

**PENGARUH DAYA LASER CO₂ TERHADAP PERUBAHAN WARNA
DAN KEKASARAN PERMUKAAN PAPAN PARTIKEL DAN MDF**

Skripsi

oleh

**RASYIDAH AMANY
1814151003**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**PENGARUH DAYA LASER CO₂ TERHADAP PERUBAHAN WARNA DAN
KEKASARAN PERMUKAAN PAPAN PARTIKEL DAN MDF**

oleh

RASYIDAH AMANY

Skripsi

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

pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH DAYA LASER CO₂ TERHADAP PERUBAHAN WARNA DAN KEKASARAN PERMUKAAN PAPAN PARTIKEL DAN MDF

oleh

RASYIDAH AMANY

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dan menganalisis pengaruh daya laser CO₂ terhadap warna, kekasaran dan preferensi konsumen dari produk papan partikel dan MDF. Papan partikel dan MDF diukir dengan menggunakan daya laser 2,5 Watt (5%), 5 Watt (10%), 7,5 Watt (15%), 10 Watt (20%), 12,5 Watt (25%). Perubahan warna diuji dengan sistem CIE-Lab, perubahan kekasaran diuji dengan *roughness tester* dan preferensi konsumen dilakukan dengan wawancara responden. Hasil penelitian menunjukkan nilai perubahan warna total pada MDF pada daya 5% (2,5 Watt), 10% (5 Watt), 15% (7,5 Watt), 20% (10 Watt) dan 25% (12,5 Watt) yaitu 25,81; 42,31; 44,25; 44,88 dan 45,00 yang berarti warna berubah total. Sedangkan nilai perubahan warna total pada papan partikel pada daya 2,5 Watt; 5 Watt; 7,5 Watt; 10 Watt dan 12,5 Watt yaitu 25,16; 29,96; 30,76; 30,82 dan 30,90. Pengukuran nilai perubahan kekasaran MDF pada daya 2,5 Watt; 5 Watt; 7,5 Watt; 10 Watt dan 12,5 Watt yaitu 3,19 μm ; 11,81 μm ; 12,79 μm ; 12,89 μm dan 14,07 μm . Sedangkan perubahan kekasaran papan partikel pada daya 2,5 Watt; 5 Watt; 7,5 Watt; 10 Watt dan 12,5 Watt yaitu 5,65 μm ; 14,10 μm ; 15,77 μm ; 16,33 μm dan 17,29 μm . Analisis preferensi konsumen mendapatkan hasil bahwa konsumen lebih menyukai produk MDF dengan daya laser 10 Watt dengan total responden 31 orang dan produk partikel dengan daya 7,5 Watt dengan total responden 32 orang.

Kata kunci: daya laser, kekasaran, MDF, papan partikel, warna.

ABSTRACT

EFFECT OF CO₂ LASER POWER ON THE COLOR CHANGE AND SURFACE ROUGHNESS OF PARTICLE BOARD AND MDF

by

RASYIDAH AMANY

This study aimed to determine and analyse the effect of CO₂ laser power on colour, roughness and consumer preferences of particleboard and MD products. Particleboard and MDF are engraved using a laser power of 2.5 Watt (5%), 5 Watt (10%), 7.5 Watt (15%), 10 Watt (20%), 12.5 Watt (25%). Colour changes were tested with the CIE-Lab system, changes in roughness were tested with a roughness tester, and consumer preferences were measured by interviewing respondents. The results showed the value of total colour change in MDF at an power of 5% (2.5 Watt), 10% (5 Watt), 15% (7.5 Watt), 20% (10 Watt) and 25% (12.5 Watt) which is 25.81; 42.31; 44.25; 44.88 and 45.00 which means the colour was changed. While the value of the total colour change on the particle board at an power of 2.5 Watt; 5 Watts; 7.5 Watts; 10 Watt, and 12.5 Watt. 25.16; 29.96; 30.76; 30.82 and 30.90. Measurement of the value of the change in MDF roughness at an power of 2.5 Watt; 5 Watts; 7.5 Watts; 10 Watt, and 12.5 Watt is. 3.19 m; 11.81 m; 12.79 m; 12.89 m and 14.07 m. While the change in the roughness of the particle board at an power of 2.5 Watt; 5 Watts; 7.5 Watts; 10 Watt, and 12.5 Watt, which is 5.65 m; 14.10 m; 15.77 m; 16.33 m and 17.29 m. Consumer preference analysis shows that consumers prefer MDF products with 10-Watt laser power with a total of 31 respondents and particle products with an power of 7.5 Watt with a total of 32 respondents.

Keywords: laser power, roughness, MDF, particleboard, colour.

RIWAYAT HIDUP



Rasyidah Amany lahir di Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada tanggal 18 September 2000. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari Bapak Ahmad Rozali dan Ibu Nurhayati. Penulis menempuh pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) Al-Azhar II tahun 2005-2006, Sekolah Dasar (SD) Al-Azhar II tahun 2006-2012, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 8 Bandar Lampung tahun 2012-2015 dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 9 Bandar Lampung tahun 2015-2018.

Awal tahun 2018 penulis mendaftar program Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Jurusan Kehutanan (Himasyilva) dan menjadi anggota divisi Pengembangan Kewirausahaan tahun 2020. Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Pemetaan Hutan dan Sistem Informasi Geografis (PHSIG). Tahun 2022 penulis mempublikasikan karya ilmiah dengan judul “Preferensi Konsumen terhadap Perubahan Warna Papan Partikel Hasil Ukir Laser CO₂” yang terbit pada *Journal of People, Forest, and Environment* Volume 2 Nomor 2 Edisi November 2022. Penulis mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2021 di Kecamatan Labuhan Ratu, Kelurahan Labuhan Ratu Raya, Bandar Lampung, Lampung serta mengikuti Praktik Umum (PU) selama 20 hari di Taman Nasional Way Kambas (TNWK) tahun 2021.

PERSEMBAHAN

Teruntuk Keluargaku Tercinta

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh daya laser CO₂ terhadap perubahan warna dan kekasaran permukaan papan partikel dan MDF”.

Skripsi ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi syarat guna mendapatkan gelar sarjana kehutanan. Selain itu, tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memberikan pengetahuan kepada para pembaca. Selama penulisan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih 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 dan dosen penguji skripsi atas dukungan maupun kritik dan saran yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc. selaku pembimbing tunggal yang telah memberikan bimbingan serta masukan kepada penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Dian Iswandar, S.Hut., M.Sc. selaku dosen penguji atas dukungan maupun kritik dan saran yang telah diberikan.
5. Ibu Hj. Bainah Sari Dewi, S.Hut., M.P., IPM. selaku pembimbing akademik atas bimbingan, motivasi dan saranyang diberikan selama proses akademik berlangsung.

6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah membimbing dan mendidik penulis selama masa studi berlangsung.
7. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung yang telah memperbolehkan saya melakukan penelitian uji kekasaran kayu di Laboratorium Metrologi.
8. Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memperbolehkan saya melakukan penelitian uji mikroskopis di Laboratorium Hama Penyakit Tumbuhan.
9. Bapak dan Mami tercinta yang telah memberikan nasihat, dukungan serta doa yang tulus kepada saya.
10. Kakak - kakak yang saya sayangi Aying, Ses dan Gusti di Surga yang telah mendukung, menyemangati dan memberikan motivasi kepada saya.
11. Ponakan yang saya cintai Koko, Cici, Akoh, Acid dan Azka yang telah menghibur saya saat saya dalam keadaan lelah.
12. Teman-teman seperbimbingan saya Agus Wisesa Gatra Perkasa, Alim Fadila Rahman, Bagus Saputra, Karina Gracia Agatha Tambunan dan Rahel Monica Panggabean yang telah membantu dan memberikan motivasi kepada saya selama saya melaksanakan penelitian.
13. Teman-teman terbaik saya Dhea Avinda Lase, Ika Larasati, Kadek Wikan Nandini, Lis Nur Ajjiah, Mira Amelda Wati, Putri Nur Syamsia dan Selvira yang telah membantu dan memberikan motivasi serta dukungan kepada saya selama saya melaksanakan penelitian.
14. Sahabat-sahabat terkasih saya A. Ramdhoni Kusduandi, Aulia Hanifah, Eliza Putri, Isfa Nurul Ramadhani, M. Meidi Ardana Yudhistira, Meli Hertira, M. Putra Ramadhan, Novi Isnaeni, Olivfia Putri Azzahra, Risma Gustina dan Sabrina Zahra Salsabila yang telah menyemangati saya dalam penulisan skripsi ini.
15. Keluarga besar Angkatan 2018 Jurusan Kehutanan (CORSYL) atas bantuan fisik maupun pemikiran yang telah diberikan serta persaudaraan yang erat selama ini.

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

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

Bandar Lampung, 2022

Penulis,

Rasyidah Amany

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Kerangka Pemikiran	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Potensi Limbah Kayu di Indonesia	5
2.2. Papan Komposit	6
2.3. Jenis-Jenis Papan Komposit	7
2.3.1. Papan Serat Berkerapatan Sedang (MDF)	7
2.3.2. Papan Untai Berarah (OSB)	8
2.3.3. Papan Partikel	9
2.4. Laser	10
2.5. Jenis-Jenis Mesin Laser <i>Engraving</i>	11
2.5.1. Laser Fiber	11
2.5.2. Laser YAG	12
2.5.3. Laser CO ₂	13
2.6. Hubungan Daya laser terhadap Perubahan Warna	14
2.7. Hubungan Daya laser terhadap Kekasaran Permukaan Kayu	16
2.8. Preferensi Konsumen	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Waktu dan Tempat	19
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	19
3.3. Rancangan Penelitian	19
3.4. Prosedur Penelitian	20
3.4.1. Pembuatan Pola Ukiran dengan Laser CO ₂	20
3.4.2. Pengumpulan dan Pengamatan Data	22

Halaman	
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Sifat Dasar Bahan Penelitian	29
4.1.1. Kadar Air	29
4.1.2. Kerapatan	29
4.2. Perubahan Warna	30
4.3. Kekasaran	35
4.4. Mikroskopis	36
4.5. Preferensi Konsumen.....	38
V. SIMPULAN DAN SARAN	42
5.1. Simpulan.....	42
5.2. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	54

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi Perubahan Warna	24
2. Nilai kadar air papan komposit	29
3. Nilai kerapatan papan komposit.....	30
4. Perubahan warna secara papan komposit.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	4
2. Produk MDF.	8
3. Produk OSB.	9
4. Produk papan partikel.	10
5. Laser fiber.	12
6. Laser YAG.	13
7. Laser CO ₂	14
8. Prinsip kerja laser.....	15
9. Profil kekasaran permukaan.....	17
10. Mesin laser CO ₂ yang dipakai.....	20
11. Pola pengamatan pada papan komposit.	21
12. Pengukuran jarak laser ke papan komposit.....	22
13. Alat uji warna.	24
14. Alat uji kekasaran permukaan.....	25
15. Lebar hasil ukir.....	26
16. Pola preferensi konsumen.....	28
17. Tampilan visual sampel setelah laser engraving pada berbagai daya laser.....	31
18. Perubahan nilai L^* pada papan komposit.....	32
19. Perubahan nilai a^* pada papan komposit.....	33
20. Perubahan nilai b^* pada papan komposit.....	34
21. Pengaruh daya laser (%) terhadap perubahan Ra pada papan komposit.....	36

Gambar	Halaman
22. Pengaruh daya laser (%) terhadap lebar pengukiran pada papan komposisi.....	37
23. Lebar pengukiran setelah laser engraving pada MDF dengan berbagai daya laser.....	37
24. Lebar pengukiran setelah laser engraving pada papan partikel dengan berbagai daya laser	38
25. Produk laser pada MDF	39
26. Preferensi konsumen terhadap produk hasil ukir pada MDF.....	39
27. Produk laser pada papan partikel	40
28. Preferensi konsumen terhadap produk hasil ukir pada papan partikel.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Penelitian	54

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Hutan merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki nilai ekologi, ekonomi serta sosial yang tinggi (Sutana dan Wibawa, 2021). Salah satu hasil hutan yang melimpah adalah kayu yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia (Makkarennu *et al.*, 2010). Kebutuhan akan hasil hutan kayu yang terus meningkat tidak diimbangi dengan potensi hutan yang semakin berkurang sehingga menuntut penggunaan kayu secara efisien dan bijaksana. Menurut hasil pendataan kehutanan tahun 2020, total produksi kayu bulat di Indonesia adalah sebesar 61,02 juta m³ (BPS, 2020). Pemanfaatan produk hasil hutan kayu seperti pembuatan furnitur dan lainnya mengakibatkan banyaknya industri yang bergerak di bidang pengelolaan kayu. Industri primer hasil hutan kayu yang banyak bermunculan adalah industri penggergajian kayu (Putri, 2018; Rianto *et al.*, 2019). Industri penggergajian kayu merupakan suatu unit pengolahan kayu yang menggunakan bahan baku dolok, dengan alat utama bilah gergaji, dan mesin sebagai alat penggerak juga dilengkapi dengan alat dan mesin pembantu lain (Utama *et al.*, 2019; Wulandari, 2019). Bagian pohon digunakan dalam pengolahan kayu tidak semua dipakai untuk diolah, banyak bagian dari pohon seperti kulit, ranting, daun, akar yang tidak terpakai dan menjadi limbah. Pengelolaan industri penggergajian kayu banyak sekali menghasilkan limbah serbuk kayu (Baskara *et al.*, 2022; Hidayat *et al.*, 2022).

Limbah kayu dapat diartikan sebagai sisa potongan dalam berbagai bentuk dan ukuran yang dalam proses produksinya terpaksa harus dikorbankan karena tidak dapat menghasilkan produk yang bernilai tinggi dari segi ekonominya (Wulandari, 2019). Salah satu alternatif dalam mengurangi penurunan potensi kayu dan upaya yang dapat dilakukan dalam mengurangi limbah industri

pengelolaan yaitu dengan pembuatan papan komposit. Papan komposit merupakan campuran atau perpaduan dari dua unsur-unsur pokok yang berbeda sehingga menghasilkan suatu produk baru contohnya seperti papan serat berkerapatan sedang, papan partikel, dan papan untai berarah (Aisyah *et al.*, 2021; Archila *et al.*, 2017; Fatrawana *et al.*, 2019).

Medium Density Fiberboard (MDF) atau papan serat berkerapatan sedang merupakan produk papan komposit yang dibentuk dengan mencampur serat alami dengan campuran perekat, yang dicetak menggunakan pengepresan atau tekanan panas pada suhu tinggi (Lubis *et al.*, 2021). Papan partikel adalah produk komposit yang terbuat dari serpihan kayu atau bahan berlignoselulosa lain, yang diikat dengan perekat atau bahan pengikat lain kemudian di kempa panas (Ginting *et al.*, 2016). Produk olahan limbah seperti papan komposit agar lebih bernilai ekonomi tinggi, maka dibutuhkan inovasi baru seperti pembuatan karya seni di atas papan komposit dengan menggunakan teknologi laser CO₂.

Laser CO₂ adalah sebuah teknologi yang menggunakan laser gas yang bersumber dari gas karbon dioksida (CO₂) kemudian distimulasikan menggunakan proses elektrik untuk memotong material dan biasanya diaplikasikan pada industri manufaktur. Laser CO₂ bekerja dengan cara mengarahkan laser berkekuatan tinggi untuk memotong atau mengukir material (Saputro dan Darwis, 2020). Adanya pengaruh radiasi dari proses pengukiran MDF dan papan partikel menggunakan laser menyebabkan perubahan warna dan perubahan tekstur permukaan papan kayu komposit tersebut (Kacik dan Kubovsky, 2011).

Perubahan warna dan perubahan kekasaran permukaan kayu tersebut disebabkan oleh adanya pembakaran yang terjadi yang dilakukan oleh laser CO₂. Perubahan yang paling jelas secara visual setelah dilakukannya pembakaran atau perlakuan panas pada kayu adalah penurunan tingkat kecerahan (L^*) atau penggelapan warna pada kayu (Hidayat dan Febrianto, 2018). Kekasaran permukaan pada proses permesinan produk tidak harus memiliki nilai yang kecil, namun terkadang sebuah produk membutuhkan nilai kekasaran yang besar sesuai dengan fungsi dari produk tersebut (Parta, 2019).

Semakin majunya ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), kualitas hasil produksi yang diperjualbelikan harus sesuai dengan komponen yang dipakai

dalam pembuatan produk tersebut, khususnya produk yang dalam pembuatannya menggunakan mesin-mesin seperti mesin laser CO₂ (Ichsan *et al.*, 2020). Penelitian terkait pengaruh daya laser CO₂ terhadap warna dan kekasaran permukaan MDF (*Medium Density Fiberboard*) dan papan partikel penting dilakukan untuk mengetahui kondisi yang optimal untuk menghasilkan produk ukir kayu yang sesuai dengan preferensi konsumen. Penelitian ini juga dilakukan karena belum adanya penelitian terkait yang membahas pengaruh daya laser dengan 5 variasi daya laser yang berbeda terhadap perubahan warna dan perubahan kekasaran permukaan papan partikel dan MDF serta mengetahui bagaimana daya penggunaan laser CO₂ yang baik, agar produk kayu tersebut dapat bernilai ekonomi tinggi.

1.2. Tujuan Penelitian

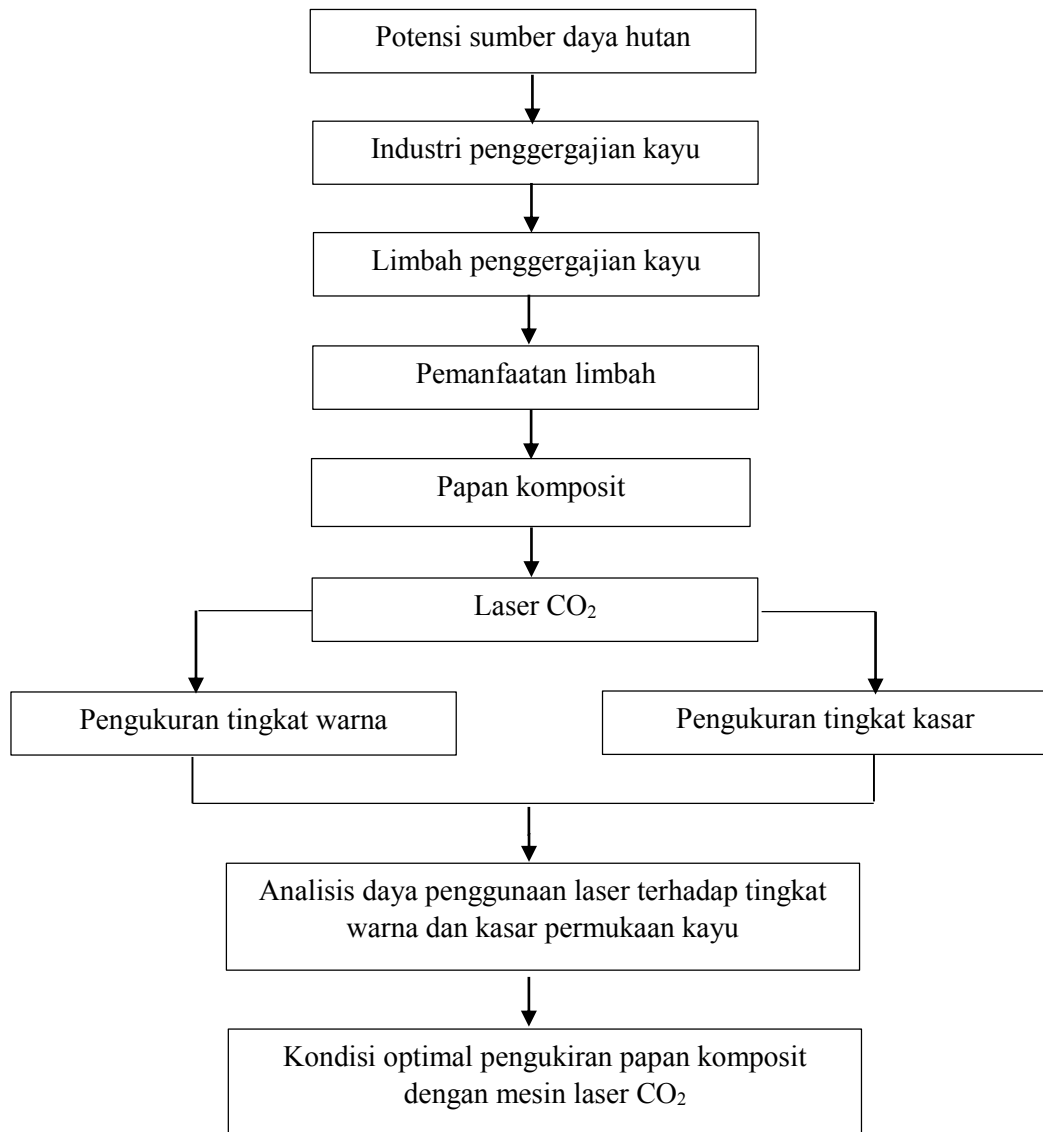
Penelitian pengaruh daya laser CO₂ terhadap warna dan kekasaran permukaan papan komposit memiliki tujuan sebagai berikut:

1. mengetahui pengaruh daya laser CO₂ terhadap warna permukaan MDF dan papan partikel.
2. mengetahui pengaruh daya laser CO₂ terhadap kekasaran permukaan MDF dan papan partikel.
3. menganalisis preferensi konsumen terhadap produk laser CO₂ yang paling disukai.

1.3. Kerangka Pemikiran

Sumber daya alam Indonesia merupakan sumber daya alam yang banyak memiliki keanekaragaman di dalamnya, salah satunya sumber daya hutan berupa kayu. Pemanfaatan kayu yang melimpah menyebabkan timbulnya berbagai industri pengolahan kayu seperti industri penggergajian yang banyak meninggalkan limbah dalam pengelolaannya. Limbah dari industri pengolahan kayu ini dapat bernilai ekonomi tinggi jika diolah kembali menjadi bahan bakar atau dapat menjadi papan kayu komposit. Peningkatkan nilai ekonomi dari produk seperti papan kayu komposit perlu dilakukannya inovasi-inovasi baru

seperti pembuatan furnitur, hiasan, dan ukiran di atas permukaan papan kayu tersebut. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Potensi Limbah Kayu di Indonesia

Hutan memiliki manfaat sangat besar bagi kehidupan, sumber daya hutan yang banyak dimanfaatkan manusia adalah kayu (Surasana *et al.*, 2020). Mengacu pada deforestasi hutan yang cukup mengkhawatirkan di berbagai daerah akibat dari penebangan hutan dan eksploitasi hutan yang berlebihan, potensi kayu akan terus berkurang seiring dengan hal tersebut. Deforestasi dan eksploitasi ini juga mengakibatkan produksi hasil hutan juga ikut menurun, untuk mengatasi penurunan kualitas hutan, perlu adanya alternatif yang dapat menggantikan penggunaan kayu (Alamsjah *et al.*, 2016). Industri pengolahan kayu menjadi industri yang paling diperhatikan karena merupakan industri yang sangat bergantung pada kayu sebagai komoditas utama hasil hutan (Nurjanah, 2020).

Limbah merupakan sisa atau bagian dari kayu yang dianggap tidak ekonomis lagi dalam pemanfaatannya, tetapi dilain tempat dapat sangat bernilai ekonomis (Jumawan dan Ali, 2020). Indonesia memiliki 3 macam industri pengelolaan kayu yang terdiri atas industri penggergajian, industri kayu lapis dan industri kertas, ketiga industri tersebut yang menimbulkan masalah adalah limbah penggergajian. Menurut Sutarman (2016) dan Zulkifli (2021), total produksi kayu gergajian di Indonesia mencapai 2,6 juta m³ per tahun, dengan asumsi jumlah limbah yang dihasilkan mencapai 54,24% dari total produksi, maka limbah tahunan yang dihasilkan dari limbah tersebut sebesar 1,4 juta m³ per tahun. Penggergajian merupakan kegiatan mengubah dimensi kayu bulat menjadi kayu gergajian yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat (Aditya *et al.*, 2019). Proses penggergajian merupakan proses terpenting dalam industri pengolahan kayu, karena pada tahap ini kayu akan lebih mudah dikerjakan karena telah dibagi menjadi beberapa bagian atau berbagai sortimen (Utama *et al.*, 2019).

Serbuk gergaji merupakan salah satu limbah yang banyak sekali ditemukan sehingga jumlahnya melimpah. Serbuk gergaji adalah butiran kayu yang dihasilkan dari proses penggergajian kayu. Jumlah serbuk gergaji yang dihasilkan dari pemanenan dan pengolahan kayu bulat sangat banyak. Balai penelitian Hasil Hutan (BPHH) pada kilang penggergajian di Sumatera dan Kalimantan serta Perum Perhutani di Jawa menunjukkan bahwa rata-rata rendemen yang dihasilkan selama proses penggergajian adalah 45% dan sisa dari rendemen tersebut yaitu 55% berupa limbah dan sebanyak 10% dari total limbah penggergajian yang dihasilkan merupakan serbuk gergaji (Agustin *et al.*, 2014; Wijaya, 2020).

2.2. Papan Komposit

Akumulasi limbah serbuk gergaji yang dibiarkan dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku pembuatan serta pembuatan ide kreatifitas lainnya. Serbuk kayu mengandung beberapa komponen utama yaitu, hemiselulosa, lignin, dan beberapa zat lain salah satunya zat ekstratif kayu. Serbuk kayu merupakan bahan berpori, sehingga air dapat dengan mudah terserap dan mengisi pori-pori tersebut (Hermita, 2016; Purba dan Lubis, 2018). Bentuk pemanfaatan limbah kayu yang mempunyai prospek pemasaran dalam negeri dan luar negeri yang cerah adalah industri papan komposit (Alamsjah *et al.*, 2016; Trisatya dan Sulastiningsih, 2019).

Komposit merupakan penggabungan atau perpaduan dua atau lebih material untuk memperoleh sifat baru yang diinginkan dengan menggunakan perekat dan limbah sebagai bahan utama dalam proses pembuatannya (Sunardi *et al.*, 2017; Triwibowo *et al.*, 2020). Komposit juga dapat diartikan sebagai material yang terdiri dari lebih dari satu macam bahan yang apabila diuji dengan menggunakan mikroskopis tetap terpisah tetapi membentuk komponen tunggal, komposit sendiri secara sederhana dapat dimaknakan bahan gabungan yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda (Lumintang *et al.*, 2018; Maulana *et al.*, 2021a).

Keunggulan dari produk komposit ini yaitu banyaknya bahan baku yang tersedia dari berbagai proses pengolahan kayu pada industri penggergajian, kerapatan yang rendah, dapat diaplikasikan di berbagai keperluan, dan dapat di daur ulang (Lestari *et al.*, 2021; Maulana *et al.*, 2021b; Yuliza dan Ekawita,

2019). Papan komposit selain memiliki keunggulan tersebut juga memiliki kekurangan yaitu tidak kuat menahan beban berlebih (Hasan *et al.*, 2021; Maulana *et al.*, 2021c).

2.3. Jenis-Jenis Papan Komposit

2.3.1. Papan Serat Berkerapatan Sedang (MDF)

Papan serat berkerapatan sedang atau MDF merupakan salah satu jenis produk panel kayu yang dibuat dari bahan-bahan berlignoselulosa, khususnya kayu. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan MDF dapat berasal dari serat dari berbagai jenis kayu atau limbah berbahan lignoselulosa yang dalam pembentukannya perlu menambahkan bahan perekat untuk menyatukan ikatan antar serat. Produk MDF (Gambar 2) yang dijual di pasaran banyak menggunakan bahan perekat berbasis *formaldehida* antara lain *urea formaldehida* (UF), *phenol formaldehida* (PF), dan *melamin formaldehida* (MF) (Wahyudi *et al.*, 2017; Wahyudi *et al.*, 2019).

MDF dengan perekat berbasis *formaldehida* menyisakan permasalahan yaitu pada saat proses produksi maupun hasil produknya menghasilkan emisi *formaldehida*. Senyawa ini dapat menimbulkan kanker, iritasi pada mata dan gangguan pernapasan (Situmorang, 2018). Selama ini, perekat *formaldehida* yang digunakan merupakan hasil dari pengolahan minyak bumi yang merupakan sumber daya alam tidak dapat diperbaharui (Rachmawati *et al.*, 2018). Kelebihan dari MDF yaitu merupakan papan dengan permukaan yang halus, memiliki fungsi yang serbaguna. Kekurangannya MDF mudah menyerap air akibatnya MDF mudah berjamur, lebih rentan rusak (Wahyudi *et al.*, 2017).



(Sumber : Kreasimudaindonesia.com).

Gambar 2. Produk MDF.

2.3.2. Papan Untai Berarah (OSB)

OSB adalah produk papan kayu struktural yang terbuat dari partikel yang berbentuk untaian dan perekat *thermosetting* tahan air dengan dibentuk arah seratnya sedemikian rupa dimana arah serat lapisan permukaan tegak lurus dengan arah serat lapisan inti sehingga memiliki kekuatan dan karakteristik seperti kayu lapis (Hariz *et al.*, 2021; Maulana *et al.*, 2021c; Sinaga, 2021). Sifat fisis dan mekanis papan untaian berarah dipengaruhi oleh struktur lapisan, panjang untaian, jenis kayu yang dipakai dan kadar perekatnya (Arifin *et al.*, 2018; Febrianto *et al.*, 2010a).

OSB merupakan papan komposit pengembangan dari papan wafer atau untaian serat kayu dengan bentuk yang tidak sama dan dapat dibuat dari limbah industri perkayuan (Febrianto *et al.*, 2010b). Sifat-sifat kekuatan OSB dianggap cocok dipakai sebagai pengganti dari kayu pada umumnya, dan dapat diaplikasikan pada desain dalam rumah. Faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari OSB adalah jenis bahan baku, jenis dan kadar perekat, perlakuan pendahuluan, zat ekstraktif, *shelling ratio*, rasio kompresi, dan profil kerapatan (Febrianto *et al.*, 2017; Simamora, 2021). Produk OSB (Gambar 3) memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan papan komposit lain yaitu dapat digunakan untuk aplikasi struktural dan non-struktural seperti bingkai furnitur, papan dekoratif, lemari, permukaan meja industri dan lainnya (Tambunan, 2021).



(Sumber : muhamadnahrowi26.blogspot.com).

Gambar 3. Produk OSB.

2.3.3. Papan Partikel

Papan partikel merupakan produk kayu yang terbuat dan diproduksi dari gabungan partikel kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya yang direkatkan dengan perekat alami seperti perekat nabati juga hewani atau perekat sintetis kemudian dibentuk dengan dikempa panas (Sutiawan *et al.*,2020). Sifat dari papan partikel dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan baku yang digunakan, teknik pembuatan papan, jenis dan kondisi perekat yang digunakan, sifat fisik partikel papan, serta proses lanjutan papan partikel (Abidin dan Daniawan, 2020; Purba, 2018). Karakteristik papan partikel menurut SNI 03-2105-2006 yaitu memiliki kerapatan 0,4-0,9 g/cm³, kadar air <14%, *Modulus of Rapture* (MOR) minimal 82 kgf/cm², *Modulus of Elasticity* (MOE) minimal 20.400 kgf/cm².

MOR atau kuat tekan papan partikel merupakan sifat mekanik yang menunjukkan kekuatan papan dalam menahan beban yang berada di atasnya (Septiari *et al.*, 2014). Kelebihan dari papan partikel sendiri adalah bahan baku utamanya yang berasal dari serat alam yang dapat diperoleh dari limbah lingkungan dan dapat dibuat proses yang relatif murah, papan partikel juga bebas dari cacat kayu seperti mata kayu, pecah ujung, maupun lainnya (Fitra *et al.*,

2019). Produk papan partikel yang biasa ditemukan di pasaran dapat dilihat pada Gambar 4.



Sumber: sembilanstudio.com.

Gambar 4. Produk papan partikel.

2.4. Laser

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) adalah suatu alat yang memiliki mekanisme kerja dengan memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak kasar mata atau terlihat oleh normal, melalui proses pancaran terstimulasi. Pancaran laser biasanya tunggal, memancarkan foton dalam pancaran sinar koheren. Prinsip kerjanya adalah energi sinar laser meleleh dan menguapkan bahan atau material yang akan dipotong (Luthfi *et al.*, 2021; Sulistri, 2013).

Laser mempunyai beberapa bagian utama yaitu pumping device berupa elektrode, laser resonator/laser tube, mirror/cermin, dan lensa (Tohir, 2016). Laser merupakan sebuah radiasi elektromagnetik yang berasal dari perubahan energi pada atom dalam beberapa material (Afdloil *et al.*, 2020). Laser *cutting* merupakan teknik pemotongan menggunakan sinar laser dengan cara mengarahkan laser berkekuatan tinggi untuk memotong material dan menggunakan computer untuk mengorepasikannya. Penggunaan mesin laser tidak menimbulkan keretakan pada material dan menghasilkan pemotongan yang halus dan rapi (Samboro *et al.*, 2017).

2.5. Jenis-jenis Mesin Laser *Engraving*

Aplikasi dalam pemanfaatan laser telah banyak digunakan oleh masyarakat seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, salah satunya mesin laser. Mesin laser biasanya banyak digunakan dalam berbagai jenis industri, baik dalam industri manufaktur maupun industri kreatif lainnya. Penggunaan mesin laser pada industri manufaktur lebih ditunjukkan pada pembuatan plat besi dan pembuatan kontur pada lempengan besi. Sedangkan pada industri kreatif seperti industri kerajinan, mesin laser banyak digunakan untuk pembuatan gantungan kunci, mengukir produk, dan lainnya (Armansyah *et al.*, 2018; Nugroho *et al.*, 2018). Terdapat berbagai macam jenis mesin laser, antara lain laser fiber, laser YAG (*Yttrium Aluminium Garnet*) dan laser CO₂.

2.5.1. Laser Fiber

Laser fiber merupakan laser yang pembuatan sinarnya menggunakan serat kaca, laser ini memiliki ketajaman yang sangat halus dan paling detail dibandingkan dengan tipe laser YAG dan laser CO₂. Panjang gelombang dari laser fiber yaitu 1,070 – 1,080 mikrometer dengan lebar garis tipikal 3 nm, dengan suplai energinya berasal dari dioda pompa. Laser fiber menghasilkan diameter fokus yang sangat kecil sehingga intensitasnya 100 kali lebih tinggi dari laser CO₂ (Tamura *et al.*, 2015).

Laser fiber (Gambar 5) umumnya digunakan untuk *cutting* (potong), *engraving* (ukir), dan *marking* (menandai). Hasil akhir dari laser fiber sangat bagus maka laser fiber merupakan laser yang paling mahal jika dibandingkan dengan laser YAG dan laser CO₂. Kelebihan fiber laser selain memiliki tingkat detail dan kehalusan paling tinggi, fiber laser juga bebas perawatan dan memiliki masa umur produksi yang paling lama sekitar 25.000 jam (Tohir, 2016).



Sumber: aliexpress.com.

Gambar 5. Laser fiber.

2.5.2. Laser YAG

Laser YAG merupakan jenis laser metal yang berada di kelas menengah, dengan fitur seperti fiber, dan harga yang lebih murah dibanding fiber laser tetapi masa penggunaannya lebih pendek dibandingkan dengan laser fiber (Tohir, 2016). Laser YAG merupakan laser yang menggunakan kristal optik jenis isotropic dengan struktur kubik yang memiliki kekerasan mohs tinggi, yaitu 8,5 dan konduktivitas termal yang relatif tinggi sekitar 13 W/Mk (Prochaska, 2020). Komponen yang digunakan dalam laser ini adalah Nd: YAG (*Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet*) dan Nd:YOV (*Neodymium-Doped Yttrium Ortho-Vanadate*). Panjang gelombang dari laser YAG yaitu 1,064 mikrometer (Yie *et al.*, 2014).

Laser YAG seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 umumnya digunakan dalam dunia medis, laser ini banyak digunakan sebagai alat terapi yang aman karena menggunakan metode penetrasi yang aman, tanpa rasa sakit, karena menggunakan efek fototermal. Laser YAG ini juga biasa digunakan dalam dunia kecantikan seperti perawatan wajah dan pengobatan *acne scars* (Elsodany *et al.*, 2018).



Sumber: alibaba.com.

Gambar 6. Laser YAG.

2.5.3. Laser CO₂

Laser CO₂ merupakan salah satu laser yang menghasilkan energi yang tinggi dan salah satu laser yang efisien dengan memanfaatkan gas CO₂ (Manurung *et al.*, 2013). Gas CO₂ ini diletakkan dalam bentuk tabung, tabung CO₂ inilah yang digunakan untuk menembakkan sinar laser (Hadi *et al.*, 2021). Keunggulan yang dimiliki dari laser CO₂ adalah efisiensi yang tinggi dan output daya yang tinggi. Besarnya output daya berkisar antara 5 – 20% dari input daya untuk sinar yang dihasilkan dan itu merupakan nilai tertinggi yang dihasilkan oleh laser jika dibandingkan dengan jenis laser gas tipe lainnya. Panjang gelombang laser CO₂ antara 9 – 11 μm sehingga dengan panjang gelombang tersebut laser CO₂ dapat digunakan untuk material (Prihadianto dan Nugroho, 2018).

Menurut Nugroho dan Utama (2019), proses pengukiran dengan laser CO₂ memiliki beberapa kelemahan, antara lain membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan warna permukaan yang diinginkan, sehingga proses pengaturan parameter pada laser akan semakin lama. Karena permasalahan tersebut, dilakukan uji optimasi untuk menentukan parameter-parameter yang sesuai untuk mendapatkan kekasaran ukir dan warna yang dibutuhkan. Laser CO₂ dapat dilihat pada Gambar 7.



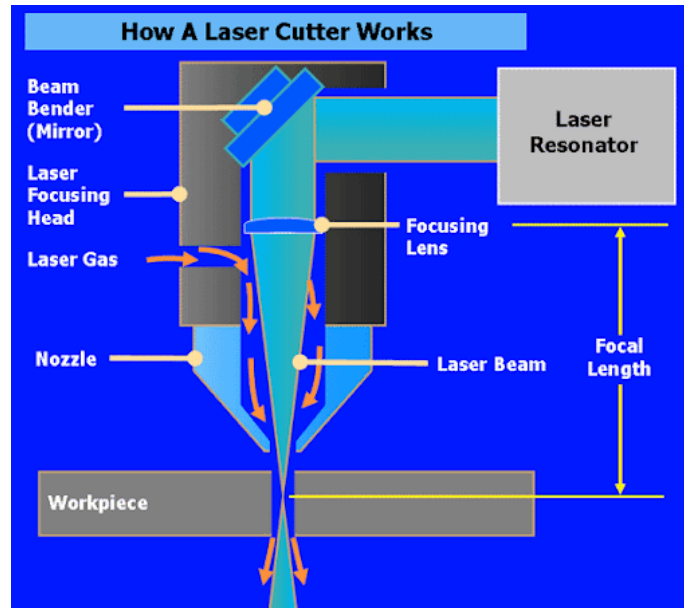
Sumber: bengkelprint.co.id.

Gambar 7. Laser CO₂.

2.6. Hubungan Daya laser terhadap Perubahan Warna

Salah satu sifat dasar yang dapat mempengaruhi sifat kayu dan sifat pengolahan kayu adalah sifat kimia. Sifat kimia yang dapat mempengaruhi sifat kayu tersebut antara lain warna, daya tahan kayu, rekat, pengerjaan, kekuatan kayu dan sifat-sifat lainnya. Selain itu, sifat warna menjadi perhatian karena dapat meningkatkan nilai ekonomis produk akhir kayunya (Lukmandaru *et al.*, 2015; Zulkahfi *et al.*, 2020). Secara alami kayu memiliki struktur selulosa yang terdiri atas gugusan grup hidroksil khromophorik aromatik yang mampu menyerap energi cahaya, sehingga pada saat terjadi radiasi sinar matahari, energi cahaya menyebabkan reaksi kimia delignifikasi dan pelunturan zat warna pada kayu (Krisdianto *et al.*, 2018).

Papan komposit yang diukir menggunakan laser dapat mengalami perubahan warna, karena pada prinsipnya cara kerja mesin laser yaitu mengubah energi listrik menjadi energi panas. Sinar laser berdaya tinggi yang dipancarkan oleh generator mengenai benda kerja yang pada nantinya material seperti papan komposit akan meleleh, terbakar, terlubangi atau menguap oleh laser (Fibriati, 2020). Prinsip kerja mesin laser dapat dilihat pada Gambar 8.



Sumber: fabacademy.org.

Gambar 8. Prinsip kerja laser.

Prinsip kerja laser tersebut dapat menentukan tingkat warna pada permukaan kayu komposit, karena adanya pembakaran oleh sinar laser maka terjadi perubahan kecerahan warna pada papan komposit tersebut. Perubahan kecerahan (ΔL^*) merupakan parameter paling utama yang mempengaruhi perubahan warna sebelum dan sesudah dilaser (Hidayat *et al.*, 2018). Penentuan tingkat perubahan warna yang terjadi pada permukaan papan komposit dapat digunakan dengan uji CIE-LAB. Sistem CIE-LAB merupakan model tiga dimensi, hanya dapat dibaca dan digambarkan dalam ruang tiga dimensi, pengukuran warna menggunakan metode CIE-LAB jauh lebih cepat dan cukup akurat (Sinaga, 2019).

Perubahan warna yang terjadi pada proses pengukiran dengan mesin laser CO₂ dengan parameter yang dapat dilihat yaitu kecerahan, apabila daya laser CO₂ yang digunakan rendah, maka material yang terbakar tidak meninggalkan bekas pembakaran yang gelap. Sedangkan jika daya laser CO₂ yang digunakan tinggi, maka material yang terbakar akan meninggalkan bekas pembakaran (Samboro *et al.*, 2017).

2.7. Hubungan Daya laser terhadap Kekasaran Permukaan Kayu

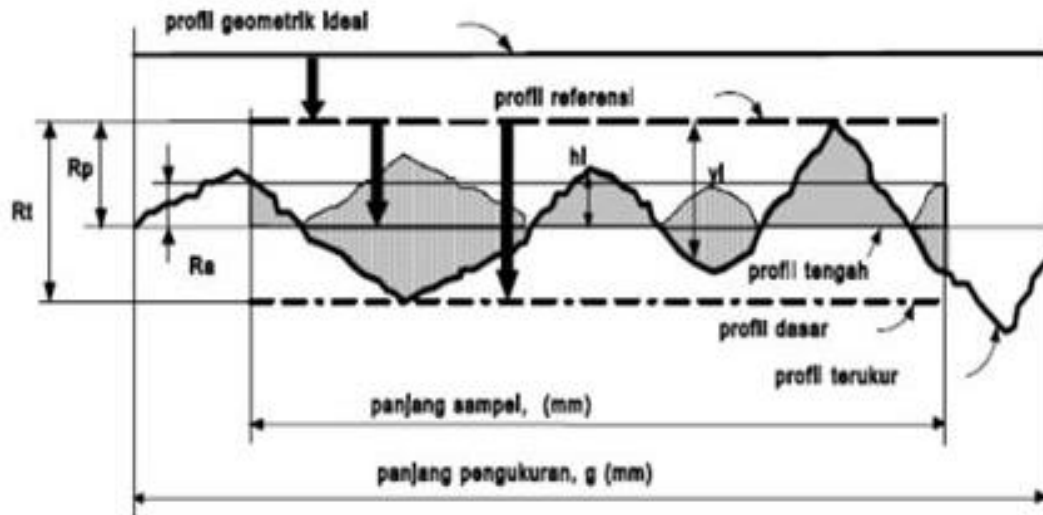
Pola pikir konsumen yang semakin berkembang seiring dengan majunya dunia industri manufaktur menyebabkan konsumen tidak hanya memilih harga yang paling murah, tetapi juga menjadi lebih memperhatikan kualitas produk hasil olahan pemesinan, salah satunya yaitu tingkat kekasaran permukaan atau dapat dikenal dengan *surface roughness* (Isyrouddin dan Sumbodo, 2020). Kekasaran merupakan salah satu konfigurasi permukaan yang apabila dengan bantuan alat pembesar sebenarnya tidak serapi dan sehalus yang kita lihat dengan bantuan suatu alat pembesar sebenarnya tidak serapi dan sehalus yang kita lihat oleh mata secara langsung. Kekasaran permukaan merupakan sebagai ketidakaturan konfigurasi permukaan pada suatu benda atau bidang (Yudo dan Kurniawan, 2018). Kekasaran permukaan merupakan salah satu penyimpangan yang dapat terjadi oleh kondisi benda kerja dan proses permesinan. Oleh karena itu, untuk mendapatkan produk yang berkualitas tinggi dengan kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan yang baik, harus didukung dengan proses permesinan yang benar (Yanuar *et al.*, 2014).

Menurut Isyrouddin dan Sumbodo (2020), mengemukakan bahwa tingkat kehalusan permukaan kayu mempunyai peranan yang penting dalam suatu komponen produk khususnya produk yang dalam pembuatannya memiliki sangkut paut dengan masalah gesekan pelumasan, keausan dan sebagainya. *Surface Roughness Tester* merupakan alat pengukuran kekasaran permukaan. *Surface Roughness Tester* dapat diartikan sebagai ketidakaturan bentuk yang disertai dengan proses produksi yang diakibatkan oleh pengerjaan mesin. Nilai kekasaran dinyatakan dalam *Roughness Average* (Ra). Ra adalah parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional. Ra dapat diartikan sebagai rata-rata aritmatika dan penyimpangan akhir profil kekasaran dari garis tengah rata-rata (Laksono, 2016). Profil kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 9.

Beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mempresentasikan kekasaran permukaan adalah:

1. kekasaran rata-rata Aritmatik (*mean roughness index*) atau Ra merupakan kekasaran yang diukur dari total rata-rata luasan yang terbentuk dari profil permukaan benda kerja.

2. kekasaran total (*peak to valley*) atau R_t merupakan kekasaran yang diukur dari bagian teratas profil ke bagian terbawah profil permukaan benda kerja.
3. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness*) atau R_p merupakan jarak rata-rata antara profil yang ditentukan dengan profil diukur (Abbas *et al.*, 2013).



Sumber: ismantoalpha.blogspot.com.

Gambar 9. Profil kekasaran permukaan.

2.8. Preferensi Konsumen

Pemasaran merupakan bagaimana cara kita memuaskan kebutuhan pelanggan. Jika pemasar atau penjual dapat memahami kebutuhan pelanggan dengan baik, mampu mengembangkan produk yang memiliki nilai tinggi dan menetapkan harga, serta dapat mendistribusikan dan mempromosikan produknya secara efektif, maka produk-produk tersebut akan terjual dengan mudah (Saleh dan Said, 2019). Sebuah pemasaran memerlukan strategi pemasaran, strategi pemasaran ini adalah rangkaian rencana untuk mencapai tujuan pasar serta konsumen diubah untuk mengonsumsi produk yang dimiliki dan dihasilkan oleh perusahaan secara terus menerus sehingga produknya dapat dikenal dan digunakan kembali oleh konsumen (Abdullah *et al.*, 2021). Sebelum dilakukannya pemasaran, pemasar atau penjual perlu melakukan survei preferensi konsumen, agar pemasar dapat mengerti kemauan konsumen.

Preferensi merupakan suatu pilihan, kesukaan ataupun suatu hal yang lebih disukai (Rochaeni, 2013). Sedangkan, preferensi konsumen merupakan sebuah

keputusan evaluasi konsumen yang mempertimbangkan dua atau lebih objek di dalamnya karena akan selalu melibatkan perbandingan, bisa dikatakan bahwa preferensi konsumen ini dapat diartikan dengan kebiasaan seseorang saat melakukan pilihan terhadap kesukaan mereka pada suatu produk baik berupa barang maupun jasa dari berbagai pilihan produk yang ada (Saefudin *et al.*, 2020). Pemahaman terkait preferensi konsumen ini memiliki tujuan untuk meneruskan strategi pemasaran secara terus-menerut atau secara berkelanjutan agar barang ataupun jasa yang dijual atau diperdagangkan tetap diminati oleh konsumen (Aiman *et al.*, 2017).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Maret 2022 sampai Mei 2022 di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan dan Workshop Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Analisis tingkat kekasaran permukaan papan kayu dilaksanakan di Laboratorium Metrologi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Analisis mikroskopis dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Hama Tumbuhan, Jurusan Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sarung tangan, mesin laser CO₂, alat tulis, komputer, mikroskop, *stabilizer*, kamera, *Surface Roughness Tester*, kacamata laboratorium, masker, dan sarung tangan. Sedangkan, bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah papan kayu MDF dan papan partikel dengan masing-masing berukuran ukuran 20 cm x 30 cm x 0,9 cm, kuesioner dan *tally sheet*.

3.3. Rancangan Penelitian

Metode pada penelitian ini adalah metode eksperimen skala laboratorium.. Penelitian menggunakan satu faktor yang diperkirakan mempengaruhi tingkat warna dan tingkat kekasaran permukaan papan komposit. 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 5% (2,5 Watt), 10% (5 Watt), dan 15% (7,5 Watt), 20% (10 Watt), dan 25% (12,5 Watt). Masing-masing perlakuan akan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dengan media yang dijadikan objek penelitian yaitu MDF, papan partikel.

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Pembuatan Pola Ukiran dengan Laser CO₂

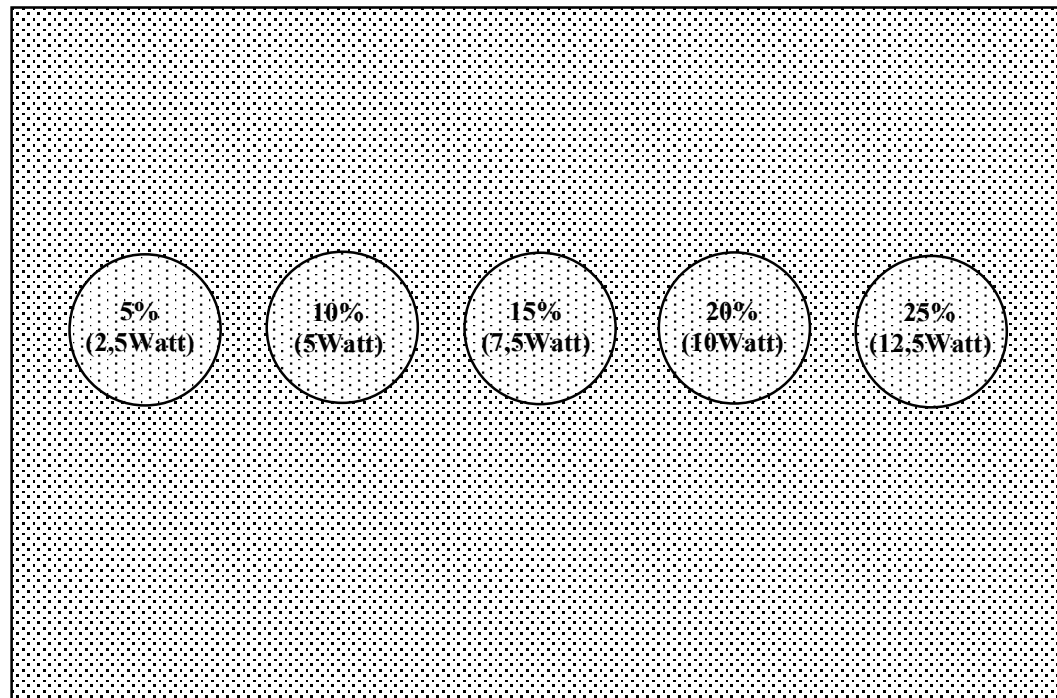
Tahapan sebelum melakukan proses pengukiran MDF dan papan partikel dengan laser CO₂ adalah pembuatan desain melalui aplikasi corel draw dan corel laser. Mesin laser CO₂ (LS-6040 50W, Glorystar, Shenzen, China) yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 10.



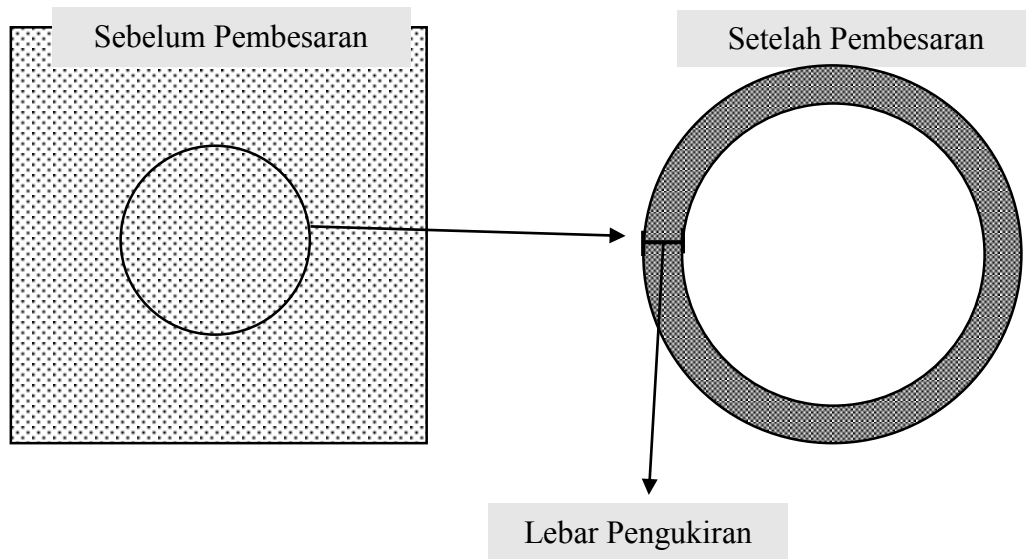
Gambar 10. Mesin laser CO₂ yang dipakai.

Langkah pertama sebelum pembuatan pola ini adalah mendesain layout sesuai dengan luas papan yang akan di ukir yaitu 20 cm x 30 cm dengan ketebalannya 0,9 cm. Setelah *layout* telah siap maka langkah selanjutnya yaitu membuat pola yang akan diukir, dalam pengujian tingkat warna dan tingkat kasar permukaan kayu maka pola yang dibuat yaitu pola dalam bentuk lingkaran dengan diameter 2 cm (Gambar 11). Sedangkan, dalam uji mikroskopis untuk mengukur

lebar hasil *engraving*, digunakan pola persegi dengan ukuran 1 cm x 1 cm (Gambar 11).



(a)



(b)

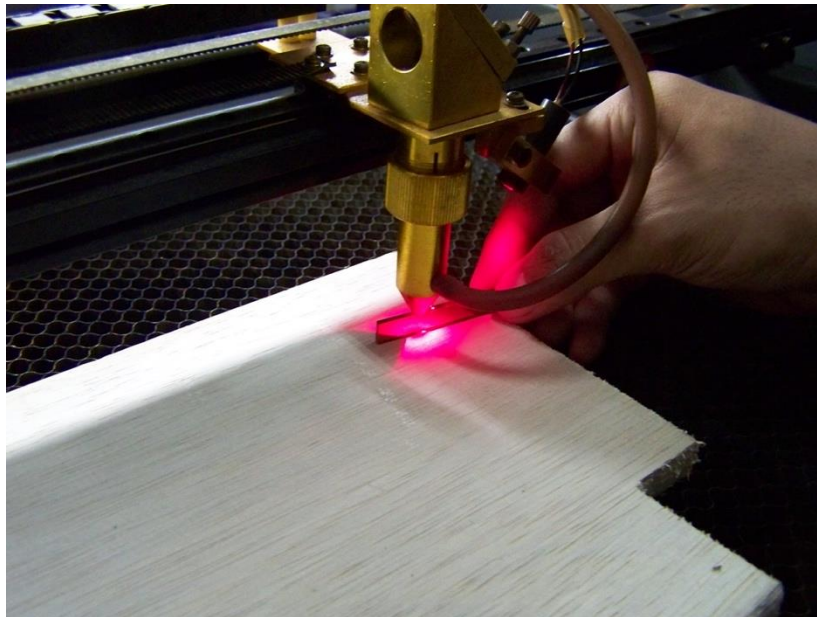
Keterangan:

a = Uji warna dan kekasaran

b = Uji Mikroskopis

Gambar 11. Pola pengamatan pada papan komposit.

Langkah selanjutnya setelah pembuatan pola telah selesai yaitu melakukan *setting* pada mesin laser CO₂. *Setting* pada mesin laser diawali dengan mengukur jarak antara laser dengan papan komposit, jarak antara papan komposit dengan laser yaitu 0,78 cm (Gambar 12). Kemudian dilakukan pengaturan daya laser yang akan digunakan.



Gambar 12. Pengukuran jarak laser ke papan komposit.

3.4.2. Pengumpulan dan Pengamatan Data

3.4.2.1. Perubahan Warna

Perubahan warna merupakan parameter yang dapat diukur dengan jenis alat (Tipe, Perusahaan, Kota, Negara) yaitu *colorimeter* (AMT507, Amtast, Qingdao, China) (Gambar 13). Pengujian perubahan warna dilakukan menggunakan sistem CIE-*Lab* dengan mengukur parameter warna yang terdiri dari kecerahan (L^*) dengan rentang nilai 0-100, kromatisasi merah/hijau (a^*) dengan rentang nilai a (positif) 0-120 untuk warna merah, nilai a (negatif) 0-(-120) untuk warna hijau, dan kromatisasi kuning/biru (b^*) dengan rentang nilai b (positif) 0-120 untuk warna kuning dan b (negatif) untuk warna biru (Rubiyanti *et al.*, 2019; Widyasanti *et al.*, 2019).

a. Perubahan nilai kecerahan atau L^* (ΔL^*)

Parameter ini dilakukan untuk menilai sejauh mana perubahan nilai L^* yang dihasilkan.

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0$$

dimana:

ΔL^* = Perubahan kecerahan.

L^*_1 = Kecerahan sampel setelah *engraving*.

L^*_0 = Kecerahan sampel sebelum *engraving*.

b. Perubahan nilai kromatisasi merah/hijau atau a^* (Δa^*)

Parameter ini dilakukan untuk menilai sejauh mana perubahan nilai a^* yang dihasilkan pada proses pengukiran.

$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_0$$

dimana:

Δa^* = Perubahan kromatisasi merah/hijau.

a^*_1 = Kromatisasi merah/hijau setelah *engraving*.

a^*_0 = Kromatisasi merah/hijau sebelum *engraving*.

c. Perubahan nilai b^* (Δb^*)

Parameter ini dilakukan untuk menilai sejauh mana perubahan nilai b^* yang dihasilkan pada proses pengukiran.

$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_0$$

dimana:

Δb^* = Perubahan kromatisasi kuning/biru.

b^*_1 = Kromatisasi kuning/biru setelah *engraving*.

b^*_0 = Kromatisasi kuning/biru sebelum *engraving*.

d. Total perubahan nilai Lab^* (ΔE^*)

Parameter ini dilakukan untuk menilai sejauh mana perubahan/perbedaan nilai Lab^* yang dihasilkan. Semakin besar nilai ΔE^* maka semakin besar pula perubahan nilai Lab^* yang terjadi begitu pula sebaliknya, klasifikasi perubahan warna dapat dilihat pada Tabel 1. Semakin kecil nilai ΔE^* maka semakin kecil pula perubahan/perbedaan nilai Lab^* yang terjadi.

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

dimana:

ΔE^* = Perubahan warna akibat *engraving*

ΔL^* = Perubahan kecerahan setelah dan sebelum *engraving*.

Δa^* = Perubahan kromatisasi merah/hijau setelah dan sebelum *engraving*.

Δb^* = Perubahan kromatisasi kuning/biru setelah dan sebelum *engraving*

(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 13. Alat uji warna.

3.4.2.2. Tingkat Kekasaran Permukaan

Uji kekasaran pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat *roughness tester* (SJ-201, Mitutoyo, Kawasaki, Jepang) (Gambar 14). Alat uji kekasaran permukaan ini digunakan untuk menguji tingkat kekasaran permukaan pada benda uji yang dalam kasus ini adalah papan komposit (MDF dan papan partikel) yang telah melewati proses pengukiran dengan mesin laser CO₂. Pengujian kekasaran dilakukan sebelum diberikannya perlakuan pada papan komposit yang pada penelitian ini yaitu pengukiran dengan menggunakan berbagai daya dan setelah

dilakukannya perlakuan atau pengukuran. Cara menggunakan alat ukur ini, pasang sensor alat ukur ke titik benda kerja yang akan diukur nilai kekasaran permukaannya. Setelah sensor terpasang dengan benar, tekan tombol start dan tunggu beberapa saat hingga nilai kekasaran permukaan ditunjukkan pada layar alat ukur. Nilai yang diperoleh dari uji kekasaran adalah nilai Ra, nilai Ra merupakan nilai kekasaran rata-rata aritmatik yang diukur dari rata-rata semua luas bidang permukaan papan (Abbas *et al.*, 2013).

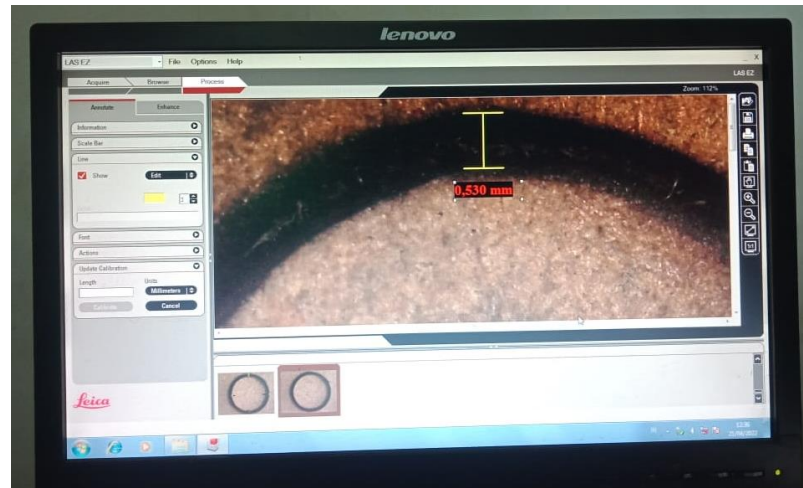
Pengukuran kekasaran permukaan diperoleh dari sinyal pergerakan *stylus* yang memiliki bentuk seperti berlian (*diamond*), pergerakannya sepanjang garis lurus permukaan sebagai indikator pengukur kekasaran permukaan benda uji. Prinsip pengoperasian alat *surface roughness* adalah dengan menggunakan *transducer* dan akan diolah dengan *microprocessor*. *Transducer* sendiri merupakan perangkat elektronik yang mengkonversi suatu energi menjadi bentuk energi lainnya.



Gambar 14. Alat uji kekasaran permukaan.

3.4.2.3. Uji Mikroskopis

Pengamatan uji mikroskopis dilakukan menggunakan mikroskop digital stereo (EZ4, Leica Microsystems, Wetzlar, Jerman). Gambar yang telah dihasilkan melalui pengamatan mikroskopis tersebut dilakukan analisis untuk mengukur lebar hasil pengukiran dengan daya yang berbeda-beda (μm). Pengukuran untuk setiap daya pengukiran dilakukan sebanyak 12 kali. Pengukuran lebar hasil pengukiran dilakukan menggunakan perangkat lunak ImageJ. Proses pengukuran lebar hasil ukir ditentukan dengan menarik garis dari rongga kanan ke rongga kiri seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Lebar hasil ukir.

3.4.2.4. Kadar Air

Prinsip yang menentukan penetapan kadar air yaitu menguapkan bagian air bebas yang terkandung dalam sampel sampai terjadi keseimbangan antara kadar air bahan dengan udara sekitar dengan menggunakan energi panas. Sampel dikeringkan dalam oven suhu $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Kemudian didinginkan selama 1 jam dan kemudian ditimbang. Kadar air dihitung menggunakan persamaan standar (SNI 03-2105-2006):

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

Keterangan:

KA = Kadar Air (%)

BA = Berat Awal (g)

BKO = Berat Kering Oven (g)

3.4.2.5. Kerapatan

Kerapatan pada umumnya dinyatakan dalam perbandingan massa dan volume, pengukuran kerapatan dilakukan dengan cara menimbang dan mengukur volume dalam keadaan kering udara. Kerapatan papan dapat dihitung dengan menggunakan standar (SNI 03-2105-2006), dengan rumus persamaan kerapatan:

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

Keterangan:

KR = Kerapatan (g/cm^3)

W = Berat papan komposit (g)

v = Volume (cm^3).

3.4.2.6. Preferensi Konsumen

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.

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 18-23 tahun, pengambilan sampel ini dilakukan secara acak (*random sampling*). Responden dipilih berdasarkan rumus *slovin* dengan tingkat kesalahan sebesar 10% dan tingkat kepercayaan 90%.

Rumus:

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

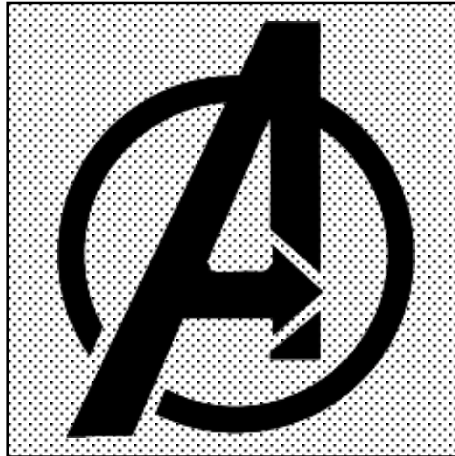
Keterangan:

n = Ukuran sampel/jumlah responden

N = Ukuran populasi (22.262 individu)

e = Perkiraan tingkat kesalahan.

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. Pola dengan gambar tersebut diambil berdasarkan *trend* tahun 2022.



Sumber: commons.wikimedia.org.

Gambar 16. Pola preferensi konsumen.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Simpulan dari penelitian yang telah dilakukan yaitu, daya laser CO₂ memiliki pengaruh terhadap warna permukaan dan kekasaran papan partikel dan MDF, semakin tingginya daya laser yang digunakan maka warna yang dihasilkan akan semakin gelap dan berubah total dari warna sebelumnya. Hal ini disebabkan karena adanya pembakaran yang terjadi pada proses pengukiran papan tersebut. Kemudian, semakin tingginya daya laser yang digunakan maka nilai kekasaran yang diperoleh akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena adanya naiknya kecepatan laser setiap bertambahnya daya laser tersebut yang menyebabkan energi panas laser menumbuk bidang kerja menjadi tidak maksimal sehingga hasil pengukiran menjadi semakin tidak rata. Sedangkan untuk minat konsumen terhadap hasil pengukiran untuk jenis MDF terbanyak pada daya laser 10 Watt alasan konsumen memilih daya tersebut menjadi daya yang paling disukai yaitu terlihat lebih rapih, halus dan warna yang dihasilkan produk pada daya 10 Watt hitam pekat. Minat konsumen pada hasil pengukiran untuk papan partikel terbanyak pada daya laser 10 Watt alasannya karena terlihat lebih halus dan rata sehingga terlihat lebih rapi, produk dengan daya tersebut juga sudah terlihat jelas apabila diletakkan jauh dari mata.

5.2. Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai kedalaman hasil laser pada setiap daya laser yang dipakai perlu dilakukan sehingga dapat menentukan apakah hasil penelitian tersebut dapat dilakukan uji kekasaran. Selain itu, dibutuhkan pula

pelatihan khusus dalam mempelajari mesin laser CO₂ karena rentan terjadi kerusakan pada mesin.

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.
- Abdullah, R., Malik, E., Adan, L.M.H., Dja'wa, A., Ismawati., Yanti, W.O.D., Karlina, S., Kurniawan, R., Ode, D., Filayana., Arya, M., Ferdiansyah, Alitasi, W.N., Yuliningsi, S., Yustian, Y. 2021. Penerapan strategi pemasaran sebagai upaya meningkatkan usaha kecil dan menengah di Desa Wawoangi Kec. Sampoia di tengah pandemi Covid-19. *Community Development Journal*. 2(1): 76-80.
- Abidin, Daniawan, B. 2020. Pemodelan sistem fuzzy untuk pengukuran kualitas papan partikel. *Jurnal Sains Terapan dan Teknologi*. 1(2): 20-28.
- Afdloil, M.Y.A., Al-fath, M.Z., Mahrul, Sifa, A., Badruzzaman. 2020. Pengujian performa sliding x dan y pada mesin CNC laser cutting CO₂ dua axis sistem Cartesian. *Prosiding IRWNS*. 11(1): 198-204.
- Agustin, A.D., Riniarti, M., Duryat. 2014. Pemanfaatan limbah serbuk gergaji dan arang sekam padi sebagai media sapih untuk cempaka kuning (*Michelia champaca*). *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 49-58.
- 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.
- Aisyah, S., Haryadi, J., Maulana, M.I., Marwanto, Prasetya, D., Hidayat, W., Lubis, M.A.R., Kim, N.H., Febrianto, F. 2021. Effects of strands pre-treatment and adhesive type on the properties of oriented strand board made from Gmelina (*Gmelina arborea*) wood. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(3): 475–487.

- Alamsjah, M.A.K.W., Kurnia, A., Rahardja, B.S. 2018. Pemanfaatan limbah rumput laut *Eucheuma cottonii* sebagai *medium density fiberboard* (MDF) dengan konsentrasi perekat yang berbeda. *Jurnal of Aquaculture and Fish Health*. 5(2): 14-21.
- Archila, M., Diba, F., Setyawati, D., Nurhaida. 2017. Kualitas papan komposit limbah kulit batang sagu (*Metrocylon* sp.) dan plastik polipropilena berdasarkan jumlah lapisan penyusun. *Jurnal Tengkawang*. 7(1): 46-56.
- Arifin, D., Dirhamsyah, M., Setyawati, D. 2018. Kualitas papan OSB (oriented strand board) dari kayu karet (*Hevea brasiliensis*) berdasarkan panjang strand dan kadar perekat. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(2): 268-279.
- Arifin, Z. 2018. *Pengaruh Variasi Cutting Speed terhadap Kekasaran Permukaan SUS 304 pada Proses Laser Cutting Menggunakan Gas N₂*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang. 38p.
- Armansyah, M.M., Purwanti, E.P., Karuniawan, B.W. 2018. Optimasi parameter proses pemotongan acrylic terhadap kekasaran permukaan menggunakan laser cutting dengan metode response surface. *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application*. 1(1): 316-323.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2020. *Statistik Produksi Kehutanan*. Katalog. BPS Indonesia. Jakarta. 68p.
- Baskara, M.I.A., Hapsoro, D., Maulana, M.I., Marwanto, Prasetia, D., Hidayat, W., Lubis, M.A.R., Kim, N.H., 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.
- Elsodany, A.M., Alayat, M.S.M., Ali, M.M.E., Khaprani, H.M. 2018. Long-term effect of pulsed Nd: YAG laser in the treatment of patients with rotator cuff tendinopathy: a randomized controlled trial. *Photomedicine and laser surgery*. 36(9): 506-513.
- Fatrawana, A., Maulana, S., Nawawi, D. S., Sari, R. K., Hidayat, W., Park, S. H., Febrianto, F., Lee, S. H., Kim, N. H. 2019. Changes in chemical components of steam-treated betung bamboo strands and their effects on the physical and mechanical properties of bamboo-oriented strand boards. *European Journal of Wood and Wood Products*. 77(1): 731–739.
- Febrianto, F., Hidayat, W., Samosir, T. P., Lin, H. C., Soong, H. D. 2010a. 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.

- Febrianto, F., Kim, N. H., Hidayat, W., Kwon, G. J., Hong, S. I., Sahroni, Kwon, J. H., Bakar, E. S. 2010b. Properties of oriented strand board made from betung bamboo (*Dendrocalamus asper* (Schultes.f) Backer ex Heyne). *Wood Science and Technology*. 46 (1–3): 53–62.
- Febrianto, F., Sumardi, I., Hidayat, W., Maulana, S. 2017. *Papan Untai Bambu Berarah: Material Unggul untuk Komponen Bahan Bangunan Struktur*. IPB Press. Bogor. 200p.
- Fibriati, R.D. 2020. *Bagaimana Cara Kerja Laser Cutting*. Link: <https://www.builder.id/bagaimana-cara-kerja-laser-cutting/>. Diakses pada: Minggu, 07 November 2021. Pukul 13.59 WIB.
- Fitra, F., Nurdin, H., Hassanuddin, Waskito. 2019. Karakteristik papan partikel berbahan baku serat pisang. *Journal of Multidisciplinary Research and Development*. 1(4): 1029-1036.
- Ginting, A., Azhar, I., Iswanto, A.H. 2016. Pengujian keawetan alami papan partikel dari campuran limbah batang sorghum dan serutan kayu. *Peronema Forestry Science Journal*. 4(1): 55-59.
- Hadi, S., Mafruddin, M., Wahyudi, T.C. 2021. Rancang bangun mesin CNC laser cutting CO₂ 2 axis berbasis microcontroller dengan software Mach3. *Jurnal Armatur*. 2(2): 76-85.
- Halim, G., Asroni, Budiyo, E. 2022. Analisa kerja mesin CNC laser cutting CO₂ 2 axis berbasis Mach3 pada variasi pemotongan. *Artikel Teknik Mesin dan Manufaktur*. 3(1): 28-36.
- Hariz, T.M.R., Santosa, I.A., Maulana, M.I., Marwanto., Prasetya, D., Hidayat, W., Lubis, M.A.R., Kim, N.H., Febrianto, F. 2021. Effect of resin content on the characteristics of bamboo oriented strand board prepared from strands of betung, ampel, and their mixtures. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(3): 454–465.
- Hasan, M., Rahmadi, A., Arryati, H. 2021. Sifat fisis dan mekanis papan komposit dari serat batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dengan berbagai komposisi perekat PVAC. *Jurnal Sylva Scientiae*. 4(3): 460-469.
- Hermita, R. 2016. Pengolahan limbah serbuk kayu menjadi bahan mebel. *Jurnal Proporsi*. 2(1): 1-12.
- 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., Aprilliana, N., Asmara, S., Bakri, S., Hidayati, S., Banuwa, I.S., Lubis, M.A.R., Iswanto, A.H. 2022. Performance of eco-friendly particleboard from agroindustrial 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 Wood Sci*. 56(1): 276-283.
- Hutabarat, O.S., Muhidong, J., Pakiding, F.L. 2014. *Karakteristik Fisik Terung Belanda*. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI. 340p.
- Hutapea, V.M. 2018. *Pengaruh Energi Laser dalam Pembuatan Fotokatalis Berbasis Thin Film Zinc Ixide untuk Penjernih Larutan Rhodamine*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan. 108p.
- Ichsan, M., A. Yufrizal., Refdinal, Rifelino. 2020. Pengaruh variasi side rake angel dan kedalaman pemotongan penyekrapan datar terhadap nilai kekasaran permukaan baja karbon rendah st-37. *Journal of Mechanical Elecrical and Industrial Engineering*. 2(2): 35-43.
- Ismianto, A., Iqbal, M. 2013. Pencegahan perubahan warna pada kayu jamuju (*Podocarpus imbricatus*) dan kisampang (*Evodia aromatic* BL.) dengan bahan dasar desinfektan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 31(3): 213-220.
- Isyrouddin, F.A. dan Sumbodo, W. 2020. Pengaruh variasi sudut potong *mayor* terhadap kekasaran permukaan hasil proses pembubutan muka aluminium *silicon (si)* daur ulang. *Journal of Mechanical Engineering Learning*. 9(1): 27-31.
- Jumawan, F., Ali, M.Y. 2020. Usaha kreatif pengolahan limbah kayu di Kabupaten Soppeng. *Jurnal Pendidikan dan Pengabdian Masyarakat*. 3(3): 148-153.
- 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.

- Krisdianto, Sasiti, E.R., Supriadi, A. 2018. Perubahan warna dan lapisan finishing lima jenis kayu akibat pencucian. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 36(3): 205-218.
- Laksono, G.P. 2016. Proses Penghalusan Permukaan Spesimen dari Bahan ABS yang Dibentuk Melalui Rapid Tooling. *Publikasi Ilmiah*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta. 15 hlm.
- Lestari, E., Hanifah, Y.F., Widodo, L.U. 2021. Pembuatan papan komposit dari limbah plastiik (PVC) dan cangkang kupang merah. *Journal of Chemical and Process Engineering*. 2(1): 29-38.
- Lubis, M.A.R., Manohar, S.Y., Laksana, R.P.B., Fatriasari, W., Falah, F., Hidayat, W. 2021. The Removal of cured urea-formaldehyde adhesive towards sustainable medium density fiberboard production. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(1): 23-44.
- Lukmandari, G., Fatimah, S., Fernandes, A. 2015. Sifat kimia dan warna kayu keruing, mersawa, dan kapur. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*. 1(2): 69-80.
- Lumintang, R., Rauf. F.A., Umboh, M., Jefferson, L. 2018. Pemanfaatan limbah serbuk gergaji kelapa sebagai bahan pengisi pada material komposit matriks polyester. *Jurnal Tekno Mesin*. 4(2): 123-128.
- Luthfi, K.M., Suratman, I.F., Ramdhani, M. 2021. Sistem deteksi rel patah menggunakan laser. *Proceeding of Engineering*. 8(2): 1021-1028.
- Makkarennu, Putranto, B., Dessaratu, M., Daniel. 2010. Analisis kebutuhan bahan baku kayu bulat pada industri kayu lapis PT Katingan Timber Celebes. *Jurnal Parennial*. 6(2): 116-122.
- Maulana, M. I., Murda, R. A., Purusatama, B. D., Sari, R. K., Nawawi, D. S., Nikmatin, S., Hidayat, W., Lee, S. H., Febrianto, F., Kim, N. H. 2021a. Properties of oriented strand board from alkali-washed bamboo strands after steam treatment. *BioResources*. 16(1): 987–996.
- Maulana, M. I., Murda, R. A., Purusatama, B. D., Sari, R. K., Nawawi, D. S., Nikmatin, S., Hidayat, W., Lee, S. H., Febrianto, F., Kim, N. H. 2021b. Effect of alkali-washing at different concentration on the chemical compositions of the steam treated bamboo strands. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 49(1): 14–22.
- Maulana, S., Hidayat, W., Sumardi, I., Wistara, N. J., Maulana, M. I., Kim, J. H., Lee, S. H., Febrianto, F. 2021c. Properties of dual-species bamboo-oriented strand boards bonded with phenol formaldehyde adhesive under various compression ratios. *BioResources*. 16(3): 5422–5435.

- Maulana, S., Busyra, I., Fatrawana, A., Hidayat, W., Sari, R. K., Sumardi, I., Wistara, I. N. J., Lee, S. H., Kim, N. H., Febrianto, F. 2017. Effects of steam treatment on physical and mechanical properties of bamboo-oriented strand board. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 45(6): 872–882.
- Manurung, H.M., Sulianti, M.M., Tamba, T., Angin, B.P. 2013. Pengukuran daya laser CO₂ dan laser DPSS serta pengamatan beam profiler sinar laser DPSS dan laser He-Ne menggunakan CCD. *JSF*. 1(1): 1-5.
- Mikael, I., Hartono, R., Sucipto, T. 2015. Kualitas papan partikel dari campuran ampas tebu dan partikel mahoni dengan berbagai variasi kadar perekat phenol formaldehida. *Peronema Forestry Science Journal*. 4(2): 45-52.
- Mujahidin, J. 2021. *Perancangan Kontrol dan Analisa Jarak Axis serta Panas Sinar Laser pada Mesin CNC Laser Engraving*. Skripsi. Universitas Darma Persada. Jakarta. 65p.
- Munadi, M., Syukri, A., Setiawan, J.D., Ariyanto, M. 2018. Rancang-rancang prototype mesin CNC laser engraving dua sumbu menggunakan diode laser. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*. 13(1): 32-37.
- Nugroho, A., Utama, A.S. 2019. Metode taguchi – PCR topsis untuk optimasi energy dan kecepatan ukir mesin laser. *Politeknosains*. 18(1): 6-11.
- Nurjanah, I. 2020. Pemanfaatan limbah kayu dalam industri kreatif patung kuda di Yogyakarta. *Jurnal Studi Kultural*. 5(2): 28-33.
- Parta. 2019. Analisa kekasaran hasil proses kerja mesin simulator CNC router untuk material aluminium. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tanggerang*. 3(1): 1-6.
- Prihadianto, B.D., Nugroho, G. 2018. Pengaruh jarak laser head terhadap diameter spot pada pemotongan polymethyl methacrylate menggunakan mesin laser cutting. *Jurnal Infotekmesin*. 9(1): 42-46.
- Prochaska, F., Nejezchleb, K., Benes, J., Matousek, O., Tomka, D. 2020. YAG laser rod 3D corrective process optimization through tool influent function shape inspection. *Applied Sciences*. 10(22): 1-9.
- Purba, D.A. 2018. *Sifat Fisis dan Mekanis Papan Partikel dari Beberapa Bahan Berlignoselulosa dengan Perekat Isosianat*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan. 39p.
- Purba, R.E.S., Lubis, K. 2018. Pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu sebagai substitusi campuran bata ringan kedap suara. *Buletin Utama Teknik*. 13(2): 98-102.

- Putri, M.N. 2018. *Karakteristik Balok Partikel dari Limbah Kayu Gergajian untuk Keperluan Struktural*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara. 45p.
- Rachman, M.A., Meidinariasty, A., Yuliati, S. 2022. Rancang bangun alat screw extruder pembuatan medium density fiberboard berbasis serat tandan kosong kelapa sawit dan perekat high density polyethylene (HDPE) (Uji kinerja alat ditinjau dari efisiensi screw extruder). *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*. 3(1): 37-49.
- Rachmawati, O., Sugita, P., Santoso, A. 2018. Sintesis perekat tannin resorsinol formaldehida dari ekstrak kulit pohon mangium untuk peningkatan kualitas batang sawit. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 36(2): 33-46.
- Rianto, R., Wahyudi, Djitmau, D.A. 2019. Potensi pemanfaatan limbah gergajian pada stand kayu di Distrik Manokwari Barat. *Jurnal Kehutanan Papuaasia*. 5(1): 33-41.
- Rochaeni, S. 2013. Analisis persepsi, kesadaran, dan preferensi konsumen terhadap buah lokal. *Agribisnis*. 7(1): 91-104.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Bakri, S. 2019. Karakteristik pellet kayu karet (*Hevea brasiliensis*) hasil torefaksi dengan menggunakan reactor counter-flow multi baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3): 321-331.
- Saefudin, B.R., Deaniera, A.N., Rasmikayati, E. 2020. Kajian perbandingan preferensi konsumen pada dua kedai kopi di Cibinong, Kabupaten Bogor. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 5(1): 39-46.
- Saleh, M.Y., Said, M. 2019. *Konsep dan Strategi Pemasaran*. Buku. CV Sah Media. Makassar. 272p.
- Samboro, M.A., Sriwarno, A.B., Djati, I.D. 2017. *Material Efficiency of Wood Waste Industries to Design by Using Laser Cutting Technology (pine, sungkai, sengon, and kamper wood)*. Internatioanal Conference on Art, Craft, Culture, and Design. Institut Teknologi Bandung. Bandung. 6p.
- Saputro, A.E., Darwis, M. 2020. Rancang bangun mesin laser engraver dan cutter untuk membuat kemasan modul praktikum berbahan akrilik. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*. 2(1): 40-50.
- Septiari, I.A.P.W., Karyasa, I.W., Kartowarsono, N. 2014. Pembuatan papan partikel dari limbah plastik polypropylene dan tangkai bamboo. *E-Journal Kimia Visvitalis*. 2(1): 117-126.
- Simamora, G.G.L. 2021. *Pengaruh Kadar Air Bahan Baku dan Kadar Perekat terhadap Sifat-sifat Oriented Strand Board dari Limbah Vinir Sengon*. Skripsi. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 65p.

- Sinaga, P.S. 2021. Kecepatan rambatan gelombang suara dan keteguhan lentur dinamis OSB pada berbagai panjang *strand* dan campuran 3 jenis bambu. *Wana Lestari*. 4(1): 1-8.
- Situmorang, D. 2018. *Perbandingan Perekat Likuida dari Batang Sawit, Urea Formaldehida, Isosianat dan Aplikasinya untuk Papan Partikel*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara. 71p.
- 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.
- Sunardi, Fawaid, M., Lusiani, R., Parulian, R. 2017. Pengaruh butiran filler kayu sengon terhadap karakteristik papan partikel yang berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Mesin Teknologi*. 11 (1): 28-32.
- 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.
- Sulistri, E., Masturi. 2013. Analisis inferensi cahaya laser terhambur menggunakan cermin datar berdebu untuk menentukan indeks bias kaca. *Jurnal Fisika*. 2(1): 1-8.
- Surasana, I.N., Limbong, K.D., Yosep. 2020. Limbah penebangan kayu di perusahaan PT Dwimajaya Utama. *Jurnal of Enviroment 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., 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.
- Sutana, I.G., Wibawa, G.Y.S. 2021. WANA KERTIH: konsep penyucian dan pelestarian hutan masyarakat hindu bali. *Pariksa*. 5(1): 90-100.
- Sutarman, I, Wayan. 2016. Pemanfaatan limbah industri pengolahan kayu di Kota Denpasar (Studi kasus pada CV aditya). *Jurnal PASTI*. 10(1): 15-22.
- Sutiawan, J., Hermawan, D., Kusumah, S.S., Widyaningrum, B.A., Sukara, E. 2020. Pemanfaatan maltodextrin singkong untuk perekat ramah lingkungan dalam pembuatan papan partikel dari bagas sorgum. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(2): 144-154.
- Tambunan, H. 2021. *Karakteristik Oriented Strand Board (OSB) dari Vascular Bundles Limbah Batang Kelapa Sawit Berpengikat Methyl Methacrylate (MMA) dan Styrene*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan. 80p.

- Tamura, A., Matsumoto, A., Fukami, K., Nishi, N., Sakka, T. 2015. Simultaneous observation of nascent plasma and bubble induces by laser ablation in water with various pulse durations. *Journal of Applied Physics*. 117(17): 173304.
- Tohir, A.T. 2016. *Studi Tentang Kekuatan dan Kekakuan Struktur Laser Carrier pada Mesin Fiber Laser Cutting*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya. 99p.
- Trisatya, D.R., Sulastiningsih, I.M. 2019. Sifat papan partikel dari campuran kayu jabon dan bambu andong. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 37(2): 123-136.
- Triwibowo, D., Sejati, P.S., Gopar, M., Sudarmanto, Akbar, F., Purnomo, D., Kusumah, S.S., Amin, Y., Dwianto, W. 2020. Karakteristik cross laminated timber (CLT) dari kayu jati platinum hasil penjarangan dan limbah batang kelapa sawit. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(3): 340-350.
- Utama, R.C., Febryano, I.G., Herwanti, S., and Hidayat, W. 2019. Saluran pemasaran kayu gergajian sengon (*Falcataria moluccana*) pada industri penggergajian kayu rakyat di Desa Sukamarga, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara. *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.
- Wahyudi, A., Prayitno, T.A., Widyorini, R., Sutapa, J.P.G. 2017. Pengaruh suhu dan waktu pengempaan terhadap sifat papan serat kerapatan sedang dari kayu mahang dengan perekat asam malat. *Jurnal Penelitian Kehutanan Sumatera*. 1(1): 53-59.
- Wahyudi, A., Prayitno, T.A., Widyorini, R., Sutapa, J.P.G. 2019. Pengaruh penambahan serat kayu pinus dan bamboo petung terhadap kualitas papan serat kerapatan sedang kayu mahang dengan perekat asam malat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 37(2): 81-92.
- Widyasanti, A., Silvianur, S., Zain, S. 2019. Pengaruh perlakuan blanching dan level daya pengeringan microwave terhadap karakteristik tepung kacang bogor (*Vigna subterranean* (L.) Verdcourt). *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*. 23(1): 80-90.
- Widyorini, R., Khotimah, K., Prayitno, T.A. 2014. Pengaruh suhu dan metode perlakuan panas terhadap sifat fisika dan kualitas finishing kayu mahoni. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 8(2): 65-74.

- Wijaya, M.F. 2020. *Pemanfaatan Serbuk Kayu Menjadi Pupuk Tanaman Organik*. PKM. Universitas Bina Darma. Palembang. 24p.
- Wulandari, F.T. 2019. Limbah industri penggergajian ; kajian dan pemanfaatannya. *Jurnal Silva Semalas*. 2(2): 75-78.
- Yanuar, H., Syarief, A., Kusairi. 2014. Pengaruh variasi kecepatan potong dan kedalaman pemakanan terhadap kekasaran permukaan dengan berbagai media pendingin pada proses frais konvensional. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*. 3(1): 27-33.
- Yie, L.P., Budiman., Prajitno, I.P. 2016. Visual acuity of patients after neodmium: yttrium-aluminium-garnet laser at cicendo eye hospital in 2013-2014. *Althea Medical Journal*. 3(1): 99-102.
- Yudo, E., Kurniawan, Z. 2018. Analisa kekasaran permukaan pada proses edm sinking menggunakan metoda response surface methodology. *Jurnal Manutech*. 10(1): 18-57.
- Yuliza, E., Ekawita, R. 2019. Studi awal pengembangan papan komposit berbasis limbah pelepah sawit sebagai material akustik. *Journal Online of Physics*. 5(1): 1-5.
- Yanuar, H., Syarief, A. 2014. Pengaruh variasi kecepatan potong dan kedalaman dengan berbagai media pendingin pada proses frais konvensional. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*. 3(1): 27-33.
- Zulkahfi, Z., Irawati, D., Listyanto, T., Rodiana, D., Lukmandaru, G. 2020. Kadar ekstraktif dan sifat warna kayu jati plus perhutani umur 11 tahun dari KPH Ngawi. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 14(2): 213-227.
- 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.