

**PENGARUH DURASI *OIL HEAT TREATMENT* (OHT) TERHADAP
PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIS KAYU SENGON (*Falcataria
moluccana*) DAN KELAPA (*Cocos nucifera*)**

(Skripsi)

Oleh

Ahmad Halim Hardianto



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH DURASI *OIL HEAT TREATMENT* (OHT) TERHADAP PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIS KAYU SENGON (*Falcataria moluccana*) DAN KELAPA (*Cocos nucifera*)

Oleh

Ahmad Halim Hardianto

Potensi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan salah satunya berupa kayu. Sengon (*Falcataria moluccana*) merupakan kayu cepat tumbuh (*fast growing species*) dan kelapa (*Cocos nucifera*) adalah tanaman yang batangnya dapat dimanfaatkan sebagai pengganti kayu. Kayu sengon dan kelapa memiliki proporsi kayu muda yang lebih besar sehingga memiliki kelemahan dari segi keawetan alami kayu, kerapatan, stabilitas dimensi dan kekuatannya. Oleh karena itu, diperlukan aplikasi teknologi tepat guna dan ramah lingkungan untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Perlakuan panas dengan minyak atau *oil heat treatment* (OHT) merupakan salah satu teknologi modifikasi kayu tepat guna dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh durasi OHT terhadap perubahan sifat fisik dan mekanis kayu sengon dan kelapa. OHT dilakukan pada suhu 200°C dengan durasi perlakuan 1, 2, 3, dan 4 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa OHT mempengaruhi sifat fisik dan mekanis kayu sengon dan kelapa. Peningkatan durasi OHT menyebabkan perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) meningkat dengan nilai $\Delta E^* > 12$ (warna berubah total). OHT meningkatkan stabilitas dimensi kayu yang ditunjukkan dengan nilai kadar air kesetimbangan (KAK) yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Peningkatan durasi OHT mempengaruhi sifat mekanis kayu sengon dan kelapa berupa penurunan kekerasan dan kekuatan tekan kayu yang seiring meningkatnya durasi.

Kata kunci: durasi perlakuan, sengon, kelapa, *oil heat treatment*, sifat fisik, sifat mekanis

**PENGARUH DURASI *OIL HEAT TREATMENT* (OHT) TERHADAP
PERUBAHAN SIFAT FISIK DAN MEKANIS KAYU SENGON (*Falcataria
moluccana*) DAN KELAPA (*Cocos nucifera*)**

Oleh

Ahmad Halim Hardianto

Skripsi

Sebagai salah satu untuk Mencapai Gelar
SARJANA KEHUTANAN

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vi |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan | 3 |
| 1.3 Kerangka Pikiran | 3 |
| 1.4 Hipotesis Penelitian | 6 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Keadaan dan Potensi Hutan di Indonesia..... | 7 |
| 2.2 Karakteristik dan Potensi Kayu Sengon dan Kelapa | 7 |
| 2.2.1 Gambaran Umum Kayu Sengon | 8 |
| 2.2.2 Gambaran Umum Kayu Kelapa..... | 9 |
| 2.3 Pengertian Modifikasi Kayu | 10 |
| 2.4 Metode Modifikasi Kayu | 10 |
| 2.5 Perlakuan Panas dengan Minyak | 12 |
| 2.6 Perubahan Sifat Fisik dan Mekanis pada Kayu | 13 |
| III. METODE PENELITIAN | 14 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 14 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 14 |
| 3.3 Rancangan Percobaan | 14 |
| 3.4 Pelaksanaan..... | 15 |
| 3.4.1 Persiapan Sampel | 15 |
| 3.4.2 Proses OHT | 15 |
| 3.4.3 Pengkondisian Sampel OHT | 16 |
| 3.5 Pengukuran Parameter | 16 |
| 3.5.1 Warna Kayu | 16 |
| 3.5.2 Perubahan Berat | 17 |
| 3.5.3 Susut Volume..... | 17 |
| 3.5.3 Kerapatan | 17 |
| 3.5.4 Kadar Air dan Daya Serap | 18 |
| 3.6 Pengujian Sifat Mekanis Kayu..... | 19 |
| 3.6.1 Kekuatan Tekan..... | 19 |

| | Halaman |
|--|-----------|
| 3.6.2 Kekerasan | 19 |
| 3.7 Analisis Data | 19 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 21 |
| 4.1 Pengaruh Durasi Perlakuan Panas dengan <i>Oil Heat Treatment</i> (OHT) Terhadap Perubahan Sifat Fisik Kayu Sengon dan Kelapa | 21 |
| 4.1.1 Perubahan Warna Kayu (L^* , a^* , b^* dan ΔE^*)..... | 21 |
| 4.1.2 Perubahan Berat, Susut Volume dan Kerapatan | 24 |
| 4.1.3 Kadar Air dan Daya Serap Air..... | 27 |
| 4.2 Pengaruh Durasi Perlakuan OHT terhadap Perubahan Sifat Mekanis Kayu Sengon dan Kelapa | 29 |
| 4.4.1 Kekerasan Kayu | 29 |
| 4.4.2 Kekuatan Tekan | 30 |
| V. SIMPULAN DAN SARAN | 32 |
| 5.1 Simpulan | 32 |
| 5.2 Saran | 32 |
| DAFTAR PUSTAKA | 33 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 1. Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) | 15 |
| 2. Pengaruh durasi oht terhadap sifat fisik kayu sengon dan kelapa pada parameter tingkat kecerahan (L^*), merah-hijau (a^*), kuning-biru (b^*) dan perubahan warna total (ΔE) | 22 |
| 3. Pengaruh durasi oht terhadap sifat fisik kayu sengon dan kelapa pada parameter, perubahan berat, susut volume dan kerapatan. | 26 |
| 4. Pengaruh durasi oht terhadap sifat fisik kayu sengon dan kelapa pada parameter kekerasan dan kekuatan tekan..... | 30 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Diagram alir kerangka penelitian | 5 |
| 2. Perubahan warna kayu sengon dan kelapa sebelum dan setelah OHT pada berbagai durasi yang berbeda. | 24 |
| 3. Kadar air (EMC) kayu sengon dan kelapa sebelum dan sesudah OHT pada berbagai durasi perlakuan. | 28 |
| 4. Daya serap air (WA) kayu sengon dan kelapa sebelum dan sesudah OHT pada berbagai durasi perlakuan | 29 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Potensi sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan dari hutan salah satunya berupa kayu serta pemanfaatan kayu masih dominan dibandingkan dengan hasil hutan non kayu karena berbagai kelebihannya (Abimayu *et al.*, 2019; Hidayat *et al.*, 2019). Kayu merupakan bahan utama yang diproduksi secara alami di dalam pohon. Sifat-sifat pada kayu memiliki variasi yang sangat berbeda antara satu jenis pohon, maupun dalam suatu tegakan (Hidayat *et al.*, 2017a). Modifikasi kayu dapat diartikan sebagai upaya untuk memperbaiki kualitas kayu guna mengoptimalkan sifat-sifatnya (Hidayat *et al.*, 2015a; Hidayat *et al.*, 2016). Modifikasi kayu yang tepat guna dan ramah lingkungan diharapkan agar kayu-kayu tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk bangunan yang baik dan tahan lama tanpa memberi dampak lingkungan yang merugikan (Priadi dan Maretha, 2015).

Produksi kayu bulat dari hutan alam dan hutan tanaman seluruh Indonesia pada tahun 2018 yaitu 7.020.985,76 m³ dan 40.945.378,90 m³ (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019). Menurut Hartawan dan Sarjono. (2016), berkurangnya luas hutan alam mendorong pengembangan hutan tanaman sebagai penghasil bahan baku kayu untuk kebutuhan manusia atau untuk kebutuhan industri. Pasokan bahan baku kayu dari hutan alam yang cenderung semakin berkurang mendorong industri perkayuan beralih pada bahan baku kayu dari hutan rakyat seperti kayu sengon (*Falcataria moluccana*), karet (*Hevea brasiliensis*), akasia mangium (*Acacia mangium*) dan kelapa (*Cocos nucifera*) (Balfas, 2007; Febrianto *et al.*, 2012; Haryanto *et al.*, 2021a; Muhamad *et al.*, 2019; Nurkholifah *et al.*, 2020; Tjoanda, 2014; Wibowo *et al.*, 2020).

Kayu sengon merupakan jenis kayu cepat tumbuh (*fast growing species*) yang banyak di tanam oleh masyarakat karena lebih cepat untuk di panen akan tetapi kayu cepat tumbuh memiliki kualitas lebih rendah dikarenakan kayu cepat tumbuh memiliki proporsi *juvenile* (kayu muda) yang lebih besar karena kayu muda memiliki kelemahan dari segi keawetan alami kayu, kerapatan, stabilitas dimensi dan kekuatannya (Anatika *et al.*, 2019; Febrianto *et al.*, 2010; Hidayat *et al.*, 2011; Hidayat *et al.*, 2017b; Hidayat *et al.*, 2019; Nandika *et al.*, 2015).

Permasalahan atau kelemahan yang sering ditemui pada kayu kelapa yaitu sering mengalami perubahan sifat fisik warna sebagai akibat dari adanya aktivitas hama pasca panen yang menyerang kayu kelapa. Kelemahan lainnya yaitu kayu kelapa sering mengalami pembengkokkan dan pemelintiran serta pecah serat, walaupun kadar air dalam kayu kelapa sudah mencapai level yang cukup rendah (Hartono *et al.*, 2016a; Hartono *et al.*, 2016b; Hartono *et al.*, 2019; Haryanto *et al.*, 2021b; Phebrianti, 2015). Permasalahan dan kelemahan kayu di atas dapat diperbaiki dengan optimal salah satunya dengan mengembangkan inovasi teknologi modifikasi kayu yang dapat memperbaiki kualitas kayu.

Menurut Hidayat dan Febrianto (2018), metode modifikasi kayu terdiri dari modifikasi panas (perlakuan panas), modifikasi kimia, modifikasi permukaan, dan modifikasi impregnasi. Menurut Wang dan Cooper (2005), perlakuan panas dapat memperbaiki sifat higroskopis dan stabilitas dimensi kayu. Proses modifikasi panas membutuhkan kondisi khusus seperti durasi dan suhu. Proses ini juga dipengaruhi oleh jenis kayu yang digunakan. Suhu perlakuan di atas 160°C akan mengubah sifat fisik dan kimia secara permanen (Akgul *et al.*, 2007). Penelitian sebelumnya tentang perlakuan panas kayu menunjukkan efek positif, penerapan klem pada perlakuan panas mengurangi jumlah kerusakan permukaan selama perlakuan panas khususnya pada kayu keras (Hidayat *et al.*, 2015b; Hidayat *et al.*, 2016; Hidayat *et al.*, 2017c). Hill (2006) menyatakan bahwa modifikasi panas pada kayu menyebabkan perubahan warna kayu menjadi lebih gelap tergantung durasi dan suhu perlakuan panas. Modifikasi panas dapat dilakukan dengan cara yang berbeda-beda seperti nitrogen, uap panas, udara, dan minyak (Hidayat dan Febrianto, 2018; Maulana *et al.*, 2021a; Maulana *et al.*, 2021b).

Perlakuan panas dengan minyak atau *oil heat treatment* (OHT) menggunakan media minyak nabati pada kondisi kadar oksigen yang terbatas untuk mencegah kayu terbakar selama proses perlakuan panas dan sebagai media penghantar panas yang baik (Esteves dan Pereira 2009; Hidayat *et al.*, 2018; Hidayat *et al.*, 2020a). Minyak yang tidak jenuh dapat teroksidasi ketika terpapar oksigen di atmosfer yang menjadi lapisan pelindung di permukaan kayu (Lee *et al.*, 2018). Teknologi OHT terbukti sangat baik untuk modifikasi kayu (Abdillah *et al.*, 2020; Hardianto *et al.*, 2020; Ma'ruf *et al.*, 2020; Prayoga *et al.*, 2020; Prihastono *et al.*, 2020; Zevan *et al.*, 2020). Minyak nabati sudah lama digunakan untuk melindungi kayu yang disebabkan oleh pembusukan jamur serta untuk mengurangi aksesibilitas kelembapannya karena tidak beracun dan ramah lingkungan (Hill, 2006). Penelitian tentang OHT pada kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan kelapa (*Cocos nucifera*) belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga penelitian ini sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini mengkaji OHT kayu sengon dan kelapa pada suhu 200°C dengan perbandingan durasi 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

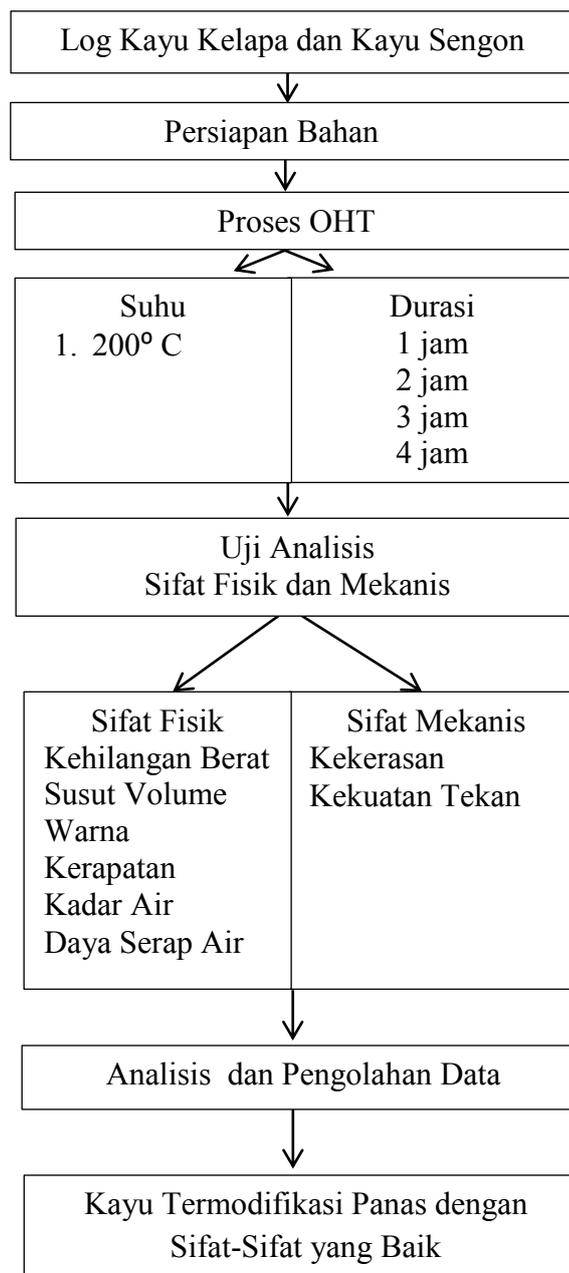
1. Mengetahui pengaruh durasi *oil heat treatment* (OHT) terhadap perubahan sifat fisik kayu sengon dan kelapa.
2. Mengetahui pengaruh durasi OHT terhadap sifat mekanis kayu sengon dan kelapa.

1.3 Kerangka Pemikiran

Sengon (*Falcataria moluccana*) merupakan salah satu jenis pohon cepat tumbuh yang ditanam di hutan rakyat (Nadeak *et al.*, 2013; Nur Aminah *et al.*, 2013; Siadari *et al.*, 2013). Sengon merupakan salah satu jenis pionir serbaguna yang sangat penting di Indonesia. Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu jenis kayu rakyat yang berpotensi dan sebagai komoditas strategis serta memiliki peran sosial, budaya dan ekonomi dalam kehidupan masyarakat Indonesia (Hartawan dan Sarjono, 2016; Herwanti, 2015). Komoditas sengon dan kelapa

umumnya banyak ditanam di hutan tanaman maupun di hutan rakyat. Hal ini karena pertumbuhannya yang cepat, mampu beradaptasi pada berbagai jenis tanah, karakteristik silvikulturnya yang bagus dan kualitas kayunya dapat diterima untuk industri panel dan kayu pertukangan (Krisnawanti *et al.*, 2011; Utama *et al.*, 2019).

Modifikasi kayu dengan perlakuan panas adalah metode yang efektif dalam meningkatkan stabilitas dimensi dan daya tahan kayu terhadap kerusakan (Paul *et al.*, 2005). Perlakuan panas adalah pemaparan kayu pada suhu berkisar antara 160°C-260°C, di mana suhu kurang dari 160°C tidak menyebabkan perubahan berarti pada kayu sementara suhu lebih dari 260°C menyebabkan menurunnya sifat fisik mekanis kayu (Esteves dan Pereira, 2009; Hidayat *et al.*, 2020b; Lee *et al.*, 2018). Perlakuan panas dapat menurunkan kadar air kesetimbangan, meningkatkan stabilitas dimensi, ketahanan terhadap jamur, dan membuat warna kayu menjadi lebih gelap (Hidayat *et al.*, 2018; Rubiyanti *et al.*, 2019; Sulistio *et al.*, 2020). Perlakuan panas dengan minyak atau *oil heat treatment* (OHT) menggunakan media minyak nabati pada kondisi kadar oksigen yang terbatas untuk mencegah kayu terbakar selama proses perlakuan panas (Esteves dan Pereira 2009; Hidayat *et al.*, 2018). Diagram alir kerangka penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir kerangka penelitian.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis sementara dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Durasi *oil heat treatment* (OHT) mampu mempengaruhi perubahan sifat fisik mekanis kayu sengon menjadi lebih baik dibanding kayu kelapa.
2. Durasi OHT yang lebih baik yaitu durasi OHT 2 jam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keadaan dan Potensi Hutan di Indonesia

Kondisi hutan terus berkurang sejalan dengan intervensi dan eksploitasi yang dilakukan oleh manusia. Berdasarkan hasil analisis tutupan hutan antara tahun 2000 sampai tahun 2009 terlihat bahwa hutan di Indonesia yang mengalami deforestasi adalah sekitar 15,15 juta ha, provinsi yang mengalami deforestasi terbesar adalah Provinsi Kalimantan Tengah dengan luas mencapai 2 juta ha (Sumargo *et al.*, 2011). Luasan hutan di Provinsi Lampung pada tahun 2.000 yaitu seluas 1.004.735 ha atau 28,45% dari total luas daratan Provinsi Lampung yang terdiri dari hutan konservasi 462.030 ha (13,99%), hutan lindung 317.615 ha (9,62%), hutan produksi 33.358 ha (1,01%), dan hutan produksi tetap seluas 191.732 ha (5,81%) (Sanudin, 2016).

Potensi sumber daya alam yang terkandung didalamnya, sangat penting artinya bagi kelangsungan hidup komunitas tersebut. Hutan merupakan sumber makanan, penyedia kayu untuk membuat rumah, minuman, obat-obatan, bahan peralatan, memberi perlindungan dan kenyamanan; tempat mengembangkan keturunan, tempat aktualisasi diri, tempat mengembangkan kesetiakawanan sosial, dan sebagai habitat warisan yang harus dipertahankan (Febryano *et al.*, 2021; Harum *et al.*, 2019; Kementerian Lingkungan Hidup, 2001). Hutan juga memiliki fungsi dan manfaat sebagai penyerap karbondioksida (Ambarwati *et al.*, 2019; Banuwa *et al.*, 2019; Hooijer *et al.*, 2006).

2.2 Karakteristik dan Potensi Kayu Sengon dan Kelapa

Kayu merupakan salah satu bahan konstruksi yang sangat umum digunakan masyarakat. Pemakaian kayu sebagai bahan bangunan karena kayu mudah diperoleh di berbagai daerah di Indonesia (Rahmah *et al.*, 2020). Kayu sengon merupakan salah satu jenis tanaman yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat

karena memiliki sifat yang cepat tumbuh sehingga dapat dipanen dalam waktu yang tidak terlalu lama. Salah satu jenis tanaman yang mempunyai sifat-sifat yang cepat tumbuh (*fast growing species*) adalah kayu sengon (*Falcataria moluccana*) yang termasuk famili leguminose (Praptoyo dan Puspitasari, 2012). Perkembangan hutan rakyat telah mendorong berkembangnya sektor perdagangan dan industri pengolahan kayu. Produksi kayu yang tinggi pada suatu wilayah (kabupaten) telah mendorong perdagangan kayu, tidak hanya di dalam kabupaten tetapi juga lintas kabupaten. Meningkatnya permintaan kayu dari industri pengelolaan kayu akan menjadi peluang bagi pengembangan usaha hutan rakyat yang melibatkan banyak pelaku usaha pengelolaan kayu, mulai dari hulu sampai ke hilir. Daerah penyebaran sengon cukup luas, mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Flores dan Maluku (Charomaini dan Suhaendi, 1997; Parlinah *et al.*, 2015).

Kayu kelapa merupakan tumbuhan monokotil yang tidak berkambium, kayu teras dan kayu gubal dengan letak yang berbeda dengan kayu konvensional serta tekstur yang seperti serat kayu berstruktur kasar dengan serat yang pendek dan putus-putus selain itu kayu kelapa memiliki pori-pori yang lebar (Hunggurami *et al.*, 2014). Tanaman kelapa dapat tumbuh baik pada ketinggian antara 0 sampai 1.200 meter di atas permukaan laut (mdpl). Keawetan tanaman kelapa dipengaruhi oleh suhu di mana tanaman ini ditanam (Hartawan dan Sarjono, 2016).

2.2.1 Gambaran Umum Kayu Sengon

Klasifikasi yang dimiliki sengon sebagai berikut:

| | |
|---------|-------------------------------|
| Kingdom | : Plantae |
| Divisi | : Magnoliophyta |
| Kelas | : Magnoliopsida |
| Ordo | : Fabales |
| Famili | : Fabaceae |
| Genus | : <i>Falcataria</i> |
| Spesies | : <i>Falcataria moluccana</i> |

Kayu sengon umumnya dikenal dengan nama latin *Falcataria moluccana*, masuk dalam famili Fabaceae. Nama sengon sempat mengalami perubahan dalam kurun waktu sekitar dua puluh tahun, mengikuti kajian para taksonom, yaitu *Albizia falcataria*, berganti menjadi *Paraserianthes falcataria*, dan terakhir *Falcataria moluccana*. Ketiga nama ilmiah ini dibenarkan secara ilmiah, namun penggunaan *Falcataria moluccana* lebih dianjurkan (Baskorowati, 2014).

Menurut Mulyana dan Asmarahman (2012), sengon memiliki ciri-ciri umum berupa pohon berukuran sedang hingga besar, tinggi dapat mencapai 40 m, tinggi batang bebas cabang 20 m. Sengon tidak memiliki banir, kulit licin, berwarna kelabu muda, bulat agak lurus. Diameter pohon dewasa dapat mencapai 100 cm atau lebih. Tajuk sengon berbentuk perisai, jarang, selalu hijau. Sengon berdaun majemuk, panjang 40 cm, terdiri dari 8-15 pasang tangkai daun berisi 15-25 helai daun. Buah berbentuk polong, pipih, lurus dan tidak bersekat-sekat waktu muda berwarna hijau, berubah kuning sampai coklat setelah masak. Permintaan ekspor kayu sengon sampai dengan saat ini terus meningkat. Meningkatnya permintaan ekspor kayu sengon karena cocok digunakan sebagai bahan baku *veeneer*, kayu gergajian, kayu lapis, papan partikel dan *pulp* dengan harga yang relatif murah.

2.2.2 Gambaran Umum Kayu Kelapa

Klasifikasi yang dimiliki kelapa sebagai berikut:

| | |
|---------|-------------------------|
| Kingdom | : Plantae |
| Divisi | : Magnoliophyta |
| Kelas | : Liliopsida |
| Ordo | : Arecales |
| Famili | : Arecaceae |
| Genus | : <i>Cocos</i> |
| Spesies | : <i>Cocos nucifera</i> |

Istilah kayu kelapa telah dibakukan untuk material batang kelapa, namun tidak seperti pohon konvensional pada umumnya, kelapa (*Cocos nucifera*) tidak termasuk dalam famili tumbuhan pohon, tetapi termasuk dalam keluarga tumbuhan palem (Famili arecaceae). Seperti tumbuhan berbiji tunggal lainnya, kelapa memiliki bundel serat pembuluh (bintik-bintik merah coklat pada bagian-

silang yang tersebar di jaringan otot dasar parenkim yang berwarna kekuningan. Bundel tersebut berisi air dan sistem transportasi hara (pembuluh xilem dan floem) merupakan serat berdinding tebal yang memberikan kekuatan bagi batang dan berisi sel parenkim. Prinsipnya semakin ke pusat batang, kepadatannya semakin berkurang, dan ini terjadi pada sepanjang batang tersebut (Tjoanda, 2014).

2.3 Pengertian Modifikasi Kayu

Kayu merupakan bahan utama yang diproduksi oleh pohon secara alami oleh alam, sehingga sifat-sifat pada kayu memiliki variasi yang sangat berbeda antara jenis pohon, satu jenis pohon, maupun dalam suatu tegakan pohon itu sendiri (Hidayat dan Febrianto, 2018). Penerapan modifikasi kayu merupakan suatu langkah untuk meningkatkan kualitas kayu seperti keawetan dan kekuatan kayu dan meningkatkan sifat-sifat kayu yang diinginkan (Hill, 2006). Modifikasi kayu terdiri dari modifikasi panas, permukaan, dan impregnasi (Hidayat dan Febrianto, 2018). Modifikasi kayu merupakan langkah yang ditempuh untuk meningkatkan kualitas kayu dalam hal ini sifat fisik dan mekanisnya sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku industri perkayuan. Modifikasi dapat dilakukan baik secara fisik, mekanis maupun kimia (Hidayat *et al.*, 2020a). *Thermo Wood, Plato Wood, Oil Heat Treatment, Perdure Wood* dan *Rectified Wood* merupakan produk hasil produk-produk kayu termodifikasi panas (Hidayat dan Febrianto, 2018).

2.4 Metode Modifikasi Kayu

Modifikasi kayu dapat dibedakan menjadi beberapa metode yaitu, modifikasi panas, modifikasi kimia, modifikasi permukaan dan modifikasi impregnasi. Modifikasi panas adalah peningkatan sifat-sifat kayu dengan cara mengaplikasikan suhu panas pada kayu dengan suhu tinggi 160°C-260°C dalam waktu singkat (Hill, 2006; Kocaefe *et al.*, 2008). Kayu termodifikasi panas adalah kayu yang telah mengalami perlakuan panas dengan suhu tinggi berkisar 140-280°C dengan berbagai durasi perlakuan panas. Tujuan dari perlakuan panas ini ialah memodifikasi komponen-komponen sel pada kayu sehingga sifat-sifat kayu

berubah (Esteves dan Pereira 2009; Hidayat *et al.*, 2017d; Hidayat *et al.*, 2017e; Hill 2011; Sandberg *et al.*, 2017). Salah satu kelebihan dari kayu termodifikasi yaitu stabilitas dimensi yang lebih baik, lebih awet, serta ramah lingkungan karena penggunaan dengan bahan kimia terbatas. Sifat-sifat mekanis dan corak serta warna yang telah berubah masih dapat berfungsi dengan baik dan tetap memenuhi persyaratan dan keinginan pasar terutama perencana konstruksi. Faktor-faktor yang menentukan keberhasilan suatu perlakuan modifikasi panas pada kayu yaitu durasi dan suhu perlakuan, kondisi atmosfer lingkungan, sistem tertutup dan terbuka, jenis kayu, dan sistem kondisi kadar air kayu saat proses perlakuan panas (Boonstra 2008; Hill 2006).

Menurut Hidayat dan Febrianto (2018), modifikasi pada kayu dilakukan pada kondisi tanpa oksigen atau kadar oksigen yang dibatasi untuk mencegah terbakarnya kayu pada proses perlakuan panas. Menurut Hidayat dan Febrianto (2018), modifikasi kimia kayu adalah reaksi reagen kimia terhadap konstituen polimer kayu, sehingga menghasilkan pembentukan ikatan kovalen antara reagen dengan substrat. Modifikasi kimia kayu dikembangkan dengan tujuan meningkatkan stabilitas dimensi akibat penyerapan dan pelepasan air dari dinding sel. Dampak lain dari modifikasi kimia yaitu, peningkatan fisik dan mekanik, peningkatan daya tahan terhadap degradasi fisik, kimia, dan biologis.

Modifikasi permukaan adalah perlakuan yang mengaplikasikan bahan kimia, fisik atau biologis ke permukaan kayu dengan tujuan meningkatkan sifat-sifat kayu yang diinginkan. Modifikasi permukaan memiliki tujuan yang sama dengan modifikasi impregnasi, namun pada modifikasi permukaan, perlakuan hanya dilakukan pada beberapa lapisan pertama dari permukaan kayu. Modifikasi permukaan kayu telah diaplikasikan untuk menambah daya tahan kayu terhadap ultraviolet (UV), mengurangi daya serap terhadap air, meningkatkan kompatibilitas menggunakan bahan pelapis atau matriks, dan meningkatkan ikatan antar permukaan kayu (Hidayat dan Febrianto, 2018).

Modifikasi impregnasi adalah metode pengisian bahan pengisi (*impregnant*) ke dalam kayu dengan tujuan meningkatkan sifat-sifat kayu yang diinginkan. Prinsip pada modifikasi ini adalah untuk mengisi dinding sel kayu dengan bahan kimia, atau kombinasi bahan kimia, kemudian menimbulkan reaksi yang

menghasilkan bahan terkunci di dinding sel kayu. Dalam fase impregnasi dinding sel harus dalam keadaan mengembang untuk memastikan akseibilitas bahan pengisi. Komponen molekul pada bahan pengisi cukup kecil sehingga mampu menembus ke dalam dinding sel kayu. Fiksasi bahan pengisi dapat bereaksi melalui dua mekanisme utama, impregnasi monomer atau oligomer, diikuti oleh polimerisasi di dalam dinding sel dan difusi bahan terlarut, lalu diberi perlakuan lanjutan agar bahan pengisi tidak tercuci di dalam dinding sel (Hidayat dan Febrianto, 2018).

2.4 Perlakuan Panas dengan Minyak (*Oil Heat Treatment*)

Sailer *et al.* (2000) menyatakan bahwa hasil penelitiannya pada suatu proses modifikasi panas yang menggunakan minyak dari biji rami pada medium panas. Pada kayu dengan kadar air 6% direbus pada pemanas minyak biji rami selama 4,5 jam. Kondisi tersebut tidak ditemukan minyak, adanya minyak dapat diserap oleh kayu selama proses pemanasan, selanjutnya kayu didinginkan kemudian dilanjutkan dengan pemanasan minyak lagi sehingga dihasilkan impregnasi minyak ke kayu sampai 50-70% dari beratnya, dimana permukaan kayu diperlakukan lagi dengan perlakuan susulan yang kondisinya kering. *Oil heat treatment* (OHT) dapat mengurangi volume dari contoh uji, seperti yang ditemukan pada perlakuan panas dengan proses lainnya, karena ketidakmampuan dari trigliserida dari minyak untuk menembus dinding sel kayu (Hill, 2006). Perlakuan panas dilakukan pada tingkat temperatur antara 180°C dan 260°C tidak adanya oksigen. Perlu memperhatikan temperatur yang diinginkan (contohnya 220°C) di dalam inti kayu itu untuk 2-4 jam (Rapp, 2001).

Perlakuan panas dapat meningkatkan daya saing kayu cepat tumbuh menggunakan cara yang ramah lingkungan dan mengatasi beberapa kekurangan seperti daya tahan dan ketidakstabilan dimensi (Hill, 2006). Dubey *et al.* (2012) menyatakan bahwa minyak tidak hanya berfungsi sebagai media pengantar panas tetapi juga meminimalkan degradasi panas. Modifikasi panas merupakan modifikasi kayu yang unggul serta murah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan modifikasi impregnasi dan modifikasi kimia yang menggunakan bahan kimia sehingga produk yang dihasilkan menjadi mahal (Hill, 2006). Perubahan

sifat kayu setelah OHT disebabkan karena efek gabungan dari perubahan kimia dalam kayu karena paparan suhu tinggi dan efek penyerapan minyak kayu selama perlakuan panas (Dubey *et al.*, 2012).

2.5 Perubahan Sifat Fisik dan Mekanis pada Kayu

Oil heat treatment (OHT) secara umum dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanis kayu antara lain perubahan warna perubahan berat, perubahan volume, kerapatan, kadar air, daya serap air, modulus lentur (*modulus of elasticity/MOE*) dan modulus patah (*modulus of rupture /MOR*) (Hidayat dan Febrianto, 2018). Perlakuan panas dapat meningkatkan keawetan kayu sehingga umur pakai produk kayu dapat meningkat. Secara tidak langsung, hal ini juga akan menekan konsumsi kayu dari hutan. Selain itu aplikasi teknik modifikasi kayu ini juga dapat menjadi alternatif pemanfaatan limbah minyak goreng yang sudah tidak digunakan (Priadi dan Maretha, 2015).

Menurut Hidayat dan Febrianto (2018), persentase kehilangan berat meningkat secara linier dengan peningkatan suhu perlakuan. Penyusutan volume meningkat setelah modifikasi panas pada kisaran suhu 160°C hingga 180°C kemudian sedikit menurun pada suhu 180°C hingga 200°C, dan meningkat lagi dari 200°C hingga 220°C. Dibandingkan dengan kayu gubal, kayu teras mengalami penyusutan volume lebih tinggi setelah perlakuan pada suhu 100-200°C dan dapat meningkatkan berat kayu, stabilitas dimensi, dan kekerasan kayu (Daud, 2009). Penelitian sebelumnya menggunakan kayu durian menunjukkan bahwa kerapatan kayu meningkat dengan meningkatnya durasi perlakuan panas. Selain itu kekerasan kayu juga meningkat karena jumlah minyak yang mengisi rongga-rongga sel kayu semakin banyak dan menyebabkan kemampuan kayu untuk menahan tekanan yang diberikan semakin tinggi, selain itu juga dapat memperlambat waktu kayu untuk pecah atau retak ketika diberi tekanan (Priadi dan Maretha, 2015). Proses perlakuan panas mampu menurunkan kadar air berkisar antara 3-5%, penurunan kadar air berbanding lurus dengan lamanya durasi dan suhu pada saat perlakuan panas (Pratama, 2013).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Bulan Maret-April 2020, di *Workshop* Teknologi Hasil Hutan dan Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: mesin amplas, kompor, tungku, *thermo couple*, oven, penggaris, *caliper*, timbangan elektrik, *tallysheet*, kamera, *scanner general colorimeter*, *Universal Testing Machine* (UTM) *Testometric* M500-50AT, dan laptop. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan kelapa (*Cocos nucifera*), minyak goreng nabati (FILMA), dan gas elpiji 12 kg.

3.3 Rancangan Percobaan

Perlakuan dalam penelitian ini disusun secara faktorial 2 x 4 dalam rancangan acak kelompok lengkap (RAKL) dengan 3 ulangan yang digunakan sebagai kelompok (Tabel 1). Faktor pertama adalah jenis kayu yang digunakan yaitu kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan kelapa (*Cocos nucifera*). Faktor ke dua adalah 4 durasi *oil heat treatment* (OHT) yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam pada suhu 200°C, sehingga dalam penelitian ini terdapat 24 satuan percobaan (tidak menghitung kontrol) dan 30 satuan percobaan (dengan menghitung kontrol).

Tabel 1. Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL)

| Perlakuan (t) | Kelompok (r) | | | Total Perlakuan |
|----------------------|--------------|------|------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| S1 | S1.1 | S1.2 | S1.3 | 24 |
| S2 | S2.1 | S2.2 | S2.3 | |
| S3 | S3.1 | S3.2 | S3.3 | |
| S4 | S4.1 | S4.2 | S4.3 | |
| K1 | K1.1 | K1.2 | K1.3 | |
| K2 | K2.1 | K2.2 | K2.3 | |
| K3 | K3.1 | K3.2 | K3.3 | |
| K4 | K4.1 | K4.2 | K4.3 | |
| Total Kelompok (Y.j) | Y.1 | Y.2 | Y.3 | |

Keterangan:

S1 = Sengon dengan durasi OHT 1 jam

K1 = Kelapa dengan durasi OHT 1 jam

S2 = Sengon dengan durasi OHT 2 jam

K2 = Kelapa dengan durasi OHT 2 jam

S3 = Sengon dengan durasi OHT 3 jam

K3 = Kelapa dengan durasi OHT 3 jam

S4 = Sengon dengan durasi OHT 4 jam

K4 = Kelapa dengan durasi OHT 4 jam

Y .j = Perlakaua pada kelompok-j

3.4 Pelaksanaan

3.4.1 Persiapan Sampel

Bahan kayu papan yang dibeli dari panglong dipersiapkan. Kayu berupa papan dengan serat lurus dan bebas dari cacat alami. Kayu dikonversi menjadi papan dengan dimensi 30 cm (panjang), 10 cm (lebar) dan 2 cm (tebal). Sampel uji dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 100°C selama 24 jam, ditimbang berat sebelum OHT (m_a), diukur volume sebelum OHT (V_a) dan warna sebelum OHT.

3.4.2 Proses OHT

Proses selanjutnya yaitu perlakuan panas dengan minyak dalam reaktor OHT. Seluruh bagian sampel uji kayu direndam dalam minyak panas. Durasi yang digunakan adalah 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam dengan suhu 200°C. Proses OHT diawali dengan dimasukkannya minyak dan sampel ke dalam reaktor dengan temperatur, durasi yang telah ditentukan.

3.4.3 Pengkondisian Sampel OHT

Sampel yang telah di OHT, ditiriskan selama 15 menit, dan dilakukan pembersihan permukaan kayu dari minyak. Kemudian sampel dioven selama 24 jam pada suhu 100°C, ditimbang berat setelah OHT (mb), diukur volume setelah OHT (Vb) dan warna setelah OHT.

3.5 Pengukuran Parameter

3.5.1 Warna Kayu

Pengujian dilakukan dengan 3 kali pengulangan dengan ukuran sampel uji 30 cm x 10 cm x 2 cm (panjang × lebar × tebal). Pengambilan data warna dilakukan menggunakan alat *scanner general colorimeter* (Yulianto *et al.*, 2020). Sistem CIE-Lab menggunakan 3 parameter warna yaitu kecerahan (L^*), kromatisitas merah/hijau (a^*), dan kromatisitas kuning/biru (b^*) (Park *et al.*, 2016). Perubahan kecerahan (ΔL^*), perubahan kromatisitas merah/hijau (Δa^*), perubahan kromatisitas kuning/biru (Δb^*), dan perubahan warna total (ΔE^*) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta L^* = L_a^* (\text{sebelum OHT}) - L_b^* (\text{setelah OHT})$$

$$\Delta a^* = a_a^* (\text{sebelum OHT}) - a_b^* (\text{setelah OHT})$$

$$\Delta b^* = b_a^* (\text{sebelum OHT}) - b_b^* (\text{setelah OHT})$$

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

Keterangan:

L^* = Kecerahan (+ = cerah, - = gelap)

a^* = Kromatisitas merah/hijau (+ = merah, - = hijau)

b^* = Kromatisitas kuning/biru (+ = kuning, - = biru)

ΔL^* = Perubahan nilai L^* sebelum dan setelah OHT

Δa^* = Perubahan nilai a^* sebelum dan setelah OHT

Δb^* = Perubahan nilai b^* sebelum dan setelah OHT

ΔE^* = Perubahan warna keseluruhan

Menurut Valeverde dan Moya (2014), perubahan warna dapat ditentukan dengan derajat perubahan warna dengan klasifikasi sebagai berikut:

$0,0 < \Delta E^* \leq 0,5$ = Perubahan dapat dihiraukan

$0,5 < \Delta E^* \leq 1,5$ = Perubahan warna sedikit

$1,5 < \Delta E^* \leq 3$ = Perubahan warna nyata

$3 < \Delta E^* \leq 6$ = Perubahan warna besar

$6 < \Delta E^* \leq 12$ = Perubahan warna sangat besar

$\Delta E^* > 12$ = Warna berubah total

3.5.2 Perubahan Berat dan Susut Volume

Pengambilan data perubahan berat dan susut volume yaitu dengan cara menimbang berat kayu dan mengukur volume kayu sebelum dan setelah dilakukannya perlakuan dengan menggunakan sampel uji berukuran 30 cm x 10 cm x 2 cm (panjang x lebar x tebal) Perubahan berat (*PB*) dan susut volume (*VS*) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$PB (\%) = \frac{(ma - mb)}{ma} \times 100\%$$

$$VS (\%) = \frac{(Va - Vb)}{Va} \times 100\%$$

Keterangan:

PB = Persentase perubahan berat (%)

VS = Persentase susut volume (%)

ma = Berat sebelum OHT (g)

mb = Berat setelah OHT (g)

Va = Volume sampel sebelum OHT (cm³)

Vb = Volume sampel setelah OHT (cm³)

3.5.3 Kerapatan

Pengujian kerapatan, menggunakan sampel uji yang telah dipotong dengan ukuran 4 cm x 2 cm x 2 cm (panjang x lebar x tebal) dengan 3 kali ulangan. Kerapatan dihitung berdasarkan standar pengukuran KS F 2198, dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

ρ = Kerapatan (g/cm^3)

m = Berat sampel (g)

v = Volume sampel (cm^3)

3.5.4 Kadar Air dan Daya Serap

Pengujian kadar air (*EMC*) dilakukan dengan 3 kali ulangan dengan ukuran sampel uji 4 cm x 2 cm x 2 cm (panjang × lebar × tebal). Berat awal (*Ba*) dan berat kering tanur (*BKT*) diukur untuk menentukan kadar air sampel sebelum dan setelah modifikasi panas:

$$EMC = \frac{(Ba - BKT)}{BKT} \times 100\%$$

Keterangan:

EMC = Kadar air (%)

Ba = Bobot awal (g)

BKT = Bobot kering tanur (g)

Pengujian daya serap air yaitu menggunakan sampel uji kayu berukuran 4 cm × 2 cm × 2 cm (panjang × lebar × tebal) yang direndam dalam bak air dengan rentang waktu 2 minggu dan dilakukan pergantian air 2 kali agar sampel terhindar dari jamur. Daya serap air dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$WA = \frac{(mw - ma)}{ma} \times 100\%$$

Keterangan :

WA = Daya serap air (%)

ma = Berat sebelum direndam (g)

mw = Berat setelah direndam (g)

3.6 Pengujian Sifat Mekanis Kayu

Pengujian sifat mekanis kayu meliputi kekuatan tekan dan kekerasan kayu menggunakan alat *Universal Testing Maching (UTM) Testometric M500-50AT* dengan kecepatan pembebanan 2 N/mm².

3.6.1 Kekuatan Tekan

Kuat tekan atau keteguhan tekan/kompresi adalah kekuatan kayu untuk menahan muatan atau beban yang bekerja. Ukuran sampel uji adalah 4 cm x 2 cm x 2 cm (panjang × lebar × tebal). Kekuatan tekan searah serat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kuat Tekan // Serat (N/mm}^2\text{)} = \frac{P_{maks}}{A}$$

Keterangan:

P = Beban tekan maksimum (N)

A = Luas bidang tekan (mm²)

3.6.2 Kekerasan

Menentukan kekerasan kayu digunakan bola baja dengan diameter 11,3 mm yang ditekan masuk ke dalam benda uji sampai setengah diameter bola masuk ke dalam benda uji. Penetrasi dilakukan pada satu titik dilakukan pada arah tegak lurus serat. Ukuran sampel uji 5 cm x 5 cm x 2 cm (panjang x lebar x tebal). Pengujian kekerasan mengacu pada ASTM D 143-94.

3.7 Analisis Data

Hasil pengukuran sifat fisik dan mekanis diuji menggunakan analisis ragam atau *analysis of variance (Anova)*. Sebelum dilakukan anova data diuji homogenitas dan normalitasnya terlebih dahulu. Jika data memenuhi asumsi, maka dilanjut uji lanjut menggunakan Duncan dengan tingkat kepercayaan 95%. Analisis statistik menggunakan perangkat lunak *IBM SPSS Statistics 20*.

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui sebaran data kelompok, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Analisis data menggunakan taraf signifikan 5% dengan tingkat kepercayaan 95%. Apabila data tersebar normal dapat dilihat dari nilai *P-Value* yang dibandingkan dengan nilai α . Data berdistribusi normal apabila nilai *P-Value* $> \alpha$.

2. Uji homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui data sampel berasal dari populasi dengan variansi yang sama atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan uji Bartlett dengan taraf signifikan 5% dan tingkat kepercayaan 95%. Data dikatakan memiliki variansi homogen apabila *P-Value* $> \alpha$ atau $X^2 < X^2_{\text{tabel}}$.

Berikut bentuk umum dari model linier rancangan acak kelompok lengkap (RAKL):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} : pengamatan pada satuan percobaan ke-i yang memperoleh kombinasi perlakuan taraf ke-j dari faktor A (jenis kayu sengon dan kelapa) dari faktor B (durasi perlakuan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam)

μ : rata-rata populasi

ρ_k : pengaruh taraf ke-k dari faktor kelompok

α_i : pengaruh taraf ke-i dari faktor A

β_j : pengaruh taraf ke-j dari faktor B

$(\alpha\beta)_{ij}$: pengaruh taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B

ϵ_{ijk} : pengaruh acak dari satuan percobaan ke-k yang memperoleh kombinasi perlakuan ij. $\epsilon_{ij} \sim N$.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan yaitu:

1. *Oil heat treatment* (OHT) mempengaruhi sifat fisik kayu sengon dan kelapa.
2. Peningkatan durasi OHT menyebabkan perubahan warna keseluruhan (ΔE^*) yang masuk dalam klasifikasi $\Delta E^* > 12$ (perubahan warna total).
3. Kadar air dan daya serap air semakin menurun ketika durasi yang lebih tinggi, karena masuknya minyak ke dalam kayu sehingga mempengaruhi sifat higroskopis kayu.
4. Bergantinya minyak dengan air dapat meningkatkan kerapatan namun pada durasi tinggi akan mengurangi kerapatan kayu karena terdegradasinya selulosa kayu.
5. Hasil penelitian membuktikan penyusutan volume kayu tetapi terjadi kenaikan berat kayu karena semakin lama durasi maka semakin banyak minyak yang diserap oleh kayu.
6. Durasi OHT mempengaruhi sifat mekanis kayu sengon dan kelapa. Kekerasan dan kekuatan tekan kayu yang menurun dengan seiring meningkatnya durasi. Penurunan kekerasan dan kekuatan tekan kayu yang dapat diterima pada durasi OHT 2 jam.

5.2 Saran

OHT ialah salah satu alternatif untuk memperbaiki sifat- sifat kayu, pemakaian durasi serta suhu sangat tinggi pada proses perlakuan panas menimbulkan hilangnya sifat natural kayu sengon serta kelapa. Pemakaian durasi yang sangat lama akan menimbulkan kerusakan sifat mekanis kayu, sehingga pemakaian kayu tidak dianjurkan untuk kontruksi bangunan yang memerlukan kayu untuk beban tekan serta kekerasan dan dibutuhkannya penelitian lanjut

mengenai sifat keawetan kayu pada modifikasi kayu menggunakan metode *oil heat treatment* (OHT).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M., Ma'ruf, S.D., Kaskoyo, H., Safe'i, R., Hidayat, W. 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"*. Bandar Lampung. 564-569.
- Abimanyu, B., Safe'i, R., Hidayat, W. 2019. Aplikasi metode *forest health monitoring* dalam penilaian kerusakan pohon di Hutan Kota Metro. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3): 289–298
- Ambarwati, A., Duryat., Hidayat, W. 2019. INP vegetasi dan karbon tersimpan pada HKm Bina Wana Kecamatan Kebun Tebu Kabupaten Lampung Barat. *Jurnal Hutan Tropis*. 7(2): 112-119.
- American Standard for Testing Material. 2000. D 143-94. Standard test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM. Philidelphia.
- Anatika, E., Kaskoyo, H., Febryano, I.G., Banuwa, I.S. 2019. Pengelolaan hutan rakyat di Kabupaten Tulang Bawang Barat. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(1): 42-51.
- Akgul, M., Gumuskaya, E., Korkut, S. (2007). Crystalline structure of heat-treated scots pine (*Pinus sylvestris*) and uludag fir (*Abies nordmanniana*) subsp. bornmuelleriana (Mattf.) wood. *Wood Science and Technology*. 41: 281–289.
- Banuwa, I.S., Afriliyanti, R., Utomo, M., Yusnaini, S., Riniarti, M., Sanjaya, P., Suroso, E., Hidayat, W. 2019. Estimation of the above- and below-ground carbon stocks in University of Lampung, Indonesia. *Biodiversitas* 20(3): 676-681.
- Baskorowati, L. 2014. *Budidaya Sengon Unggul (Falcataria moluccana) untuk Pengembangan Hutan Rakyat*. Buku. IPB Press. Jakarta. 48 P.
- Bal, B.C. 2014. Some physical and mechanical properties of thermally modified juvenile and mature black pine wood. *Eur. Journal Wood Prod*. 72: 61-66.

- Balfas, J. 2007. Perlakuan resin pada kayu kelapa (*Cocos nucifera*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 25(2): 108-118.
- Bekhta, P., Niemz, P. 2003. Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzfoschung*. 57(5): 539-546.
- Boonstra, M.J., Van Acker, J., Kegel, E., Stevens, M. 2007. Optimisation of a two stage heat treatment process: durability aspects. *Wood Sci. Technol.* 41(1): 31-57.
- Boonstra, M. J. 2008. A two-stage thermal modification of wood. Ph.D. *Dissertation in Cosupervision Ghent University and University Henry Poincare, Nancy I. Belgium*. 297 P.
- Candelier, K., Thevenon, M., Petrissans A., Durmacay, S., Gerardin, P., Petrissans, M. 2016. Control of wood thermal treatment and its effects on decay resistance: a review, *Ann. For. Sci.* 73(1) : 571-583.
- Charomaini, M., Suhaendi, H. 1997. Genetic variation of *Paraserianthes falcataria* seed sources in Indonesia and potencial in tree breeding programs. *Prosiding Workshop International tentang Spesies Albazia dan Paraserienthes*. 151-156.
- Daud, M., Coto, Z. 2009. Peningkatan Sifat Fisik dan Mekanis Kayu Durian (*Durio* sp) dengan Penggorengan. *Simposium Forum Teknologi Hasil Hutan*. Bogor, 30-31 Oktober 2009.
- Dubey, M.J., Pang, S., Walker, J. 2012. Changes in chemistry, color, dimensional stability and fungal resitance of pinus radiata D. Don wood with oil heat teratment. *Holzforschung*. 66(1): 49-57.
- Esteves, B.M., Pereira, H. 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources*. 4(1): 370-404.
- Febrianto, F., Hidayat, W., Samosir, T.P., Lin, H.C., Soong, H.D. 2010. Effect of strand combination on dimensional stability and mechanical properties of oriented strand board made from tropical fast growing tree species. *Journal of Biological Sciences*. 10(3): 267-272.
- Febrianto, F., Hwee, S.P., Man, C. K., Hidayat, W. 2012. Properties enhancement of rubber wood particleboard laminated with Low Density Polyethylene (LDPE) resin. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 10(2): 186-194.
- Febryano, I.G., Harum, O.M.A., Wulandari, C., Hidayat, W., Banuwa, I.S., Prasetia, H., Iswandar, D., Novriyanti, Duadji, N., Tresiana, N., Zulfiani, D., Ichsan, A.C., and Salampessy, M.L. 2021. Raw material of besemah traditional house construction in Indonesia. *Folia Forestalia Polonica, Series A-Forestry*. 63(1): 74-80.

- Hartawan, R., Sarjono, A. 2016. Karakteristik fisik dan produksi kelapa (*Cocos nucifera*) di berbagai ekologi lahan. *Jurnal Media Pertanian*. 1(2): 45–54.
- Hakkou, M., Pétrissans, M., Zoulalian, A., Gerardin, P. 2005. Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis. *Polym. Degrad. Stab.* 89(1): 1-5.
- Hardianto, A.H., Ma'ruf, S.D., 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"*. Bandar Lampung. 287-292.
- Hartono, R., Wahyudi, I., Febrianto, F., Dwianto, W., Hidayat, W., Jang, J.H., Lee, S.W., Park, S.H., Kim, N.H. 2016a. Quality Improvement of oil palm trunk properties by close system compression method. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 44(2): 172-183.
- Hartono, R., Hidayat, W., Wahyudi, I., Febrianto, F., Dwianto, W., Jang, J.H., Kim, N.H. 2016b. Effect of phenol formaldehyde impregnation on the physical and mechanical properties of soft-inner part of oil palm trunk. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 44(6): 842-851.
- Hartono, R., Hidayat, W., Damayanti, R. 2019. Effect of impregnation methods and bioresin concentration on physical and mechanical properties of soft-inner part of oil palm trunk. *Journal of Physics: Conference Series* 1282(1): 012-078.
- Harum, O.M.A., Febryano, I.G., Wulandari, C., Hidayat, W. 2019. Pelestarian ghumah baghi (rumah tradisional berbahan dasar kayu) di Kelurahan Pelang Kenidai, Kota Pagaralam. *Jurnal Hutan Tropis*. 7(2): 216-224.
- Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D.A., Kim, S.D., Lee, S.H., Yoo, J.H. 2021. Valorization of Indonesian wood wastes through pyrolysis: a review. *Energies*. 14(5): 1407.
- Haryanto, A., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Telaumbanua, M., Triyono, S., Hidayat, W. 2021. Biomass fuel from oil palm empty fruit bunch pellet: potential and challenges. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 8(1): 33-42.
- Herwanti, S. 2015. Potensi kayu rakyat pada kebun campuran di Desa Pesawaran Indah Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Sylva Lestari*. 3(1): 113-120.
- Hidayat, W., Sya'bani, M.I., Purwawangsa, H., Iswanto, A.H., Febrianto, F. 2011. Effect of wood species and layer structure on physical and mechanical properties of strand board. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 9(2): 134-140.

- Hidayat, W., Jang, J.H., Park, S.H., Febrianto, F., Kim, N.H. 2015a. drying defects of okan wood (*Cylicodiscus gabunensis*) heat-treated at different temperatures. *The 65th Annual Meeting of the Japan. Wood Research Society*. B17-P-S13.
- Hidayat, W., Jang, J.H., Park, S.H., Qi, Y., Febrianto, F., Lee, S.H., Kim, N.H. 2015b. 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., Kim, N.H. 2016. Effect of treatment duration and clamping on the properties of heat-treated okan wood. *BioResources*. 11(4): 10070–10086.
- Hidayat, W., Kim, Y.K., Jeon, W.S., Lee, J.A., Kim, A.R., Park, S.H., Maail, R.S., Kim, N.H. 2017a. Qualitative and quantitative anatomical characteristics of four tropical wood species from Moluccas, Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 45(4): 369-381.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H., Chae, H.M., Kondo, T., Kim, N.H. 2017b. Carbonization characteristics of juvenile woods from some tropical trees planted in Indonesia. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*. 62(1): 145-152.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Kim, N.H. 2017c. Effect of mechanical restraint on drying defects reduction in heat-treated okan wood. *BioResources*. 12(4): 7452–7465.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Park, B.H., Banuwa, I.S., Febrianto, F., Kim, N.H. 2017d. 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., Kim, N.H. 2017e. Effect of mechanical restraint on the properties of heat-treated pinus koraiensis and paulownia tomentosa woods. *Bioresources*. 12(4): 7539-7551.
- Hidayat, W., Febrianto, F. 2018. *Teknologi Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan: Modifikasi Panas dan Pengaruhnya Terhadap Sifat-Sifat Kayu*. Buku. Pusaka Media. Bandar Lampung. 127 P.
- Hidayat, W., Febrianto, F., Purusatama, B.D., Kim, N.H. 2018. Effects of heat treatment on the color change and dimensional stability of *Gmelina arborea* and *Melia azedarach* woods. in: *E3S Web of Conferences*. 03010.
- Hidayat, W., Suri, I.F., Safe'i, R., Wulandari, C., Satyajaya, W., Febryano, I.G., Febrianto, F. 2019. Keawetan dan stabilitas dimensi papan partikel hibrida bambu-kayu dengan perlakuan steam dan perendaman panas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 17(1): 68–82.

- Hidayat, W., Maruf, S.D., Abdillah, M., Prayoga, S., Zevan, R., Prihastono, G.B. A., Hardianto, A.H., Ridjayanti, S.M. 2020a. *Perlakuan Minyak Panas (Oil Heat Treatment) pada Kayu*. Buku. Pustaka Media. Bandar Lampung. 58 P.
- Hidayat, W., Rani, I.T., Yulianto, T., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Lee, S.H., Kim, S.D., Yoo, J.H., Haryanto, A. 2020b. Peningkatan kualitas pelet tandan kosong kelapa sawit melalui torefaksi menggunakan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Rekayasa Proses*. 14(2): 169-181.
- Hill, C.A.S. 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal And Other Processes*. John Wiley & Sons Ltd. Chichester. England. 260 P.
- Homan, W.J., Jorissen, A.J.M. 2004. Wood modification developments. *Journal Heron*. 49(4): 361-385.
- Hunggurami, E., Ramang, R., Djenmakani, Y. 2014. Pengaruh tindakan pengawetan terhadap sifat mekanis kayu kelapa. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. III, No. 2.
- Hooijer, A, Silvius, M., Wosten, H., Page, S. 2006. *Peat-CO₂, Assessment of CO₂ Emissions from Drained Peatlands in SE Asia*. Buku. Delft Hydraulics Report Q3943. 36 P.
- Jihannanda, P. 2013. Studi kuat lentur balok laminasi kayu sengon dengan kayu kelapa di daerah gunung pati semarang. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 91 P.
- Karlinasari, L., Yoresta, S.Y., Priadi, T. 2018. Karakteristik perubahan warna dan kekerasan kayu termodifikasi panas pada berbagai suhu dan jenis kayu. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Tropis*. 16(1) : 68-82.
- Krisnawanti, H., Varis, E., Kallio, M., dan Kanninen, M. 2011. *Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen. Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*. Buku. Cifor. Bogor. 24 P.
- Kim, Y.S. 2016. Research trend of the heat treatment of wood for improvement of dimensional stability and resistance to biological degradation. *Journal Korean Wood Sci. Technol*. 44(3): 457-476.
- Kocafe, D., Shi, J.L., Yang, D.Q., Bouazara, M. 2008. Mechanical properties, dimensional stability, and mold resistance of heat treated jack pine and aspen. *Journal Forest Prod*. 58(6): 88-93
- Lee, W.H., Lim, H.M., Kang, H.Y. 2015. The color change of korean pine specimens oil heat treated at 180 and 200°C. *Journal Korean Wood Sci. Technol*. 43(4): 438-445.

- Lukmandaru, G., Fatimah, S., Fernandes, A. 2015. Sifat kimia dan warna kayu keruing, mersawa, dan kapur (chemical and colour properties of keruing, mersawa, and kapur woods). *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*. 1(2): 69 – 80.
- Maulana, M.I., Murda, R.A., Purusatama, B.D., Sari, R.K., Nawawi, D. S., Nikmatin, S., Hidayat, W., Lee, S.H., Febrianto, F., Kim, N.H. 2021a. Effect of alkali-washing at different concentration on the chemical compositions of the steam treated bamboo strands. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 40(1): 14-22.
- Maulana, M.I., Murda, R.A., Purusatama, B.D., Sari, R.K., Nawawi, D.S., Nikmatin, S., Hidayat, W., Lee, S.H., Febrianto, F., Kim, N.H. 2021b. Properties of oriented strand board from alkali-washed bamboo strands after steam treatment. *BioResources*. 16(1): 987-996.
- Mitsui, K., Takada, H., Sugiyama, M., Hasegawa, R. 2001. Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment: Part 1 effect of treatment conditions on the change in color. *Holzforschung*. 55(6): 601-605.
- Muhamad, S., Marwanto, Maulana, M.I., Maulana, S., Fatrawana, A., Hidayat, W., Sari, R.K., 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.
- Nadeak, N., Qurniati, R., Hidayat, W. 2013. Analisis finansial pola tanam agroforestri di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 1(1): 65–74.
- Nandika, D., Darmawan, W., Arinana. 2015. Peningkatan kualitas kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) nielsen) melalui teknik kompregnasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 25(2): 125-135.
- Nur Aminah, L., Qurniati, R., Wahyu, H. 2013. Kontribusi hutan rakyat terhadap pendapatan petani di Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 1(1): 47–54.
- Nurkholifah, N., Riniarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niswati, A., Hidayat, W. 2020. Karakteristik arang dari limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dan tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). *Seminar Nasional Konservasi 2020 “Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan”*. Bandar Lampung. 235-240.
- Park, S.H., Jang, J.H., Qi, Y., Hidayat, W., Hwang, W.J., Febrianto, F., Kim, N.H. 2016. Color change of major wood species planted in Indonesia by ultraviolet radiation. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 44(1): 9-18.

- Parlinah, N., Irawanti, S., Suka, A.P., Ginoga, K.L. 2015. Distribusi nilai tambah dalam rantai nilai kayu sengon (*Paraserienthes falcataria*) dari Kabupaten Pati, Jawa Tengah Indonesia. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*.12(2): 77-78.
- Paul, W.M., Ohlmeyer, H., Leithoff. 2005. Optimising the properties of OSB by a one step heat pre treatment process. *Holz als Roh-und Werkstoff Journal*. 64: 227-234.
- Praptoyo, H., Puspitasari, R. 2012. Variasi sifat anatomi kayu sengon (*Paraserienthes falcataria (l) nielsen*) dari 2 jenis permudaan yang berbeda. makassar. *Seminar Nasional Mapeki XV*. 33-41.
- Pratama, A. 2013. Ketahanan kayu mindi (*melia azedarach L.*) dari rayap kayu kering *cryptotermes cynocephalus* setelah perlakuan pemanasan. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 34 P.
- Prayoga, S., Ma'ruf, S.D., Febryano, I.G., Duryat, Hidayat, W. 2020. Peningkatan kualitas kayu cepat tumbuh: Pengaruh durasi perlakuan panas dengan minyak terhadap sifat-sifat kayu akasia dan jabon. *Seminar Nasional Konservasi 2020 "Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan"*. Bandar Lampung. 212-217.
- Priadi, T., Maretha, S.D. 2015. Sifat keawetan dan fisik-mekanis kayu kecap dan rambutan setelah perlakuan pemanasan minyak sebagai upaya peningkatan mutu kayu ramah lingkungan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 13(2): 146-160.
- Prihastono, G.B.A., Ma'ruf, S.D., Febryano, I.G., Duryat., 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"*. Bandar Lampung. 82-87.
- Phebryanti, S. 2015. Kayu kelapa sebagai bahan alternatif untuk mebel di area publik rumah tinggal. *Jurnal Intra*. 3(1): 53-56.
- Rahmah, N., Kaskoyo, H., Saputro, S.G., Hidayat, W. 2020. Analisis biaya produksi furnitur: studi kasus di mebel barokah 3, Desa Marga Agung, Lampung Selatan. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(2): 207-217.
- Rapp, A. 2001. Review on heat treatments of wood, cost action e22- Environmental optimisation of wood protection. *Proceedings of Special Seminar in Antibes, França*. 71 P.
- Rubiyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Bakri, S. 2019. Karakterisasi pelet kayu karet (*Hevea brasiliensis*) hasil torefaksi dengan menggunakan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari*. 7(3): 321–331.

- Sumargo, A., Nanggara, S.H., Nainggolan, F.A., Apriani, I. 2011. *Potret Keadaan Hutan Indonesia 2000-2009*. Buku. Forest Watch Indonesia. 68 P.
- Sanudin., Awang, S.A., Sadono, R., Purwanto, R.H. 2016. Perkembangan hutan kemasyarakatan di Provinsi Lampung (*progress of community foresti in Lampung Province*). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(2): 276-283.
- Sandberg, D., Kutnar, A., Mantanis, G. 2017. Wood modification technologies – a review. *iForest*. 10: 895-908.
- Sailer, M., Rapp, A., Leithoff, H. 2000. Improved resistance of scots pine and spruce by applicatioan of an oil heat treatment, in: *International Research Group Wood Pro, section 4 processes*, No IRG/WP 00-40162.
- Siadari, T.P., Hilmanto, R., Hidayat, W. 2013. Potensi kayu rakyat dan strategi pengembangannya: studi kasus di hutan rakyat Desa Buana Sakti, Kecamatan Batanghari, Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 1(1): 78-84.
- Sulistio, Y., Febryano, I.G., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U., Hidayat, W. 2020. Pengaruh torefaksi dengan reaktor counter-flow multi baffle (COMB) dan electric furnace terhadap pelet kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 65–76.
- Sundqvist, B. 2002. Color response of scots pine (*Pinus sylvestris*), Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pubescens*) subjected to heat treatment in capillary phase. *Holz Roh Werkst*. 60: 106-114.
- Todaro, L., Dichicco, P., Moretti, N., D’Auria, M. 2013. Effect of combined steam and heat treatments on extractive and lignin in sapwood and heartwood of turkey oak (*Quercus cerris L.*) wood. *BioResources*. 8(2): 1718-1730.
- Tjoanda, S. 2014. Perancangan mebel bar stool dengan material kayu kelapa. *Dimensi Interior*. 12(2): 72-77.
- Utama, R.C., Febryano, I.G., Herwanti, S., 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.
- Ververde, J.C., Moya, R. 2014. Correlation and modeling between color variation and quality of the surface between accelerated and natural tropical weathering in *Acacia mangium*, *Cedrela odorata* and *Tectona grandis* wood with two coating. *Color res. Appl*. 39(5): 519-529.

- Wang, J.Y., Cooper, P.A. 2005. Effect of oil type, temperature and time on moisture properties of hot oil treated wood. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 63(1): 417-422.
- Wibowo, T.I.R., Rinarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niwati, A., 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"*. Bandar Lampung. 560-563.
- Winandy, J.E. 2002. *Enhancing the Durability of Lumber and Engineered Wood Products*. Buku. Forest Products society. 320 P.
- Won, K.R., Hong, N.E., Park, H.M., Moon, S.O., Byeon, H.S. 2015. Effects of heating temperature and time on the mechanical properties of heat-treated woods. *Journal Korean Wood Sci. Technol.* 43(2): 168-176.
- Yulianto, T., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Haryanto, A., Hasanudin, U., Hidayat, W. 2020. Perubahan sifat fisis pelet tandan kosong kelapa sawit hasil torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 9(2): 104-111.
- Zevan, R., Ma'ruf, S.D., Duryat, Riniarti, M., 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"*.