

Karakteristik Perubahan Warna dan Kekerasan Kayu Termodifikasi Panas pada Berbagai Suhu dan Jenis Kayu *(Color Changes and Hardness Properties of Thermally Modified Wood at Various Temperatures and Wood Species)*

Lina Karlinasari*, Fengky S Yoresta, Trisna Priadi

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor

*Penulis korespondensi: karlinasari@apps.ipb.ac.id

Abstact

Thermally modified wood by heat treatment are conducted to improve wood quality through high temperature application dealing with to increase dimensional stability and biological durability. However, this treatment can decrease others properties such as mechanical properties and color changes. The aim of this study was to evaluate the color changes as well as hardness properties which undergone heat treatment. Sengon (*Paraserianthes falcataria*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), and mangium (*Acacia mangium*) wood species were heat treated at temperature 120, 150, and 180 °C for duration 2 and 6 h. Pretreatments were carried through natural drying and kiln dryer at low temperature 40 °C. The result showed that the temperature and duration of heat treatment were effected on color changes to become darken mainly in jabon and mangium wood. Heat treatment at three temperature which subjected to the samples was not influenced significantly on hardness properties. Pretreatment maintained the moisture content stability but not influenced on wood properties tested.

Keywords: color change, dimensional stability, heat, temperature, thermally modified wood

Abstrak

Kayu termodifikasi panas (*heat treatment*) merupakan suatu perlakuan terhadap kayu menggunakan suhu tinggi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas kayu terutama stabilitas dimensi dan sifat keawetan kayu. Namun demikian beberapa sifat kayu lainnya dapat terpengaruh lebih jelek dibandingkan dengan kayu yang tidak diberi perlakuan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat perubahan warna dan kekerasan kayu yang mengalami *heat treatment*. Jenis kayu yang digunakan adalah sengon (*Paraserianthes falcataria*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), dan mangium (*Acacia mangium*). Perlakuan panas yang dilakukan pada kilang pengering dengan suhu 120, 150, dan 180 °C dan waktu pemaparan 2 dan 6 jam. Pra perlakuan dilakukan dengan mengeringkan kayu secara alami dan pengering oven 40 °C. Hasil penelitian menunjukkan suhu dan waktu pemaparan *heat treatment* menyebabkan kayu berwarna lebih gelap dan berpengaruh sangat nyata terutama untuk jenis kayu jabon dan mangium. Perlakuan panas tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kekerasan kayu yang diteliti. Pra perlakuan menjaga stabilitas kadar air tetapi tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan sifat kayu yang diuji.

Kata kunci: kayu termodifikasi panas, perlakuan panas, perubahan warna, stabilitas dimensi, suhu

Pendahuluan

Kayu solid termodifikasi panas melalui perlakuan panas suhu tinggi (*heat treatment*) telah berkembang pesat dan menjadi komersial pada kurun waktu 20 tahun terakhir. Produk ini telah menjadi bagian penting di pasar kayu solid di Eropa. Tercatat sejumlah negara telah memproduksi dan menguasai pasar dengan berbagai label kayu termodifikasi panas (Hill 2011, Burnard *et al.* 2017, Sanberg *et al.* 2017). Kesuksesan global produk Thermowood® dari Finlandia telah diikuti oleh berbagai produk sejenis yang telah memodifikasi paten produk tersebut seperti produk Novawood® (Turkey), NFS Ltd. (Estonia), dan ESTW (Rusia). Produk kayu termodifikasi lain dikenal sebagai kayu termodifikasi panas dengan beberapa tahap (*a stage thermal modification of wood*) atau proses Plato® yang dikembangkan pertama kali di Belanda diklaim sebagai produk berkualitas unggul. Produk lain yang sudah diterima pasar adalah Retriwood® dari Perancis (Boonstra 2008, Hill 2011, Sandberg *et al.* 2017). Produk-produk kayu termodifikasi umumnya berasal dari Eropa dan Amerika dengan berbagai variasi suhu, lama proses perlakuan atau pemaparan panas, serta kondisi lingkungan perlakuan panas.

Kayu termodifikasi panas didefinisikan sebagai kayu yang mengalami perlakuan panas menggunakan suhu tinggi 140 – 280 °C dengan berbagai durasi pemaparan panas. Tujuan utama dari perlakuan panas ini adalah memodifikasi komponen dinding sel sehingga sifat-sifat kayu dapat berubah (Esteves dan Pereira 2009, Hill 2011, Sandberg *et al.* 2017, Hidayat *et al.* 2017). Keunggulan utama dari kayu termodifikasi ini adalah stabilitas dimensi yang lebih baik, lebih awet, dan diklaim ramah lingkungan

karena sangat membatasi penggunaan bahan kimia. Corak dan warna serta beberapa sifat mekanis yang berubah masih dapat berfungsi dengan baik dan memenuhi persyaratan dan keinginan pasar terutama para perekayasa konstruksi. Beberapa faktor yang menentukan proses keberhasilan perlakuan modifikasi panas pada kayu adalah suhu dan waktu *heat treatment*, kondisi atmosfer lingkungan, sistem tertutup dan terbuka, jenis kayu, dan sistem kondisi kadar air kayu saat perlakuan panas (Hill 2006, Boonstra 2008).

Karena berkembangnya proses modifikasi kayu dengan perlakuan panas terutama di Eropa dan Amerika, maka umumnya aplikasi metode ini untuk jenis-jenis kayu temperate. Penelitian terakhir pada Scots pine oleh Rautkari *et al.* (2014) menyebutkan suhu pemanasan hanya 150–180 °C dengan kondisi *superheated steam* berhasil memperbaiki *anti-swelling efficiency* dan sifat mekanis lentur kayunya. Pada kayu kualitas rendah jenis Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) dan Corcian pine (*Pinus nigra*) perlakuan panas bertahap hingga 210 °C selama 2 jam belum efektif memperbaiki sifat kayunya dan belum efisien digunakan untuk suatu produk kayu termodifikasi panas (Romagnoli *et al.* 2013).

Sementara itu, penelitian Hannouz *et al.* (2015) pada kayu konstruksi Eropa jenis ash wood (*Fraxinus excelsior*) yang diberi perlakuan panas mengikuti metode Thermowood® pada suhu 210 °C selama 2 jam menurunkan sifat mekanis kayu kecuali modulus elastisitas sejajar serat kayu tersebut. Untuk kayu tropis Afrika jenis Iroko (*Chlorophora excels*) yang diberi perlakuan panas berdasarkan metode Thermowood® pada suhu 190 °C selama 2 jam menyebabkan kayu

berubah warna menjadi lebih gelap dengan nilai perubahan warna (ΔE) sekitar 12, penurunan sifat mekanis kayu termasuk modulus elastisitas, terjadi penurunan sifat resistansi listrik, serta kekerasan kayu berkurang sampai 4% dari kayu kontrolnya (Icel & Beram 2017). Pada kayu jenis merbau (*Intsia bijuga*) asal Papua New Guinea yang diberi perlakuan *heat treatment* suhu 170 °C selama 2 jam ternyata tidak memberikan pengaruh yang nyata pada ketahanan kayu terhadap serangan rayap dan jamur (Liao *et al.* 2016).

Penelitian kayu termodifikasi panas atau *heat treatment* kayu tropis Indonesia tercatat antara lain oleh Widyorini *et al.* (2014) untuk kayu mahoni, serta Priadi dan Hiziroglu (2013) pada kayu mindi (*Melia azedarach*) dan mahoni (*Swietenia macrophylla*). Widyorini *et al.* (2014) melakukan pemanasan kayu pada suhu 90, 120, dan 150 °C selama 2 jam pemaparan dengan dua metode yaitu oven dan *steam*. Hasilnya diketahui bahwa suhu dan metode perlakuan berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air dan perubahan warna. Pada metode oven kualitas kayu yang dihasilkan dianggap lebih baik. Sementara itu penelitian Priadi dan Hiziroglu (2013) melaporkan terjadi penurunan sifat kekerasan kayu dan peningkatan stabilitas dimensi serta kehalusan permukaan kayu pada sampel yang diberi perlakuan panas suhu 130 dan 200 °C selama 2 dan 8 jam pada oven konvensional biasa.

Saat ini pemanfaatan jenis-jenis kayu cepat tumbuh terus meningkat. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2016 melaporkan terjadi peningkatan pemanfaatan kayu dari hutan tanaman, yang umumnya didominasi jenis pohon cepat tumbuh,

sekitar 10% untuk memenuhi kebutuhan kayu di industri (KLHK 2017). Jenis-jenis kayu cepat tumbuh ini memerlukan peningkatan kualitas kayunya terutama dalam hal stabilitas dimensi dan keawetannya. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas kayu tersebut dapat dilakukan dengan modifikasi kayu melalui perlakuan panas suhu tinggi (*heat treatment*). Beberapa efek dari *heat treatment* adalah terjadinya perubahan warna serta sifat mekanis kayu salah satunya adalah kekerasan kayu. Sifat warna dan kekerasan kayu menjadi hal yang dipertimbangkan dalam aplikasi pemanfaatan kayu untuk beberapa produk seperti *cladding*, *decking*, *garden furniture* maupun produk lain yang tidak memerlukan ketahanan sifat mekanis yang tinggi karena bukan termasuk untuk keperluan struktural.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi perubahan warna dan sifat kekerasan kayu cepat tumbuh sengon, jabon, dan mangium pada kondisi *heat treatment* 120, 150, dan 180 °C untuk waktu pemaparan 2 dan 6 jam dengan kegiatan pra perlakuan pada kondisi kadar air awal kayu kering udara.

Bahan dan Metode

Penyiapan bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), dan mangium (*Acacia mangium*) yang berumur < dari 10 tahun dengan diameter \pm 30 cm diambil dari wilayah Ciampea, Bogor. Log kayu dari bagian pangkal hingga sekitar 2/3 dari tinggi pohon dikoversi menjadi papan-papan berukuran tebal 2,5 cm yang dengan panjang 40 cm. Seluruh papan-papan tersebut dikering udarakan dengan

cara diangin-anginkan hingga mencapai kadar air 18-20% selama sekitar 2 bulan.

Pra perlakuan

Pra perlakuan sebelum kegiatan *heat treatment* dilakukan untuk menurunkan kadar air secara bertahap dengan cara pada sebagian sampel mengalami pengeringan alami yaitu sampel diangin-anginkan menggunakan kipas pada suhu lingkungan sekitar 25 °C selama 21 hari, dan sebagian lainnya mengalami pengeringan oven pada kilang pengering suhu 40 °C selama 7 hari dengan kondisi oven yang dimatikan pada malam hari. Target kadar air yang ingin dicapai adalah 12%. Tujuan pra-perlakuan menggunakan oven suhu rendah (40 °C) adalah untuk menurunkan kadar air secara lebih cepat sebelum perlakuan suhu panas tinggi dilakukan, serta memodifikasi kapasitas higroskopis dan fiksasi kayu sehingga kayu lebih stabil. Dalam Hill (2006) disebutkan bahwa kapasitas higroskopis sorpsi-desorpsi dapat menurun lebih besar pada suatu siklus pengeringan dalam kondisi kadar air kesetimbangan.

Perlakuan panas (*heat treatment*)

Perlakuan panas dilakukan pada setiap set contoh uji untuk semua jenis kayu baik yang mengalami pra-perlakuan pengeringan alami maupun pengeringan oven. Suhu *heat treatment* yang digunakan adalah 120, 150, dan 180 °C dengan waktu pemanasan 2 dan 6 jam pada kilang pengeringan konvensional. Waktu pemanasan ini dihitung sejak suhu kilang mencapai suhu yang diinginkan. Butuh waktu 2-4 jam untuk mencapai suhu pemanasan yang dimaksud. Setelah pengeringan seluruh sampel uji diangin-anginkan untuk pengkondisian sebelum pengujian

minimal 24 jam. Pengujian dan kontrol kadar air untuk semua kondisi dilakukan menggunakan moisture meter

Pengujian warna dan kekerasan

Sampel pengujian dipilih secara acak dari papan tangensial yang tersedia mewakili bagian log dari batang pohon. Jumlah sampel pengujian sebanyak 90 buah terdiri atas 45 sampel uji yang mengalami pra perlakuan pengeringan alami dan 45 buah sampel sisanya yang mendapatkan pra perlakuan pengeringan oven 40 °C. Untuk setiap perlakuan dilakukan 5 kali ulangan.

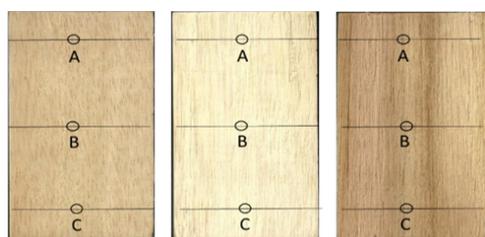
Pengujian warna dilakukan untuk mengevaluasi perubahan warna akibat perlakuan panas suhu tinggi. Sampel berukuran tebal, lebar, dan panjang (2x5x8) cm³. Pengujian dilakukan sebelum dan sesudah *heat treatment* dengan cara memindai permukaan lebar sepanjang sampel uji menggunakan alat scanner Hewlett-Packard Deskjet Ink Advant type k209a-z untuk tiga kali pemindaian setiap sampelnya. Hasil pemindaian dianalisis menggunakan perangkat lunak Adobe Photoshop® CS (Adobe Systems Inc., USA) pada 1330 x 2333 pixels di tiga titik fokus secara konsisten pada sampel sebelum dan sesudah perlakuan (Gambar 1).

Pemindaian permukaan kayu untuk mengidentifikasi perubahan warna pada kayu termodifikasi panas menggunakan alat *scanner* juga dilakukan oleh Gonzales-Pena dan Hale (2009). Hasil dari analisis menggunakan perangkat lunak tersebut memberikan informasi nilai parameter L*, a*, dan b* dimana L* menunjukkan kecerahan (hitam ke putih), a* dan b* masing-masing menunjukkan kemerahan (hijau ke merah) dan kekuningan (biru ke kuning). Perubahan warna ditentukan berdasarkan

CIELab sistem. Sistem ini sangat umum digunakan untuk menilai warna bahan yaitu berdasarkan tiga koordinat yang berhubungan dengan persepsi warna subjektif. Vertikal koordinat L^* menunjukkan $L^*=0$ untuk total hitam atau gelap, $L^*=100$ untuk total putih. Koordinat bidang horizontal diwakili a^* dan b^* . Pada nilai a^* , posisi sumbu -60 untuk hijau dan +60 untuk merah. Untuk nilai b^* , posisi sumbu -60 untuk biru, +60 untuk kuning (Gonzales-Pena dan Hale 2009) . Perubahan warna (ΔE) ditentukan berdasarkan persamaan:

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

dengan ΔE adalah perubahan warna akibat perlakuan pemanasan, ΔL adalah perbedaan antara nilai L^* awal dan akhir setelah perlakuan, Δa adalah perbedaan antara nilai a^* sebelum dan sesudah *heat treatment*, dan Δb yaitu perbedaan antara nilai b^* sebelum dan sesudah perlakuan pemanasan. Evaluasi perubahan warna (ΔE) mengacu pada Cui *et al.* (2004) yang dibagi kedalam 5 tingkat perubahan warna yaitu (1) perubahan warna tidak tampak ($0 < \Delta E < 1,5$), (2) perubahan warna sedikit tampak ($1,5 < \Delta E < 3,0$), (3) perubahan warna tampak ($3,0 < \Delta E < 6,0$), (4) perubahan warna sangat jelas ($6,0 < \Delta E < 12$), dan (5) warna berubah total ($\Delta E > 12$).



Sengon Jabon Mangium

Gambar 1 Tiga titik fokus (A, B, C) analisis pada hasil pemindaian pengujian warna sebelum dan sesudah *heat*

treatment untuk kayu sengon, jabon, dan mangium.

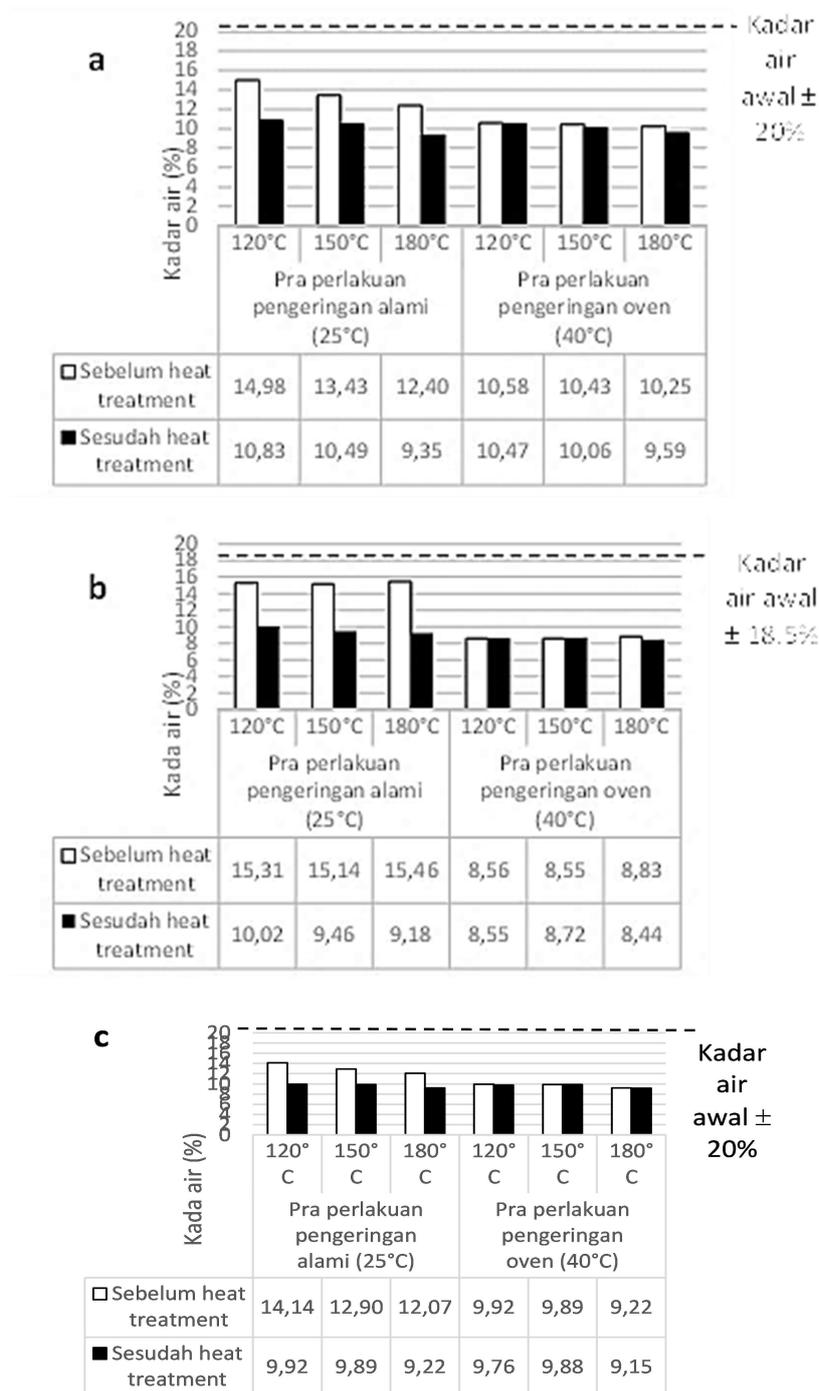
Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan sampel uji berukuran penampang lintang (2×2) cm² dengan panjang 6 cm mengacu pada standar BS-373 (1957). Pengujian kekerasan atau uji indentasi atau ketahanan pengikisan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya maksimum yang bekerja saat sampel dibebani dengan cara membenamkan setengah bola baja dengan diameter bola 1 cm. Pengujian kekerasan ini dilakukan pada dua sisi permukaan yang berbeda dari sekitar bagian ujung yang berbeda pula.

Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk menentukan nilai rata-rata dari setiap variable pengujian. Selain itu dilakukan analisis ragam multivariansi untuk menentukan pengaruh dari faktor pra perlakuan, suhu, dan waktu *heat treatment*. Uji lanjut Duncan digunakan jika ada pengaruh yang nyata antar faktor tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan kadar air

Kondisi awal kadar air papan sampel kayu setelah diangin-anginkan sekitar 2 bulan dari kondisi basah pasca penebangan untuk semua jenis kayu rata-rata sebesar 20%. Selanjutnya, sampel kayu sebelum perlakuan modifikasi panas (*heat treatment*) diberikan pra perlakuan pada dua kondisi yaitu pengeringan alami dengan bantuan kipas angin pada suhu ± 25 °C dan pengeringan oven 40 °C. Gambar 2 menunjukkan kadar air kayu sebelum dan setelah perlakuan panas (*heat treatment*) pada berbagai kondisi pra perlakuan penelitian.



Gambar 2 Perubahan kadar akibat perlakuan panas (*heat treatment*) pada berbagai kondisi pra perlakuan untuk jenis kayu sengon (a), jabon (b), dan mangium (c).

Hasil penelitian pada Gambar 2 menunjukkan pra perlakuan pengeringan alami dengan suhu lingkungan sekitar 25

°C selama 21 hari, atau total sekitar 80 hari kegiatan pengeringan alami pasca penebangan, menurunkan rata-rata kadar

air untuk kayu jenis sengon, jabon, dan mangium masing-masing menjadi 13,60; 15,30; dan 13,04%. Sementara itu, pra perlakuan pengeringan oven dengan suhu 40 °C selama 7 hari berhasil menurunkan rata-rata kadar air menjadi 10,42% untuk kayu sengon, 8,68% untuk kayu jabon, dan 9,68% untuk kayu mangium. Setelah perlakuan panas (*heat treatment*) dengan berbagai suhu dan lama pemaparan diperoleh rata-rata kadar air kayu sengon menjadi 10,22 dan 10,44% masing-masing untuk sampel yang mengalami pra perlakuan pengeringan alami dan pengeringan oven. Sementara itu, untuk kayu jabon kadar air setelah *heat treatment* adalah 9,55% untuk yang mengalami pra perlakuan pengeringan alami, dan 8,57% untuk yang mengalami pra perlakuan oven. Pada kayu mangium, kadar air setelah perlakuan panas suhu tinggi untuk yang mengalami pra perlakuan pengeringan alami dan oven 40 °C masing-masing sebesar 9,68 dan 9,60%.

Pra perlakuan menggunakan suhu 40 °C selama \pm 1 minggu mampu menurunkan kadar air sampel sebesar 10% untuk semua jenis kayu, dibandingkan pengeringan kondisialami dengan bantuan fan yang memerlukan waktu lebih dari 21 hari dari kondisi kadar air awal yang sama sekitar 20%. Kadar air akhir untuk semua jenis kayu cepat tumbuh tropis ini yang telah diberi perlakuan panas suhu 120, 150, dan 180° C untuk waktu pemaparan 2 jam dan 6 jam baik yang mengalami pra perlakuan alami ataupun oven 40 °C ada pada kisaran 8-10%. Pada kondisi kadar air \leq 10% diduga telah terjadi kestabilan kapasitas higroskopis kayu sehingga hampir tidak terjadi perubahan kadar air kayu. Pemberian perlakuan suhu panas

tinggi lebih dari 140 °C membantu terjadinya degradasi substrate berupa air terikat dan struktur kimia kayu sehingga terjadi perubahan sifat bahan seperti perubahan warna, kehilangan berat, stabilitas dimesnsi, kristalinitas, dan sifat mekanis (Hill 2006, Eves & Pereira 2009). Penelitian Bal (2014) pada kayu black pines (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) menunjukkan penurunan kadar air yang nyata dari kondisi kadar air kesetimbangan akibat *heat treatment* suhu 140, 170, dan 200 °C selama 3 jam. Metode *heat treatment* komersial Thermowood menerapkan kegiatan perlakuan panasnya pada bahan baku yang memiliki kadar air 10% hingga kondisi basah, metode Plato pada kayu dengan kadar air awal 14-18%, sementara itu metode Retiwood mengaplikasi perlakuan panasnya pada kayu dengan kadar air awal sekitar 12% (Sandberg *et al.* 2017).

Perubahan warna

Heat treatment menyebabkan perubahan warna kayu menjadi lebih gelap yang tergantung suhu dan waktu perlakuan panas (Hill 2006). Gambar 3 menunjukkan tampilan perubahan warna sebelum dan sesudah *heat treatment* pada berbagai kondisi perlakuan.

Tampilan perubahan warna yang ditunjukkan pada Gambar 3 sangat jelas pada perlakuan suhu *heat treatment* 180 °C baik pada waktu pemaparan 2 jam maupun 6 jam untuk semua jenis kayu. Sampai suhu *heat treatment* 150 °C tampilan perubahan warna secara visual tidak begitu jelas, kecuali untuk kayu jabon yang sudah tampak terlihat jelas. Selanjutnya, nilai parameter warna L*, a*, dan b* disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4 Perubahan warna kayu sebelum dan sesudah *heat treatment*.

Keterangan: S, J, M = jenis kayu sengon, jabon, mangium; 25, 40 = pra perlakuan pengeringan alami (25 °C) atau oven 40 °C; A, B, C= suhu *heat treatment* 120 °C, 150 °C, dan 180 °C; 2, dan 6 = lama pemaparan *heat treatment* 2 jam atau 6 jam.

Berdasarkan Tabel 1 diketahui bahwa rata-rata nilai kecerahan (L^*) yang tertinggi adalah kayu jabon, diikuti kayu sengon, dan kayu mangium dengan nilai masing-masing 89, 84, dan 59. Sementara itu, berdasarkan warna kemerahan (a^*) maka kayu mangium adalah yang tertinggi diikuti sengon dan jabon. Nilai negatif pada parameter a^* pada kayu jabon menunjukkan arah warna yang lebih kehijauan dibandingkan kemerahan. Secara umum merujuk pada sumbu koordinat pada sistem CIELab maka nilai a^* untuk kayu jabon adalah cenderung kehijauan. Untuk warna kekuningan (b^*) kayu jabon dan mangium memiliki nilai yang sama (22) sementara kayu sengon bernilai kekuningan lebih rendah (12). Setelah perlakuan *heat treatment* terjadi penurunan warna kecerahan (L^*), dan peningkatan parameter warna a^* dan b^* ,

kecuali pada kayu mangium yang mengalami pemanasan suhu 180 °C pada suhu 6 jam yang mengalami sedikit penurunan nilai b^* .

Gambar 4 menampilkan perubahan warna atau delta E (ΔE) dari sebelum ke sesudah perlakuan panas berdasarkan analisis sistem CIELab pada hasil pemindaian sampel uji. Evaluasi perubahan warna (ΔE) pada suhu 120 °C menunjukkan kisaran nilai 3-8 pada semua jenis kayu, Pada suhu 150 °C nilai ΔE berada pada kisaran 6-15 dengan nilai tertinggi pada kayu jabon untuk sampel yang mengalami pra perlakuan pengeringan alami dengan suhu pemaparan 2 jam dan 6 jam. Perubahan warna (ΔE) pada suhu *heat treatment* 180 °C berada pada kisaran 14-29 untuk semua jenis kayu.

Tabel 1 Nilai rata-ran (n=5) parameter warna kecerahan (L*), kemerahan (a*), dan kekuningan (b*)

Pra perlakuan	Kondisi <i>heat treatment</i>	Kode sampel	Parameter warna					
			L*	L*#	a*	a*#	b*	b*#
Sengon								
Pengeringan alami (suhu 25°C)	120 °C, 2 jam	S25A2	83	77	3	4	13	12
	120 °C, 6 jam	S25A6	86	79	2	4	12	12
	150 °C, 2 jam	S25B2	84	76	2	4	12	12
	150 °C, 6 jam	S25B6	85	71	3	4	13	14
	180 °C, 2 jam	S25C2	83	72	2	6	12	19
	180 °C, 6 jam	S25C6	86	64	2	10	12	24
Pengeringan oven (suhu 40°C)	120 °C, 2 jam	S40A2	80	77	3	4	12	12
	120 °C, 6 jam	S40A6	84	79	3	4	12	12
	150 °C, 2 jam	S40B2	87	77	1	4	12	12
	150 °C, 6 jam	S40B6	85	73	2	4	12	15
	180 °C, 2 jam	S40C2	84	72	2	6	12	19
	180 °C, 6 jam	S40C6	84	62	3	12	12	25
Jabon								
Pengeringan alami (suhu 25°C)	120 °C, 2 jam	J25A2	89	85	-1	1	21	21
	120 °C, 6 jam	J25A6	92	86	-2	1	20	21
	150 °C, 2 jam	J25B2	92	79	-2	4	21	21
	150 °C, 6 jam	J25B6	93	80	-2	4	21	22
	180 °C, 2 jam	J25C2	91	73	-1	10	21	26
	180 °C, 6 jam	J25C6	91	66	0	12	22	29
Pengeringan oven (suhu 40°C)	120 °C, 2 jam	J40A2	90	86	-1	0	22	22
	120 °C, 6 jam	J40A6	85	80	1	3	24	24
	150 °C, 2 jam	J40B2	84	79	2	4	23	23
	150 °C, 6 jam	J40B6	88	79	0	4	21	23
	180 °C, 2 jam	J40C2	84	70	2	11	23	28
	180 °C, 6 jam	J40C6	86	63	1	14	25	29
Mangium								
Pengeringan alami (suhu 25°C)	120 °C, 2 jam	M25A2	57	54	10	11	22	22
	120 °C, 6 jam	M25A6	61	54	8	11	22	22
	150 °C, 2 jam	M25B2	62	53	8	11	23	24
	150 °C, 6 jam	M25B6	60	47	9	12	22	21
	180 °C, 2 jam	M25C2	58	41	10	11	23	20
	180 °C, 6 jam	M25C6	60	37	9	10	23	17
Pengeringan oven (suhu 40°C)	120 °C, 2 jam	M40A2	57	54	9	10	21	22
	120 °C, 6 jam	M40A6	57	54	9	10	21	22
	150 °C, 2 jam	M40B2	55	50	10	11	21	21
	150 °C, 6 jam	M40B6	62	50	7	12	21	24
	180 °C, 2 jam	M40C2	57	38	10	11	21	18
	180 °C, 6 jam	M40C6	59	33	8	10	21	16

Keterangan: #kondisi setelah perlakuan *heat treatment*

Merujuk pada Cui *et al.* (2004) untuk tingkat perubahan warna maka pada suhu *heat treatment* 120 °C baik pada waktu pemaparan 2 jam ataupun 6 jam maka pengaruh perlakuan panas menunjukkan tingkat perubahan warna sudah terlihat ($\Delta E = 3-6$).

Perlakuan modifikasi panas suhu 150 °C menyebabkan perubahan warna sudah dalam tingkat nyata terlihat dan sebagian mulai berubah total. Perubahan warna total ($\Delta E > 12$) terjadi pada semua jenis kayu untuk lama pemaparan sampai 6 jam. Pada suhu 150 °C rata-rata perubahan warna (ΔE) tidak melebihi 15. Sementara itu, pada suhu 180 °C perubahan warnanya (ΔE) melebihi nilai angka 20 untuk terutama untuk waktu pemaparan 6 jam. Hal ini menunjukkan semakin tinggi suhu maka perubahan warna (ΔE) semakin besar.

Penelitian Widyorini *et al.* (2014) pada kayu mahoni menunjukkan tidak ada pengaruh yang nyata dari suhu pemanasan oven 90-150 °C terhadap perubahan warna. Sementara itu, pada pemanasan menggunakan metode penguapan suhu 150 °C memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap nilai perubahan warna pada kayu yang dipanaskan dari suhu di bawahnya.

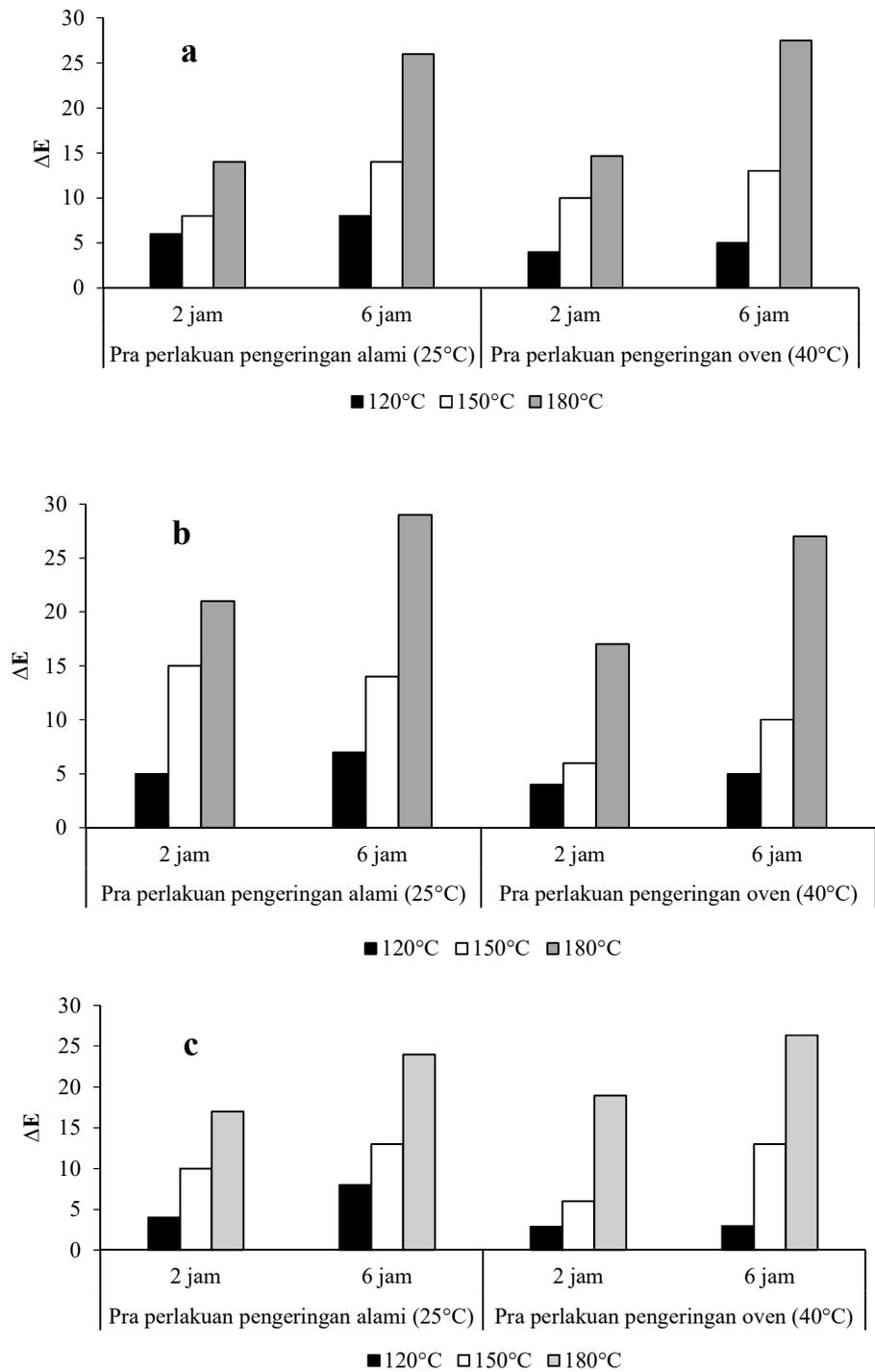
Secara umum, rata-rata perubahan warna pada kayu sengon, jabon dan mangium hampir sama yaitu sekitar 45-50% untuk dari suhu 120 ke 150 °C dan dari suhu 150 ke 180 °C. Sementara itu, perubahan warna yang terjadi dari suhu 120 ke 180 °C sebesar $\pm 75\%$. Analisis ragam pada

Tabel 2 menunjukkan interaksi faktor pra perlakuan, suhu, dan waktu *heat treatment* tidak berpengaruh nyata terhadap nilai perubahan warna untuk ketiga jenis kayu yang diuji. Namun demikian bila hanya menggunakan faktor tunggal suhu ataupun waktu *heat treatment* saja maka dari masing-masing faktor tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai ΔE untuk semua jenis kayu.

Kekerasan kayu

Pengujian kekerasan kayu dilakukan untuk mengetahui ketahanan abrasi kayu termodifikasi panas. Rata-rata hasil pengujian kekerasan kayu akibat *heat treatment* pada Tabel 3 menunjukkan kecenderungan penurunan kekerasan kayu akibat *heat treatment* suhu 120 dan 150 °C dengan waktu pemaparan 2 dan 6 jam. Namun dijumpai pada beberapa kondisi waktu pemaparan hingga 6 jam kekerasan kayu dapat meningkat terutama pada kayu sengon dan jabon. Sementara itu, untuk kayu mangium suhu *heat treatment* ≥ 120 °C pada waktu pemaparan yang lebih lama akan menurunkan kekerasan kayu. Pada kondisi *heat treatment* suhu 180 °C pada lama pemaparan 2 jam sudah terjadi penurunan sifat kekerasan untuk semua jenis kayu cepat tumbuh tropis yang diteliti.

Secara umum berdasarkan analisis ragam multivariansi tidak ada pengaruh yang nyata dari interaksi faktor yang diteliti terhadap sifat kekerasan kayu.



Gambar 4 Rata-rata perubahan warna (ΔE) kayu sengon (a), jabon (b), dan mangium(c).

Tabel 2 Analisis ragam dari nilai rata-rata perubahan warna (ΔE) kayu sengon, jabon, dan mangium

Sumber keragaman	Sengon		Jabon		Mangium	
	F hitung	Tingkat signifikansi	F hitung	Tingkat signifikansi	F hitung	Tingkat signifikansi
Pra perlakuan	1,055	0,309 ^{ns}	11,995	0,001 ^{**}	0,002	0,964 ^{ns}
Suhu <i>heat treatment</i>	7,030	0,002 ^{**}	98,684	0,000 ^{**}	192,509	0,000 ^{**}
Waktu <i>heat treatment</i>	12,065	0,001 ^{**}	14,678	0,000 ^{**}	27,930	0,000 ^{**}
Interaksi pra perlakuan vs suhu <i>heat treatment</i>	0,185	0,832 ^{ns}	1,855	0,167 ^{ns}	4,501	0,16 ^{ns}
Interaksi pra perlakuan vs waktu <i>heat treatment</i>	0,775	0,383 ^{ns}	0,790	0,379 ^{ns}	1,540	0,221 ^{ns}
Interaksi suhu <i>heat treatment</i> x waktu <i>heat treatment</i>	0,460	0,634 ^{ns}	0,437	0,018 ^{**}	3,753	0,031 ^{**}
Interaksi pra perlakuan vs suhu <i>heat treatment</i> vs waktu <i>heat treatment</i>	0,167	0,847 ^{ns}	0,722	0,491 ^{ns}	2,667	0,080 ^{ns}

Tabel 3 Sifat kekerasan kayu yang termodifikasi panas (*heat treatment*) untuk jenis kayu sengon, jabon, dan mangium

Pra perlakuan	Kondisi <i>heat treatment</i>	Kekerasan, kg cm ⁻²		
		Sengon	Jabon	Mangium
Pengeringan alami (suhu 25 °C)	120 °C, 2 jam	235	306	528
	120 °C, 6 jam	230	327	517
	150 °C, 2 jam	252	239	542
	150 °C, 6 jam	268	358	501
	180 °C, 2 jam	345	328	549
	180 °C, 6 jam	243	270	434
Pengeringan oven (suhu 40 °C)	120 °C, 2 jam	236	308	499
	120 °C, 6 jam	286	301	485
	150 °C, 2 jam	291	297	506
	150 °C, 6 jam	259	289	499
	180 °C, 2 jam	297	337	514
	180 °C, 6 jam	235	302	455

Tabel 4 Analisis ragam dari nilai kekerasan kayu kayu sengon, jabon, dan mangium

Sumber keragaman	Sengon		Jabon		Mangium	
	F hitung	Tingkat signifikansi	F hitung	Tingkat signifikansi	F hitung	Tingkat signifikansi
Pra perlakuan	0,069	0,794 ^{ns}	0,003	0,958 ^{ns}	0,975	0,328 ^{ns}
Suhu <i>heat treatment</i>	1,024	0,367 ^{ns}	0,458	0,635 ^{ns}	0,617	0,544 ^{ns}
Waktu <i>heat treatment</i>	1,040	0,242 ^{ns}	3,213	0,079 ^{ns}	4,748	0,034 ^{**}
Interaksi pra perlakuan vs suhu <i>heat treatment</i>	0,783	0,463 ^{ns}	0,522	0,597 ^{ns}	0,131	0,877 ^{ns}
Interaksi pra perlakuan vs waktu <i>heat treatment</i>	0,177	0,676 ^{ns}	8,810	0,005 ^{**}	0,589	0,447 ^{ns}
Interaksi suhu <i>heat treatment</i> vs waktu <i>heat treatment</i>	2,596	0,085 ^{ns}	1,256	0,294 ^{ns}	1,502	0,233 ^{ns}
Interaksi pra perlakuan vs suhu <i>heat treatment</i> vs waktu <i>heat treatment</i>	0,716	0,494 ^{ns}	1,0173	0,350 ^{ns}	0,219	0,804 ^{ns}

Walaupun secara statistik interaksi dari tiga faktor yang diuji tidak berpengaruh nyata, namun adanya respon yang berbeda untuk tiga jenis kayu terhadap sifat kekerasan kayu mengindikasikan adanya pengaruh struktur sel kayu terkait mikroporositi dinding sel kayu (Hill 2006). Pada suhu 180 °C atau lebih terjadi peningkatan ukuran dan luas distribusi microporositi akibat terlepas dan hilangnya berbagai komponen kayu (Hietala *et al.* 2002).

Kesimpulan

Secara umum suhu dan waktu pemaparan pada perlakuan modifikasi panas (*heat treatment*) yang dilakukan pada penelitian ini menyebabkan perubahan warna (ΔE) pada seluruh kayu, terutama pada kayu jabon. Perubahan warna (ΔE) total terutama terjadi pada suhu hingga

150 °C, pada suhu 180 °C baik untuk lama pemaparan 2 jam maupun 6 jam. Peningkatan suhu pemanasan menurunkan sifat kekerasan ketiga jenis kayu yang diuji terutama pada suhu 180 °C. Berdasarkan set perlakuan panas (*heat treatment*) maka interaksi faktor pra perlakuan, suhu, dan waktu *heat treatment* tidak berpengaruh secara nyata terhadap perubahan warna dan sifat kekerasan kayu.

Pra perlakuan pengeringan pada kondisi kadar air kering udara kayu yang dilakukan tidak efektif mempengaruhi perubahan warna dan sifat kekerasan kayu tetapi sangat membantu stabilitas kadar air untuk tetap dalam kondisi $\leq 10\%$.

Berdasarkan kondisi *heat treatment* yang dikembangkan maka dapat dipertimbangkan penggunaan sampel

kayu dengan kadar air awal yang lebih tinggi mendekati titik jenuh serat sehingga dapat mempersingkat waktu dan mengurangi energi, serta menekan biaya ekonomi yang timbul akibat perlakuan modifikasi panas ini.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai oleh Hibah Kompetisi Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Perguruan Tinggi dengan No Kontrak 5651/IT3.11/PN/2017. Terimakasih untuk Andi Tri Lestari, Sri Dewi Anggraeni, Handang Tegar Perbani, Mar'atus Sholikhah, Aprily Anggia Cesarizky Suharjo atas dukungan kerja laboratorium pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bal BC. 2014. Some physical and mechanical properties of thermally modified juvenile and mature black pine wood. *Eur. J. Wood Prod.* 72: 61-66.
- Boonstra M. 2008. A two-stage thermal modification of wood. [Disertasi]. Gent. Faculty of Bioscience Engineering. Gent University.
- [BS] British Standard. 1957. BS-373: *Methods of Testing Small Clear Speciment of Timber*. London. British Standard Institution Decoporated by Royal Charter British Standar House.
- Burnard M, Posavcevic M, Kegel E. 2017. Examining the evolution and convergence of wood modification and environmental impact assessment in research. *iForest* 10: 879-885.
- Cui W, Kamdem P, Rypstra T. 2004. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. *Wood Fiber Sci.* 36: 291-301.
- Esteves BM dan Pereira HM. 2009. Wood modification by heat treatment: a review. *BioResources* 4(10): 370-404.
- Gonzales-Pena M, Hale MDC. 2009. Colour in thermally modified wood of beech, Norway spruce, and Scots pine. Part 1: Colour evolution and colour changes. *Holzforschung* 63: 385-393.
- Hannouz S, Collet R, Butaud J-C, Bleron L, Candelier K. 2015. Mechanical characterization of heat-treated ash wood in relation with structural timber standard. *Pro Ligno* 11(2): 3-10.
- Hietala S, Maunu SL, Sundholm F, Jamsa S, Viitaniemi P. 2002. Structure of thermally modified wood studied by liquid state NMR measurements. *Holzforschung* 56(5): 522-528.
- Hill CAS. 2006. *Wood Modification: Chemical, Themal and Other Process*. Chicester: John Wiley & Sons Ltd. Hlm: 99-127.
- Hill CAS. 2011. Wood modification: an update. *BioResources* 6(2): 918-919.
- Icel B, Beram A. 2017. Effects of industrial heat treatment on some physical and mechanical properties of iroko wood. *Drvna Industrija* 68(5): 229-239.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2017. *Kebijakan tata Kelola Hutan dan Alokasi Sumberdaya Hutan dalam*

- Keberpihakan untuk Kesejahteraan Masyarakat. Jakarta : DPKTL.
- Liao YL, Wang J, Lu Zahohua, Gu J, Hu C. 2016. Effects of heat treatment on durability of merbau heartwood. *BioResources* 11(1): 426-438.
- Priadi T dan Hiziroglu S. 2013. Characterization of heated treated wood species. *Materials & Design* 49: 575-582.
- Rautkari L, Honkanen J, Hill CAS, Ridley-Ellis D. 2014. Mechanical and physical properties of thermally modified Scots pine wood in high pressure reactor under saturated steam at 120, 150, 180 °C. *Eur. J. Wood Prod.* 72: 33-41.
- Romagnoli M, Cavali D, Pernarella R, Zanuttini R, Togni M. 2015. Physical and mechanical characteristics of poor-quality wood after heat treatment. *iForest* 8: 884-891.
- Sandberg D, Kutnar A, Mantanis G. 2017. Wood modification technologies – a review. *iForest* 10: 895-908.
- Widyorini R, Khotimah K, Prayitno TA. 2014. Pengaruh suhu dan metode perlakuan panas terhadap sifat fisika dan kualitas finishing kayu mahoni. *J Ilmu Kehutanan* 8(2): 65-74
- Riwayat naskah
Naskah masuk (*received*): 20 Agustus 2017
Diterima (*accepted*): 26 Oktober 2017