuran panjang berkisar 13- 32 cm dan lebar berkisar antara 7-15 cm. Helaian daun berbentuk lonjong menyerupai bundar dan ujung daun berbentuk runcing dengan panjang tangkai daun berkisar antara 2,5-6 cm (Mulyana, 2011). Jabon memiliki beberapa keunggulan dibanding kayu tanaman lainnya, seperti sengon/albasia, sehingga tanaman ini menjadi andalan dalam industri per kayu, khususnya kayu lapis (Abdillah *et al.*, 2020; Hardianto *et al.*, 2020; Utama *et al.*, 2019). Perawatan yang optimal pada tumbuhan Jabon

menjadikan tumbuhan ini memiliki potensi pertumbuhan yang sebanding dengan sengon/albasia. Kelebihan jabon adalah: Diameter batang bisa bertambah 10 cm per tahun, meski waktu produksi pohon hanya 4–5 tahun, memenuhi persyaratan dari karakteristik bahan baku furniture karena berwarna kekuning-kuningan, berbatang silindris dan sangat lurus, serat kayu jabon yang halus dan rapat serta padat membuatnya sangat sesuai untuk bahan baku kayu lapis dan mebel (Mulyana, 2011; Rahmah *et al.*, 2020; Utama *et al.*, 2019). Gambaran umum pohon jabon (*Anthocephalus cadamba*) dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Pohon jabon (*Anthocephalus cadamba*).



Gambar 3. Tegakan jabon (*Anthocephalus cadamba*).

Di Indonesia jabon menyebar dengan cepat ke seluruh negeri, terutama di pulau-pulau terbesar di negara ini, seperti Sumatera, Kalimantan, Jawa, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara, dan Papua. (Sudrajat *et al.*, 2016). Kayu jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq), merupakan salah satu jenis pohon tropis asli Asia Selatan dan Asia Tenggara, termasuk didalamnya yaitu Indonesia. Jenis ini telah dilaksanakan pembudidayaan di beberapa pulau, seperti di Jawa (khususnya Jawa Barat dan Jawa Timur), Kalimantan (khususnya Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur), Sumatera, Sulawesi, Sumbawa (khususnya Nusa Tenggara Barat) dan Papua (khususnya Irian Jaya) (Satya *et al.*, 2015). Jabon putih adalah salah satu flora dari Asia Tenggara yang bernilai nilai ekonomi tinggi khususnya di bidang pertukangan (Krisnawati *et al.*, 2011).

Jabon putih (*Anthocephalus cadamba*) sejak tahun 1930-an telah ditanam secara luas dan berskala besar. Selain mudah tumbuh secara vegetatif, juga mudah ditemukan di pulau Jawa, Sumatera, Sulawesi, Sumbawa, Kalimantan dan Papua (Krisnawati *et al.*, 2011). Jabon putih (*Anthocephalus cadamba*) tersebar baik pada skala kecil maupun skala besar. Skala kecil tersebar dalam bentuk hutan rakyat, seperti di pulau Jawa dan daerah Kalimantan Selatan, sedangkan skala besar tersebar pada beberapa wilayah seperti Sumatera Utara, Riau dan Kalimantan Tengah (Kallio *et al.*, 2011; Irawan *et al.*, 2014). Produktivitas jabon melibatkan peningkatan kayu yang besar/tinggi, lebih dari 20-25 m³/ha/tahun dalam kurun waktu 6-8 tahun pertama. Pertambahan tinggi tahunan pohon jabon mencapai 3 meter, sedangkan diameter batang jabon bertambah 7 cm/tahun, sehingga dapat diartikan dalam kurun waktu 6 tahun dengan tingkat pertumbuhan yang baik, pohon jabon dapat mencapai ketinggian 18 m dan memiliki diameter 42 cm (Halawane *et al.*, 2015).

2.2. Pengertian Laser

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation atau laser adalah perangkat yang menciptakan radiasi elektromagnetik melalui proses emisi terstimulasi. (Hidayanti, 2017). Biasanya, sinar laser tunggal, menghasilkan foton dalam sinar yang koheren. Energi panas dari sinar laser melelehkan dan menguapkan material yang akan dipotong, sesuai dengan prinsip pengoperasian

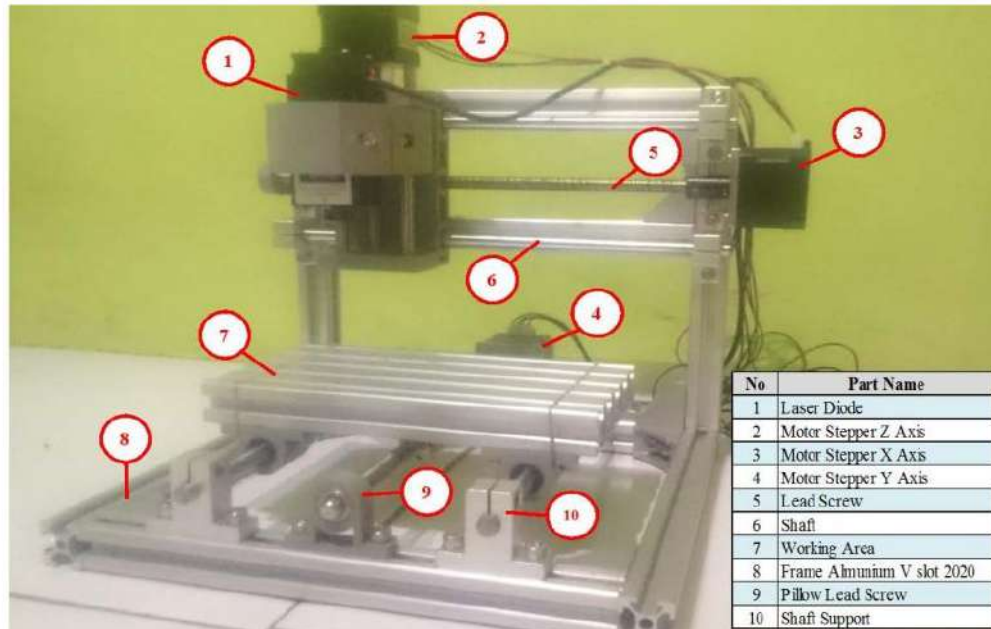
nya (Harist, 2018), dan Luthfi *et al.* (2021) menyatakan laser merupakan suatu alat yang memiliki mekanisme untuk memancarkan suatu cahaya yang dihasilkan dari radiasi elektromagnetik yang tidak terlihat atau terlihat oleh mata normal. Laser adalah sumber cahaya koheren monokromatik berintensitas tinggi yang bersinar dalam satu arah, menyediakan jalur radiasi elektromagnetik yang koheren, mudah diarahkan, dan lurus. Cahaya yang koheren menghasilkan puncak dan penurunan pada saat yang sama setiap saat (fase yang sama) (Fransiscus, 2016).

Laser terdiri dari bahan aktif yang disimpan dalam resonator yang bertegangan. Ketika sebuah elektron dari bahan aktif dikeluarkan pada tingkat energi yang lebih tinggi (keluar), ia digantikan oleh foton dengan energi yang sebanding dengan perbedaan energi aliran. Untuk memindahkan elektron dari bahan aktif ke tingkat energi yang lebih tinggi, diperlukan proses pemompaan. Foton yang ditangkap merangsang produksi elektron lain, menghasilkan foton foton tambahan. Foton tersebut kemudian dipantulkan resonator secara bolak-balik. Resonator yang digunakan terdiri dari cahaya dan cermin, yang dapat menambah dan mengurangi jumlah cahaya sehingga resonator dapat memancarkan sinar laser. (Fransiscus, 2016). Laser memiliki sifat unik, tidak didapati pada sumber cahaya lain, karakteristik khas laser adalah fokus, penyalarsan, intensitas, monokromatisitas, dan koherensi (Emi *et al.*, 2013).

2.3. Laser Engraving

Laser engraving adalah proses pengukiran suatu permukaan bahan dengan menggunakan laser, dimana sinar laser digunakan untuk mengukir tulisan, gambar atau foto yang muncul pada permukaan bahan yang telah diukir dengan laser. Hasil pengukiran mesin grafir tidak menimbulkan warna; hasil dari proses pengukiran laser sangat bergantung pada jenis bahan dan daya laser yang digunakan. (Harist, 2018). Pengukiran laser atau laser *engraving* yaitu teknologi paling menjanjikan untuk pembuatan prototipe cepat untuk mengerjakan pengukiran atau menandai suatu objek. Dalam metode ini, sinar laser digunakan untuk mengikis benda padat, mengikuti pola yang sudah dirancang sebelumnya. Pola yang diinginkan dibuat dengan mengulangi proses ini pada setiap lapisan

tipis yang berurutan. Ada banyak keuntungan dari metode ini dibandingkan dengan pemesinan tradisional, seperti: tidak ada kontak mekanis dengan permukaan, pengurangan limbah industri akurasi pemesinan yang baik dan kualitas serta detail yang sangat baik pada produk akhir (Agalianos *et al.*, 2011).



Sumber: Harist, (2018).

Gambar 4. *Prototype* mesin laser *engraving*.

1. Laser dioda adalah komponen yang mampu menghasilkan cahaya koheren yang dapat dilihat dengan mata telanjang atau dalam bentuk spektrum infra merah.
2. *Motor stepper* adalah kumpulan komponen elektromekanis yang menerjemahkan pulsa listrik menjadi gerakan mekanis.
3. *Lead screw* adalah sekrup penghubung dalam mesin, untuk mengubah gerakan memutar menjadi gerakan linear.
4. *Shaft* adalah batang yang membantu mesin dalam melakukan gerakan linear.
5. *Working area* adalah area tempat pengerjaan spesimen atau bahan uji.
Frame aluminium slot untuk struktur *frame* laser
6. *Pillow lead screw* adalah bantalan poros berulir yang diputar oleh motor stepper.

7. *Shaft support* adalah blok penopang yang membantu meluruskan poros linier dengan benar yang digunakan pada setiap sumbu mesin ukiran laser.

2.4. Jenis-Jenis Laser

Laser merupakan teknologi yang memudahkan manusia dalam mengerjakan tugas ataupun pekerjaan secara cepat, praktis dan akurat. Didalam pengoperasian nya, laser memiliki area aplikasi utama, yaitu sebagai penandaan (*marking*), pengeboran, penggilingan mikro, pemotongan, pengukiran, pengelasan, dan perlakuan panas/pengerasan di industri otomotif, pesawat terbang, dan mikroelektronika (Pritam, 2016). Dalam industri kerajinan dan kreatif, mesin laser digunakan untuk memproduksi barang-barang seperti karya seni granit, kulit binatang, gantungan kunci, aksesoris, dan ukiran selain untuk mengurangi ketebalan pelat besi dan membuat lekukan (Gunawan, 2014). Mesin laser memiliki beberapa jenis diantaranya yaitu laser YAG (*Yttrium Aluminium Garnet*), laser CO₂. Laser *cutting* dan laser *fiber*.

2.4.1. Laser YAG

Laser Nd-YAG adalah laser yang mempunyai sistem laser 4 tingkat. Artinya, empat tingkat energi terlibat dalam operasi laser. Sumber energi cahaya seperti tabung flash dan dioda laser digunakan untuk memberi daya pada media aktif. Laser NdYAG merupakan salah satu laser solid-state atau zat padat yang cukup banyak disukai karena kelebihanannya dan banyak digunakan di berbagai bidang (Prihadianto *et al.*, 2015). Komponen laser ini meliputi Nd:YVO dan Nd:YAG (Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet) (Neodymium-Doped Yttrium Ortho-Vanadate). Panjang gelombang dari laser YAG yaitu 1,064 micrometer (Yie *et al.*, 2014; Tohir, 2016).

Laser YAG juga biasa digunakan pada dunia atau lingkup medis. Laser ini sering digunakan sebagai alat perawatan yang aman karena menggunakan efek fototermal sehingga menggunakan metode penetrasi yang aman dan tidak menyakitkan. Laser YAG ini juga banyak digunakan di dunia kecantikan, termasuk perawatan wajah dan perawatan bekas luka jerawat (Elsodany *et al.*, 2018). Laser YAG dapat dilihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Mesin laser Nd-YAG.

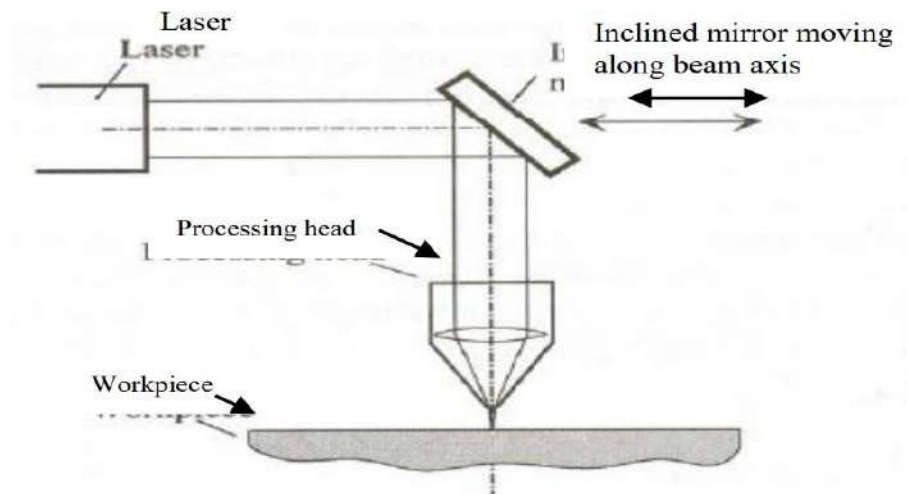
2.4.2. Laser CO₂

Menurut Helen *et al.* (2013), laser CO₂ merupakan laser yang paling efektif dan berenergi tinggi, dengan tingkat efisiensi sekitar 15-20%. Laser mengeluarkan molekul CO₂ bergetar pada panjang gelombang inframerah 10,6 μm . Transformasi terpenting adalah peningkatan vibrasi energi dari molekul CO₂. Laser CO₂ adalah laser dengan beberapa komponen utama, termasuk pompa elektroda, resonator laser atau tabung laser, cermin atau cermin, dan lensa (Eltawahni *et al.*, 2019).



Gambar 6. Mesin laser CO₂

Keunggulan yang dimiliki dari laser CO₂ adalah efisiensi yang tinggi dan output daya yang tinggi. Selain itu pada tingkat daya tertentu, laser CO₂ dapat memancarkan sepersekian Watt secara efisien dan memancarkan pijaran dengan cepat. Laser CO₂ kini banyak digunakan dalam proses pengolahan logam, tekstil, dan pembuatan logam. Diagram alur laser CO₂ dapat dilihat pada Gambar 7.



Sumber: Sadegh, (2016).

Gambar 7. Skema laser CO₂.

2.4.3. Laser *Fiber*

Laser Fiber memiliki panjang gelombang sebesar 1,070 – 1,080 mikrometer dengan lebar garis tipikal 3 nm, dengan diode pompa sebagai sumber suplai energinya. Fokus yang dihasilkan oleh laser fiber sangat kecil, diameter fokus tersebut intensitasnya 100 kali lebih tinggi dari laser CO₂ (Tamura *et al.*, 2015). Laser *fiber* memiliki pembangkitan cahaya atau pembuatan sinarnya menggunakan serat optik, yang merupakan laser paling tajam kehalusannya dan detail dibandingkan dengan laser YAG dan laser CO₂. Manfaat dan kelebihan Laser *fiber* yaitu, dengan tingkat kejelian dan kehalusannya yang sangat tinggi, laser *fiber* juga minim perawatan dan memiliki rentang waktu pemakaian terpanjang sekitar 25.000 jam dibandingkan dengan laser YAG dan laser CO₂ (Tohir, 2016). Laser fiber dapat dilihat pada Gambar 8. Berikut:



Gambar 8. Mesin laser *fiber*.

2.4.4. Laser *Cutting*

Dalam kegunaannya, laser dapat melakukan pekerjaan berupa mengukir (*engraving*) dan memotong (*cutting*). Menurut Fathurahman (2015), teknologi pemotongan menggunakan teknik laser *cutting* telah digunakan untuk logam, aplikasi laser *cutting* untuk material non logam seperti *triplex*, MDF dan polymer juga mengalami perkembangan yang cukup pesat. Dengan bentuk material yang rumit dikerjakan menggunakan mesin konvensional, maka laser *cutting* merupakan alternatif untuk membuat part yang lebih cepat, halus dan presisi.

Pada proses dengan menggunakan mesin laser, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui dalam operasinya. Proses pemotongan dengan laser *cutting* memiliki empat kelompok yang mempengaruhi hasil pemotongan, yaitu parameter laser (daya laser / laser *power output*), parameter proses (kecepatan pemotongan, jenis gas, tekanan gas, posisi fokus), parameter benda kerja (ketebalan, jenis material, geometri benda kerja) dan parameter mesin (lensa pemfokus, diameter nosel). (Handoko, 2011). Penggunaan laser memiliki keuntungan yaitu cepat diproduksi karena dapat membaca data dari komputer, memiliki kemampuan untuk mengukir ukiran yang diinginkan, memotong barang yang rumit, dan meminimalkan limbah (Samarya, 2015). Selain itu, mesin laser dapat digunakan pada berbagai bahan, termasuk pelat, kaca, kayu, karton, dan akrilik, dapat digunakan dengan peralatan laser (Arifin, 2018).



Gambar 9. Mesin Laser *Cutting*.

2.5. Pengaruh Laser Terhadap Kekasaran Permukaan Kayu

Ketidakteraturan permukaan yang halus diukur dengan kekasaran permukaannya. Lebar, tinggi, dan bentuk permukaan produk yang tidak rata menentukan kualitas permukaannya (Harmanto, 2018). Kekasaran pada permukaan yang dihasilkan pada pemesinan kayu dipengaruhi oleh kondisi pemotongan, yaitu perubahan ketebalan chip rata-rata, tetapi juga untuk geometri pemotongan dan keausan pahat. Di proses mesin kayu, jenis kayu, struktur anatomi, kepadatan kayu dan kadar air, juga merupakan variabel penting yang mempengaruhi hasil. Variasi kekasaran permukaan pada pemesinan yang berbeda kondisi atau pada pembuatan papan ini, dengan yang pertama penulis menyampaikan laporan tentang hubungan antara profil kerapatan papan dan kekasaran permukaan yang dihasilkan, serta pengaruh seperti perubahan kondisi pemotongan pada kekasaran permukaan dan daya potong (Aguilera, 2011).

Kekasaran permukaan digambarkan sebagai konfigurasi permukaan benda atau bidang yang tidak rata (Yudo *et al.*, 2018). Patel (2014), menggunakan kekasaran permukaan sebagai respon untuk berbagai parameter dalam pengukiran laser pada baja tahan karat. Parameter yang diukur adalah Ra. Ditemukan bahwa kekasaran permukaan meningkat dengan frekuensi laser yang lebih tinggi dan kecepatan pengukiran yang lebih rendah. Pritam (2016) menemukan bahwa kekasaran permukaan dijelaskan oleh Ra dan kedalaman pengukiran baja tahan karat menurun dengan peningkatan kecepatan pemindaian dan penurunan daya

laser. targetnya adalah untuk meminimalkan kekasaran permukaan, sekaligus memaksimalkan kedalaman pengukuran. Untuk mencapai rongga yang lebih dalam, tetapi dengan kekasaran yang lebih sedikit, penulis merekomendasikan peningkatan jumlah pemindaian laser dengan daya yang lebih rendah dan kecepatan pemindaian yang lebih tinggi.

Petutschnigg, *et al.* (2013) mengeksplorasi opsi untuk merawat permukaan kayu dengan laser balok untuk mengembangkan kemungkinan estetika baru dan menemukan aplikasi dalam desain ski. Studi ini membahas perlakuan laser yang berbeda untuk sampel dari berbagai spesies kayu: *beech*, *ash*, *lime*, dan *spruce*. Penulis memvariasikan intensitas sinar laser dari 40 hingga 120 W dan jumlah titik laser di permukaan, sambil menjaga kecepatan pemindaian konstan, dan mengukur warna yang dihasilkan. Intensitas sinar laser mempengaruhi perubahan warna dalam pola yang berbeda dan bergantung pada spesies.

Tiga faktor utama kekasaran permukaan yaitu kekasaran, bergelombang, dan kesalahan bentuk geometris yang termasuk dalam profil data permukaan tertentu melalui pengukuran dapat digunakan untuk menentukan levelnya (Davim, 2011). Kekasaran menurut Asmaun (2019) merupakan ukuran ketidakaturan permukaan. Tingkat dan bentuk ketidakaturan permukaan menentukan kualitas permukaan dari sebuah produk. Tan, *et al.* (2012) menggunakan dua analisis independen terhadap data parameter kekasaran (R_a , R_q , R_k , dan R_{ap}) sedangkan Su, *et al.* (2012) hanya menggunakan nilai R_a untuk menguji pentingnya parameter kekasaran. Roughness Average adalah satuan ukuran untuk kekasaran (R_a). Rata-rata aritmatika dan profil mutlak yang menyimpang dari diameter rata-rata juga dikenal sebagai R_a . Dua jenis porositas yang ada adalah porositas kasar (*roughness*) dan porositas bergelombang (*waviness*), dan kombinasi keduanya dapat menyebabkan segala bentuk deformasi atau kelainan pada objek. Kelainan objek atau bentuk ini ditampilkan pada monitor alat *surface roughness tester* mitutoyo type SJ-310 (Hakim *et al.*, 2017).



Sumber: Hakim *et al.*, (2017).

Gambar 10. *Surfaces Roughness Tester.*

2.6. Pengaruh Laser Terhadap Warna Permukaan Kayu

Warna kayu adalah warna karakteristik struktural dari kayu asli (kayu teras), dan dapat dilihat pada goresan/permukaan baru yang belum kena pengaruh air, sinar matahari dan pengaruh lainnya dalam waktu yang lama. Selain itu, warna menjadi tujuan utama karena dapat meningkatkan nilai komersial produk kayu akhir (Lukmandaru *et al.*, 2015; Zulkahfi *et al.*, 2020; Ma'aruf *et al.*, 2020; Suri *et al.*, 2021). Terdapat berbagai macam warna yang berbeda, seperti kuning, coklat tua, kehitam-hitaman, coklat muda, keputih-putihan, kemerah-merahan, karena pengisi warna yang berbeda pada kayu. Faktor-faktor seperti lokasi di tengah-tengah batang, suhu pohon, dan kelembapan udara dapat mempengaruhi warna kayu (Arsad, 2013).

Warna kayu bermacam-macam, antara lain coklat muda, kuning, coklat tua, kehitaman, kemerahan, putih, dan lain-lain (Winarto, 2013). Banyaknya isian berwarna yang dimasukkan pada kayu yang menimbulkan variasi warna. Kelembaban udara, umur pohon, dan bercak pada batang dapat mempengaruhi warna kayu. Perubahan warna permukaan pada kayu yang ditargetkan serta modifikasi sifat permukaan kayu lainnya sebagian besar dilakukan hanya berdasarkan pengalaman empiris. Oleh karena itu, kuantifikasi ketergantungan tingkat perubahan warna pada jumlah energi yang disuplai tampaknya merupakan alat yang menjanjikan untuk pemecahan masalah ini (Kucerov *et al.*, 2019).

2.7. Preferensi Konsumen

Selera individu (subjektif) dapat dinilai dengan utilitas dan juga item yang beragam disebut sebagai preferensi konsumen (Indarto, 2011). Sedangkan preferensi konsumen adalah hal-hal yang diminati atau tidak diminati orang tentang produk tertentu (makanan atau minuman, barang atau jasa) yang mereka miliki atau konsumsi. Berbagai produk yang diminati konsumen dapat diukur dengan preferensi (Wijayanti, 2011). Untuk mempertahankan strategi pemasaran yang berkelanjutan dan memastikan bahwa produk atau jasa yang dijual atau diiklankan masih diminati oleh konsumen, maka penting untuk memahami preferensi konsumen.

Suardika dkk. (2014) melaporkan bahwa variabel bauran pemasaran, hubungan antara pilihan pelanggan dan pemasaran menunjukkan pengaruh faktor psikologis (motivasi, persepsi, pembelajaran, sikap) terhadap keputusan pembelian (produk, harga, promosi, dan lokasi). Keputusan terkait pembelian tidak selalu menguntungkan dan penting, dalam rentang dari harga hingga titik keputusan pembelian, keriuhan negatif dan signifikan penting untuk didapati.

2.8. Kelebihan dan Kekurangan Laser CO₂

Pembuatan cover akrilik bisa dibuat lebih sederhana dengan menggunakan pemotong atau pengukir laser. Laser *engraver* atau *cutter* adalah teknologi yang sebagian besar digunakan dalam industri manufaktur untuk memotong dan mengukir bahan. Laser berdaya tinggi digunakan dalam pemotongan laser untuk memotong bahan, dan komputer digunakan untuk mengoperasikan mesin laser. Hal ini menjadi keuntungan teknologi yang harus dimanfaatkan untuk mengefisienkan waktu sebaik mungkin (Saputro *et al.*, 2020), dan kekurangannya yaitu biaya yang diperlukan besar pada proses manufaktur bahan PolyMethyl Methacrylate (PMMA), Polycarbonate, dan Poly Dimethylsiloxane (PDMS) (Badruzzaman *et al.*, 2016

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Analisis tingkat kekasaran permukaan papan kayu dilaksanakan di Laboratorium Metrologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penentuan lokasi penelitian ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa lokasi tersebut menyediakan alat yang dibutuhkan untuk penelitian ini. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2022.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin laser CO₂ CNC LS-6040-50 Watt, mikroskop stereo Leica EZ4, *oven*, alat uji kekasaran *Surface Roughness Tester* Mitutoyo SJ-201, alat uji warna *colorimeter* (AMT507, Amtast, Qingdao, China), timbangan analitik dengan ketelitian 1x10⁻⁴g, kaliper dengan ketelitian 1x10⁻²mm dan *software Corel Laser DRW X7*. Sedangkan, bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah papan kayu lunak yaitu kayu jabon putih (*Anthocephalus cadamba*) berukuran 20 cm x 30 cm.

3.3. Rancangan Penelitian

Metode penelitian ini yaitu metode eksperimen skala laboratorium. Penelitian ini menggunakan satu faktor yang diperkirakan mempengaruhi tingkat warna dan tingkat kekasaran permukaan papan kayu. Faktor yang dapat mempengaruhi tingkat warna dan kekasaran permukaan papan kayu tersebut adalah kekuatan (*power*) dari sinar laser yang dikeluarkan, kekuatan laser yang dipakai dalam penelitian ini yaitu 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5

Watt dengan menggunakan kecepatan pengukiran yang beragam, yakni 50, 75 dan 100 mm/s. Masing-masing perlakuan akan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dengan media yang dijadikan objek penelitian yaitu papan kayu jabon putih (*Anthocephalus cadamba*).

3.4. Prosedur Penelitian

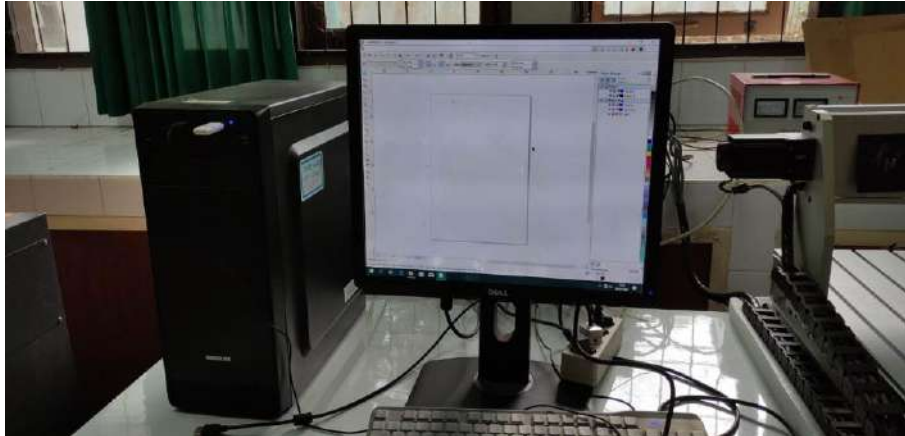
Tahap pertama dalam melakukan penelitian ini adalah mencari literatur materi yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini. Mempelajari aplikasi mesin Laser yang digunakan sebagai alat dalam melakukan penelitian ini, juga mengetahui pengaruh daya dan kecepatan pengerjaan laser untuk diaplikasikan pada permukaan kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*). Selanjutnya yaitu tahap studi lapangan dalam penelitian ini, dimana peneliti mencari bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian, seperti papan kayu Jabon Putih dengan jenis sumber papan diambil berbeda-beda, serta mempersiapkan alat bantu yang sekiranya perlu dan akan digunakan selama penelitian.

3.4.1. Persiapan dan Pengaturan 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 sistem grounding pada mesin laser yang menghubungkan mesin laser dengan *ground*.

Penelitian ini menggunakan *software* yaitu Laser DRW X5. *Software* ini merupakan *software* yang dapat digunakan untuk pengoperasian mesin laser. Dari *software* ini akan dibuat pola yang akan dikerjakan serta dipilih proses yang akan dikerjakan. *Software* ini juga sudah dapat digunakan untuk membuka beberapa ekstensi file. *Software* yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Gambar 11, dan mesin laser CO₂ yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 12.

Parallel port wire digunakan sebagai penghubung antara mesin laser dengan komputer sebagai pengendali mesin laser melalui *software*.



Gambar 11. *Software* Laser CO₂.



Gambar 12. Mesin Laser CO₂.



Gambar 13. *Power Wire* pada mesin Laser CO₂.

3.4.2. Desain Pola

Langkah-langkah sebelum pengoperasian mesin laser dan menggravir adalah merancang desain pola gravir. Pada tahap ini akan dibuat layout design yang akan menjadi lembar kerja dalam program Laser DRW X5 dan juga sampel desain yang akan di gravir pada papan kayu Jabon. Langkah pertama setelah membuka program Laser DRW adalah mendesain layout sesuai dengan luas papan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) yang digunakan yaitu 30 cm x 20 cm. Setelah layout sudah tersedia maka selanjutnya yaitu membuat pola yang akan di gravir pada papan kayu. Untuk menguji ketebalan garis terkecil yang dapat bergerak pada permukaan papan kayu jabon dibuat berbagai macam pola garis dengan intensitas power yang bervariasi. Daya laser CO₂ yang digunakan yaitu 2,5 watt, 5 watt, dan 7,5 watt, 10 watt, dan 12,5 watt. Pengujian kekasaran ukir dan warna dilakukan pada satu arah yaitu arah horizontal yang akan digravir yaitu persegi panjang, berukuran 5 cm x 5 cm dengan posisi persegi. Masing masing pola akan digravir dengan arus dan kecepatan yang sama.

3.4.3. Peletakan Papan Kayu Jabon (*Anthocephalus cadamba*)

Papan kayu jabon yang sudah tersedia dibersihkan terlebih dahulu permukaannya dan diampelas permukaannya agar mendapatkan kekasaran permukaan kayu yang sama. Jarak antara *laser head* dengan permukaan papan untuk pola gravir jaraknya adalah 1 cm. Jarak antara *laser head* dengan permukaan papan ini sangat berpengaruh terhadap hasil proses gravir. 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 biasanya dibantu dengan kertas tambahan agar seimbang. Bentuk tata letak kayu yang akan diuji lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Papan kayu di meja kerja.

3.4.4. Pengujian Gravir dengan Beberapa Parameter

Pada penelitian ini dilakukan proses gravir terhadap masing-masing bahan papan kayu. Setelah pola sudah didesain serta papan kayu jabon sudah berada pada posisi alas meja kerja yang dibuat, maka dilakukan proses gravir. Pada program Laser DRW X5 dipilih ikon *Engrave* kemudian diatur terlebih dahulu proses yang ingin dikerjakan. Pengaturan ini dilakukan pada Laser DRW X5. *Engraving manager* yaitu pada *Style* dimana dipilih *Engraving*. Proses gravir pola yang sudah didesain, dilakukan dengan mesin laser pada papan kayu jabon. Proses gravir ini dipengaruhi oleh beberapa variabel. Pada penelitian ini variabel yang akan dikendalikan yaitu daya dan kecepatan dari laser. Pengendalian daya dan kecepatan laser gravir dilakukan dengan mengubah pengaturan pada *software* Laser DRW dan pengaturan pada mesin laser.

3.4.5. Analisis Hasil Pengukiran (*Engraving*)

Analisis pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap tingkat kekasaran permukaan dan warna pada kayu jabon dilakukan dengan beberapa metode antara lain pengujian perubahan warna, pengujian kadar air, pengujian kerapatan, pengujian kekasaran permukaan, analisis mikroskopis dan preferensi konsumen.

3.4.5.1. Pengujian Perubahan Warna

Pengujian warna dan sifat fisis dilakukan terhadap kayu jabon dilakukan sebelum dan setelah di laser. Evaluasi perubahan warna dilakukan dengan menggunakan sistem CIE-*Lab* dengan mengukur parameter warna kecerahan (L^*), kromatisasi merah/hijau (a^*), dan kromatisasi kuning/biru (b^*). Perubahan warna ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔE^* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\Delta L^* &= L^*_2 - L^*_1 \\ \Delta a^* &= a^*_2 - a^*_1 \\ \Delta b^* &= b^*_2 - b^*_1 \\ \Delta E^* &= (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}\end{aligned}$$

Keterangan:

- L^* = Tingkat Kecerahan (hitam ke putih)
- L^*_1 = Kecerahan sampel sebelum *engraving*
- L^*_2 = Kecerahan sampel setelah *engraving*
- a^* = Kromatisitas merah ke hijau
- a^*_1 = Kromatisitas (merah ke hijau) sebelum *engraving*
- a^*_2 = Kromatisitas (merah ke hijau) setelah *engraving*
- b^* = Kromatisitas (kuning ke biru)
- b^*_1 = Kromatisitas (kuning ke biru) sebelum *engraving*
- b^*_2 = Kromatisitas (kuning ke biru) setelah *engraving*
- ΔL^* = Perbedaan antara nilai L^* sebelum dan sesudah *engraving*
- Δa^* = Perbedaan antara nilai a^* sebelum dan sesudah *engraving*
- Δb^* = Perbedaan antara nilai b^* sebelum dan sesudah *engraving*
- ΔE^* = Perubahan warna akibat sebelum dan sesudah *engraving*

Perubahan warna dapat ditentukan dengan derajat perubahan warna denganklasifikasi pada Tabel 1 (Valverde dan Moya, 2014).

Tabel 1. Klasifikasi Perubahan Warna

No.	Nilai Klasifikasi	Keterangan
1	$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$	Perubahan Dapat Dihiraukan
2	$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$	Perubahan Warna Sedikit
3	$1,5 < \Delta E^* \leq 3$	Perubahan Warna Nyata
4	$3 < \Delta E^* \leq 6$	Perubahan Warna Besar
5	$6 < \Delta E^* \leq 12$	Perubahan Warna Sangat Besar
6	$\Delta E^* > 12$	Warna Berubah Total



Gambar 15. Alat Uji Warna.

3.4.5.2. Pengujian Kadar Air

Prinsip penentuan kadar air yaitu menguapkan bagian air bebas yang terkandung di dalam bahan sampai terseimbangan kadar air bahan dengan udara sekitar menggunakan energi panas. Sebanyak 1 g sampel dengan bobotnya diketahui telah dikeringkan dalam oven suhu $100 \pm 3^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Kemudian didinginkan dalam desikator selama 1 jam dan ditimbang. Kadar air dihitung menggunakan persamaan standar (SNI 7973:2013):

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

Keterangan:

KA = Kadar Air (%)

BA = Berat Awal (g)

BKO = Berat Kering Oven (g)

3.4.5.3. Pengujian Kerapatan

Kerapatan pada umumnya dinyatakan dalam perbandingan massa dan volume, yaitu dengan cara menimbang dan mengukur volume dalam keadaan kering udara. Kerapatan kayu dapat dihitung dengan menggunakan standar (SNI 7973:2013), dengan rumus persamaan kerapatan:

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

Keterangan:

KR = Kerapatan (g/cm³)

M = Massa kayu (g)

V = Volume (cm³)

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

Pengujian tingkat kekasaran permukaan terhadap pengukiran papan kayu jabon dilakukan menggunakan alat penguji kekasaran permukaan. Alat penguji kekasaran permukaan ini digunakan untuk mengetahui tingkat kekasaran permukaan pada sampel uji yang dalam kasus ini adalah papan kayu jabon yang telah melewati proses pengukiran dengan mesin laser CO₂. Untuk mengukur kekasaran permukaan digunakan *Surface Roughness Tester* (Gambar 16). Cara penggunaan alat ukur ini yaitu dengan menempatkan sensor alat ukur pada titik benda kerja nilai kekasaran permukaan yang akan diuji. Setelah sensor ditempatkan, tekan tombol start dan tunggu beberapa detik hingga nilai kekasaran permukaan ditampilkan di monitor alat ukur.

Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal gerak *stylus* berbentuk berlian (*diamond*) yang bergerak sepanjang garis lurus permukaan sebagai indikator untuk mengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip kerja alat *surface roughness* adalah menggunakan sensor *transducer* dan mengolahnya dengan *microprocessor*. *Transducer* sendiri merupakan perangkat elektronik yang mengkonversi suatu energi menjadi bentuk energi lainnya. Parameter yang dapat digunakan untuk menyatakan kekasaran permukaan yaitu:

1. Kekasaran rata-rata Aritmatik (*mean roughness index*), *Ra* adalah kekasaran yang diukur dari rata-rata luasan yang terbentuk dari profil permukaan.

2. Kekasaran Total (*peak to valley*), R_t yaitu kekasaran yang diukur dari puncak profil tertinggi ke bagian profil terendah.
3. Kekasaran Perataan (*depth of surface smoothness*), R_p yaitu jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur (Abbas *et al.*, 2013; Prasetyo, 2014).



Gambar 16. Alat *Surface Roughness Tester*.

3.4.5.6. Uji Mikroskopis

Pengamatan uji mikroskopis dilakukan menggunakan mikroskop. Gambar yang telah dihasilkan melalui pengamatan mikroskopis tersebut dilakukan analisis untuk mengukur lebar hasil pengukiran dengan daya laser yang berbeda-beda (μm). Pengukuran untuk setiap daya pengukiran dilakukan sebanyak 4 kali. Pengukuran lebar hasil pengukiran dilakukan menggunakan perangkat lunak *ImageJ*.

3.4.5.7. Preferensi Konsumen

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui wawancara dan pengisian kuesioner (Aiman *et al.*, 2017). Sampel konsumen yang diambil ditujukan kepada mahasiswa universitas lampung dengan asumsi rentang umur 17-22 tahun, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak (*random sampling*). Responden dipilih berdasarkan rumus *slovin* dengan tingkat kesalahan sebesar 10% dan tingkat kepercayaan 90%.

Preferensi konsumen dilakukan dengan metode deskriptif kuantitatif dengan jenis data yang digunakan yaitu data primer. Data primer merupakan sumber data penelitian yang diperoleh secara langsung dari sumber asli atau responden.

Rumus:

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

Keterangan:

n = Ukuran sampel/jumlah responden

N = Ukuran populasi

e = Perkiraan tingkat kesalahan.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap tingkat kekasaran permukaan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) yaitu semakin besar daya laser yang digunakan maka nilai kekasaran yang diperoleh akan semakin tinggi, dan semakin rendah kecepatan pengerjaan pengukiran maka nilai kekasaran akan semakin tinggi. Korelasi yang terjadi yaitu energi panas dari pengukiran laser yang menumbuk bidang kerja tidak maksimal sehingga hasil yang didapatkan menjadi semakin tidak rata.
2. Pengaruh daya dan kecepatan laser CO₂ terhadap perubahan warna permukaan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) yaitu semakin besar daya laser yang digunakan dan semakin tinggi kecepatan pengerjaan yang dipakai maka warna yang dihasilkan akan semakin gelap (hitam) dan berubah total dari warna awal kayu sebelumnya. Korelasi yang terjadi yaitu pembakaran oleh energi panas yang dihasilkan laser CO₂ menyebabkan degradasi hemiselulosa saat adanya perlakuan panas.
3. Preferensi konsumen pada papan kayu jabon dengan kecepatan pengerjaan 50 mm/s pada daya 5 Watt lebih diminati konsumen dengan beberapa alasan seperti terlihat lebih jelas, lebih detail diantara sekeliling area hasil laser dan warna yang dihasilkan lebih gelap. Minat konsumen pada hasil pengukiran dengan kecepatan pengerjaan 75 mm/s pada daya 7,5 Watt lebih diminati konsumen dengan beberapa alasan seperti terlihat lebih jelas, lebih rapi, dan gambar tampak lebih nyata. Minat konsumen pada hasil pengukiran dengan kecepatan pengerjaan 100 mm/s pada daya 7,5 Watt lebih diminati konsumen

dengan beberapa alasan seperti terlihat lebih jelas dan rapi, terlihat lebih bagus, lebih menarik serta lebih nyata.

5.2. Saran

Penelitian lebih lanjut menggunakan daya laser yang lebih bervariasi dan tingkat kecepatan pengukiran yang beragam serta jenis material yang diuji lebih beragam harus terus dilakukan agar dapat dibandingkan dengan penelitian laser sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H., Bontong, Y., Aminya, Y. 2013. Pengaruh parameter pemotongan pada operasi pemotongan milling terhadap getaran dan tingkat kekasaran permukaan (*surface roughness*). *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII* 13(1): 971-976.
- Abdillah, M., Ma'ruf, S. D., Kaskoyo, H., Safe'i, R., Hidayat, W. 2020. Modifikasi Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*) dan Kelapa (*Cocos nucifera*) melalui Perlakuan Panas dengan Minyak. in: *Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan* LPPM Universitas Lampung, Bandar Lampung 564–569.
- Acharyya, S., Rathore, D. S., Kumar, H. K. S., Panda, N. 2011. Screening of *Anthocephalus cadamba* (Roxb.) Miq. Root for Antimicrobial and anthelmintic activities. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences* 2(1):297-300.
- 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*. *Machine*, 1242-1245.
- Agri, F. 2011. *Bisnis dan Budidaya Jabon Cepat Panen*. Buku. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta. 129.
- Aguilera A. 2011. Cutting energi and surface roughness in medium density fiberboard rip sawing. *Eur. Journal Wood Prod* 69:11-18
- Aiman, A., Handaka, A. A., Lili, W. 2017. Analisis preferensi konsumen dalam pengambilan keputusan membeli produk olahan perikanan di kota tasikmalaya (studi kasus di pasar tradisional Cikurubuk, Kec. Mangkubumi). *Jurnal Perikanan dan Kelautan* 8(1): 8-18.
- Amany, R., Rahman, A. F., Febryano, I. G., Iswandar, D., Suri, I. F., Hidayat, W. 2022. Preferensi Konsumen Terhadap Perubahan Warna Papan Partikel Hasil Ukir Laser CO₂. *Journal of People, Forest and Environment* 2(2), 51-59.

- Aminah, L. N., Qurniati, R., Hidayat, W. 2013. Kontribusi hutan rakyat terhadap pendapatan petani di Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari* 1(1): 47–54.
- Arifin, S. 2018. *Pengaruh Variasi Cutting Speed Terhadap Kekerasan Permukaan SUS 304 Pada Proses Laser Cutting Menggunakan Gas N₂*. Thesis. Malang: Universitas Brawijaya.
- Asmaun. 2019. Analisa pengaruh pengampelasan terhadap permukaan kayu kulim (*scorodocarpus borneensis baillon beec*) dengan menggunakan response surface methodology. *Jurnal Ilmiah Teknik* 5(2). 1 – 14.
- Arsad, E. 2013. Prospek kayu kualitas rendah dan kurang dikenal sebagai substitusi kayu komersial. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan* 5(1): 45-53.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2002. SNI 03-6850:2002. *Metode Pengujian pengukuran kadar air kayu dan bahan berkayu*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 12.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2020. *Metode uji untuk kerapatan dan berat jenis (kerapatan relatif) kayu dan bahan berbasis kayu*. SNI 8949:2020. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. 29.
- Badruzzaman, Baskoro, A. S, Siswantoro, A. R. 2016. Analisis fabrikasi desain lamination passive mixing microchannel perangkat mikrofluidik acrylic menggunakan laser CO₂ daya rendah. *Jurnal Mechanical* 7 (1): 1-10.
- Bowyer, J. L., Shmulky, R., Haygreen, J. G. 2003. *Forest Product Wood Science AN Introduction 4 th Ed*. Buku. Iowa State Press. Iowa. 554p.
- Bram, D., Gesang, S. 2015. “Pengaruh kecepatan potong pada pemotongan polymethyl methacrylate menggunakan mesin laser cutting”. Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada. *Seminar Nasional Teknologi 2015 Institut Teknologi NasionalMalang*. Malang.
- Chaowana, P. 2013. Bamboo: An alternative raw material for wood and wood-based composites. *Journal of Materials Science Research* 2(2): 90–102.
- Dahotre N., Harimkar. S.P. 2008. *Laser Fabrication and Machining of Materials*. Springer.
- Davim. J. P., 2011. *Wood Machining*. John Wiley and Son, Inc 111 River Stre Hoboken, NJ 07030.TS878W66.
- Dharmesh K. Patel, Dr. Dhaval. M.Patel. 2014. Parametric Optimization of Laser Engraving Processes for Different Materials using Gray Relational Technique-A Review. 3(4).

- Dubey A. K., Yadava V. 2008. Multi-objective optimisation of laser beam cutting process. *Optics & Laser Technology* 40(3): 562-570.
- Eltawahni., Hayat, A., Abdul, G. O., Khaled Y. B. 2019. CO₂ laser cutting process of PMMA. *Journal Materials Science and Materials Engineering* 1(1):1-29.
- Emi, S., Masturi. 2013. Analisis interferensi cahaya laser terhambur menggunakan cermin datar “berdebu” untuk menentukan indeks bias kaca. *Jurnal Fisika* 2(1): 1-8.
- Fathurahman. 2015. *Analisis Performa Mesin Laser Cutting Gas CO₂ Kapasitas 80 Watt*. Universitas Gajah Mada.
- Febrianto, F., Hidayat, W., Samosir, T. P., Lin, H. C., Soong, H. D. 2010. Effect of Strand Combination on Dimensional Stability and Mechanical Properties of Oriented Strand Board made from Tropical Fast Growing Tree Species. *Journal of Biological Sciences* 10(3): 267–272.
- Fransiscus, A. O. D. H. 2016. *Optimalisasi Laser CO₂ Tipe Semi Sealed-of dengan Mengatur Arus Listrik Masukannya Pada Komposisi Campuran Gas Yang Optimum*. Skripsi thesis, Sanata Dharma University.
- Genna, S., Leone, C., Lopresto, V., L. Santo, Trovalusci. F. 2010. Study of fibre laser machining on C45 steel: influences of process parameters on material removal rate and roughness. *Int. J Mater Form*, Vol 3, pp.1115-1118.
- Gunawan, S. 2014. *Kontribusi Hasil Pelatihan Cnc Advanced Terhadap Perkembangan Industri Kreatif Indonesia*. Thesis. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Hakim, R., Widiastuti, H., Rendi. 2017. Analisa hasil kekasaran permukaan kayu terhadap jenis ketam. *J. Integrasi*. 9(2). 119 – 124.
- Halawane, J. E., Hidayah, H. N., Kinho, J. 2015. *Prospek Pengembangan Jabon Merah (Anthocephalus Macrophyllus (Roxb.) Solusi Kebutuhan Kayu Masa Depan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Balai Penelitian Kehutanan Manado, 68.
- Handoko, R. 2011. *Pengaruh Laser Power Output Dan Tekanan Gas Potong Terhadap Ketegaklurusan Sisi Hasil Pematangan Pelat Baja SS400 Dengan Laser Cutting*. Universitas Brawijaya.
- Harist, F. 2018. Rancang Bangun Sistem Control Mesin Laser Engraving dengan Microcontroller Arduino. *Skripsi thesis* President university.
- Harmanto, S. 2018. Pengaruh Kekasaran Ampelas Terhadap Kekasaran Permukaan Bahan Aluminium, Kayu Jati, Dan Mahoni. *Jurnal Rekayasa Mesin* 13(2): 38-45.

- Helen, M. M., Maria, M. S., Takdir, T., Bisman, P. A. 2013. Pengukuran daya laser CO₂ dan laser dpss serta pengamatan beam profiler sinar laser dpss dan laser he-ne menggunakan CCD. *Pusat Penelitian Fisika (P2F) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. (LIPI)*.1-5.
- Hidayat, W., Carolina, A., Febrianto, F. 2013. Physical, Mechanical, and Durability Properties of OSB Prepared from CCB Treated Fast Growing Tree Species Strands. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 11(1): 55–61.
- 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 Korean Wood Sci, Technol.* 45(2): 213-222.
- Hidayat, W., Febrianto, F. 2018. *Teknologi Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan: Modifikasi Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat-Sifat Kayu*. Buku. Pustaka Media. Bandar Lampung. 127p.
- 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. *E3S Web of Conferences* 68(1): 1-11.
- Hidayat, W., Rubiyanti, T., Sulistio, Y., Iryani, D. A., Haryanto, A., Amrul, Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U. 2021. Effects of Torrefaction Using COMB Dryer/Pyrolizer on the Properties of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and Jabon (*Anthocephalus cadamba*) Pellets. in: *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*, Bandar Lampung. 209–213.
- Hidayanti, N.A., Farooqi, A., Alsultan, O.I., Yusoff, N.B. 2017. Design and development of CNC robotic machine integrate-able with Nd-Yag laser device. *Procedia Engineering*. 184: 145 – 155.
- Hutabarat, O.S., Muhidong, J., Pakiding, F.L. 2014. Karakteristik Fisik Terung Belanda. *Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI*. 340p.
- Indarto. 2011. *Preferensi Konsumen dan Faktor Pengaruh Terhadap Konsumen*. Erlangga. Jakarta.
- Irawan, U.S., Purwanto, E. 2014. White jabon (*Anthocephalus cadamba*) and red jabon (*Anthocephalus macrophyllus*) for community land rehabilitation: Improving local provagation efforts. *Agricultural Science* 2(3):36–45.
- Krisnawati, H., Kallio, M. Kanninen, M. 2011. *Anthocephalus cadamba* Miq. *Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*: CIFOR pp. 22.
- Kaldos, H. J., Pieper, E., Wolf, M. K. 2004. Pemesinan laser dalam pembuatan

- cetakan - proses perkakas cepat modern. *Journal of Material Processing Technology* 155–156.
- Kucerov, V. Lagana, R., Hyrošov, T. 2019. Perubahan sifat kimia dan optic serat perak (*Abies alba* L.) kayu karena perlakuan termal. *Journal Wood Sci* 65:21.
- Ma'ruf, S. D., Bakri, S., Hidayat, W. 2020. Pengaruh Oil Heat Treatment terhadap Perubahan Warna dan Stabilitas Dimensi Kayu Gmelina (*Gmelina arborea*) dan Kelapa (*Cocos nucifera*). in: Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan LPPM Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia 218–221.
- Mindawati, N., Bogidarmanti, R., Nuroniah, H.S., Kosasih, A.S., Suharti, R. S., Junaedi, A., Rahmat, E., Rochmayanto, Y. 2010. *Silvikultur Jenis Alternatif Penghasil Kayu Pulp*. Pusat Penelitian
- Mishra, R.P., Siddique, L. 2011. Antibacterial properties of *Anthocephalus cadamba* fruits. *Asian Journal of Plant Science and Research* 1(2):1-7.
- Mulyana, D. 2011. *Bertanam Jabon*. Agromedia Pustaka. Bogor. 7.
- 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.
- Parta. 2019. Analisa kekasaran hasil proses kerja mesin simulator cnc raouter untuk material alumunium. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang* 3(1): 1-6.
- 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.
- Petru, A., Lunguleasa, A. 2014. *Wood Processing by Laser Tools*. Buku. International Scientific Committee. 213p.
- Petutschnigg, A., Stöckler, M., Steinwendner, F., Schnepps, J., Gütler, H., Blinzer, J., Holzer, H., Schnabel, T. 2013. “Perawatan laser pada permukaan kayu untuk inti ski: Studi parameter eksperimental,” *Kemajuan dalam Ilmu dan Teknik Material*, 123085.
- Prayoga, S., Ma'ruf, S. D., Febryano, I. G., Duryat, Hidayat, W. 2020. Peningkatan Kualitas Kayu Cepat Tumbuh: Pengaruh Durasi Perlakuan Panas dengan Minyak terhadap Sifat-Sifat Kayu Akasia dan Jabon. in: *Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi*

Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan LPPM Universitas Lampung, Bandar Lampung, 212–217.

- Pritam, A. 2016. Experimental investigation of laser deep engraving process for aisi 1045 stainless steel by fibre laser. *International Journal of Information Research and Review* 3(1): 1730-1734.
- Patel, S., Patel, S, Patel, A. 2015. Overview of the laser engraving process, JSRD - *International Journal of Scientific Research and Development* 3(1): 247-250.
- Prihadianto, Bram, D., Gesang, N. 2015. Pengaruh Kecepatan Potong Pada Pemotongan Polymethyl Methacrylate Menggunakan Mesin Laser Cutting. *Seminar Nasional Teknologi Malang*.
- Pritam, A. 2016. Experimental investigation of the deep laser engraving process for AISI 1045 stainless steel with a fiber laser. *International Journal of Research and Information Review* 3(1): 1730-1734
- Raharja, J. 2011. Jabon merah dan jabon putih. meraup untung besar dari kayu jabon. *Rona Publishing*. Yogyakarta. 112.
- Rahmah, N., Kaskoyo, H., Saputro, S. G., Hidayat, W. 2020. Analisis Biaya Produksi Furnitur: Studi Kasus di Mebel Barokah 3, Desa Marga Agung, Lampung Selatan. *Jurnal Sylva Lestari* 8(2): 207–217.
- Rahman, A. F., Amany, R., Suri, I. F., Febryano, I. G., Duryat, D., Hidayat, W. 2022. Pengaruh Daya Laser CO₂ terhadap Perubahan Warna Permukaan Kayu Meranti (*Shorea sp.*) dan Preferensi Konsumen. *Journal of People, Forest and Environment* 2(2), 60-68.
- Ramayanti, S., Suhartati, Aprianis, Y. 2009. *Potensi Jenis Tanaman Lokal Sebagai Alternatif Bahan Baku Pulp*. Gelar Teknologi Badan Litbang Kehutanan.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I. G., Bakri, S. 2019. Karakterisasi pelet kayu karet (*Hevea brasiliensis*) hasil torefaksi dengan menggunakan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari* 7(3): 321 331.
- Sadegh, M., A. 2016. An intelligent knowledge based system for CO₂ laser beam machining for optimization of design and manufacturing. *Int J Advanced Design and Manufacturing Technology*. 9(4): 39-50.
- Samarya, T, Y. 2015. Aplikasi laser co₂ untuk pemotongan (*cutting*) material menggunakan mesin cnc (*Control Numeric Computer*). *Saintia Fisika*.5:(1).
- Saputro, A. E., Darwis, M. 2020. Rancang bangun mesin laser engraver and cutter untuk membuat kemasan modul praktikum berbahan akrilik. *Jurnal*

Pengelolaan Laboratorium Pendidikan 2(1): 1-12.

- Satya, A. L., Arniawati, Ristamala S. 2015. Efisiensi pemasaran kayu jabon (*anthocephalus cadamba*) (Studi Kasus Hasil Hutan Rakyat Desa Wambulu Kecamatan Kapontori). *Ecogreen*. 1(1), 101-108.
- Siadari, T. P., Hilmanto, R., Hidayat, W. 2013. Potensi Kayu Rakyat dan Strategi Pengembangannya (Studi Kasus) di Hutan Rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari* 1(1): 75–84.
- Su C., Huang J., Luo J., Lai L., Wuang Y., 2012. Optimization of sanding parameter for wood surface of plantation-Mytilaria Laosensis. *Advanced Material Research* 538-541, pp. 1360 - 1364.
- Suardika, I. M. P., Ambarawati, I. G., Sukaatmadja, I. P. 2014. Analisis Perilaku Konsumen Terhadap Keputusan Pembelian Sayur Organik CV Golden Leaf Farm Bali. *Jurnal Manajemen Agribisnis* 2(1).
- Sudrajat, D. J., Siregar, I. Z., Siregar, U. J., Nurhasybi, N., Mansur, I., Khumaida, N. 2016. Intraspecific variation on early growth of *Neolamarckia cadamba* Miq. in provenance-progeny tests in West Java Province. *Biotropia* 23(1):10–20.
- Sudrajat, D. J. 2015. Keragaman populasi, uji provenansi dan adaptasi jabon (*Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser). *Disertasi Sekolah Pascasarjana*. Institut Pertanian Bogor.
- Suharto, S., Wattimena, R. M., Irianto, S., Setyawan, T. 2021. Pemesinan CNC laser gas CO₂ pada proses cutting engraving dan marking. *Prosiding Seminar Nasional NCIET* 2(1):160-169.
- Sulistio, Y., Febryano, I. G., Hasanudin, U., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hidayat, W. 2020. Pengaruh torefaksi dengan reactor counter-flow multi baffle (COMB) dan electric furnace terhadap pellet Kayu Jabon. *Jurnal Sylva Lestari* 8(1):65-76.
- 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. *BioResources* 16(3): 5574–5585.
- 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. *BioResources* 16(3): 5574–5585.

- Suryandari, E. Y. 2008. Analisis permintaan kayu bulat industri pengolahan kayu. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan* 5(1):15 -26.
- Tan P. L., Sharif, S., Sudin, I., 2012. Rougnees Models for Sanded Wood Surface. *Wood Science and technology* 46:129 - 142.
- Tohir, A. T. 2016. Studi Tentang Kekuatan dan Kekakuan Struktur Laser Carrier pada Mesin Fiber Laser Cutting. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 99.
- 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.
- 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.
- Wijayanti, M. 2011. *Analisis Preferensi Konsumen Dalam Membeli Daging Sapi di Pasar Tradisional Kabupaten Karanganyar*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Winarto. 2013. *Penyiapan Bahan Produksi Kriya Kayu*. Buku. Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Xu, M., David, J. M. 2018. The Fourth Industrial Revolution: Opportunities and Challenges”, *International Journal of Financial Research* 9(2): 90- 95.
- Yudo, E., Kurniawan, Z. 2018. Analisa kekasaran permukaan pada proses edm sinking menggunakan metoda response surface methodology. *Jurnal Manutech* 10 (1):18-57.
- Yakimovich, B., Chernykh, M., Stepanova, AI., Mikuláš Siklienka, M. 2016. The effect of the laser parameter selected on the quality of the image engraved on wood. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen* 58(2):45-50.
- Yie, L. P., Budiman., Rajitno, I. P. 2016. Visual acuity of patients after neodymium: yttrium-aluminium-garnet laser at cicendo eye hospital in 2013- 2014. *Althea Medical Journal*. 3(1): 99-102.
- Zain, V., Kaesang, S., Saleh, H. H. M. 2020. Analisis pengendalian persediaan bahan baku kayu pada Ud Rahma. *Jurnal Ilmu Manajemen Universitas Tadulako* 6(1): 051-061.