

Pengaruh Daya Laser CO₂ Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Dan Perubahan Warna Kayu Pinus (*Pinus Merkusii*)

Rahel Monica Panggabean¹, Intan Fajar Suri¹, Indra Gumay Febryano¹, Dian Iswandaru¹, Wahyu Hidayat^{1*}

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145

¹ wahyu.hidayat@fp.unila.ac.id 1

Intisari — Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekasaran permukaan dan perubahan warna pada kayu pinus (*Pinus merkusii*) setelah diukir menggunakan mesin laser CO₂ dengan kekuatan laser yang berbeda. Kekuatan laser yang digunakan untuk penelitian ini yaitu 5%, (2,5 Watt), 10% (5 Watt), 15% (7,5 Watt), 20% (10 Watt), dan 25% (12,5 Watt). Selanjutnya, parameter perubahan warna diukur menggunakan sistem CIE-Lab*. Nilai kekasaran permukaan kayu menunjukkan terjadinya perubahan kekasaran yang semakin meningkat seiring dengan kekuatan laser yang digunakan semakin besar. Nilai kecerahan (L^*), nilai kromatisasi merah/hijau (a^*), dan nilai kromatisasi kuning/biru (b^*) pada kayu semakin menurun seiring dengan bertambahnya kekuatan laser. Nilai perubahan warna (ΔE^*) pada kayu yang telah diukir menggunakan laser CO₂ menunjukkan hasil lebih dari 12 yang menyatakan bahwa warna papan kayu berubah total dan menjadi lebih gelap.

Kata kunci — Kayu Pinus, Kekuatan Laser, dan Mesin Laser CO₂, Warna, Kekasaran

Abstract — This study aims to determine the surface roughness and discoloration of pine wood (*Pinus merkusii*) after engraving using a CO₂ laser machine with different laser powers. The laser power used for this research is 5%, (2.5 Watts), 10% (5 Watts), 15% (7.5 Watts), 20% (10 Watts), and 25% (12.5 Watts). Furthermore, the color change parameters were measured using the CIE-Lab* system. The value of wood surface roughness indicates a change in roughness which increases as the laser power used increases. The value of brightness (L^*), the value of red/green chromaticization (a^*), and the value of yellow/blue chromaticization (b^*) of wood decreased with increasing laser power. The value of color change (ΔE^*) on wood that has been engraved using a CO₂ laser shows a result of more than 12 which indicates that the color of the wood board changes completely and becomes darker.

Keywords— Pine Wood, Laser Power, and CO₂ Laser Engraving, Color, Roughness

I. PENDAHULUAN

Dunia industri sekarang berkembang dengan cepat, pada awalnya banyak pekerjaan menggunakan tenaga kerja manusia yang kemudian beralih menjadi tenaga kerja yang menggunakan teknologi. Pengembangan kemajuan industri ini

mempunyai manfaat untuk terciptanya kualitas produk yang tinggi, dapat mengurangi biaya produksi, dan mempercepat waktu produksi agar waktu menjadi lebih efisien dan mempengaruhi kualitas kerja berikutnya yang akan dilakukan [1].

Kondisi dunia industri perkayuan juga mempunyai banyak perkembangan yang dimana

pekerjaan pemotongan kayu menggunakan alat yang lebih canggih dan waktu yang dikerjakan lebih efisien. Kayu banyak digunakan karena merupakan bahan alami dan terbarukan, tersedia dengan banyak variasi, yang banyak digunakan dalam industri konstruksi, pengemasan, furnitur, lantai dan panel [2].

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. 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 [3].

Mesin laser CO₂ mempunyai kegunaan dalam memotong dan mengukir kayu yang dapat disesuaikan dengan desain yang diinginkan [4]. Penggunaan mesin laser CO₂ dapat mempermudah pengerjaan dalam mengukir dan memotong kayu. Pengukiran dan pemotongan kayu dapat dilakukan menggunakan beberapa cara dari mulai manual sampai yang dilakukan menggunakan teknologi [5]. Namun, tidak dapat dipungkiri bahwa jika beberapa kegiatan pengukiran dan pemotongan kayu yang dilakukan oleh manusia lebih rawan terjadi kesalahan.

Laser CO₂ dalam proses pengerjaannya menggunakan *software* yang berfungsi untuk memproses desain yang diinginkan. Setelah desain dimasukan ke perangkat *software* selanjutnya mesin diatur sistemnya sesuai keinginan. Lalu, dilaser untuk menghasilkan ukiran sesuai keinginan kita [6]. Tingkat kerapihan dalam pengukiran menggunakan laser CO₂ juga lebih baik karena telah otomatis diatur dalam sistem *software*nya terlebih dahulu. Hasil laser CO₂ ini mempunyai kualitas potongan yang dipengaruhi oleh kekuatan daya laser, kekasaran permukaan, struktur kayu, gerakan kecepatan dari sinar laser, dan keahlian pekerja dari laser tersebut [7]. Laser CO₂ dapat digunakan untuk melakukan proses pemotongan kontur, proses pembuatan lubang (*hole piercing*), proses

pengeboran (*drilling*), proses pengelasan, dan proses pengukiran kayu.

Penelitian penggunaan laser CO₂ untuk beberapa jenis kayu sudah dilakukan di beberapa negara menggunakan kayu beech (*Fagus sylvatica*) (Wien, 2012), *largeleaf linden* (*Tilia platyphyllos*) (Teischinger dkk., 1997), kayu abu Eropa (*Fraxinus excelsior*) (DIN, 2003), dan cemara (*Picea abies*) (DIN, 2003). Berdasarkan hasil penelitian tersebut, parameter proses meliputi intensitas laser dan kecepatan laser memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan warna, dan hasil dari reaksi kimia akibat perlakuan laser CO₂ ditunjukkan dengan peningkatan gugus karbonil dalam spektrum FTIR sampel kayu. Peneliti kualitas pengukiran dengan laser CO₂ terhadap kayu maple Norwegia (*Acer platanoides*) [8].

Penelitian menggunakan laser CO₂ untuk kayu masih minim dilakukan di Indonesia. Penggunaan kayu untuk diproduksi lebih lanjut menggunakan laser CO₂ masih belum banyak ditemukan [9]. Penelitian ini ingin mengetahui bagaimana proses laser CO₂ saat mengukir sampel pada kayu keras dan kayu lunak. Pengambilan data menggunakan mesin laser CO₂ untuk uji kekasaran permukaan dan perubahan warna pada kayu pinus. Permukaan kayu yang diukir dengan laser dapat menimbulkan hasil yang berbeda dari kondisi awal. Kekasaran permukaan pada kayu secara signifikan dipengaruhi oleh kekuatan laser dan kecepatan perpindahan kepala laser [10]. Meningkatnya daya laser, maka nilai dari semua parameter kekasaran yang dipelajari meningkat secara linier dengan meningkatnya kecepatan perpindahan kepala laser. Bentuk-bentuk energi yang berbeda juga mempengaruhi kayu [11].

Kekasaran permukaan sebagai respon untuk berbagai parameter dalam pengukiran laser [12]. Ditemukan bahwa kekasaran permukaan meningkat dengan frekuensi laser yang lebih tinggi dan kecepatan pengukiran yang lebih rendah. Kekasaran permukaan dijelaskan bahwa target untuk meminimalkan kekasaran permukaan, sekaligus memaksimalkan kedalaman pengukiran harus mencapai rongga yang lebih dalam, tetapi dengan kekasaran yang lebih sedikit, peningkatan jumlah pemindaian laser dengan daya yang lebih rendah dan kecepatan pemindaian yang lebih tinggi [13].

Kayu pinus (*Pinus merkusii*) memiliki warna putih kekuningan. Kayu ini banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi berat maupun ringan seperti kusen jendela, pintu, tiang rumah, lantai, dan mebel [14]. Pada penelitian ini kita akan melihat kualitas hasil laser kayu yang bagus setelah dilaser CO₂ terhadap kayu keras yang warnanya lebih gelap atau kayu lunak yang warnanya lebih terang. Jika perbandingan kedua jenis kayu sudah terlihat maka kita bisa menentukan kayu yang lebih baik dijadikan bahan industri untuk pengukiran kayu laser CO₂.

II. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan dan Workshop Laboratorium Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Penelitian ini juga menganalisis tingkat kekasaran permukaan papan kayu yang dilaksanakan di Laboratorium Metrologi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Februari-Mei 2022.

B. Alat dan Bahan Pengambilan Data

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin laser CO₂ 6040-50 Watt, alat uji kekasaran Mitutoyo SJ-201, alat ukur warna *Colorimeter Amtast* AMT507, alat tulis, computer, sarung tangan, kamera, *laptop*, kacamata laboratorium, masker, dan sarung tangan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah papan kayu lunak dan kayu keras yaitu kayu pinus (*Pinus Merkusii*) dengan masing-masing berukuran ukuran 30 cm x 20 cm x 2 cm dan *thally sheet*.

C. Rancangan Penelitian

Metode pada penelitian ini adalah metode eksperimen skala laboratorium. Kekuatan laser yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 2,5 Watt, 5 Watt, dan 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt. Setiap kayu mendapat perlakuan tingkat kekuatan laser yang sama dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

D.

pengambilan Data

1.

engujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan terhadap kayu pinus dilakukan sebelum dan setelah di laser. Cara penggunaan alat ukur ini adalah dengan menempelkan sensor dari alat ukur ke titik papan kayu pinus. Lalu tekan tombol *start* dan tunggu beberapa saat sampai nilai kekasaran permukaan ditampilkan pada layar alat ukur [15].

2. Pengujian Perubahan Warna

Pengujian warna dan sifat fisis dilakukan terhadap kayu pinus 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:

$$\Delta L^* = L^*2 - L^*1$$

$$\Delta a^* = a^*2 - a^*1$$

$$\Delta b^* = b^*2 - b^*1$$

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

Dimana (L^*) menunjukkan kecerahan, (a^*) dan (b^*) masing-masing menunjukkan kemerahan (hijau ke merah) dan kekuningan (biru ke kuning). Sedangkan (ΔE^*) adalah perubahan warna akibat sebelum dan sesudah *engraving*, (ΔL^*) adalah perbedaan antara nilai (L^*) sebelum dan sesudah *engraving*, (Δa^*) adalah perbedaan antara nilai (a^*) sebelum dan sesudah *engraving*, dan (Δb^*) yaitu perbedaan antara nilai (b^*) sebelum dan sesudah *engraving*.

Tabel 1. Klasifikasi Perubahan Warna

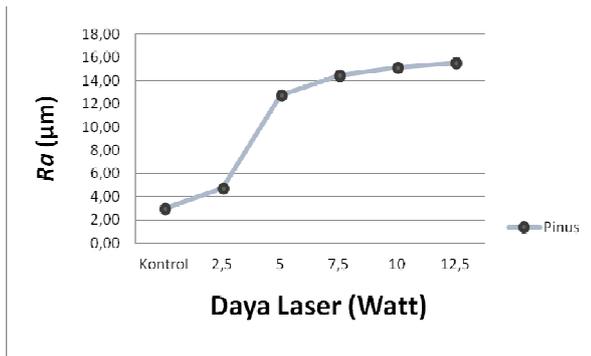
No.	Nilai Klasifikasi	Keterangan
1	$0,0 < \Delta E^* = 0,5$	Perubahan Dapat Dihiraukan
2	$0,5 < \Delta E^* = 1,5$	Perubahan Warna Sedikit
3	$1,5 < \Delta E^* = 3$	Perubahan Warna Nyata
4	$3 < \Delta E^* = 6$	Perubahan Warna Besar
5	$6 < \Delta E^* = 12$	Perubahan Warna Sangat Besar
6	$\Delta E^* > 12$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

P

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kekasaran Permukaan Papan Kayu

Penelitian ini telah melihat bahwa adanya perubahan tingkat kekasaran pada kayu sebelum dan sesudah dilaser (Gambar 5) dengan tingkat kekuatan laser 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt.



Gbr 1. Perubahan nilai Ra pada papan kayu pinus

Nilai kekasaran awal pada kayu pinus yaitu 2,95 μm dan setelah dilaser dengan kekuatan 2,5 Watt yaitu 4,70 μm , pada 5 Watt yaitu 12,74 μm , pada 7,5 Watt yaitu 14,46 μm , pada 10 Watt yaitu 15,13 μm , dan 12,5 Watt yaitu 15,53 μm . Hasil data penelitian ini menunjukkan bahwa terjadinya perubahan kekasaran pada kayu pinus yang semakin lama semakin tinggi seiring dengan kekuatan laser yang digunakan semakin besar. Kekasaran permukaan meningkat dengan frekuensi laser yang lebih tinggi dan kecepatan pengukiran yang lebih rendah [16].

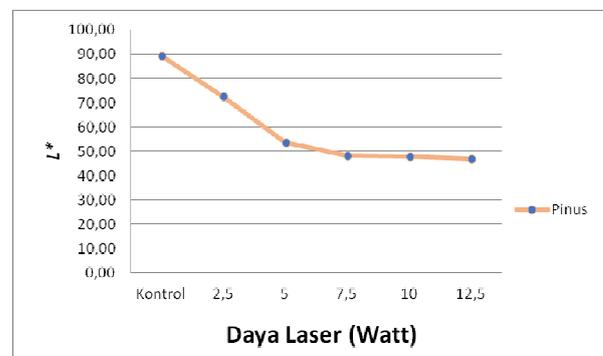
2. Perubahan Warna

Penelitian ini memperhatikan aspek perubahan warna pada papan kayu pinus sebelum dan sesudah mengalami proses pembakaran oleh mesin laser CO₂. Perubahan yang paling jelas secara visual setelah dilakukannya pembakaran atau perlakuan panas pada kayu adalah penurunan tingkat kecerahan atau penggelapan warna pada kayu [17]. Perbedaan perubahan warna permukaan kayu yang terjadi dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu seperti intensitas laser dan kecepatan laser [18]. Perubahan warna papan kayu dapat dilihat pada Gambar 2.



Gbr 2. Kondisi papan kayu pinus setelah di laser pada berbagai daya laser

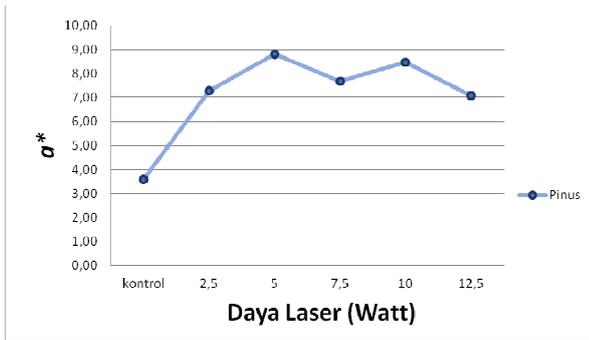
Papan kayu pinus telah mengalami perubahan tingkat kecerahan (L^*) (Gambar 3). Perubahan ditunjukkan bahwa semakin menurunnya tingkat kecerahan disebabkan semakin tinggi juga tingkat intensitas lasernya. Grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa tingkat kekuatan laser yang semakin besar menyebabkan tingkat kecerahan yang menurun juga.



Gbr 3. Perubahan nilai L^* pada papan kayu pinus

Nilai kecerahan kayu pinus pada awalnya 89,32 dan nilai kecerahan kayu setelah dilaser pada kekuatan laser 2,5 Watt yaitu 72,51 (0,84), 5 Watt yaitu 53,58 (1,07), 7,5 Watt yaitu 48,29 (1,32), 10 Watt yaitu 47,92 (4,25), dan 12,5 Watt yaitu 46,90 (2,94) (Gambar 3).

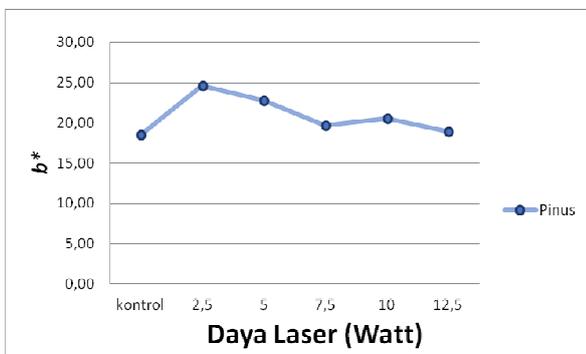
pada kayu pinus (Gambar 5) mengalami kenaikan pada kekuatan laser 2,5 Watt dan 10 Watt. Nilai awal kromatisasi kuning/biru pada kayu pinus sebelum dilaser yaitu 18,49. Nilai setelah dilaser pada kekuatan 2,5 Watt yaitu 24,57, lalu terjadi penurunan pada 5 Watt yaitu 22,75 dan 7,5 Watt yaitu 19,65, terjadi kenaikan pada 10 Watt yaitu 20,55, dan penurunan kembali pada 12,5 Watt yaitu 18,92.



Gbr 4. Perubahan nilai a* pada papan kayu pinus

Perubahan kromatisasi merah/hijau (a*) pada kayu pinus (Gambar 4) mengalami kenaikan pada kekuatan laser 2,5 Watt, 5 Watt, dan 10 Watt. Nilai awal kromatisasi pada kayu pinus sebelum dilaser yaitu 3,59. Nilai setelah dilaser pada kekuatan 2,5 Watt yaitu 7,27, pada 5 Watt yaitu 8,81, dan pada 10 Watt yaitu 8,48, sementara pada 7,5 Watt dan 12,5 Watt terjadi penurunan yaitu 7,68 dan 7,09.

Nilai positif mengarah perubahan warna yang dihasilkan setelah dilaser cenderung lebih kemerahan dan nilai negatif mengarah perubahan warna lebih kehijauan. Hasil penelitian pada kayu pinus bernilai positif semua yang berarti perubahan nilai a* cenderung berwarna kemerahan.



Gbr 5. Perubahan nilai b* pada papan kayu pinus

Perubahan kromatisasi kuning/biru (b*)

Nilai positif mengarah perubahan warna yang dihasilkan setelah dilaser cenderung lebih kekuningan dan nilai negatif mengarah perubahan warna lebih kebiruan. Hasil penelitian pada kayu pinus bernilai positif semua yang berarti perubahan nilai b* cenderung berwarna kekuningan.

Jenis Kayu	Presentase (%)	Warna				Keterangan
		L*	a*	b*	?E*	
Pinus	5%	72,51 (0,84)	7,27 (1,22)	24,57 (2,22)	18,38 (0,21)	Warna berubah total
	10%	53,58 (1,07)	8,81 (1,02)	22,75 (0,30)	36,39 (1,08)	Warna berubah total
	15%	48,29 (1,32)	7,68 (0,76)	19,65 (0,40)	41,26 (1,35)	Warna berubah total
	20%	47,92 (4,25)	8,48 (1,96)	20,55 (3,48)	41,74 (3,80)	Warna berubah total
	25%	46,90 (2,94)	7,09 (1,38)	18,92 (2,18)	42,62 (2,87)	Warna berubah total

*angka dalam kurung adalah standar deviasi

Tabel 2. Perubahan Warna Papan Kayu Pinus

Perubahan warna total terjadi pada kayu pinus setelah dilakukan pelaseran (Tabel 2) menggunakan mesin laser CO2. Berdasarkan nilai hasil perubahan warna total pada kedua jenis kayu dengan kekuatan laser 2,5 Watt, 5 Watt, 7,5 Watt, 10 Watt, dan 12,5 Watt didapatkan hasil bahwa nilai $\Delta E^* > 12$ yang berarti warna berubah total.

IV. PENUTUP

1. Pengaruh kekuatan sinar laser CO kayu pinus (*Pinus merkusii*) yaitu semakin meningkat kekuatan laser, maka tingkat kekasaran pada kayu yang diuji cenderung semakin meningkat. Pembakaran yang terjadi menggunakan mesin laser CO₂ menyebabkan kondisi awal kayu yang rata menjadi kurang rata karena energi panas yang dikeluarkan mesin.
2. Pengaruh kekuatan sinar laser CO₂ terhadap perubahan tingkat kecerahan kayu pinus (*Pinus merkusii*) yaitu semakin meningkat kekuatan laser, maka perubahan tingkat kecerahan warna menjadi lebih gelap dan warna sudah berubah total dari warna awal kayu tersebut. Pembakaran yang terjadi menyebabkan warna awal kayu menjadi gelap karena energi panas yang dikeluarkan mesin.

REFERENSI

- [1] David. J and Xu. M. 2018. "The Fourth Industrial Revolution : Opportunities and Challenges", *International Journal of Financial Research*. 9 (2) : 90-95.
- [2] F. J. Daywin, D. W. Utama, W. Kosasih, and K. William. 2019. Perancangan Mesin 3D Printer Dengan Metode *Reverse Engineering* (Studi Kasus di Laboratorium Mekatronika dan Robotics Universitas Tarumanagara). *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*. 7 (2) : 79–89.
- [3] Elsani, Istihanah, Nurul. 2017. Getah Pohon Kudo (*Lannea coromandelica*) Sebagai Alternatif Perekat Untuk Produk Kerajinan. Balai Besar Kerajinan dan Batik. Indonesia.
- [4] Fathurahman, Gesang Nugroho, dan Heriyanto. 2015. "Pengaruh Perubahan Kecepatan dan Daya terhadap Lebar Celah Laser pada Mesin Laser Cutting Kapasitas 60 Watt dengan Material Akrilik". *Seminar Nasional Teknologi*. Malang.
- [5] Wardani, Mulyanto, Kusuma, dan Dewi, D. 2016. *Pemberdayaan Usaha Kerajinan Tembaga Melalui Pengembangan Desain Dan Pelatihan Pembukuan*. Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta.
- [6] Ichsan, M., A. Yufrizal., Refdinal., Rifelino. 2020. Pengaruh variasi side rake angel dan kedalaman pemotongan penyekrapan datar terhadap nilai kekasaranpermukaan baja karbon rendah st-37. *Journal of Mechanical Elecrical and Industrial Engineering*. 2(2): 35-43.
- [7] Gurau, L .; Petru, A .; Varodi, A .; Timar, M. 2017. Pengaruh CO₂ keluaran daya sinarlaser dan kecepatan pemindaian pada kekasaranpermukaan dan perubahan warna beech (*Fagussylvatica*). *J. Bio Resources*. 12 (3) : 7395–7412.
- [8] Kushartanto, Kabib, M., Winarso. 2019. Sistem Kontrol Gerak Dan Perhitungan Produk Pada Mesin Pres Dan Pemotong Kantong Plastik. *Jurnal Crankshaft*. 2 (1) :57-66.
- [9] Gurau, L dan Petru, A. 2018. Pengaruh CO₂ Output Daya Sinar Laser dan Kecepatan Pemindaian pada Kualitas Permukaan Maple Norwegia (*Acer platanoides*). *J. Bio Resources*.13(4): 8168-8183.
- [10] Hadjib, N. 2009. Daur Teknis Pinus Tanaman Untuk Kayu Pertukangan Berdasar Sifat Fisis dan Mekanis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 27(1):1-20.
- [11] Gurau, L .; Petru, A .; Varodi, A .; Timar, M. 2017. Pengaruh CO₂ keluaran daya sinarlaser dan kecepatan pemindaian pada kekasaran permukaan dan perubahan warna beech (*Fagus sylvatica*). *J. Bio Resources*. 12 (3) : 7395–7412.
- [12] Ismail, K. 2012. Analisis Fabrikasi perangkat Mikrofluidik Pada MaterialAcrylic Menggunakan Laser CO₂ Daya Rendah. FT UI.Jakarta
- [13] Patel, D dan Patel, M. 2014. Analisis Pengaruh Proses Pengukiran Laser Untuk Pengukuran Kekasaran Permukaan Pada Baja Tahan Karat. *Jurnal Internasional Penelitian Ilmiah dan Teknis*. 4 (3) : 725-730.

- [14] Dubey, K. M., S. Pang, J. Walker. 2010. Color And Dimensional Stability Of Oil Heat-Treated Radiata Pinewood After Accelerated UV Weathering. *Forest Prod. J.* 60 (5): 453-459.
- [15] Azhar., M.C. 2014. Analisa Kekasaran Permukaan Benda Kerja Dengan Variasi Jenis Material Dan Pahat Potong. *Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- [16] Patel, D dan Patel, M. 2014. Analisis Pengaruh Proses Pengukiran Laser Untuk Pengukuran Kekasaran Permukaan Pada Baja Tahan Karat. *Jurnal Internasional Penelitian Ilmiah dan Teknis.* 4 (3) : 725-730.
- [17] 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.
- [18] Wardani, Mulyanto, Kusuma, dan Dewi, D. 2016. *Pemberdayaan Usaha Kerajinan Tembaga Melalui Pengembangan Desain Dan Pelatihan Pembukuan.* Universitas Sebelas Maret Surakarta. Surakarta.

