

**MODIFIKASI KAYU RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PERLAKUAN
MINYAK PANAS (*HOT OIL TREATMENT*) MENGGUNAKAN MEDIA
MINYAK KELAPA SAWIT: PENGARUH KONDISI PROSES
TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS KAYU MINDI, SENGON, DAN
BATANG KELAPA**

(Tesis)

Oleh

**SHALEHUDIN DENNY MA'RUF
NPM 1920011004**



**PROGRAM STARATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**MODIFIKASI KAYU RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PERLAKUAN
MINYAK PANAS (*HOT OIL TREATMENT*) MENGGUNAKAN MEDIA
MINYAK KELAPA SAWIT: PENGARUH KONDISI PROSES
TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS KAYU MINDI, SENGON, DAN
BATANG KELAPA**

Oleh

SHALEHUDIN DENNY MARUF

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER LINGKUNGAN**

Pada

**Program Studi Magister Ilmu Lingkungan
Pascasarjana Multidisiplin Universitas Lampung**



**PROGRAM STARATA 2
PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

MODIFIKASI KAYU RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PERLAKUAN MINYAK PANAS (*HOT OIL TREATMENT*) MENGGUNAKAN MEDIA MINYAK KELAPA SAWIT: PENGARUH KONDISI PROSES TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS KAYU MINDI, SENGON, DAN BATANG KELAPA

Oleh

SHALEHUDIN DENNY MARUF

Penggunaan logam seperti baja ringan dan besi dalam bidang konstruksi masih menjadi bahan yang diminati karena lebih murah dan kuat namun penggunaannya dinilai kurang ramah lingkungan karena memerlukan energi yang besar dan menghasilkan polusi dalam pembuatannya. Kayu sebagai bahan konstruksi dinilai lebih ramah lingkungan karena memiliki keterbaruan di alam. Umumnya kayu yang digunakan merupakan kayu berkualitas tinggi, namun jumlahnya semakin berkurang tiap tahunnya. Oleh karena itu mulai digunakan kayu cepat tumbuh yang memiliki potensi tinggi pada jumlahnya yang terus bertambah namun memiliki kualitas yang rendah sehingga memerlukan modifikasi untuk meningkatkan kualitas kayu. Perlakuan minyak panas atau *Hot oil treatment* (HOT) merupakan salah satu metode modifikasi kayu menggunakan minyak nabati sebagai media penghantar panas. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh suhu dan durasi perlakuan HOT terhadap perubahan warna (ΔL^* , Δa^* , Δb^* , dan ΔE), sifat fisis (kerapatan, kadar air, daya serap air, dan perubahan berat), serta kekuatan tekan kayu mindi (*Melia adazarach*), sengon (*Falcataria moluccana*), dan batang kelapa (*Cocos nucifera*). HOT dilakukan menggunakan suhu 180°C, 200°C, 220°C, dan 240°C serta durasi 1, 2, 3, dan 4 jam untuk mengetahui pengaruh faktor jenis kayu, suhu, dan durasi. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh suhu dan durasi pada warna kayu mengakibatkan peningkatan nilai ΔL^* , Δa^* , Δb^* , dan ΔE seiring dengan meningkatnya suhu dan semakin lamanya durasi HOT. Pengaruh suhu dan durasi pada sifat fisis kayu mengakibatkan peningkatan kerapatan dan kekuatan tekan kayu serta menurunkan kadar air, daya serap air, dan perubahan berat kayu seiring dengan meningkatnya suhu dan semakin lamanya durasi HOT.

Kata kunci: *Modifikasi kayu, Perubahan warna, Hot oil treatment, Sifat mekanis, Sifat fisis*

ABSTRACT

ECO-FRENDLY WOOD MODIFICATION VIA HOT OIL TREATMENT USING PALM OIL: EFFECT OF PROCESS CONDITIONS ON THE QUALITY IMPROVEMENT OF MINDI, SENGON, AND COCONUT STEMS

By

SHALEHUDIN DENNY MARUF

The use of metals such as light steel and iron in construction sector is still a material of interest because it is cheaper and stronger, but its use is considered less eco-friendly because it requires a large amount of energy and produces pollution in its manufacture. Wood as a construction material is considered more eco-friendly because it is renewable material. Generally, the wood used is high quality wood, but the amount is decreasing every year. Therefore, the use of fast-growing wood which has a high potential in increasing numbers but has a low quality that requires modification to improve the quality of the wood. Hot oil treatment (HOT) is a method of wood modification using vegetable oil as a heat conductor. The objective of this study was to analyze the effect of temperature and duration of HOT treatment on color changes (ΔL^* , Δa^* , Δb^* , and ΔE), physical properties (density, moisture content, water absorption, and weight changes), and compressive strength. mindi (*Melia adazarach*), sengon (*Falcataria moluccana*), and coconut stem (*Cocos nucifera*). HOT was carried out using temperature 180°C, 200°C, 220°C, and 240°C with duration 1, 2, 3, and 4 hours to determine the effect wood type, temperature, and duration. The results showed that increasing treatment temperature and duration increase the ΔL^* , Δa^* , Δb^* , and ΔE values. The effect of temperature and duration on the physical properties of wood resulted increase in density and compressive strength of the wood as well as decrease in moisture content, water absorption, and weight changes of wood with increasing temperature and the longer duration of HOT.

Key word: *Wood modification, Color change, Hot oil treatment, Mechanical properties, Physical propertie*

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis dengan judul: **“MODIFIKASI KAYU RAMAH LINGKUNGAN DENGAN PERLAKUAN MINYAK PANAS (*HOT OIL TREATMENT*) MENGGUNAKAN MEDIA MINYAK KELAPA SAWIT: PENGARUH KONDISI PROSES TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS KAYU MINDI, SENGON, DAN BATANG KELAPA”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya, saya bersedia dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



SHALEHUDIN DENNY M.
NPM 1920011004

RIWAYAT HIDUP



Penulis kelahiran Gunung Batin pada Tanggal 22 Bulan Desember Tahun 1994 sebagai anak kedua dari pasangan Suwondo dan Sri Ismiyatun. Penulis menyelesaikan masa studinya dari sekolah dasar hingga sekolah menengah atas dijalani dari tahun 2001 sampai dengan 2013. Tahun 2013 melanjutkan program Strata Satu di Institut Pertanian Bogor, Bogor Jawa Barat yang ditempuh selama empat tahun. Pada tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan Program Magister dengan prodi Ilmu Lingkungan di Universitas Lampung. Riwayat pekerjaan sebagai karyawan pabrik kayu lapis bagian *quality control* (QC) program *management trainee* (MT) sejak 2017 hingga 2019.

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan karya ini kepada orang – orang yang telah mendo'akan dan memberi dukungan baik moril maupun materil, terutama kepada ayahanda, ibunda, istri serta keluarga tercinta.

SANWACANA

Assalamu'alaikum.wr.wb.

Alhamdulillah Rabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala curahan rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini dengan judul Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan dengan Perlakuan Minyak Panas (*Hot Oil Treatment*) menggunakan Media Minyak Kelapa Sawit: Pengaruh Kondisi Proses terhadap Peningkatan Kualitas Kayu Mindi, Sengon, dan Batang Kelapa, dapat diselesaikan. Dalam menyelesaikan tesis ini penulis mendapatkan banyak sekali bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penelitian ini, antara lain kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Samsul Bakri, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan dan pembimbing kedua, yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk menempuh pendidikan Magister Ilmu Lingkungan (MIL) dan kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut. M. Sc., selaku pembimbing utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;
4. Bapak Dr. Indra Gumay F., S.Hut, M.Si., selaku pembimbing ketiga atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian tesis ini;

5. Bapak Dr. Ir. Agus Setiawan, M.Si., selaku pembahas utama pada seminar dan ujian Tesis. Terima kasih untuk masukan dan sarannya untuk penyempurnaan penelitian ini;
6. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku pembahas kedua pada seminar dan ujian Tesis. Terima kasih untuk masukan dan sarannya untuk penyempurnaan penelitian ini;
7. Bapak/Ibu Dosen dan Staf administrasi, yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuan kepada penulis.
8. Istri, Sagina Mentari yang telah memberikan dukungan dan doa selama mendampingi saya dalam menyelesaikan tesis ini.
9. Orang tua tercinta, Bapak dan ibu yang telah memberikan dukungan dan doa, dan kesabaran selama mendampingi saya dalam menyelesaikan tesis ini.
10. Seluruh rekan-rekan Magister Ilmu Lingkungan 2019, terimakasih atas kebersamaan, berbagi pemikiran dan motivasi untuk menyelesaikan tesis ini.
11. Semua pihak yang telah membantu selama proses perkuliahan dari awal hingga akhir yang tidak dapat ditulis satu persatu

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Aamiin. Semoga penelitian ini dapat memberi manfaat.

Bandar Lampung, 13 Januari 2023

Shalehudin Denny Maruf

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
I. PENDAHULUAN	5
1.1 Latar Belakang.....	5
1.2 Perumusan Masalah	9
1.3 Tujuan Penelitian.....	9
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Kerangka Penelitian.....	9
II. TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Sifat-Sifat Jenis Kayu	12
2.1.1 Kayu sengon	14
2.1.2 Kayu mindi.....	16
2.1.3 Kelapa	17
2.1.4 Modifikasi Kayu	20
2.2 Modifikasi Panas	21
2.3 <i>Hot oil treatment</i>	24
2.4 Sifat-sifat Kayu Termodifikasi HOT	25
2.4.1 Warna kayu.....	25
2.4.2 Sifat fisis.....	25
2.4.3 Sifat mekanis	26
2.5 Manfaat Kayu Hasil HOT bagi Lingkungan	26
III. METODE PENELITIAN	28
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	28
3.2 Bahan dan Alat Penelitian	28
3.3 Pelaksanaan Penelitian/Metodologi.....	29
3.4 Pengumpulan data.....	31
3.4.1 Perubahan warna.....	31

3.4.2 Sifat fisis.....	33
3.4.3 Sifat mekanis	34
3.5 Analisa Data	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Pengaruh Suhu dan Durasi HOT Terhadap Warna Kayu	39
4.1.1. Nilai ΔL * Kayu	39
4.1.2. Nilai Δa * Kayu	41
4.1.3. Nilai Δb * Kayu	42
4.1.4. Nilai ΔE * Kayu.....	44
4.2 Pengaruh Suhu dan Durasi HOT Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Kayu	45
4.2.1. Kerapatan Kayu	45
4.2.2. Kadar Air Kayu.....	47
4.2.3. Daya Serap Air Kayu	49
4.2.4. Perubahan Berat Kayu.....	51
4.2.5. Kekuatan Tekan Kayu.....	53
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	57
5.1.Simpulan	57
5.2.Saran	58
DAFTAR PUSTAKA.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka Penelitian HOT pada kayu.....	11
2. Komposisi kimia kayu.....	13
3. Struktur anatomi kayu	13
4. Struktur anatomi batang kelapa	14
5. Rancang bangun tanur <i>hot oil treatment</i>	30
6. Ukuran sampel tiap pengujian	31
7. Pengujian tekan kayu	35
8. Desain interaksi acak kelompok sampel pada tiap pengukuran	38

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Struktur kimia setiap jenis kayu	19
2. Karakteristik pori, jari-jari, serat, dan pembuluh batang setiap jenis kayu ..	19
3. Desain percobaan sampel	36
4. Analisis ragam perubahan warna, sifat fisis, dan mekanis kayu.	37
5. Nilai ΔL^* ketiga jenis kayu sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	40
6. Nilai Δa^* ketiga jenis kayu sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	42
7. Nilai Δb^* ketiga jenis kayu sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	43
8. Nilai ΔE ketiga jenis kayu sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	45
9. Kerapatan ketiga jenis kayu sebelum dan sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	47
10. Kadar air ketiga jenis kayu sebelum dan sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	49
11. Daya serap air ketiga jenis kayu sebelum dan sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	51
12. Perubahan berat jenis kayu sebelum dan sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	53
13. Kekuatan tekan ketiga jenis kayu sebelum dan sesudah HOT akibat pengaruh suhu dan durasi.	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil uji statistik pengaruh suhu, durasi dan jenis kayu HOT pada nilai perubahan warna kayu	70
2. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap nilai ΔL	71
3. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap nilai Δa	71
4. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap nilai Δb	71
5. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap nilai ΔE	71
6. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap nilai ΔL	72
7. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap nilai Δa	72
8. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap nilai Δb	72
9. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap nilai ΔE	72
10. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap nilai ΔL	73
11. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap nilai Δa	73
12. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap suhu pada nilai Δb	73
13. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap suhu pada nilai ΔE	73
14. Hasil uji statistik pengaruh suhu, durasi dan jenis kayu HOT pada Sifat Fisik Kayu Kayu	74
15. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap kerapatan kayu	75
16. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap kadar air kayu	75
17. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap daya serap air kayu	75
18. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap perubahan berat kayu	75
19. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap kerapatan kayu...	76
20. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap kadar air kayu	76
21. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap daya serap air kayu	76
22. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap perubahan berat kayu	76
23. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap suhu pada kerapatan kayu	77
24. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap suhu pada daya serap air kayu	77

25. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis kayu terhadap suhu pada perubahan berat kayu	77
26. Hasil uji statistik pengaruh suhu HOT pada kekuatan tekan kayu	77
27. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh suhu HOT terhadap kekuatan tekan kayu	78
28. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh durasi HOT terhadap kekuatan tekan kayu	78
29. Hasil uji lanjut Duncan pengaruh jenis terhadap suhu pada kekuatan tekan kayu	78
30. Hasil statistik nilai respon pada tiap pengujian	79

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kayu merupakan salah satu hasil hutan yang memiliki peran penting sebagai bahan struktural maupun non-struktural dalam pembangunan (Fahriza *et al.*, 2021). Kayu memiliki keunggulan dalam penggunaan dibandingkan dengan logam terutama peranan kayu terhadap lingkungan (Utama *et al.*, 2019). Kayu dapat tetap tersedia melalui penanaman pohon sehingga terus terbarui seiring dengan bertambahnya pohon. Menurut Kissock (2012), produksi baja perlu bahan bakar fosil sekitar 24 kali lipat lebih banyak jika dibandingkan dengan kayu, sedangkan beton mengemisi sekitar 140 kg CO₂/m². Bahkan ketika sedang memproduksi kayu, pohon juga menghasilkan oksigen untuk kita bernapas, hampir 75% dari satu ton oksigen dihasilkan untuk tiap pertumbuhan kayu setiap meter kubik (Hill dan Zimmer, 2018). Suatu kondisi dimana tidak ada bahan material lain yang dapat menyamainya saat tumbuh pohon menyerap CO₂ sehingga pohon dapat menyimpan karbon dalam waktu lama yang hanya dapat terurai saat terbakar dan lapuk.

Produksi kayu bulat dunia memiliki jumlah yang meningkat tiap tahun. Berdasarkan data *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2018) terjadi kenaikan produksi kayu bulat secara konsisten sejak tahun 2009 (1,55 miliar m³) hingga 2018 (2,05 miliar m³). Peningkatan produksi kayu dunia menandakan bahwa minat manusia

untuk menggunakan kayu juga semakin tinggi. Kondisi yang sama juga terjadi di Indonesia dimana menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2018) perkembangan produksi kayu bulat dari tahun 2013 (33,41 juta m³) hingga 2018 (48,74 juta m³) cenderung meningkat sehingga menjadi negara yang memproduksi kayu bulat ketujuh terbesar di dunia berdasarkan data FAO (2018). Data produksi kayu bulat tersebut berasal dari hutan tanaman (40,14 juta m³) dan hutan alam (8,60 juta m³) sehingga hutan tanaman merupakan sumber kayu bulat terbanyak di Indonesia. Saat ini persediaan kayu dari hutan alam semakin terbatas akibat eksploitasi hutan yang berlebihan sehingga menyebabkan pasokan kayu semakin berkurang kualitas dan kuantitasnya (Baskara *et al.*, 2022; Muhamad *et al.*, 2019).

Jenis-jenis kayu bulat yang berasal dari hutan tanaman mayoritas adalah jenis cepat tumbuh (*fast growing tree species*) yaitu kayu yang memiliki umur panen atau rotasi tebang 5-7 tahun seperti akasia (*Acacia mangium*), mindi (*Melia azedarach*) dan sengon (*Falcataria moluccana*) (Badalamenti *et al.*, 2020). Jenis-jenis tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kesenjangan antara permintaan dan pasokan kayu karena jumlahnya lebih meningkat dibandingkan jenis kayu keras (BPS, 2016; BPS, 2017). Kelebihan kayu cepat tumbuh seperti memiliki pertumbuhan yang pendek, rotasi tebang atau waktu panen yang singkat namun spesies yang tumbuh cepat memiliki beberapa efek negatif pada kualitas kayu, seperti kerapatan lebih rendah dan serat lebih pendek (Adi *et al.*, 2014; Aisyah *et al.*, 2021; Rafly *et al.*, 2022; Yunita *et al.*, 2022), sehingga mulai digunakan berbagai upaya perlakuan untuk meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh dengan cara dimodifikasi untuk meningkatkan kualitasnya.

Modifikasi kayu merupakan proses meningkatkan sifat-sifat kayu sehingga menghasilkan sifat bahan yang baru dan diinginkan (Hill, 2006; Hidayat dan Febrianto,

2018; Sandberg *et al.*, 2017). Modifikasi kayu dapat dilakukan melalui empat metode yaitu 1) modifikasi kimia, menggunakan bahan kimia pada kayu, 2) modifikasi panas, menggunakan panas pada suhu 160-260°C, 3) modifikasi permukaan, upaya untuk melapisi suatu bahan pada kayu, dan 4) modifikasi impregnasi, upaya memasukkan suatu bahan pada kayu menggunakan alat bertekanan tinggi (Hidayat dan Febrianto, 2018; Hill, 2006). Penelitian tentang modifikasi kayu di Eropa telah menjadi obyek penting investigasi dalam dekade terakhir yang mengarah pada pengembangan dan industrialisasi dari berbagai proses berdasarkan teknologi yang berbeda-beda terutama tergantung pada sifat atmosfer yang digunakan selama pengolahan (uap, nitrogen, minyak nabati, vakum) dan oleh sifat perpindahan panas (konveksi atau konduksi) (Gérardin, 2016; Hill, 2006; Sahin 2017; Sandberg dan Kutnar 2016). Modifikasi panas dinilai lebih sederhana dan ramah lingkungan dibandingkan teknik modifikasi kayu lainnya karena tidak menggunakan bahan kimia berbahaya dalam prosesnya (Vu dan Li, 2010). Modifikasi ini akan membuat penggunaan kayu menjadi lebih efisien karena kualitasnya bertambah

Berdasarkan media, tahapan proses, dan alat penghantar panas yang digunakan, modifikasi panas memiliki beberapa jenis metode yaitu *Plato wood*, *Thermo Wood*, *Le Bois Perdure*, *Retification*, dan perlakuan panas dengan minyak atau *Hot oil treatment* (HOT) (Sandberg dan Kutnar 2016; Sandberg *et al.*, 2017). HOT menggunakan minyak nabati sebagai media penyalur panas sehingga penyebaran panas pada kayu merata dan menghalangi oksigen masuk dalam proses yang akan menyebabkan terbakarnya kayu. Bazyar (2012) meneliti perubahan sifat fisik kayu aspen yang diolah menggunakan minyak biji rami panas dan melaporkan peningkatan stabilitas dimensi, menurunkan kadar air kesetimbangan, penurunan penyerapan air,

dan peningkatan ketahanan terhadap pembusukan. Umar *et al.* (2016) meneliti perubahan sifat kimia dan ketahanan terhadap jamur yang terjadi pada kayu karet dengan menggunakan HOT dan hasilnya kayu karet mengalami semakin banyak kehilangan selulosa, hemiselulosa, holoselulosa, dan lignin pada suhu HOT yang semakin tinggi sehingga mengakibatkan semakin tahan terhadap jamur.

Penelitian terhadap efek HOT yang peneliti temukan sudah dilakukan oleh banyak peneliti (Bak dan Németh, 2012; Bak *et al.*, 2012; Bazyar, 2002; Dubey *et al.*, 2011a; Dubey *et al.*, 2011b; Lacić *et al.*, 2012; Lyon *et al.*, 2007; Wang dan Cooper, 2005). Penelitian tentang HOT pada jenis-jenis kayu tropis cepat tumbuh yang ditemukan oleh peneliti hanya dari jenis *Acacia mangium* (Razak *et al.*, 2012; Razak *et al.*, 2011) dan *Hevea brasiliensis* (Umar *et al.* 2016) namun belum ada yang meneliti jenis kayu sengon (*Falcataria moluccana*), mindi (*Melia azedarach*), dan kelapa (*Cocos nucifera*). Berdasarkan PKKI (1961) ketiga jenis kayu cepat tumbuh yang digunakan mewakili kayu cepat tumbuh lainnya dengan sifat-sifat yang serupa yaitu sengon memiliki kelas kuat IV-V, mindi memiliki kelas kuat II-III, dan bahan berlignoselulosa berupa batang kelapa yang mewakili hasil hutan bukan kayu digunakan sebagai perbandingan dengan bahan kayu karena kerap digunakan sebagai bahan substitusi kayu dengan kelas kuat III. Indonesia memiliki keragaman dan jumlah produksi kayu yang tinggi khususnya pada kayu cepat tumbuh seperti kayu sengon, mindi, dan kelapa, namun penelitian pengaruh HOT pada kayu sengon, mindi, dan kelapa masih sedikit menjadikan hal tersebut alasan peneliti melakukan penelitian ini. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung rumpun ilmu modifikasi kayu ramah lingkungan khususnya pada modifikasi kayu menggunakan minyak panas dan

berupaya meningkatkan penggunaan kayu di masyarakat agar lebih memilih kayu karena lebih ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh HOT pada perubahan warna kayu, sifat fisis, dan sifat mekanis pada setiap jenis kayu cepat tumbuh
2. Diperlukan penelitian untuk mengetahui besar perubahan sifat setiap jenis kayu yang telah mengalami HOT jika dibandingkan dengan kayu sebelum HOT

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji pengaruh suhu dan durasi perlakuan terhadap perubahan warna, sifat fisis, dan sifat mekanis setiap jenis kayu cepat tumbuh.
2. Menentukan suhu dan durasi HOT yang memiliki pengaruh optimal pada peningkatan kualitas setiap jenis kayu cepat tumbuh.

1.4 Manfaat Penelitian

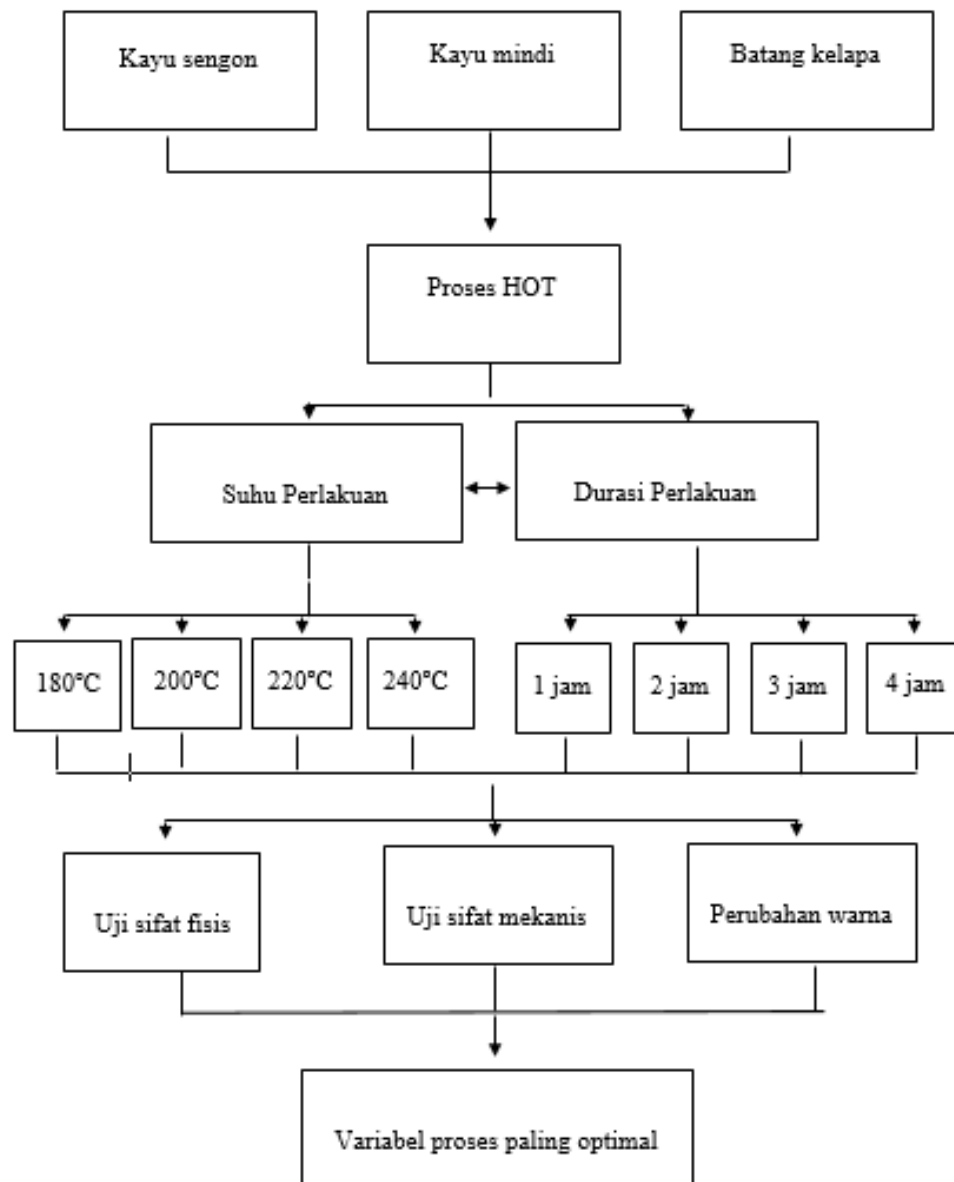
Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi antara lain sebagai berikut:

1. Dapat memberikan informasi pengaruh penggunaan HOT sebagai alternatif upaya peningkatan kualitas kayu sebagai metode yang ramah lingkungan kepada masyarakat dan pelaku usaha.
2. Sebagai pertimbangan bagi masyarakat dan pelaku usaha untuk memanfaatkan penggunaan kayu cepat tumbuh secara lebih optimal.

1.5 Kerangka Penelitian

Penelitian modifikasi panas pada kayu dengan HOT di dunia sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Namun, penelitian HOT menggunakan jenis kayu

tropis cepat tumbuh belum dilakukan sebelumnya. Selain itu, penelitian HOT di Indonesia masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian HOT jenis-jenis kayu cepat tumbuh tropis dari Indonesia sangat penting dilakukan mengingat Indonesia memiliki keanekaragaman jenis kayu yang tinggi. Perbandingan sifat-sifat kayu yang didapatkan setelah HOT dilakukan dengan cara mengukur setiap variabel sifat kayu yang diukur saat sebelum dan setelah HOT sehingga perlu berbagai langkah dalam pelaksanaan pengukuran tersebut. Langkah tersebut meliputi pembuatan dan pengukuran sampel, proses HOT, pengujian sifat-sifat kayu dan penentuan variabel (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka Penelitian HOS pada kayu

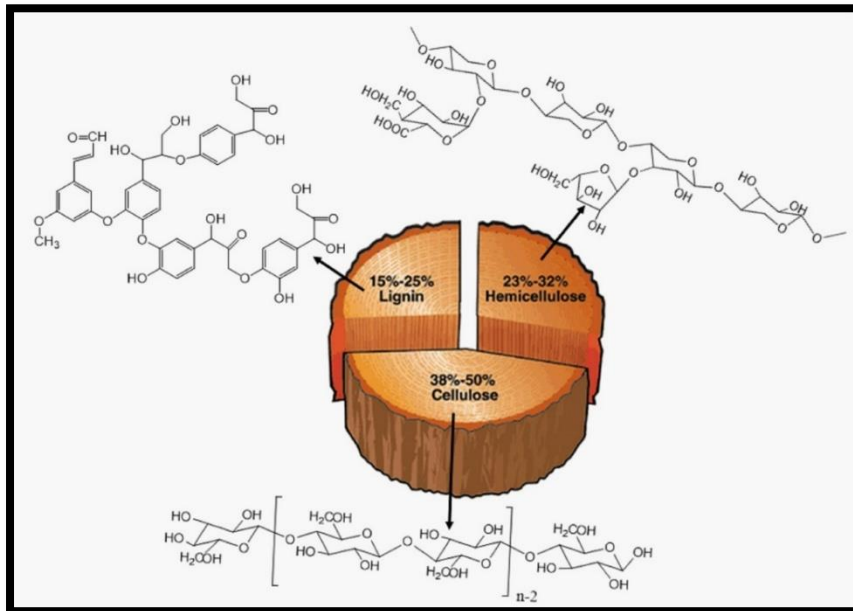
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat-Sifat Jenis Kayu

Martawijaya *et al.* (1981) memperkirakan bahwa terdapat 4000 jenis kayu di Indonesia namun 400 jenis diantaranya dianggap penting kegunaannya dan 259 jenis digunakan dalam perdagangan menjadi 129 jenis kayu perdagangan. Banyaknya jenis kayu tersebut memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda karena disetiap jenis kayu memiliki komponen utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang berbeda. Selulosa dan hemiselulosa berpengaruh pada kekuatan kayu sementara lignin berpengaruh pada kekerasan kayu (Cahyandaru *et al.*, 2010). Struktur kayu yang berbeda akan menyebabkan sifat yang berbeda sehingga akan membedakan kegunaan jenis kayu tersebut. Penelitian Purusatama *et al.* (2021) menunjukkan respon berbeda pada anatomi kayu *Pinus merkusii* dan *Agathis loranthifolia* akibat adanya tekanan.

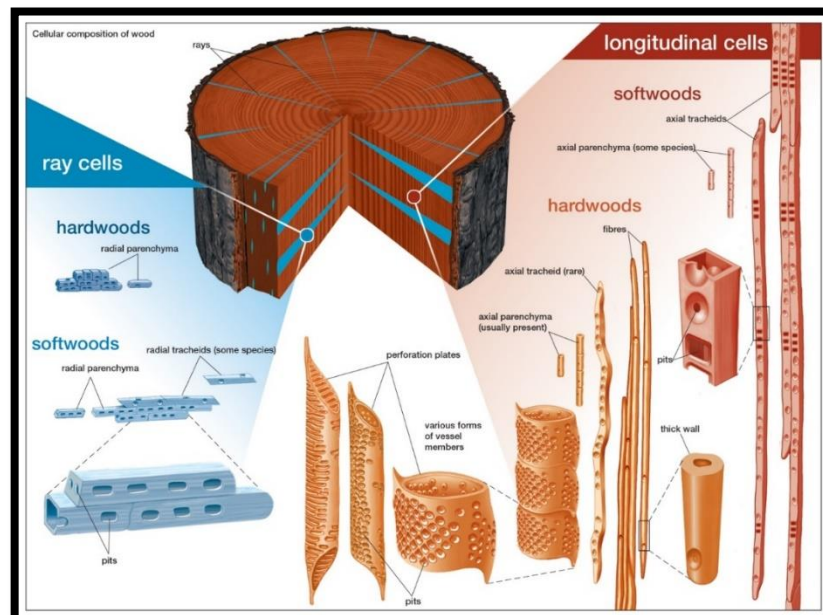
Komponen kimia utama kayu berupa selulosa (38-50%), hemiselulosa (23-32%), dan lignin (15-25%) (Gambar 2). Kayu dibedakan menjadi kayu daun jarum (*softwood*) dan kayu daun lebar (*hardwood*) yang memiliki struktur anatomi berupa serat, pori, jaringan parenkim, dan dinding sel berbeda seperti pada Gambar 3. Beberapa tumbuhan yang tidak memiliki kambium, namun kerap dijadikan bahan substitusi kayu seperti kelapa yang memiliki komponen kimia serupa dengan kayu

namun memiliki struktur anatomi berbeda karena tidak memiliki jari-jari namun memiliki pembuluh batang (Gambar 4) (Sudarna, 1990; Wardhani *et al.*, 2003).



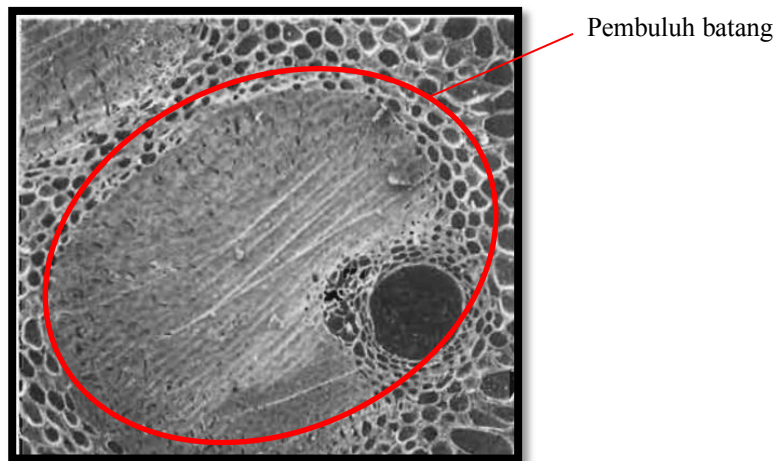
Sumber : Rowell *et al.* (2012)

Gambar 2. Komposisi kimia kayu



Sumber : Weber *et al.* (2019)

Gambar 3. Struktur anatomi kayu



Sumber : Meylan (1978)

Gambar 4. Struktur anatomi batang kelapa

2.1.1 Kayu sengon

Kerajaan : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Fabales

Famili : Fabaceae

Subfamili : Mimosoideae

Genus : *Falcataria*

Spesies : *Falcataria moluccana*

Pohon sengon dipilih sebagai salah jenis tanaman hutan tanaman industri di Indonesia karena pertumbuhannya yang sangat cepat dengan masa panen 5 -7 tahun dan mudah beradaptasi dengan lingkungan (Krisnawati *et al.*, 2011; Riniarti *et al.*, 2021a; Riniarti *et al.*, 2021b). Pohon sengon dapat tumbuh berbagai jenis tanah,

karakteristik silvikulturnya yang bagus dan kualitas kayunya dapat diterima untuk industri panel, pelet, dan kayu pertukangan (Wijaya *et al.*, 2022) . Kayu sengon banyak dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai bahan bangunan dan bahan baku industri pengolahan kayu dimana yang menghasilkan limbah serbuk gergajian (*saw dust*), pasahan (*shaving*), potongan kecil kayu, tatal dan lain-lain (Roza *et al.*, 2015). Kayu sengon memiliki karakteristik umumnya ringan, lunak sampai agak lunak. Kayu terasnya berwarna putih sampai coklat muda pucat atau kuning muda sampai coklat kemerahan. Pada pohon yang masih muda, warna kayu teras dan kayu gubal tidak begitu jelas perbedaannya (berwarna pucat), tetapi pada kayu yang lebih tua perbedaannya cukup jelas. Menurut Martawijaya *et al.* (1989) kerapatan kayu sengon berkisar antara 0,24-0,49 g/cm³ pada kadar air 15% serat kayunya lurus atau saling bertautan dan teksturnya cukup kasar tetapi seragam. Kayu sengon tidak tahan lama ketika digunakan di tempat terbuka sehingga sangat rentan terhadap berbagai jenis serangan dan jamur karena kayu sengon termasuk dalam kelas awet IV-V (PKKI, 1961).

Kayu sengon dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan konstruksi ringan (misalnya langit-langit, panel, interior, perabotan dan kabinet), bahan kemasan ringan (misalnya paket, kotak, kotak cerutu dan rokok, peti kayu, peti teh dan pallet), korek api, sepatu kayu, alat musik, mainan dan sebagainya (Krisnawati *et al.*, 2011). Kayu sengon juga dapat digunakan untuk bahan baku lapis, briket arang, papan partikel dan papan blok (Ridjayanti *et al.*, 2021; Tarigan *et al.*, 2021; Wibowo *et al.*, 2020; Yunita *et al.*, 2022)

2.1.2 Kayu mindi

Kerajaan : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Sapindales

Famili : Fabaceae

Subfamili : Meliaceae

Genus : *Melia*

Spesies : *Melia azedarach*

Mindi merupakan salah satu jenis kayu cepat tumbuh atau fast growing spesies yang dapat dipanen pada usia lima tahun dan trubusan dari bekas tebangannya dapat dipanen lagi setelah empat tahun kemudian (Jauhari *et al.*, 2016). Pohon mindi merupakan tanaman yang dapat tumbuh di berbagai tempat dan tersebar di seluruh pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur karena karena tergolong tanaman yang mudah tumbuh di berbagai jenis tanah (Praptoyo, 2010). Pohon mindi memiliki fungsi serbaguna karena dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Seluruh bagian tanaman mulai dari akar, batang yang berkayu, kulit batang, daun, buah dan bijinya dapat dimanfaatkan. Kayu mindi dapat digunakan dalam bentuk kayu utuh misalnya sebagai komponen rumah, komponen mebel dan barang kerajinan.

Kayu mindi memiliki warna merah hingga coklat muda semu-semu ungu dengan kayu gubal berwarna putih kemerahan dan memiliki batas yang jelas dengan kayu teras serta memiliki tekstur kasar, memiliki serat lurus dan agak berpadu. Kayu mindi memiliki berat jenis 0,42 hingga 0,65 sehingga dikategorikan kelas kuat II hingga III dan memiliki kelas awet IV hingga V (Martawijaya *et al.*, 1989).

2.1.3 Kelapa

Kerajaan : Plantae

Divisi : Tracheophyta

Kelas : Liliopsida

Ordo : Arecales

Famili : Arecaceae

Subfamili : Arecoideae

Genus : *Cocos*

Spesies : *Cocos nucifera*

Kelapa merupakan tanaman tropis yang telah lama dikenal masyarakat Indonesia. Hal ini terlihat dari penyebaran tanaman kelapa di hampir seluruh wilayah Nusantara. Kelapa merupakan komoditas strategis yang memiliki peran sosial, budaya, dan ekonomi dalam kehidupan masyarakat Indonesia. Manfaat tanaman kelapa tidak saja terletak pada daging buahnya yang dapat diolah menjadi santan, kopra, dan minyak kelapa, tetapi seluruh bagian tanaman kelapa mempunyai manfaat yang besar. Alasan utama yang membuat kelapa menjadi komoditi

komersial adalah karena semua bagian kelapa dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan (International Labour Organization dan United Nation Development Programme, 2014). Kelapa termasuk dalam famili *Arecaceae* sehingga tidak dikategorikan pohon karena tidak memiliki kambium. Namun, kelapa memiliki batang yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi kayu seperti pada bahan konstruksi bangunan dan kerajinan karena memiliki sifat yang serupa dengan kayu tapi memiliki juga beberapa perbedaan. Menurut Barri *et al.* (2015) umur produktif kelapa umumnya hingga 60 tahun, sehingga batang kelapa yang digunakan biasanya berasal dari kelapa yang terserang penyakit maupun kelapa yang tidak produktif. Berdasarkan penelitian (Rangkang *et al.*, 2016) kayu kelapa memiliki karakteristik yang non homogen baik dalam arah longitudinal (tinggi batang) maupun dalam arah radial atau tangensial melintang (diameter batang) namun sifat mekanis kayu konvensional berlaku juga pada kayu kelapa dan mengacu pada PKKI (1961) termasuk dalam kelas kuat II hingga V. Kelas awet kayu kelapa memiliki berat jenis 0,6-0,9 dan termasuk dalam kelas awet III (Indrosaptoyo *et al.*, 2014). Komposisi kimia kayu kelapa menurut Indrosaptoyo *et al.* (2014), kelarutan komposisi kimia menurut Wardhani *et al.* (2003), dan struktur anatomi menurut Sudarna (1990) sebagai berikut (Tabel 1).

Tabel 1. Struktur kimia setiap jenis kayu

Sifat Kimia	Sengon	Mindi	Kelapa
Selulosa (%)	52,4	51,0	66,7
Lignin (%)	25,4	30,1	25,1
Pentosan (%)	16,2	17,6	22,9
Abu (%)	0,8	-	1,97
Silika (%)	0,1	-	-
Ekstraktif Terlarut			
Alkohol-benzena (%)	4,7	2,8	5,11
Air dingin (%)	1,6	1,5	-
Air panas (%)	3,1	3,8	6,06
NaOh 1% (%)	18,4	17,2	21,04

Sumber : Martawijaya *et al.* (1989) dan Wardhani *et al.* (2003)

Tabel 2. Karakteristik pori, jari-jari, serat, dan pembuluh batang setiap jenis kayu

Pori	Sengon	Mindi	Pembuluh batang	Kelapa
Diameter (μm)	140-200	30-360	Diameter (μm)	670-1150
Frekuensi (pori/ mm^2)	1-3	1-50	Frekuensi (pembuluh/ mm^2)	19-229
Jari-jari		Serat		
Lebar (μm)	15-18	7-61	Panjang (μm)	1367,1-1741
Tinggi (μm)	150-220	1000	Diameter (μm)	28,3-42,6
Frekuensi (jari-jari/ mm^2)	5-6	3-4	Tebal dinding (μm)	5,2-13,8
Serat				
Panjang (μm)	1242	1323		
Diameter (μm)	46	27		
Tebal dinding (μm)	3,3	2,8		

Sumber : Martawijaya *et al.* (1989) dan Sudarna (1990)

2.1.4 Modifikasi Kayu

Modifikasi kayu bertujuan memperbaiki sifat-sifat kayu untuk mengatasi kekurangannya menjadi kayu yang lebih berkualitas (Sandberg dan Navi, 2007). Modifikasi kayu dapat mengubah sifat penting kayu seperti daya tahan biologis, stabilitas dimensi, kekerasan, stabilitas UV, dapat mengubah struktur molekul komponen dinding sel dan mengubah hidrofilik gugus OH menjadi lebih gugus hidrofobik yang lebih besar (Homan dan Jorissen, 2004). Modifikasi panas terdiri dari empat macam yaitu :

a. Modifikasi kimia

Prinsip utama modifikasi kimia adalah proses esterifikasi dimana ester dibentuk oleh reaksi kayu dengan asam karboksilat atau asam anhidrida sehingga menghasilkan serangan asam atau basa yang mengarah pada hidrolisis senyawa kayu (Homan dan Jorissen, 2004).

b. Modifikasi permukaan

Menurut Hill (2006) modifikasi permukaan kayu berfungsi untuk meningkatkan sinar ultraviolet, stabilitas kayu, untuk mengubah energi permukaan kayu (untuk mengurangi pembasahan oleh air, dan / atau meningkatkan kompatibilitas dengan bahan pelapis), dan untuk meningkatkan ikatan antar permukaan kayu.

c. Modifikasi impregnasi

Modifikasi impregnasi merupakan metode memasukkan bahan kimia atau campuran kimia ke dalam dinding sel kayu. Proses memasukkan bahan kimia tersebut menggunakan tekanan selama beberapa hari agar terjadi difusi yang menjadikan zat kimia dapat masuk ke dalam dinding sel kayu (Hill, 2006).

d. Modifikasi panas

Modifikasi panas memanfaatkan suhu tinggi untuk mengubah struktur kayu yang merupakan perpaduan pengeringan dan pengawetan kayu.

2.2 Modifikasi Panas

Suhu yang digunakan pada modifikasi panas jarang di bawah 140°C karena dalam proses modifikasi panas pada kayu cenderung tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan sifat-sifat kayu, sedangkan suhu di atas 260°C cenderung menyebabkan terjadinya degradasi komposisi kimia yang menyebabkan penurunan mutu kayu (Hidayat *et al.*, 2017c; Hill, 2006). Modifikasi panas umumnya dilakukan pada kondisi oksigen rendah atau nihil untuk mencegah terjadi oksidasi atau terjadinya nyala api pada kayu dengan menggunakan medium nitrogen (Hakkou *et al.*, 2005), vakum (Allegretti *et al.*, 2012; Surini *et al.*, 2012), minyak nabati (Dubey *et al.*, 2011a; Dubey *et al.*, 2011b), dan steam (Boonstra *et al.*, 2007; Ding *et al.*, 2011).

Brito *et al.*, (2008); Hill, (2006); Johanson *et al.*, (1997); Pang *et al.*, (1994); Poncsak *et al.*, (2006) menyatakan bahwa modifikasi panas terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Pada suhu 25°C hingga 100°C adanya air bebas dan terikat yang keluar karena proses evaporasi namun tidak terjadi perubahan struktur kayu.
2. Modifikasi kayu pada suhu 140°C dan 260°C menyebabkan perubahan komposisi kimia kayu.
3. Tahap pendinginan dan pengkondisian untuk mengatur kadar air kesetimbangan.

Perkembangan teknologi menyebabkan bertambahnya metode modifikasi panas sehingga memiliki beberapa karakteristik dan perbedaan pada prosesnya. Modifikasi panas pada kayu memiliki beberapa metode yaitu *Thermo wood*, *Plato wood*, *Retification*, *Bois Perdure*, dan *Hot oil treatment* yang berguna untuk meningkatkan kestabilan dimensi, meningkatkan ketahanan terhadap pembusukan dan menambah kekuatan kayu (Sahin, 2017). Jenis-jenis modifikasi panas yaitu:

a. *Plato Wood*

Plato wood merupakan metode modifikasi panas yang berasal dari Belanda yang menggunakan penggabungan proses pengeringan dan hidrotermolisis pada kayu yang pasca tebang maupun pada saat kering udara sehingga menghasilkan perubahan kimia (Sahin 2017). *Plato wood* dilakukan pada suhu 160°C -190°C dalam tekanan yang dinaikkan (Boonstra *et al.*, 1998). Waktu pengeringan tergantung pada jenis kayu dan ketebalan kayu yang digunakan.

b. *Thermo Wood*

Thermo Wood berasal dari Finlandia yang dalam proses modifikasinya terdiri dari tiga tahap. Tahap pertama, kenaikan suhu pada hingga 100°C dan dinaikkan perlahan hingga 130°C dengan penambahan steam dengan kadar air mencapai 0%. Tahap kedua suhu dinaikkan hingga 185°C - 215°C dan dipertahankan hingga 2-3 jam. Tahap ketiga, pendinginan dengan semprotan air, kondisioning, penjemuran kembali hingga kering (Gunduz *et al.*, 2010).

c. *Rectified Wood* dan *Perdure Wood*

Rectified Wood adalah metode modifikasi yang berasal dari Prancis dengan proses pengeringan satu tahap pada suhu 210°C-240°C yang dinaikkan secara perlahan pada kayu yang dalam keadaan kering udara dalam nitrogen dan kurang dari 2% oksigen (Sahin 2017). *Perdure Wood* metode ini berasal dari Prancis melalui pengeringan menggunakan oven dalam suhu 200°C -240°C dan diberi tekanan steam (Militz *et al.*, 2002).

d. *Hot oil treatment*

HOT merupakan metode modifikasi panas yang menggunakan minyak nabati bersuhu tinggi sebagai media penghantar panas. Modifikasi panas menyebabkan degradasi ekstraktif kayu dan perubahan komponen kimia pada dinding sel kayu. Ekstraktif pada kayu relatif lebih mudah terdegradasi, sehingga modifikasi panas menyebabkan evaporasi ekstraktif dari dalam kayu. Hemiselulosa merupakan komponen struktural yang paling dipengaruhi oleh modifikasi panas, sedangkan degradasi selulosa dan lignin terjadi secara lebih lambat pada kisaran suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan hemiselulosa (Esteves dan Pereira, 2009).

Perubahan struktur dan komposisi kimia kayu akibat modifikasi panas mempengaruhi sifat-sifat kayu. Menurut Hidayat *et al.* (2015) modifikasi panas menyebabkan perubahan visual kayu menjadi lebih gelap seiring dengan peningkatan suhu perlakuan. Selain itu massa dan volume kayu juga menurun secara signifikan dengan peningkatan suhu perlakuan. Esteves *et al.* (2014) menyatakan bahwa ketika proses modifikasi panas berlangsung, ekstraktif,

hemiselulosa dan sebagian kecil molekul selulosa yang berada di areal amorf terdegradasi akibat suhu tinggi. Hal ini menyebabkan komponen dasar dari struktur dinding kayu berubah jumlah dan dimensi sehingga menyebabkan penurunan massa dan dimensi kayu termodifikasi panas. Berkurangnya massa kayu dapat mengakibatkan penurunan kekuatan kayu karena degradasi dinding sel dan hemiselulosa berkontribusi dalam penurunan massa dan kerapatan kayu (Awoyemi dan Jones, 2011). Faktor yang mengakibatkan berkurangnya sifat mekanis kayu yaitu suhu perlakuan maksimum, laju pemanasan, durasi pada suhu maksimum medium pemanasan (Poncsak *et al.*, 2006).

Pengaruh utama modifikasi panas adalah perubahan sifat higroskopis kayu akibat modifikasi hemiselulosa (Esteves dan Pereira, 2009; Hill, 2006). Kayu termodifikasi panas berubah menjadi lebih hidrofobik. Hakkou *et al.* (2006) menjelaskan bahwa pada suhu lebih dari 130°C terjadi plastisasi lignin dan penyusunan ulang polimer-polimer hidrofilik kayu yang membatasi kembang-susut kayu dan penyerapan air. Menurut Esteves *et al.* (2014) modifikasi panas dapat mempengaruhi kadar air kesetimbangan pada kayu *Pinus pinaster* hingga 42% pada suhu 190°C dan 200°C selama 2-6 jam. Berkurangnya kandungan air dan hemiselulosa pada kayu mengakibatkan meningkatnya ketahanan kayu pada jamur karena kondisi tidak menguntungkan untuk tumbuhnya jamur (Hakkou *et al.*, 2006).

2.3 Hot oil treatment

Salah satu modifikasi panas yang selama ini telah digunakan yaitu modifikasi panas dengan minyak nabati atau sering disebut dengan *Hot oil treatment* (HOT). Modifikasi termal dalam minyak panas pertama dimulai oleh perusahaan Menz Holz di Jerman yang hanya menggunakan minyak sayur (Rapp dan Sailer 2000)

Minyak pada HOT berfungsi sebagai media penghantar panas ke kayu yang mengakibatkan panas bisa berpindah merata pada kayu dan sebagai penghalang bereaksi dengan oksigen agar tidak terbakar (Militz *et al.*, 2002).

2.4 Sifat-sifat Kayu Termodifikasi HOT

2.4.1 Warna kayu

Warna kayu pada kayu setelah HOT akan mengalami warna yang lebih gelap dibanding kayu sebelum HOT dikarenakan proses terlepasnya senyawa volatil kayu oleh panas sehingga menghasilkan residu karbon (Salim, 2016). Hal ini dipengaruhi oleh suhu dan durasi HOT dimana semakin besar suhu dan lama durasi semakin gelap warna kayu sehingga perubahan warna yang terjadi semakin besar (Dubey *et al.*, 2011a; Dubey *et al.*, 2011b; Hidayat dan Febrianto, 2018). Perubahan warna akan mempengaruhi selera masyarakat terhadap visual kayu sehingga untuk jenis kayu yang sama akan memiliki penilaian ketertarikan visual yang berbeda dari masyarakat. Penelitian Hidayat *et al.* (2017b) menggunakan *Pinus koraiensis* dan *Paulownia tomentosa* yang diberi perlakuan panas menunjukkan jumlah konsumen paling tinggi memilih kayu yang berwarna gelap pada suhu perlakuan 200-220 °C.

2.4.2 Sifat fisis

Perlakuan HOT pada kayu memiliki dampak negatif yaitu menyerap sejumlah besar minyak nabati yang mengakibatkan peningkatan massa kayu sebesar 50-70% namun dapat meningkatkan stabilitas dimensi kayu (Hidayat dan Febrianto, 2018; Sailer *et al.*, 2000; Suri *et al.*, 2022). Akibat dari meningkatnya berat kayu akan meningkatnya kerapatan kayu jika volume kayu tidak berubah namun pengaruh suhu yang semakin tinggi dan semakin lama durasi HOT dapat mengakibatkan penurunan berat karena terjadi degradasi komponen kayu. Penelitian Prihastono *et*

al.(2020) pada kayu gmelina dan mindi serta Prayoga *et al.*(2020) pada kayu akasia dan jabon terjadi peningkatan kerapatan pada kayu hasil HOT pada suhu tertentu dan menurun pada suhu dan durasi yang lebih tinggi. Razak *et al.* (2012) menyatakan bahwa daya tahan kayu akasia dipengaruhi oleh suhu dan durasi yang diterapkan selama HOT dan persentase kehilangan berat kayu meningkat seiring dengan meningkatnya durasi dan temperatur HOT. Penelitian Hardianto *et al.* (2020) menunjukkan terjadinya penurunan kadar air kayu seiring dengan meningkatnya suhu dan durasi HOT.

2.4.3 Sifat mekanis

Kelebihan metode HOT yaitu tidak menggunakan bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan, meningkatkan ketahanan terhadap jamur, namun mengurangi kerapatan kayu sehingga menurunkan kekuatan kayu (Lacić *et al.*, 2012). Kekuatan kayu pada HOT akan meningkat pada suhu, durasi, dan jenis kayu tertentu karena bergantungnya air di dinding sel kayu dengan minyak nabati dan hasil interaksi tersebut menghasilkan dinding sel yang lebih kuat dan lentur (Hüseyin *et al.*, 2016).

2.5 Manfaat Kayu Hasil HOT bagi Lingkungan

HOT sebagai metode peningkatan mutu kayu memiliki kelebihan menambah kekuatan fisis, mekanis, kimia, dan keawetan kayu. Peningkatan kualitas tersebut menambah daya guna kayu sehingga secara langsung maupun tidak langsung dapat meningkatkan penggunaan kayu di masyarakat. Kayu memiliki keunggulan dalam penggunaannya dibandingkan dengan logam terutama peranannya terhadap lingkungan. Kayu tidak memiliki keterbatasan jumlah di alam karena dapat terus terbaharui seiring dengan bertambahnya pohon.

Manfaat dari pelaksanaan pengawetan kayu yang baik menurut Barly dan Subarudi (2010) adalah: (1) meningkatkan efisiensi penggunaan sumber bahan baku kayu; (2) meningkatkan keanekaragaman komoditas kayu yang diawetkan untuk berbagai penggunaan; (3) mengurangi frekuensi penggantian kayu yang tinggi; (4) meningkatkan kepercayaan dan reputasi atas mutu produk yang dihasilkan; dan (5) mendorong inovasi dan kreativitas melalui pengembangan IPTEK pengawetan berbasis sumber daya domestik. Hasil pengawetan H0T menunjukkan adanya peningkatan daya tahan kayu terhadap organisme perusak sehingga lama waktu pakai kayu semakin lama. Penggunaan kayu yang awet diharapkan dapat meningkatkan konsumsi kayu sehingga dapat mengurangi konsumsi logam untuk konstruksi.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Persiapan bahan baku yaitu penggergajian, pengampelasan, pembuatan sampel uji, dan uji keawetan kayu dilakukan di Workshop Teknologi Hasil Hutan di Laboratorium Lapang Terpadu Fakultas Pertanian. Modifikasi panas HOT dan pengujian visual, sifat fisis, sifat mekanis, uji keawetan dilakukan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Jurusan Kehutanan Universitas Lampung. Penelitian dilakukan selama 1 tahun mulai dari bulan September 2020 sampai dengan Februari 2021.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan utama penelitian ini adalah tiga jenis kayu rakyat cepat tumbuh yaitu kayu sengon (*Falcataria moluccana*), mindi (*Melia azedarach*), dan kelapa (*Cocos nucifera*). Minyak nabati berupa minyak kelapa sawit digunakan sebagai media transfer panas terhadap kayu karena memiliki sifat penghantar panas yang baik dan terdiri dari berbagai asam lemak yang memiliki titik didih 213-383°C (Departemen Perindustrian, 2007) sehingga sesuai dengan suhu media yang diinginkan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tanur *hot oil treatment*, oven, gergaji pita (*band saw*), *circular saw*, *sanding machine*, *willey mill*, kaliper, mikrometer sekrup, neraca digital, kamera digital, pengukur warna (*chromameter*), microtome, pelapis, dan alat uji mekanis (*Universal Testing Machine* merk Testometric).

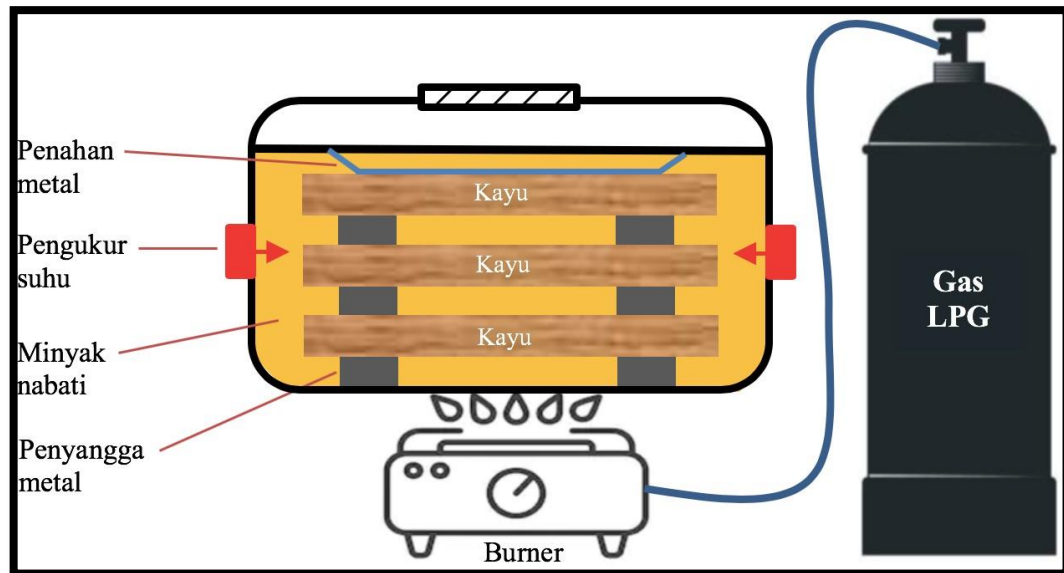
3.3 Pelaksanaan Penelitian/Metodologi

Kayu sengon, mindi dan kelapa dengan umur 5 hingga 10 tahun diperoleh dari hutan rakyat. Kayu bulat kemudian dikonversi menjadi berukuran 30 cm (panjang) \times 10 cm (lebar) \times 2 cm (tebal). Kayu kemudian dikeringkan secara bertahap dan disimpan di ruang kondisioning pada suhu kamar (25°C) dan kelembapan relatif 80% hingga kadar air sampel mencapai kadar air kesetimbangan (EMC). Kayu kemudian disortir hanya dengan arah serat normal dan bebas cacat yang dipilih sebagai sampel. Setelah kayu dipilih dilakukan pengukuran dimensi dan warna kayu.

Proses *hot oil treatment* dilakukan dengan menggunakan tanur pada Gambar 5. Kayu kayu disusun dengan menggunakan penyangga (*sticker*) metal dan tumpukan paling atas ditahan dengan menggunakan penahan metal untuk mencegah kayu mengapung selama proses perlakuan. Minyak kelapa sawit kemudian dimasukkan ke dalam tanur. Modifikasi panas dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

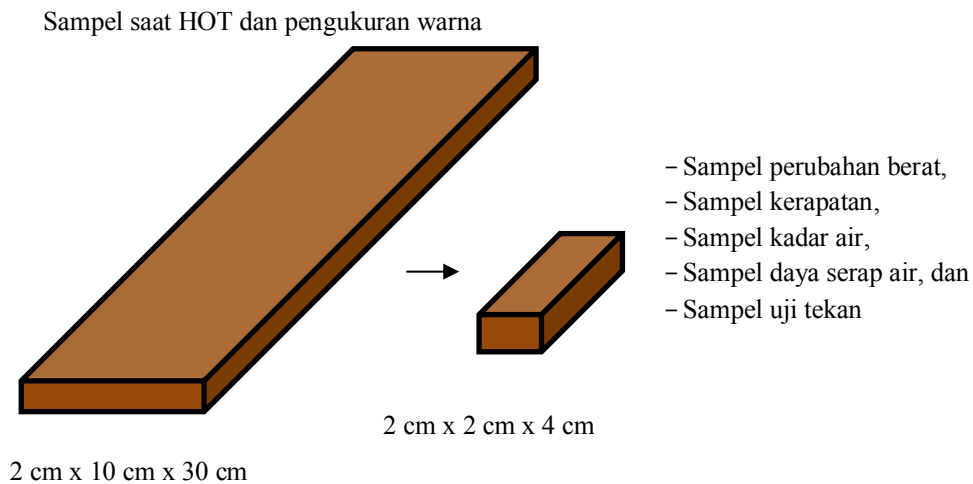
1. Suhu dinaikkan dari 25-30°C hingga target suhu maksimum dengan laju pemanasan 4°C/menit,
2. Suhu maksimum dipertahankan selama durasi yang ditentukan,
3. Suhu diturunkan hingga mencapai suhu ruangan,
4. Kondisioning. Suhu maksimum yang digunakan adalah 180°C, 200°C, 220°C, dan 240°C sesuai Hill (2006) jika suhu lebih rendah akan kurang memberikan pengaruh pada kayu, sedangkan jika lebih tinggi akan mengurangi kualitas kayu dengan lama durasi HOT 1, 2, 3, dan 4 jam. Tahapan penelitian berisi tahapan

atau langkah-langkah penelitian yang dilakukan dari awal hingga penelitian berakhir.



Gambar 5. Rancang bangun tanur *hot oil treatment*

Setelah HOT langkah selanjutnya yaitu melakukan pengukuran warna, sifat fisis, dan mekanis kayu. Pengukuran warna dilakukan sebelum dan setelah HOT sebagai perbandingan. Pengujian sifat fisis kayu meliputi perubahan berat, kerapatan, kadar air, dan daya serap air. Pengujian mekanis kayu meliputi pengujian kekuatan tekan dengan masing-masing ukuran sampel seperti Gambar 6.



Gambar 6. Ukuran sampel tiap pengujian

3.4 Pengumpulan data

Data sifat-sifat kayu didapatkan melalui pengukuran dengan alat dan metode berbeda di setiap pengujian. Pengujian data yang didapatkan dari penelitian ini meliputi:

3.4.1 Perubahan warna

Pengukuran perubahan warna dilakukan pada tiga titik setiap permukaan kayu sampel pada saat sebelum dan setelah HOT dengan menggunakan Colorimeter AMT507 (Amtast Inc., USA). Pengukuran warna menggunakan sistem warna $CIE-L^*a^*b^*$ (*Commission International de l'Eclairage*) yang berasal dari Vienna, Austria. Sistem warna $CIE-L^*a^*b^*$ terdiri dari tiga parameter warna, yaitu: L^* , a^* , dan b^* . Parameter L^* menunjukkan ukuran kecerahan kayu (*lightness*) atau gelap (*darkness*) dari sebuah warna dengan nilai maksimum 100 (putih) dan nilai minimum 0 (hitam). Parameter a^* mendeskripsikan kromatisasi warna hijau hingga merah, apabila angka negatif mengindikasikan warna hijau ($-a^*$) dan sebaliknya angka positif mengindikasikan warna merah ($+a^*$). Parameter b^* mendeskripsikan kromatisasi warna biru hingga kuning, dimana angka

negative mengindikasikan warna biru ($-b^*$) dan sebaliknya angka positif mengindikasikan warna kuning ($+b^*$).

Perubahan warna diukur pada kayu sebelum dan sesudah HOT pada sampel berukuran 30 cm x 10 cm x 2 cm dengan menghitung total perubahan warna menggunakan pengukur warna (*Colorimeter*) dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

$$\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1$$

$$\Delta a^* = a^*_2 - a^*_1$$

$$\Delta b^* = b^*_2 - b^*_1$$

L^*_1 = Kecerahan warna kayu sebelum HOT

L^*_2 = Kecerahan warna kayu setelah HOT

a^*_1 = Kromatisas warna merah dan hijau pada kayu sebelum HOT

a^*_2 = Kromatisas warna merah dan hijau pada kayu setelah HOT

b^*_1 = Kromatisas warna kuning dan biru pada kayu sebelum HOT

b^*_2 = Kromatisas warna kuning dan biru pada kayu setelah HOT

ΔL^* = Perubahan kecerahan kayu

Δa^* = Perubahan kromatisasi warna merah dan hijau kayu

Δb^* = Perubahan kromatisasi warna kuning dan biru kayu

ΔE^* = Perubahan warna keseluruhan

Tingkat perubahan warna ditentukan sesuai Cui *et al.* (2002) yang menetapkan ada lima tingkat perubahan warna yaitu

- $0 < \Delta E^* \leq 0,5$ = perubahan warna dapat diabaikan (*negligible*)
- $0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$ = perubahan warna sedikit (*slightly perceivable*)
- $1,5 < \Delta E^* \leq 3,0$ = perubahan warna nyata (*noticeable*)
- $3,0 < \Delta E^* \leq 6,0$ = perubahan besar (*appreciable*)
- $6,0 < \Delta E^* \leq 12,0$ = perubahan sangat besar (*very appreciable*)
- $\Delta E^* > 12,0$ = berubah total (*totally changed*)

3.4.2 Sifat fisis

3.4.2.1 Kadar air

Kadar air kayu dihitung pada berat kayu dengan HOT dan kayu kontrol dalam keadaan sebelum dioven (berat kering udara) dan setelah dioven (berat kering oven) dengan suhu 100 ± 2 selama 24 jam mengacu pada *American Standar Testing and Material* (ASTM) D 143-94 (2000) dengan ukuran 4 cm x 2 cm x 2 cm dengan rumus:

$$KA = \frac{BKU-BO}{Bo} \times 100\%$$

KA = kadar air (%)

BKU = berat kering udara (g)

BO = berat kering oven (g)

3.4.2.2. Daya serap air

Daya serap air merupakan kemampuan kayu dalam menyerap air maksimum pada ukuran sampel 4 cm x 2 cm x 2 cm dengan lama perendaman selama 14 hari. Pengujian ini mengacu pada ASTM D 143-94 (2000) dengan membandingkan kemampuan kayu HOT menyerap air dengan kayu kontrol dengan rumus:

$$DSA = \frac{BR-BO}{BO} \times 100\%$$

BO = berat kering oven (g)

BR = berat setelah direndam (g)

DSA = daya serap air (%)

3.4.2.3 Perubahan berat

Perubahan berat kayu diukur mengacu pada ASTM D 143-94 (2000) saat sebelum dan setelah HOT dalam keadaan kering oven dengan ukuran sampel 4 cm x 2 cm x 2 cm menggunakan rumus :

$$\Delta B = \frac{B_2 - B_1}{B_1} \times 100\%$$

B_1 = berat sebelum HOT dalam keadaan kering oven (g)

B_2 = berat setelah HOT dalam keadaan kering oven (g)

ΔB = perubahan Berat (%)

3.4.2.4 Kerapatan

Perubahan kerapatan kayu diukur dengan membandingkan kayu HOT dengan kayu kontrol dengan ukuran sampel 4 cm x 2 cm x 2 cm dalam keadaan kering oven mengacu pada ASTM D 143-94 (2000) dengan rumus kerapatan:

$$\rho = \frac{B}{V}$$

B = berat (g)

V = volume (cm³)

ρ = kerapatan (g/cm³)

3.4.3 Sifat mekanis

3.4.3.1 Kekuatan tekan

Kekuatan tekan kayu HOT dan kontrol dibandingkan untuk mengetahui pengaruh HOT pada kekuatan tekan kayu mengacu ASTM D 143-94 (2000) metode *Janka Hardness Test* pada ukuran sampel 4 cm x 2 cm x 2 cm dengan rumus:

$$\rho \text{ tekan} = \frac{F}{A}$$

F = beban maksimum (N)

A = luas permukaan bidang tekan (mm²)

$\rho \text{ tekan}$ = kekuatan tekan kayu (N/mm²)



Gambar 7. Pengujian tekan kayu

3.5 Analisa Data

Analisis data menggunakan model statistik non parametrik rancangan percobaan rancangan acak kelompok 2 faktorial (3×4 pada pengaruh suhu dan 3×4 pada pengaruh durasi) dengan dua ulangan (pengukuran warna dan perubahan berat) dan tiga ulangan (kerapatan, kadar air, daya serap air, dan kekuatan tekan). Faktor yang diteliti meliputi faktor jenis kayu (sengon, mindi, dan kelapa), faktor suhu (180°C , 200°C , 220°C , dan 240°C) dan faktor durasi (1, 2, 3, dan 4 jam) HOT pada sifat-sifat kayu di berbagai pengujian.

Tabel 3. Desain percobaan sampel

Jenis kayu		Suhu HOT		Durasi HOT	
Sengon	K1**	180°C	S*1*	1 jam	T**1
Mindi	K2**	200°C	S*2*	2 jam	T**2
Kelapa	K3**	220°C	S*3*	3 jam	T**3
		240°C	S*4*	4 jam	T**4

Pengolahan data menggunakan aplikasi SPSS 17.0 dan Microsoft Excel

2013. Model rancangan acak kelompok sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- Y_{ijk} = Nilai respon dari kombinasi perlakuan ijk dengan factor jenis kayu taraf ke- i , factor suhu taraf ke- j , dan faktor durasi taraf ke- k
 μ = Rataan umum
 α_i = Pengaruh jenis kayu pada taraf ke- i
 β_j = Pengaruh suhu HOT pada taraf ke- j
 γ_k = Pengaruh durasi HOT pada taraf ke- k
 $(\alpha\beta)_{ij}$ = Interaksi antara α_i dan β_j
 $(\alpha\gamma)_{ik}$ = Interaksi antara α_i dan γ_k
 $(\beta\gamma)_{jk}$ = Interaksi antara β_j dan γ_k
 $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Interaksi antara α_i , β_j , dan γ_k
 ϵ_{ijk} = Pengaruh eror/galat yang muncul dari kombinasi percobaan faktor jenis kayu taraf ke- i , faktor suhu taraf ke- j , dan faktor durasi taraf ke- k
 i = Jenis kayu (sengon, mindi, dan kelapa)
 j = Suhu HOT (180°C, 200°C, 220°C dan 240°C)
 k = Durasi HOT (1, 2, 3, dan 4 jam)

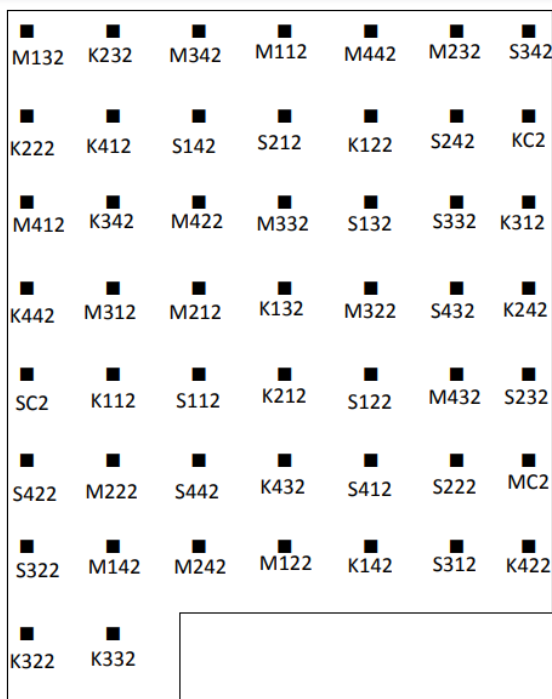
Tabel 4. Analisis ragam perubahan warna, sifat fisis, dan mekanis kayu.

SK	Db	JK	KT	F hitung	Sig. 0,05
Perlakuan	t-1	JKP	JKP/dbP	$\frac{KTP}{KTG}$	
Kelompok	r-1	JKK	JKK/dbK	$\frac{KTK}{KTG}$	
Galat	(r-1)(KST-1)	JKG	KTG		
Total	rabc-1	JKT			

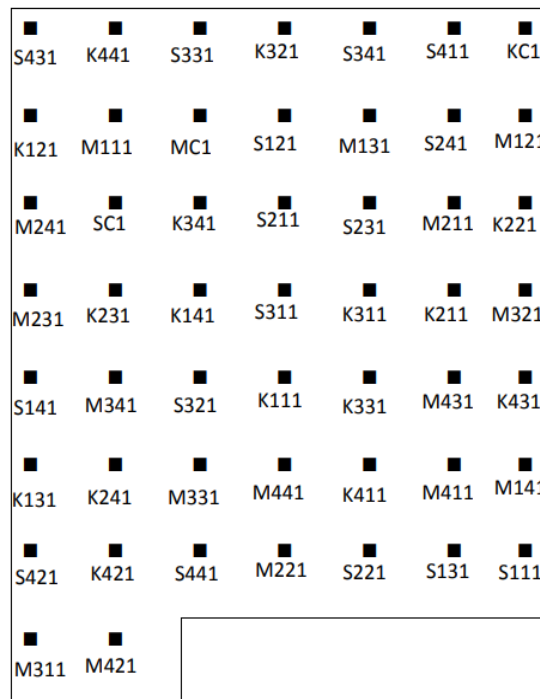
Keterangan:

- SK = simpangan kelompok
 Db = derajat bebas
 JK = Jumlah Kuadrat
 KT = kuadrat tunggal
 t = jumlah perlakuan yang digunakan dalam penelitian
 r = jumlah ulangan yang digunakan dalam penelitian

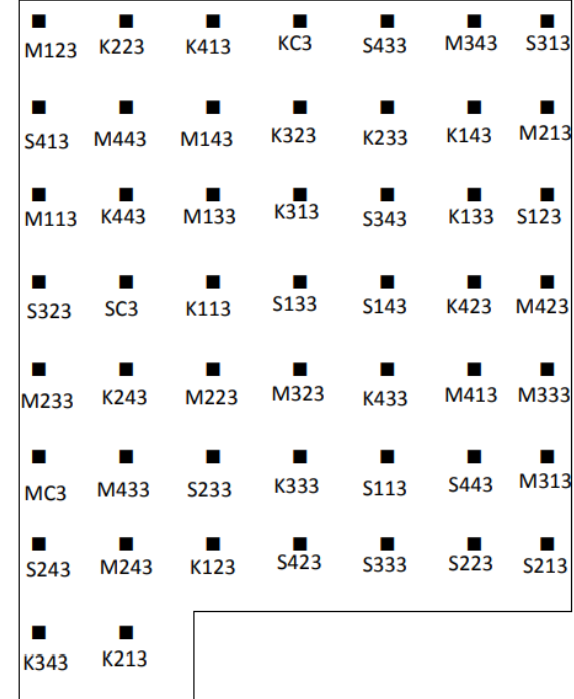
Analisis anova pada selang kepercayaan 95% dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketiga faktor terhadap nilai pengamatan. Jika hasil analisis tersebut menunjukkan hasil yang signifikan, maka dilakukan uji lanjut yaitu uji Duncan untuk mengetahui perbedaan nyata faktor jenis kayu, suhu, dan durasi yang berpengaruh



Ulangan 2



Ulangan 1



Ulangan 3

Gambar 8. Desain interaksi acak kelompok sampel pada tiap pengukuran

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

1. *Hot oil treatment* pada kayu memiliki reaksi yang berbeda pada sifat warna, sifat fisis, dan mekanis kayu karena dipengaruhi oleh suhu, durasi, dan jenis kayu. Pengaruh suhu dan durasi pada warna kayu mengakibatkan peningkatan nilai ΔL^* , Δa^* , Δb^* , dan ΔE seiring dengan meningkatnya suhu dan semakin lamanya durasi HOT. Pengaruh suhu dan durasi pada sifat fisis kayu mengakibatkan peningkatan kerapatan pada suhu 180°C dan durasi 1 jam ketiga jenis kayu juga menurunkan kadar air, daya serap air, dan perubahan berat kayu seiring dengan meningkatnya suhu dan semakin lamanya durasi HOT. Pengaruh suhu dan durasi pada sifat mekanis kayu mengakibatkan peningkatan kekuatan tekan pada suhu 180°C dan durasi 1 jam pada kayu sengon dan mindi namun terjadi pengurangan kekuatan tekan seiring meningkatnya suhu dan semakin lamanya durasi HOT.
2. Suhu HOT paling optimal pada kekuatan tekan dan kerapatan untuk ketiga jenis kayu yaitu 180°C karena memiliki nilai terbesar, sementara suhu HOT paling optimal pada kadar air, daya serap air, dan perubahan berat adalah 240°C karena memiliki nilai terkecil. Durasi HOT paling optimal pada kekuatan tekan dan kerapatan untuk ketiga jenis kayu yaitu 1 jam karena memiliki nilai terbesar, sementara suhu HOT paling optimal pada kadar air,

daya serap air, dan perubahan berat adalah 4 jam karena memiliki nilai terkecil.

5.2. Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan suhu yang lebih rendah karena beberapa sifat kayu mengalami penurunan kualitas pada suhu minimal di penelitian ini.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan durasi yang lebih lama karena beberapa sifat kayu tidak mengalami perubahan signifikan hingga durasi 4 jam.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan media HOT yang berasal dari limbah seperti limbah minyak goreng atau minyak limbah industri yang dapat menghantarkan panas sehingga lebih aplikatif karena penelitian ini menggunakan media minyak kelapa sawit baru yang cenderung lebih mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M., Ma'ruf, S. D., Kaskoyo, H., Safe'i, R., dan Hidayat, W. 2020. Modifikasi sifat fisik dan mekanis kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan kelapa (*Cocos nucifera*) melalui perlakuan panas dengan minyak. *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 564–569.
- Adi, D. S., Risyanto, L., Damayanti, R., Rullyanti, S., Dewi, L. M., Susanti, R., Dwianto, W., Hermiati, E., dan Watanabe, T. 2014. Exploration of unutilized fast growing wood species from secondary forest in Central Kalimantan: study on the fiber characteristic and wood density. *Procedia Environmental Sciences*. 20: 321–327.
- Aisyah, S., Haryadi, J., Maulana, M. I., Prasetya, D., Hidayat, W., Lubis, M. A. R., Kim, N. H., dan 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. DOI: 10.23960/jsl.v9i3.532.
- Allegretti, O., Brunetti, M., Cuccui, I., Ferrari, S., Nocetti, M., dan Terziev, N. 2012. Thermo-vacuum modification of spruce (*Picea abies* Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) wood. *Bioresources*. 7(3): 3656-3669.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 1996. ASTM D 1758- 96: *Standard Test Method of Evaluating Wood Preservatives by Field Test with Stake*. West Conshohocken.
- Awoyemi, L., dan Jones, I. P. 2011. Anatomical explanations for the changes in properties of western red cedar (*Thuja plicata*) wood during heat treatment. *Wood Science Technology*. 45(2): 261-267.
- Badalamenti, E., Sferlazza, S., Veca, D. S. L. M., Maetzke1, F., Sala, G., dan Mantia, T.L. 2020. The evolution in time of the concept of fast growing tree species: is it possible to use a definition applicable to all environmental conditions?. *Annals of Silvicultural Research*. 45(1): 53-61.
- Bak, M., dan Németh, R. 2012. Modification of wood by oil heat treatment. *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint*. Sopron.
- Bak, M., Németh, R., dan Tolvaj, L. 2012. The colour change of oil-heat-treated timber during weathering. *Óbuda University e-Bulletin*. 3(1): 339-345.

- Barri, N. L., Abner, L., Hosang, M. L. A., Lolong, A. A. , Kumaunang, J., Matana, Y. R., dan Manaroinsong, E. 2015. *Petunjuk Teknis Budi Daya Tanaman Kelapa*. Balai Penelitian Tanaman Palma. Manado.
- Bazyar, B. 2012. Decay resistance and physical properties of oil heat treated aspen wood. *Bioresources*. 7(1): 696-705.
- Baskara, M. I. A., Hapsoro, D., Maulana, M. I., Prasetia, D., Hidayat, W., Lubis, M. A. R., Kim, N. H., dan 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. DOI: 10.23960/jsl.v10i1.519
- Boonstra, M., Tjeerdsma, B., dan Groeneveld, H. 1998. Thermal modification of non durable wood species. The Plato technology: thermal modification of wood. *International Research Group Wood Pro*. 4(29): 13.
- Boonstra, M. J., Acker, J., Kegel, E., dan Stevens, M. 2007. Optimisation of a two stage heat treatment process: durability aspects. *Wood Science and Technology*. 41(1): 31-57.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2016. *Statistik Produksi Kehutanan*. Badan Pusat Statistik/BPS-Statistic Indonesia. Jakarta.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Produksi Kehutanan*. Badan Pusat Statistik/BPS-Statistic Indonesia. Jakarta.
- Brito, J. O., Silva, F. G., Leao, M. M., dan Almeida, G. 2008. Chemical composition changes in eucalyptus dan pinus woods submitted to heat treatment. *Bioresource Technology*. 99(18): 8545-8548.
- Cahydanaru, N. Parwoto, Gunawan, A. dan Setyoharjo, Y. S. 2010. *Konservasi Cagar Budaya Berbahan Kayu dengan Bahan Tradisional*. Balai Konservasi Peninggalan Borobudur. Magelang.
- Cui, W., Kamdem, D. P., dan Rypstra, T. 2004. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. *Wood and Fiber Science*. 36(3): 291-301.
- Dagbro, O. 2016. *Studies on Industrial-Scale Thermal Modification of Wood*. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. Skellefteå.
- Ding, T., Gu, L., dan Li, T. 2011. Influence of steam pressure on physical and mechanical properties of heat-treated mongolian pine lumber. *European Journal of Wood and Wood Products*. 69(1): 121-126.
- Departemen Perindustrian. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*. Departemen Perindustrian. Jakarta.

- Dubey, M. J., Pang, S., dan Walker, J. 2011a. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resistance of *Pinus radiata* D. Don wood with oil heat treatment. *Holzforschung*. 66: 49-57.
- Dubey, M. J., Pang, S., dan Walker, J. 2011b. Effect of oil heating age on colour and dimensional stability of heat treated *Pinus radiata*. *European Journal of Wood and Wood Products*. 69: 255–262.
- Esteves, B. M., Domingos, I., dan Pereira, H. 2008. Pine modification by heat treatment in air. *BioResources*. 3(1): 142-154.
- Esteves, B. M., dan Pereira, H. 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*. 4(1): 340-404.
- Esteves, B. M., Nunes, L., Domingos, I., dan Pereira, H. 2014. Comparison between heat treated sapwood and heartwood from *Pinus pinaster*. *European Journal of Wood and Wood Products*. 72(1): 53-60.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of United. 2018. *FAO Statistics Forest Products*. FAO Forestry Department. Roma.
- Fahriza, F. N., Kaskoyo, H., Safe'i, R., dan Hidayat, W. 2021. Persepsi masyarakat dalam pemilihan kayu untuk bangunan. *Journal of People, Forest and Environment*. 1(1): 29–33. DOI: 10.23960/jopfe.v1i1.4496
- Gérardin P. 2016. New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood-a review. *Annals of Forest Science*. 73(3): 559-570. Doi: 10.1007/s13595-015-0531-4
- Gunduz, G., Korkut, S., dan Aydemir, D. 2010. The effect of heat treatment on some mechanical properties and color changes of uludag fir wood. *Drying Technology*. 28: 249-255.
- Hakkou, M., Petrissans, M., Gerardin, P., dan Zoulalian, A. 2006. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. *Polymer Degradation and Stability*. 91(2): 393-397.
- Hardianto, A. H., Ma'ruf, S. D., dan Hidayat, W. 2020. Oil heat treatment kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan kelapa (*Cocos nucifera*) pada berbagai durasi perlakuan. *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 287–292.
- Hidayat, W., Jang, J. H., Park, S. H., Qi, Y., Febrianto, F., Lee, S. H., dan Kim, N. H. 2015. Effect of temperature and clamping during heat treatment on physical and mechanical properties of okan (*Cylicodiscus gabunensis* [Taub.] Harms) wood. *Bioresources*. 10(4): 6961-6974.

- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., Lee, S. H., dan Kim, N. H. 2016. Effect of treatment duration and clamping on the properties of heat-treated okan wood. *BioResources* 11(4): 10070–10086. DOI: 10.15376/biores.11.4.10070-10086
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., dan Kim, N. H. 2017a. Effect of mechanical restraint on the properties of heat-treated *Pinus koraiensis* and *Paulownia tomentosa* woods. *Bioresources*. 12(4): 7539-7551.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Park, B. H., Banuwa, I. S., Febrianto, F., dan Kim, N.H. 2017b. Color change and consumer preferences towards color of heat-treated korean white pine and royal paulownia woods. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 45(2): 213-222.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., dan Kim, N. H. 2017c. Effect of mechanical restraint on drying defects reduction in heat-treated okan wood. *BioResources* 12(4): 7452–7465. DOI: 10.15376/biores.12.4.7452-7465
- Hidayat, W., dan Febrianto, F. 2018. *Teknologi Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan: Modifikasi Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat-sifat Kayu*. Pusaka Media. Bandar Lampung.
- Hidayat, W., Febrianto, F., Purusatama, B. D., dan Kim, N. H. 2018. Effects of heat treatment on the color change and dimensional stability of *Gmelina arborea* and *Melia azedarach* Woods. *E3S Web of Conferences* 03010. DOI: 10.1051/e3sconf/20186803010
- Hidayat, W., Ma'ruf, S. D., Abdillah, M., Prayoga, S., Zevan, R., Prihastono, G. B. A., Hardianto, A. H., dan Ridjayanti, S. M. 2020. *Perlakuan Minyak Panas (Hot Oil Treatment) pada Kayu*. Pusaka Media. Bandar Lampung.
- Hidayat, W., Aprilliana, N., Asmara, S., Bakri, S., Hidayati, S., Banuwa, I. S., Lubis, M. A. R., dan Iswanto, A. H. 2022. Performance of eco-friendly particleboard from agro-industrial residues bonded with formaldehyde-free natural rubber latex adhesive for interior applications. *Polymer Composites* 43(4): 2222–2233. DOI: 10.1002/pc.26535
- Hill, C. A. S. 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. *Wiley Series in Renewable Resources*. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex.
- Homan, J. W. dan Jorissen, A. J .M . 2004. Wood modification developments. *Heron*. 49(4): 361-386.
- Hüseyin, S., Ahmet, C., Kadriye, K., dan Mehmet, T. 2016. Effect of tall oil pretreatment on physical and mechanical properties of heat treated fir and

beech. *27th International Conference on Wood Modification and Tehnology 2016 Implementation Of Wood Science In Woodworking Sector.*

- Hill, C. dan Zimmer, K. 2018. *The Environmental Impacts of Wood Compared to Other Building Materials.* Norwegian Ministry of Agriculture and Food. Akershus.
- International Labour Organization dan United Nation Development Programme. 2014. Kajian kelapa dengan pendekatan rantai nilai dan iklim usaha di kabupaten sarmi. *Laporan Studi Program Pembangunan berbasis Masyarakat Fase II: Implementasi Institusionalisasi Pembangunan Mata Pencarian yang Lestari untuk Masyarakat Papua.*
- Indrosaptono, D., Sukawi, dan Indraswara, M. S. 2014. Kayu kelapa (glugu) sebagai alternative bahan konstruksi bangunan. *MODUL.* 14(1): 53-58.
- Jauhari, A.M., Wijayanto, N., dan Rusdiana, O. 2016. Pertumbuhan mindi (*Melia azedarach* Linn.) dan produksi kedelai (*Glycine max* (L.) merril) dengan pola agroforestri pada lahan masam. *Jurnal Silvikultur Tropika.* 7(3): 198-204.
- Johanson, A., Fhyr, C., dan Rasmuson, A. 1997. High temperature convective drying of wood chips with air and superheated steam. *International Journal of Heat and Mass Transfer.* 40(12): 2843-2858.
- Kissock, J. 2012. Timber: a sustainable super material for our times. *Environment Industry Magazine.* 18: 79-80.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2018. Statistik Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Pusat data dan informasi KLHK. Jakarta.
- Krisnawati, H., Varis, E., Kallio, M., dan Kanninen, M. 2011. *Falcataria moluccana* (L.) Nielsen: *Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas.* Center for International Forestry Research. Bogor.
- Lacić, R., Hasan, M., Trajković, J., Šefc, B., Šafran, B., dan Despot, R. 2014. Biological durability of oil heat treated alder wood. *Drvna industrija.* 65(2):143-150.
- Lyon, F., Thevenon, M. F., Hwang, W. J., Imamura, Y., Grill, J., dan Pizzi, A. 2007. Effect of an oil heat treatment on the leachability and biological resistance of boric acid impregnated wood. *Annals of Forest Science.* 64 673–678. DOI: 10.1051/forest:2007046.
- Martawijaya, A., Kartasudjana, I., Prawira, S. A., dan Kadir, K. 1981. *Atlas Kayu Indonesia Jilid I.* Departemen Kehutanan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.

- Martawijaya, A., Kartasudjana, I., Mandang, Y.I., Prawira, S.A., dan Kadir, K. 1989. *Atlas Kayu Indonesia Jilid II*. Departemen Kehutanan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Bogor.
- Ma'ruf, S. D., Bakri, S., dan Hidayat, W. 2020. Pengaruh Oil Heat Treatment terhadap Perubahan Warna dan Stabilitas Dimensi Kayu Gmelina (*Gmelina arborea*) dan Kelapa (*Cocos nucifera*). *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 218–221.
- Ma'ruf, S. D., Bakri, S., Febryano, I. G., Setiawan, A., Haryanto, A., Suri, I. F., Kim, N. H., dan Hidayat, W. 2021. Effects of eco-friendly hot oil treatment on the wood properties of *Gmelina arborea* and *Cocos nucifera*. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*: 190–194. DOI: 10.2991/aer.k.210603.033
- Meylan, B. A. 1978. Density variation within *cocos nucifera* stems. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 8(3): 369-383.
- Militz, H. 2002. Heat Treatment technologies in europe: scientific background and technological state-of-art. *Proceedings of Conference on Enhancing the durability of lumber and engineered wood products*: 22-13
- Muhamad, S., Marwanto, Maulana, M. I., Maulana, S., Fatrawana, A., Hidayat, W., Sari, R. K., dan Febrianto, F. 2019. Sifat fisis dan mekanis papan partikel hibrida dari kayu cepat tumbuh dan bambu dengan perlakuan perendaman panas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 17(1): 47–57. DOI: 10.51850/jitkt.v17i1.460
- Pang, S., Langrish, T. A. G., dan Keey, R. B. 1994. Moisture movement in softwood timber at elevated temperatures. *Drying Technology*. 12(8): 1897-1914.
- Poncsak, S., Kocaefe, D., Bouazara, M., dan Pichette, A. 2006. Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*). *Wood Science and Technology*. 40(8): 647-663.
- Praptoyo, H. 2010. Sifat anatomi dan sifat fisika kayu mindi (*Melia azedarach* Linn) dari hutan rakyat di Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 4(1): 21-27.
- Prayoga, S., Ma'ruf, S. D., Febryano, I. G., Duryat, dan Hidayat, W. 2020. Peningkatan kualitas kayu cepat tumbuh: pengaruh durasi perlakuan panas dengan minyak terhadap sifat-sifat kayu akasia dan jabon. *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 212–217.
- Prihastono, G. B. A., Ma'ruf, S. D., Febryano, I. G., Duryat, dan Hidayat, W. 2020. Perbandingan Sifat-Sifat Kayu Gmelina dan Mindi setelah Oil

Heat Treatment pada Berbagai Durasi Perlakuan. *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 82–87.

- Purusatama, B. D., Kim, J. H., Yang, G. U., Febrianto, F., Hidayat, W., Lee, S. H., dan Kim, N. H. 2021. Qualitative anatomical characteristics of compression, lateral, and opposite woods in *Pinus merkusii* and *Agathis loranthifolia*. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(2): 213–222. DOI: 10.23960/jsl29213-222
- Rafly, N. M., Riniarti, M., Hidayat, W., Prasetya, H., Wijaya, B. A., Niswati, A., Hasanudin, U., dan Banuwa, I. S. 2022. Pengaruh pemberian biochar tandan kosong kelapa sawit terhadap pertumbuhan sengon (*Falcataria moluccana*). *Journal of Tropical Upland Resources*. 4(1): 1–10. DOI: 10.23960/jtur.vol4no1.2022.124
- Rangkang, J., Sondakh, F., dan Saerang, E. J. 2016. Karakteristik kayu kelapa di berbagai zona di Indonesia timur berdasarkan sifat fisis dan mekanisnya. *Jurnal Teknik Sipil*. 23(2): 89-97.
- Razak, W., Izyan, W., Hanim, A. R., Othman, S., Aminuddin, M., dan Affendy, H. 2011. Effects of hot oil treatment on colour and chemical changes in 15-year-old acacia hybrid. *Journal of Tropical Forest Science*. 23(1): 42–50.
- Razak, W., Izyan, K., Hanim, A. R., Othman, S., Aminuddin, M., Tamer, A., Tabet, Rafidah M.D., Salim, dan Farah, W.A. 2012. Effectiveness of hot oil treatment on cultivated 15 year-old acacia hybrid against *Coriolus versicolors*, *Gloeophyllum trabeum* and *Pycnoporus sanguineus*. *Sains Malaysiana*. 41(2): 163–169.
- Ridjayanti, S. M., Hidayat, W., Bazenet, R. A., Banuwa, I. S., dan Riniarti, M. 2021. Pengaruh variasi kadar perekat tapioka terhadap karakteristik briket arang limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*). *Perennial*. 17(1): 5–11. DOI: 10.24259/perennial.v17i1.13504
- Riniarti, M., Hidayat, W., Prasetya, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Yoo, J., Kim, S., dan Lee, S. 2021. Using two dosages of biochar from shorea to improve the growth of *Paraserianthes falcataria* seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 12049. DOI: 10.1088/1755-1315/749/1/012049
- Riniarti, M., Prasetya, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Loka, A. A., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., and Hidayat, W. 2021. Effects of meranti biochar addition on the root growth of *Falcataria moluccana* seedlings. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*: 181–184. DOI: 10.2991/aer.k.210603.031

- Rowel, R. M., Pettersen, R., dan Tshabalala, M. A. 2012. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press. London.
- Roza, D., Dirhamsyah, M., dan Nurhaida. 2015. Sifat fisik dan mekanik papan partikeldari kayu sengon (*Falcataria moluccana. L*) dan serbuk sabut kelapa (*Cocos nucifera.L*). *Jurnal Hutan Lestari*. 3(3): 374–382.
- Sahin, H. I. 2017. Heat treatment application methods and effects of heat treatment on some wood properties. *International Convrence on Engineering and Natural Science (ICENS)*. Budapest, 540–543.
- Sailer, M., Rapp, A., dan Leithoff, H. 2000. Improved resistance of scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. *International Research Group Wood Pro*. 4 No IRG/WP 00-40162.
- Salim, R. 2016. Karakteristik dan mutu arang kayu jati (*Tectona grandis*) dengan sistem pengarangan campuran pada metode tungku drum. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 8(2): 53–64.
- Sanberg, D., dan Kutnar, A. 2016. Thermally modified timber: Recent developments in Europe and North America. *Wood And Fiber Science*. 48: 28-39
- Sanberg, D., Kutnar, A., dan Mantanis, G. 2017. Wood modification technologies - a review. *Forest Biogeosciences and Forestry*. 10: 895-908
- Suri, I. F., Kim, J. H., Purusatama, B. D., Yang, G. U., Prasetya, D., Lee, S. H., Hidayat, W., Febrianto, F., Park, B. H., dan Kim, N. H. 2021a. Comparison of the color and weight change in *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood heat-treated in hot oil and hot air. *BioResources* 16(3): 5574-5585.
- Suri, I. F., Purusatama, B. D., Lee, S. H., Kim, N. H., Hidayat, W., Ma'ruf, S. D., dan Febrianto, F. 2021b. Characteristic features of the oil-heat treated woods from tropical fast growing wood species. *Wood Research* 66(3): 365–378. DOI: 10.37763/wr.1336-4561/66.3.365378
- Suri, I. F., Purusatama, B. D., Kim, J. H., Yang, G. U., Prasetya, D., Kwon, G. J., Hidayat, W., Lee, S. H., Febrianto, F., dan Kim, N. H. 2022. Comparison of physical and mechanical properties of *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood heat-treated in oil and air. *European Journal of Wood and Wood Products* 1–11. DOI: 10.1007/s00107-022-01840-4
- Surini, T., Charrier, F., Malvestio, J., Charrier, B., Moubarik, A., Castera, P., dan Grelier, S. 2012. Physical properties and termite durability of maritime pine *Pinus pinaster* Ait. heat-treated under vacuum pressure. *Wood Science and Technology*. 46(1): 487-501.

- Sudarna, N. S. 1990. Anatomi batang kelapa (*Cocor nucifera*, L.). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 7(3): 111-117.
- Srinivas, K., dan Pandey K. K. 2012. Effect of heat treatment on color changes, dimensional stability, and mechanical properties of wood. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 32(4): 304-316.
- Tarigan, A. A. L. B., Riniarti, M., Prasetia, H., Hidayat, W., Niswati, A., Banuwa, I. S., dan Hasanudin, U. 2021. Pengaruh biochar pada simbiosis rhizobium dan akar sengon laut (*Paraserianthes falcataria*) dalam media tanam. *Journal of People, Forest and Environment*. 1(1): 11–20.
- Umar, I., Zaidon, A., Lee, S.H., dan Halis, R. 2016. Oil-heat treatment of rubberwood for optimum changes in chemical constituents and decay resistance. *Journal of Tropical Forest Science*. 28(1): 88–96.
- Utama, R. C., Febryano, I. G., Herwanti, S., dan 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. DOI: 10.23960/jsl27195-203
- Vu, M.T, dan Li, J. 2010. Effect of heat treatment on the change in color and dimensional stability of acacia hybrid wood. *BioResources*. 5: 1257–1267.
- Wang, J.Y., dan Copper P.A. 2005. Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 63: 417–422
- Weber L.M., Berlyn G.P., dan Everett T.H. 2019. The anatomy and organization of wood. *Encyclopædia Britannica*. Augustyn A., Curley R., Higgins J. Publis November 18, 2019. Encyclopædia Britannica, inc. Akses September 21, 2020. <https://www.britannica.com/plant/tree>
- Wibowo, T. I. R., Rinarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niwati, A., dan Hidayat, W. 2020. karakterisasi arang hayati dari limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan meranti (*Shorea* sp.). *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 560–563.
- Wijaya, B. A., Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Kim, S., Lee, S., dan Yoo, J. 2022. Meranti (*Shorea* sp.) biochar application method on the growth of sengon (*Falcataria moluccana*) as a solution of phosphorus crisis. *Energies*. 15(6): 2110. DOI: 10.3390/en15062110

Yunita, E., Riniarti, M., Hidayat, W., Niswati, A., Prasetya, H., Hasanudin, U., dan Banuwa, I. S. 2022. Pengaruh penambahan enkapsul biochar tandan kosong kelapa sawit terhadap perkembangan akar sengon (*Falcataria moluccana*). *Gorontalo Journal of Forestry Research*. 5(1): 1–10. DOI: 10.32662/gjfr.v5i1.1787

Zevan, R., Ma'ruf, S. D., Riniarti, M., Duryat, dan Hidayat, W. 2020. Karakteristik Kayu Gmelina (*Gmelina arborea*) dan Mindi (*Melia adazarach*) setelah Perlakuan Panas dengan Minyak. *Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*: 421–425.