

PENINGKATAN KUALITAS KAYU SENGON (*Paraserianthes Falcataria* (L) NIELSEN) MELALUI TEKNIK KOMPREGNASI

QUALITY IMPROVEMENT OF SENGON WOOD THROUGH COMPREGNATION PROCESS

Dodi Nandika, Wayan Darmawan, dan Arinana

Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16001
email: dodina@ipb.ac.id

Makalah: Diterima 19 Agustus 2014; Diperbaiki 17 Oktober 2014; Disetujui 28 Oktober 2014

ABSTRACT

Sengon (Paraserianthes falcataria (L) Nielsen), is a fast-growing tree species that widely planted in Indonesia. However, some of the wood properties such as low-density, low-hardness, and low-strength limits its utilization. A study was conducted to evaluate the effect of thermal compregnation on the physical as well as mechanical properties of Sengon boards. The tangential board (36 cm x12 cm x3 cm) were impregnated by chitosan solution 0,5% under different temperature levels (100°C, 120°C, and 140°C), then thermally compressed to be 1,5 cm thickness under different temperature levels (150°C, 170°C, and 190°C). Moisture content, density, hardness, springback, Modulus of Elasticity, and Modulus of Rupture of the experimental boards were evaluated. Microscopic feature of the boards were also evaluated using Scanning Electron Microscope (SEM). The results showed that thermal compregnation positively affected the density, hardness, MOE as well as MOR of the boards. Density of compregnated boards had increased 80.70% compared with uncompregnated boards. In addition, hardness of compregnated boards (286,91 kg/cm²) were increased 54.61% compared with uncompregnated board (159,20 kg/cm²). Thermal compregnation was also increase MOE and MOR of Sengon boards as much as 53.20% and 52.77%, respectively. Meanwhile springback of compregnated boards were significant decrease by chitosan impregnation. The optimum temperature for impregnation as well as compression process of the boards were 100°C and 150°C respectively.

Keywords: chitosan, compregnation, density, mechanical strength, sengon

ABSTRAK

Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) merupakan jenis pohon cepat tumbuh yang paling banyak ditanam di hutan rakyat dan di hutan tanaman rakyat di Indonesia. Namun kualitas kayu tersebut relatif rendah dibandingkan dengan kualitas kayu dari hutan alam, terutama menyangkut kerapatan, kekerasan, dan kekuatannya. Suatu penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh kompregnasi panas terhadap sifat fisis dan sifat mekanis kayu sengon. Papan tangensial kayu sengon (36 cm x12 cm x3 cm) diimpregnasi dengan larutan khitosan 0,5% dalam tangki tertutup dengan suhu yang berbeda (100°C, 120°C, and 140°C), kemudian dikempa sampai ketebalannya 1,5 cm pada suhu 150°C, 170°C, and 190°C. Kadar air, kerapatan, kekerasan, pemulihan tebal, modulus elastis (MOE), dan modulus patah (MOR) kayu tersebut diukur sebelum dan setelah proses kompregnasi. Struktur mikroskopis kayu tersebut juga diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompregnasi panas secara signifikan meningkatkan kerapatan, kekerasan, MOE, dan MOR kayu sengon. Kerapatan kayu sengon terpadatkan meningkat 80,70% dibandingkan dengan sebelum proses pemadatan. Disamping itu, kekerasan kayu sengon terpadatkan (286,91 kg/cm²) meningkat 54,61% dibandingkan dengan sebelum proses pemadatan (159,20 kg/cm²). MOE dan MOR kayu sengon terpadatkan juga meningkat masing-masing 53,20% dan 52,77% akibat proses pemadatan. Sementara itu, impregnasi larutan khitosan 0,5% mampu meningkatkan stabilitas dimensi kayu sengon terpadatkan terpadatkan. Suhu impregnasi optimum untuk kompregnasi kayu sengon adalah 100°C, sedangkan suhu pengempaan optimumnya adalah 150°C.

Kata kunci: khitosan, kompregnasi, kerapatan, kekuatan mekanis, sengon

PENDAHULUAN

Eksplorasi hutan alam di masa lampau tanpa mempertimbangkan aspek kelestarian disertai pembalakan liar (*illegal logging*), pembukaan wilayah hutan untuk perkebunan, transmigrasi, penambangan, dan kebakaran hutan telah

menyebabkan deforestasi sekaligus menurunnya kemampuan produksi kayu dari hutan alam Indonesia. Pada awal tahun 1990-an, hutan alam Indonesia mampu memasok 60-80 juta m³ kayu gergajian per tahun, tetapi pada tahun 2011 menurun menjadi hanya 20 juta m³ per tahun. Sejalan dengan itu, luas hutan alam yang dapat dimanfaatkan potensi

kayunya menurun dari 61 juta hektar pada tahun 1993-1994 menjadi hanya 23,64 juta hektar pada tahun 2011 (Kementerian Kehutanan, 2012). Menurunnya pasokan kayu dari hutan alam tersebut telah mendorong dikembangkannya jutaan hektar hutan tanaman di berbagai propinsi di Indonesia. Pandit *et al.* (2009) melaporkan bahwa di Propinsi Banten, Propinsi Jawa Barat, dan Propinsi Jawa Tengah saja luas hutan rakyat mencapai 577.996 hektar, sebagian besar ditanami pohon sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen). Namun demikian kayu yang berasal dari hutan tanaman, termasuk sengon, pada umumnya tergolong ke dalam jenis kayu cepat tumbuh (*fast growing species*) yang kualitasnya lebih rendah jika dibandingkan dengan kayu yang berasal dari hutan alam, baik kerapatan, kekerasan, kekuatan, maupun keawetannya. Darmawan *et al.* (2013) melaporkan bahwa rendahnya kualitas kayu sengon terutama disebabkan oleh masa kayu masih didominasi oleh masa kayu muda (*juvenile wood*) dengan sel-sel kayu yang masih pendek dan dinding sel yang relatif tipis jika dibandingkan dengan kayu dewasa (*mature wood*). Kondisi tersebut menyebabkan pemanfaatan dan nilai ekonomi kayu sengon relatif rendah. Agar pemanfaatan kayu tersebut dapat optimal sehingga mampu menggantikan peranan kayu hutan alam yang selama ini dipergunakan, diperlukan inovasi teknologi yang dapat memperbaiki kualitas kayu dimaksud.

Salah satu teknologi yang diduga potensial untuk meningkatkan stabilitas dimensi dan kekuatan kayu adalah kompregnasi kayu (*wood compregnation*) yang merupakan gabungan dari proses impregnasi senyawa kimia tertentu kedalam kayu dan proses pengempaan kayu (*wood compression*) pada suhu dan tekanan tertentu. Prinsip utama kompregnasi kayu adalah memadatkan kayu berkerapatan rendah sehingga sifat fisis dan mekanisnya menjadi lebih baik (Rilatupa *et al.*, 2004; Sulistyono *et al.*, 2003; Amin *et al.*, 2007). Teknik ini cukup sederhana dan dapat dilakukan dengan biaya dan peralatan yang terjangkau sehingga tidak hanya dapat diaplikasikan pada industri berskala besar. Proses pengempaan kayu dengan suhu tinggi dimungkinkan karena meningkatnya elastisitas berbagai polimer pembentuk dinding sel kayu, khususnya hemiselulosa dan lignin (Laine *et al.*, 2013). Suhu yang dapat diterapkan dalam proses pengempaan kayu umumnya di atas 100°C, diantaranya 120°C (Dogu *et al.*, 2010), 150°C (Yano *et al.*, 2000; Shams *et al.*, 2004; Ashaari *et al.*, 2010; Fukuta *et al.*, 2011; Bami dan Mohebbi, 2011; Kutnar dan Kamke, 2012; Candan *et al.*, 2013), 160°C (Yan *et al.*, 2010; Kutnar dan Kamke, 2012), 170°C (Kutnar dan Kamke, 2012; Candan *et al.*, 2013), dan 190°C (Gabrielli dan Kamke, 2010).

Salah satu kekurangan utama dari metode pemadatan kayu melalui pengempaan yaitu

pemulihan tebal kayu (*springback*) yang seringkali terjadi ketika kayu terpadatkan (*densified wood*) terpapar pada suhu dan kelembaban lingkungan pemakaian (Candan *et al.*, 2013). Selain itu berdasarkan beberapa hasil penelitian, kayu terpadatkan masih rentan terhadap serangan organisme perusak kayu (Welzbacher *et al.*, 2008; Unsal *et al.*, 2009; Bami dan Mohebbi, 2011). Kelemahan-kelemahan tersebut perlu diatasi agar kayu terpadatkan mempunyai nilai guna dan nilai ekonomis yang tinggi. Salah satu peluang untuk mencegah terjadinya *springback* sekaligus meningkatkan keawetan kayu terpadatkan adalah dengan terlebih dahulu melakukan impregnasi senyawa kimia tertentu ke dalam kayu yang dapat mengisi pori-pori kayu secara permanen dan bersifat racun bagi organisme perusak kayu. Beberapa senyawa kimia yang selama ini dipergunakan sebagai bahan impregnasi kayu umumnya merupakan senyawa kimia berbasis formaldehida, seperti PF, MF, dan UF (Deka dan Sikia, 2000; Ashaari *et al.*, 2010; Gabrielli dan Kamke, 2010; Fukuta *et al.*, 2011). Mengingat potensi resiko kesehatan akibat emisi formaldehida yang dihasilkan selama pemakaian produk tersebut, maka pemanfaatan senyawa kimia berbasis formaldehida dalam proses impregnasi kayu harus dikurangi. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif senyawa kimia lain yang dapat dipergunakan sebagai bahan impregnasi kayu yang ramah lingkungan.

Di pihak lain, dalam satu dekade terakhir, pemanfaatan khitosan sebagai bahan pengawet dan peningkat stabilitas dimensi kayu terus berkembang (Guo *et al.*, 2006; Usman *et al.*, 2007; Rismayadi dan Arinana, 2009; Boer dan Nandika, 2012). Khitosan, yang merupakan hasil dari proses deasetilasi kitin (bahan pembentuk kutikula atau lapisan luar tubuh hewan dan mikroba), adalah salah satu biopolimer paling melimpah di alam selain selulosa (Yang dan Hon, 2009). Usman *et al.* (2007) melaporkan bahwa impregnasi kayu sengon dengan larutan khitosan dapat meningkatkan beberapa sifat fisis dan mekanis kayu tersebut. Sementara itu, Rismayadi dan Arinana (2009) memanfaatkan senyawa khitosan untuk mengurangi serangan rayap tanah *Coptotermes curvignathus* pada kayu pinus. Boer dan Nandika (2012) melaporkan bahwa perendaman kayu pinus dalam senyawa khitosan 0,5% dapat meningkatkan derajat proteksi kayu terhadap serangan rayap tanah hingga 30%. Aplikasi larutan khitosan dalam proses impregnasi kayu sebelum proses pengempaan panas diharapkan mampu meningkatkan keawetan sekaligus stabilitasi dimensi kayu terpadatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kombinasi perlakuan suhu impregnasi larutan khitosan 0,5% dan suhu kempa terbaik pada proses kompregnasi kayu sengon dan mengetahui karakteristik fisis dan mekanis kayu sengon terpadatkan yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen), asam asetat 5%, serbuk khitosan yang berasal dari deasetilasi khitin cangkang udang, air destilata dan aluminium foil. Sedangkan alat yang digunakan antara lain oven, mesin kempa panas (produk Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia seri OS SAAJS-2000, kapasitas tekanan maksimum 100 kg/cm²), *Universal Testing Machine* (UTM) merk INSTRON, neraca elektrik, gelas piala, dan *autoclave*.

Pembuatan Contoh Uji

Pohon sengon berumur 5-7 tahun di hutan rakyat di Bogor, Jawa Barat ditebang untuk pembuatan 50 contoh uji berupa papan tangensial berukuran 36 cm (arah longitudinal, L) x 12 cm (arah tangensial, T) x 3 cm (arah radial, R). Contoh uji kemudian dikeringkan dalam oven pengering (suhu 50-60°C) hingga mencapai kadar air 12-15%.

Pembuatan Larutan Khitosan

Tiga puluh gram serbuk khitosan (40-60 mesh) dilarutkan dalam 450 mL asam asetat 5%, kemudian diencerkan dengan menambahkan air destilata hingga volume larutan khitosan secara keseluruhan mencapai 6 L (konsentrasi larutan khitosan 0,5%).

Impregnasi Kayu dengan Khitosan

Masing-masing 15 contoh uji dikukus dalam *autoclave* berisi larutan khitosan 0,5% pada kondisi suhu yang berbeda (100°C, 120°C, dan 140°C) selama 90 menit. Sementara itu lima contoh uji lainnya dibiarkan tanpa proses impregnasi (kontrol). Tekanan yang digunakan di dalam *autoclave* adalah 2,07 kgf/cm².

Pemadatan Kayu

Contoh uji yang telah diimpregnasi dipadatkan pada arah radial dengan mesin kempa bertekanan 25 kgf/cm² dengan perlakuan suhu yang berbeda (150°C, 170°C, dan 190°C) selama 60 menit, sehingga diperoleh ukuran tebal kayu terpadatkan 1,5 cm (Gambar 1). Contoh uji kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 50°C agar waktu kondisioning contoh uji dapat dilakukan secara bersamaan.

Kadar Air

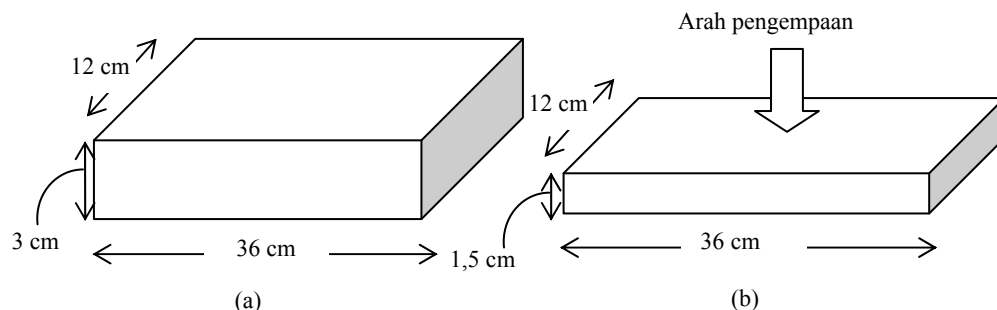
Pengujian kadar air kayu terpadatkan mengacu pada British Standard (BS) 373: 1957 dengan modifikasi ukuran tebal contoh uji. Contoh uji dibuat dengan ukuran 2 cm (L) x 2 cm (T) x 1,5 cm (R). Contoh uji ditimbang beratnya (berat awal) kemudian dikeringkan pada suhu 103± 2°C hingga beratnya konstan (berat akhir). Kadar air dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat Awal} - \text{Berat Akhir}}{\text{Berat Akhir}} \times 100$$

Kerapatan

Pengujian kerapatan kayu terpadatkan mengacu pada BS 373: 1957 dengan modifikasi ukuran tebal contoh uji. Contoh uji dibuat dengan ukuran 2 cm (L) x 2 cm (T) x 1,5 cm (R). Panjang, lebar, dan tebal contoh uji diukur dengan menggunakan *caliper*. Contoh uji kemudian ditimbang beratnya dengan menggunakan neraca analitik. Kerapatan kayu ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Massa (g)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$



Gambar 1. Diagram arah pengempaan untuk pemadatan contoh uji sampai ketebalannya menjadi 1,5 cm (b) dari tebal awal 3 cm (a)

Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan kayu terpadatkan mengacu pada BS 373: 1957 dengan modifikasi ukuran contoh uji. Contoh uji berukuran 5 cm (L) x 5 cm (T) x 1,5 cm (R) diuji kekerasannya dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* merk Instron. Dalam hal ini setengah bola baja berdiameter 10 mm ditenamkan pada salah satu permukaan terlebar contoh uji dengan kecepatan pembebanan 6 mm/menit. Kekerasan kayu dihitung dengan formula:

$$H = \frac{P_{max}}{A}$$

Keterangan :

H : kekerasan kayu (kg/cm²)
P_{max} : beban maksimum sampai dengan seluruh setengah bola baja terbenam (kg)
A : luas penampang (cm²)

Pengujian Pemulihan Tebal

Contoh uji yang telah dikompregnasi diukur tebalnya (T₀), kemudian disimpan dalam suhu kamar selama satu minggu (*conditioning*). Setelah proses tersebut, tebal contoh uji diukur kembali (T₁). Pemulihan tebal contoh uji pada dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$\text{Pemulihan tebal (\%)} = \frac{T_1 - T_0}{T_0} \times 100$$

Pengujian Modulus Kekakuan

Pengujian modulus kekakuan (*modulus of elasticity*, MOE) kayu terpadatkan mengacu pada BS 373: 1957 dengan modifikasi ukuran tebal contoh uji. Contoh uji berukuran 30 cm (L) x 2 cm (T) x 1,5 cm (R) diuji modulus kekakuannya dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* merk Instron. Nilai modulus kekakuan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$MOE = \frac{PL^3}{4\Delta Ybh^3}$$

Keterangan :

MOE : modulus kekakuan (kg/cm²)
P : beban sebelum batas proporsi (kgf)
L : jarak sangga (cm)
ΔY : lenturan pada beban P (cm)
b : lebar contoh uji (cm)
h : tebal contoh uji (cm)

Pengujian Modulus Patah

Pengujian modulus patah (*modulus of rupture*, MOR) kayu terpadatkan mengacu pada BS 373: 1957 dengan modifikasi ukuran tebal contoh uji. Contoh uji berukuran 30 cm (L) x 2 cm (T) x 1,5 cm (R) diuji modulus patahnya dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* merk

Instron. Nilai modulus patah dihitung dengan menggunakan rumus:

$$MOR = \frac{3BL}{2bh^2}$$

Keterangan :

MOR : modulus patah (kg/cm²)
B : beban maksimum (kg)
L : jarak sangga (cm)
b : lebar contoh uji (cm)
h : tebal contoh uji (cm)

Pengamatan Struktur Mikroskopis Kayu

Pengamatan struktur mikroskopis contoh uji, baik yang tidak mengalami kompregnasi (kontrol) maupun yang telah mengalami kompregnasi dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) merk Zeiss. Dari setiap contoh uji dibuat lempeng pengamatan berukuran 3 mm (L) x 3 mm (T) x 3 mm (R) dengan menggunakan *cutter* untuk memperoleh permukaan yang halus, kemudian diamati di bawah SEM (perbesaran 50x) tanpa perlakuan pelapisan logam (*coating*).

Rancangan Percobaan

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan rancangan acaklengkap faktorial (3x3) dengan lima kali ulangan. Faktor yang digunakan adalah suhu impregnasi (100°C, 120°C, dan 140°C) dan suhu kempa (150°C, 170°C, dan 190°C). Model matematika rancangan tersebut adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Variabel respon yang diamati akibat pengaruh suhu impregnasi ke-i, suhu kempa ke-j, dan ulangan ke-k
μ = Rataan umum
A_i = Pengaruh suhu impregnasi pada taraf ke-I (i= 100°C, 120°C, dan 140°C)
B_j = Pengaruh suhu kempa pada taraf ke-j (j= 150°C, 170°C, dan 190°C)
AB_{ij} = Pengaruh interaksi suhu impregnasi pada taraf ke-i dan suhu kempa pada taraf ke-j
ε_{ijk} = Galat pada ulangan ke-k karena faktor suhu impregnasi ke-i dan suhu kempa ke-j

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air kesetimbangan (*equilibrium moisture content*) kayu sengon yang telah mengalami kompregnasi,

yaitu rata-rata 9,12%, jauh lebih rendah daripada sebelum mengalami kompregnasi yang mencapai rata-rata 14,95% (Gambar 2). Sementara itu perbedaan perlakuan suhu impregnasi dan suhu kempa tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar air kesetimbangan kayu sengon terpadatkan ($p \leq 0,05$). Akyildiz dan Ates (2008) melaporkan penurunan kadar air kesetimbangan kayu oak, chesnut, dan pinus yang mengalami perlakuan panas terjadi sejalan dengan kenaikan suhu. Lebih lanjut dijelaskan bahwa penurunan kadar air kesetimbangan kayu disebabkan karena berkurangnya kandungan hemiselulosa karena pengaruh perlakuan suhu tinggi sehingga menyebabkan kemampuan kayu dalam mengikat gugus OH semakin berkurang. Heger (2004) melaporkan bahwa proses pemadatan kayu melalui teknik pengempaan pada suhu 140°C selama 10 menit mampu mendegradasi komponen hemiselulosa hingga 30%.

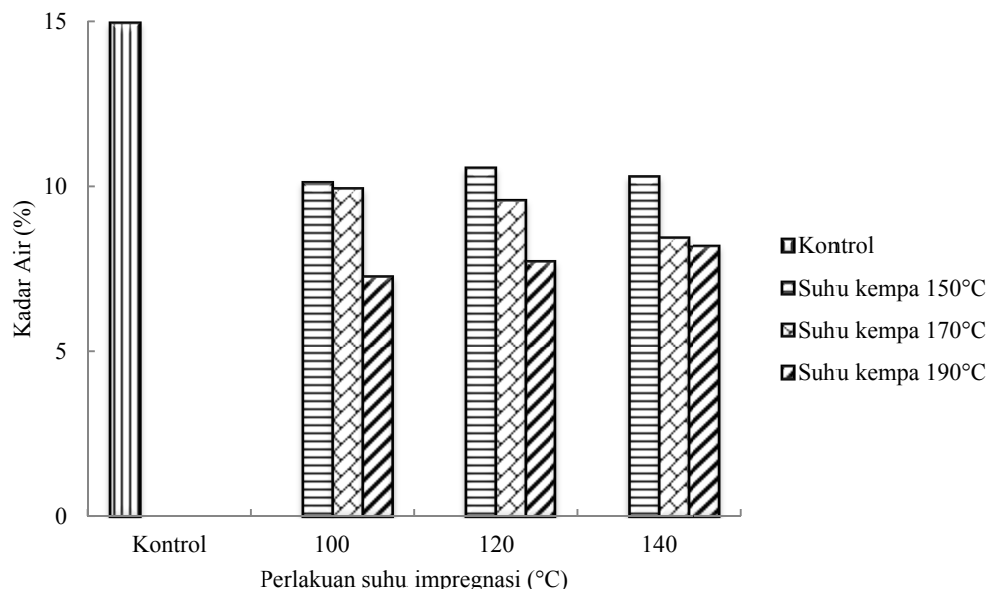
Penurunan kadar air kesetimbangan kayu sengon setelah mengalami kompregnasi tersebut sangat berpotensi memperbaiki berbagai sifat fisis dan mekanis kayu tersebut termasuk stabilitas dimensi, kekerasan, dan kekuatannya. Makin rendah kadar air kesetimbangan suatu kayu, terutama setelah di bawah titik jenuh serat (*fibre saturation point*) yang nilainya antara 21% sampai dengan 32%, makin baik sifat fisis dan mekanis kayu tersebut (Hill, 2006). Hal tersebut disebabkan pada kondisi kadar air di bawah titik jenuh serat, seluruh air bebas (*free water*) telah keluar dari rongga sel kayu. Akibatnya kayu akan mengalami penyusutan

sehingga kerapatan kayu meningkat. Peningkatan kerapatan kayu tersebut akan berimplikasi terhadap peningkatan sifat mekanis kayu.

Kerapatan dan Kekerasan

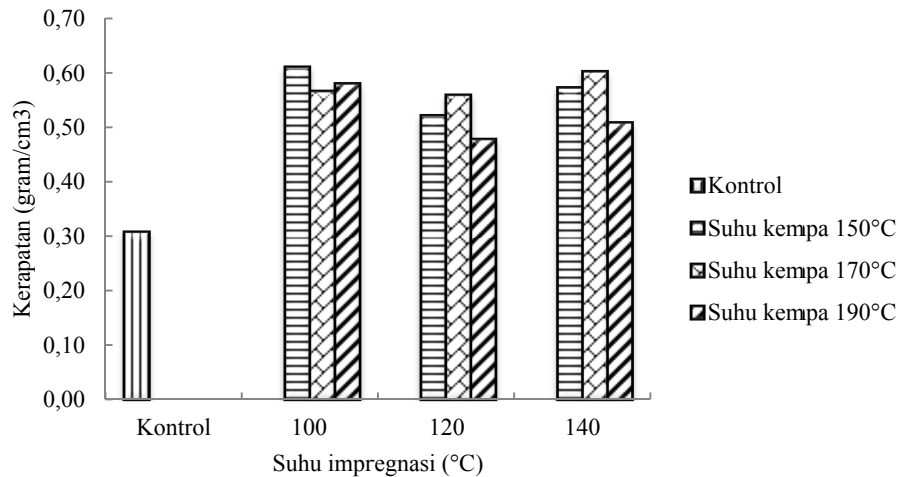
Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kerapatan kayu sengon yang telah mengalami kompregnasi ($0,56 \text{ g/cm}^3$) lebih tinggi daripada sebelum mengalami kompregnasi yang hanya rata-rata $0,31 \text{ g/cm}^3$ ($p \leq 0,05$). Proses kompregnasi telah meningkatkan kerapatan kayu sengon rata-rata sebesar 80,70%. Peningkatan kerapatan tertinggi terjadi akibat perlakuan suhu impregnasi 100°C dengan suhu kempa 150°C, 170°C, dan 190°C, atau pada suhu impregnasi 120°C dan 140°C dengan suhu kempa 150°C dan 170°C. Pada perlakuan kompregnasi tersebut kerapatan kayu sengon meningkat 86,44%. Kerapatan kayu tersebut juga lebih tinggi daripada kerapatan kayu setelah kompregnasi pada suhu impregnasi 120°C dan 150°C dengan suhu kempa 190°C (Gambar 3).

Hasil pada Gambar 3 juga menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan suhu impregnasi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kerapatan kayu terpadatkan. Sementara itu, pemberian perlakuan suhu kempa 170°C dan 190°C menghasilkan kayu sengon terpadatkan dengan kerapatan yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu sengon terpadatkan yang dikempa pada suhu 150°C. Hal tersebut diduga karena adanya degradasi komponen kimia kayu, terutama hemiselulosa yang mengakibatkan terjadinya penurunan berat kayu (Mburu *et al.*, 2008).



Catatan: Masing-masing nilai rata-rata diperoleh dari lima ulangan. Huruf yang sama di atas masing-masing nilai rata-rata menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p < 0,05$)

Gambar 2. Kadar air kayu sengon tanpa kompregnasi (kontrol) dan setelah mengalami kompregnasi pada suhu impregnasi dan suhu pengempaan yang berbeda



Catatan: Masing-masing nilai rata-rata diperoleh dari lima ulangan. Huruf yang sama di atas masing-masing nilai rata-rata menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p < 0,05$)

Gambar 3. Kerapatan kayu sengon tanpa kompregnasi (kontrol) dan setelah mengalami kompregnasi pada suhu impregnasi dan suhu kempa yang berbeda

Di pihak lain, mengingat kerapatan kayu sangat berkorelasi positif dengan berat jenis kayu maka merujuk kepada Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (1972), kekuatan kayu sengon hasil kompregnasi meningkat menjadi Kelas Kuat II (BJ 0,6-0,9) dibandingkan dengan kayu sengon tanpa kompregnasi yang termasuk ke dalam Kelas Kuat IV (BJ 0,3-0,4). Kemampuan menahan beban kayu sengon yang mengalami kompregnasi menjadi jauh lebih tinggi daripada yang tidak mengalami kompregnasi. Dengan demikian potensi kegunaan kayu sengon hasil kompregnasi lebih tinggi daripada kayu sengon tanpa proses kompregnasi.

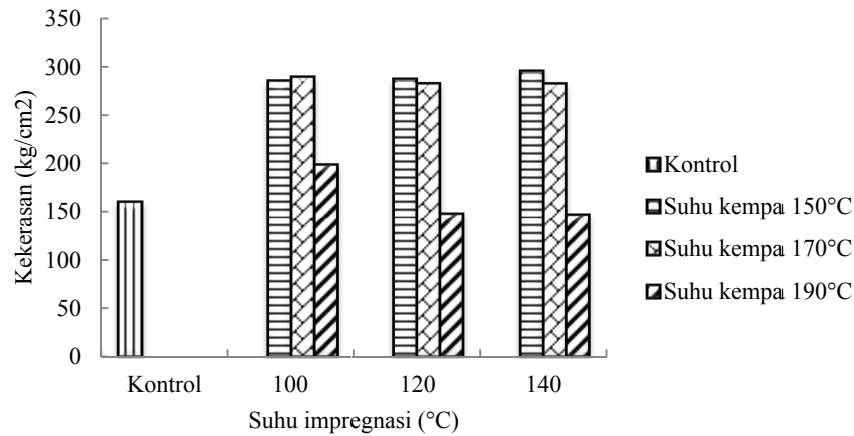
Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa kekerasan kayu sengon yang telah mengalami kompregnasi pada suhu kempa 150°C atau 170°C (rata-rata 286,91 kg/cm²) lebih tinggi dari pada kekerasan kayu sebelum mengalami kompregnasi yang rata-rata hanya 159,20 kg/cm² ($p \leq 0,05$). Sementara itu kekerasan kayu sengon pada perlakuan suhu kempa 190°C tidak berbeda nyata dengan kekerasan kayu sengon tanpa proses kompregnasi ($p \leq 0,05$). Hasil analisis selanjutnya menunjukkan bahwa kekerasan kayu sengon yang mengalami kompregnasi pada suhu kempa 150°C dan 170°C tidak berbeda nyata ($p \leq 0,05$) walaupun mengalami impregnasi pada suhu yang berbeda (100°C, 120°C, dan 140°C). Dengan perkataan lain proses kompregnasi yang efektif meningkatkan kekerasan kayu sengon adalah perlakuan suhu impregnasi 100°C dan suhu kempa 150°C (Gambar 4).

Peningkatan kerapatan dan kekerasan kayu sengon yang mengalami kompregnasi dapat dimengerti mengingat terjadi pemampatan struktur sel-sel kayu akibat pengempaan, termasuk menyempitnya rongga (*lumen*) dalam sel kayu

(Gambar 5). Disamping itu pori-pori kayu terpadatkan menyempit dan sebagian terisi oleh endapan yang diduga berasal dari impregnasi khitosan. Di pihak lain struktur sel-sel kayu yang tidak mengalami kompregnasi tidak mengalami pemampatan. Peningkatan kerapatan dan kekerasan kayu yang paling efektif terjadi pada kayu sengon terpadatkan yang mengalami impregnasi larutan khitosan pada suhu 100°C dan pengempaan pada suhu 150°C.

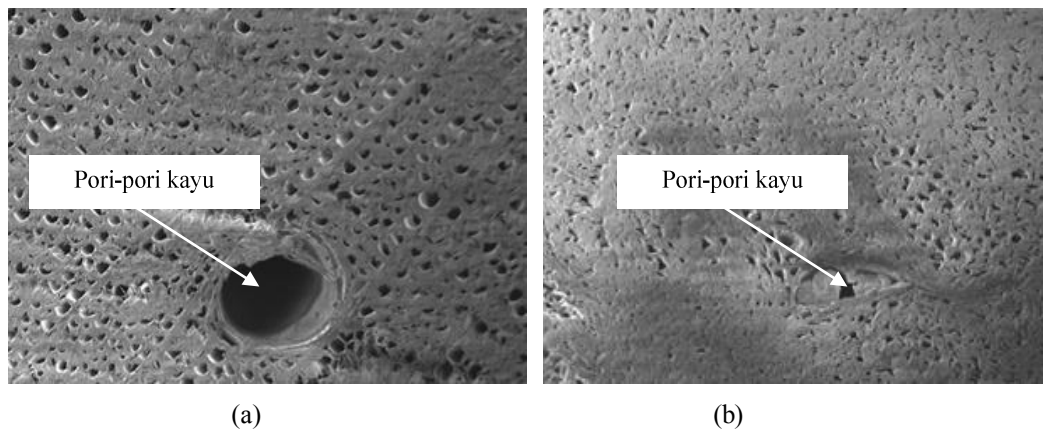
Sifat Mekanis

Hasil penelitian menunjukkan bahwa MOE kayu sengon yang mengalami kompregnasi lebih tinggi daripada MOE kayu sengon sebelum mengalami kompregnasi, kecuali pada perlakuan suhu impregnasi 120°C atau 140°C dengan suhu kempa 190°C ($p \leq 0,05$). Rata-rata MOE kayu sengon yang mengalami kompregnasi akibat perlakuan suhu impregnasi 100°C dengan suhu kempa 150°C, 170°C atau 190°C serta akibat suhu impregnasi 120°C atau 140°C dengan kempa 150°C atau 170°C (100.499,01kg/cm²) lebih tinggi daripada MOE kayu sengon yang tidak mengalami kompregnasi yang hanya 65.599,18 kg/cm² (Gambar 6). Sejalan dengan itu rata-rata MOR kayu sengon yang mengalami kompregnasi, baik pada suhu impregnasi 100°C, 120°C, maupun 140°C dengan suhu kempa 150°C dan 170°C (rata-rata 587,56 kg/cm²) lebih tinggi daripada MOR kayu sengon sebelum mengalami kompregnasi yang hanya 384,60 kg/cm² ($p \leq 0,05$). MOR kayu sengon yang mengalami kompregnasi dengan suhu kempa 190°C, baik yang diimpregnasi dengan suhu 100°C, 120°C, atau 140°C, tidak berbeda nyata dengan MOR kayu sengon yang tidak mengalami kompregnasi (Gambar 6).

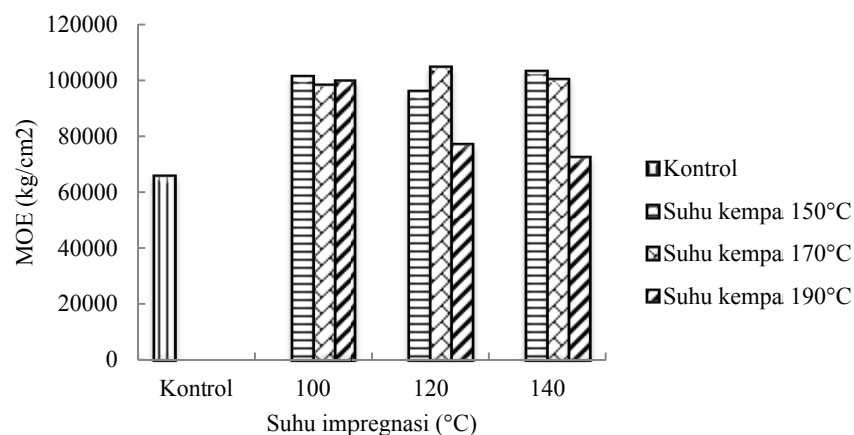


Catatan: Masing-masing nilai rata-rata diperoleh dari lima ulangan. Huruf yang sama di atas masing-masing nilai rata-rata menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p < 0,05$)

Gambar 4. Kekerasan kayu sengon tanpa pemadatan kompregnasi (kontrol) dan setelah mengalami kompregnasi pada suhu impregnasi dan suhu kempa yang berbeda



Gambar 5. Anatomi struktur sel kayu (perbesar 50x) pada kayu sengon sebelum (a) dan setelah mengalami kompregnasi (b) berdasarkan hasil SEM (perbesar 50x)



Catatan: Masing-masing nilai rata-rata diperoleh dari lima ulangan. Huruf yang sama di atas masing-masing nilai rata-rata menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p < 0,05$)

Gambar 6. MOE kayu sengon tanpa kompregnasi (kontrol) dan setelah mengalami kompregnasi pada suhu impregnasi dan suhu kempa yang berbeda

Amin *et al.* (2004) menyatakan bahwa peningkatan sifat mekanis kayu terpadatkan dapat terjadi karena melunaknya komponen lignin dalam kayu karena pengaruh suhu, yang kemudian menyebabkan lignin tersebut menyebar dan mengisi bagian kayu yang berongga dan mengikat polimer-polimer penyusun kayu seperti selulosa dan hemiselulosa. Lignin kemudian menjadi keras kembali seiring dengan proses penyesuaian kayu pada lingkungan sekitar (*conditioning*) sehingga struktur kayu terpadatkan menjadi lebih rapat dan relatif lebih kuat. Namun demikian nilai MOE dan MOR kayu sengon terpadatkan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya suhu pengempaan. Mburu *et al.* (2008) melaporkan perlakuan suhu tinggi (220°C dan 240°C) dapat menurunkan nilai MOR hingga 60% dan nilai MOE hingga 20%. Lebih lanjut dilaporkan penurunan nilai MOE diikuti dengan peningkatan persentase kehilangan berat kayu. Penurunan sifat mekanis dapat disebabkan karena adanya degradasi komponen kimia kayu, terutama hemiselulosa, yang berperan dalam menyusun kekuatan kayu.

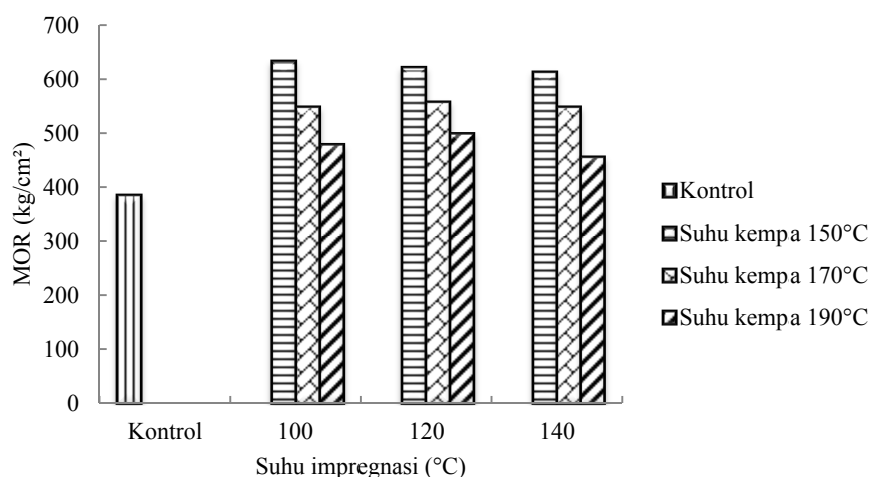
Peningkatan MOE dan MOR kayu sengon yang telah mengalami kompregnasi sangat penting artinya bagi potensi peningkatan nilai guna kayu tersebut. Penggunaan kayu sengon yang semula (sebelum kompregnasi) relatif terbatas jelas akan meningkat setelah mengalami kompregnasi. Bahkan dengan nilai MOE dan MOR sebagaimana tersebut di atas, kayu sengon yang mengalami kompregnasi berpeluang menjadi kayu bahan bangunan (*construction material*) unggulan di masa depan.

Pemulihan Tebal

Masalah yang sering dihadapi dalam aplikasi teknik pemadatan kayu (*wood*

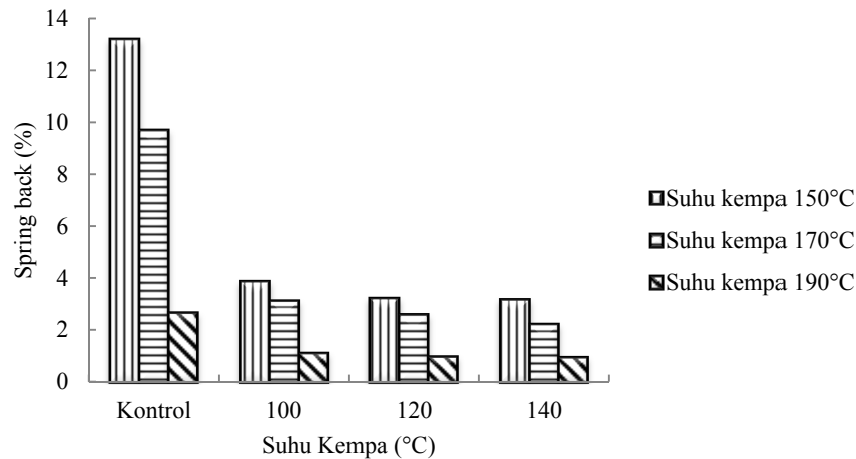
densification) adalah kemungkinan terjadinya pemulihan tebal (*spring back*) kayu yang telah mengalami pemadatan. Sehubungan dengan itu dalam penelitian ini dilakukan evaluasi pengaruh impregnasi larutan khitosan 0,5% pada suhu 100°C, 120°C, dan 140°C sebelum proses pengempaan kayu terhadap intensitas *spring back* pada kayu hasil kompregnasi. Hal ini tercermin dari relatif rendahnya pemulihan tebal kayu sengon hasil pengempaan yang sebelumnya telah diimpregnasi dengan larutan khitosan 0,5% (rata-rata 2,37%) dibandingkan dengan kayu sengon hasil pengempaan tanpa melalui impregnasi khitosan yang rata-rata mencapai 8,52% ($p \leq 0,05$). Pemulihan tebal terendah terjadi pada perlakuan pengempaandengan suhu kempa 190°C, baik pada suhu impregnasi 100°C, 120°C, dan 140°C. Dengan perkataan lain proses impregnasi dengan menggunakan suhu tertentu memberikan pengaruh nyata terhadap penurunan intensitas *spring back* kayu terpadatkan. Meskipun demikian perbedaan perlakuan suhu impregnasi tidak berpengaruh nyata terhadap intensitas *spring back* kayu sengon hasil kompregnasi (Gambar 8). Berdasarkan hasil penelitian perlakuan yang memberikan hasil intensitas *spring back* terbaik dan paling efektif yaitu melalui perlakuan impregnasi khitosan pada suhu 100°C dan suhu kempa 190°C.

Inoeu *et al.* (2008) melaporkan bahwa tingkat pemulihan tebal kayu yang mengalami pengempaan dengan pra-perlakuan pengukusan akan berkurang dengan bertambahnya suhu pengempaan dan lama pengempaan. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pra perlakuan pengukusan pada suhu di bawah 170°C tidak terlalu mempengaruhi tingkat pemulihan tebal kayu terpadatkan.



Catatan: Masing-masing nilai rata-rata diperoleh dari lima ulangan. Huruf yang sama di atas masing-masing nilai rata-rata menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p < 0,05$)

Gambar 7. MOR kayu sengon tanpa kompregnasi (kontrol) dan setelah mengalami kompregnasi pada suhu impregnasi dan suhu kempa yang berbeda



Catatan: Masing-masing nilai rata-rata diperoleh dari lima ulangan. Huruf yang sama di atas masing-masing nilai rata-rata menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p < 0,05$)

Gambar 8. Pemulihan tebal kayu sengon terpadatkan tanpa perlakuan impregnasi khitosan 0,5% (kontrol) dan dengan suhu impregnasi dan suhu kempa yang berbeda

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Impregnasi larutan khitosan pada suhu 100°C, 120°C, dan 140°C diikuti dengan pengempaan pada suhu 150°C dan 170°C secara signifikan meningkatkan kerapatan, kekerasan, MOE, dan MOR kayu sengon. Kerapatan kayu sengon yang telah mengalami kompregnasi meningkat rata-rata 80,70% dibandingkan kayu sengon sebelum mengalami kompregnasi. Sementara itu, rata-rata peningkatan kekerasan kayu sengon yang telah mengalami kompregnasi pada suhu impregnasi 100°C, 120°C, dan 140°C serta suhu kempa 150°C dan 170°C mencapai 286,91% dibandingkan kayu sengon sebelum mengalami kompregnasi. Peningkatan kerapatan dan kekerasan kayu tersebut terjadi sejalan dengan penurunan kadar air kayu akibat proses kompregnasi (menurun hampir 40%). Sejalan dengan itu MOE dan MOR kayu sengon terpadatkan yang mengalami impregnasi khitosan 0,5% diikuti dengan pengempaan panas meningkat masing-masing sebesar 53,2% dan 52,77%. Namun demikian, pemulihan tebal (*spring back*) kayu sengon terpadatkan masih cukup tinggi (rata-rata 2,37%), kecuali pada kayu sengon terpadatkan dengan perlakuan suhu kempa 190°C. Secara keseluruhan proses kompregnasi pada suhu impregnasi 100°C dan suhu kempa 150°C memberikan hasil terbaik terhadap sifat fisis dan mekanis kayu sengon terpadatkan.

Saran

Aplikasi teknik kompregnasi sangat prospektif dalam meningkatkan nilai guna dan nilai ekonomis kayu sengon. Meskipun demikian untuk penggunaan sebagai kayu eksterior masih perlu

dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai ketahanan kayu sengon terpadatkan terhadap iklim dan organisme perusak kayu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan serta Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Pertanian Bogor (IPB) atas fasilitasi pendanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1972. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia. Edisi 6. Jajasan Danan Normalisasi Indonesia.
- Akyildiz MH, Ates S. 2008. Effect of heat treatment on equilibrium moisture content (EMC) of some wood species in Turkey. *J Agric Biol Sci.* 4(6): 660-665.
- Amin Y, Dwianto W, Prianto AH. 2004. Sifat mekanis kayu kompresi. *Proceeding Seminar Nasional MAPEKI VII.5-6* Agustus 2004.
- Amin Y, Darmawan T, Wahyuni I, Dwianto W. 2007. Pengaruh perendaman NaOH terhadap fiksasi kayu kompresi dengan menggunakan *close system compression*. *Proceeding Seminar Nasional MAPEKI X.*
- Ashaari Z, Bakar ES, dan Tahir PMd. 2010. Comreg laminates from low density hardwoods. *Proceeding of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe-Timber Committee*. Geneva, Switzerland, 11-14 October 2010.

- Bami LK dan Mohebbi B. 2011. Bioresistance of poplar wood compressed by combined hydro-thermo-mechanical wood modification (CHTM): soft rot and brown rot. *Int Biodeteriorat and Biodegrad.* 66: 866-870.
- Boer FD dan Nandika D. 2012. Keampuhan larutan khitosan sebagai pencegah serangan rayap tanah *Coptotermes curvignathus holmgren*. *J Ilmu Teknol Hasil Hutan* 5 (2): 47-52.
- [BS] British Standard. 1957. Methods of testing small clear specimens of timber.
- Candan Z, Suleyman K, dan Unsal O. 2013. Effect of thermal modification by hot pressing on performance properties of *Paulownia* wood boards. *Indust Crops Products.* 45: 461-464.
- Darmawan W, Nandika D, Rahayu I, Fournier M, Marchal R. 2013. Determination of juvenile and mature transition ring for fast growing Sengon and Jabon wood. *Proceeding of Measurement and Modeling of Wood Conference* 2013. Nancy, France. 1-4 October 2013.
- Deka M dan Saikia CN. 2000. Chemical modification of wood with thermosetting resin: effect on dimensional stability and strength property. *Biores Technol.* 73: 179-181.
- Dogu D, Tirak K, Candan Z, Unsal O. 2007. Anatomical investigation of thermally compressed wood panels. *Bio Res.* 5(4): 2640-2663.
- Fukuta S, Watanabe A, Akahori Y, Makita A, Imamura Y, Sasaki Y. 2011. Bending properties of compressed wood impregnated with phenolic resin through drilled holes. *Eur J Wood Prod.* 69: 633-639.
- Gabrielli CP dan Kamke FA. 2010. Phenol-formaldehyde impregnation of densified wood for improved dimensional stability. *Wood Sci Technol.* 44: 95-104.
- Guo Z, Chen R, Xing R, Liu S, Yu H, Wang P, Li C, Li P. 2006. Novel derivatives of chitosan and their antifungal activities invitro. *Carbohydr Res.* 341 : 351-354.
- Heger F. 2004. Etude du phenomene de l'elimination de la memoire de la forme du bois densifie par post-traitement- thermo-hydro mecanique. (study of the mechanisms of elimination oh the memory form of densified wood by post-processing Thermo-Hydro-Mechanics). PhD. Thesis, EPFL, Lausanne Switzerland.
- Hill C. 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal, and Other Processes.* West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Inoue M, Sekino N, Morooka T, Rowell, RM, Norimoto M. 2008. Fixation of Compressive Deformation in Wood by Pre-steaming. *J Tropical Forest Sci.* 20:273-281.
- Kementerian Kehutanan. 2012. Statistik Kehutanan Indonesia (*Forestry Statistics of Indonesia*) 2011. Jakarta: Kementerian Kehutanan.
- Kutnar A dan Kamke FA. 2012. Compression of wood under saturated steam, superheated steam, and transient conditions at 150°C, 160°C, and 170°C. *Wood Sci Technol* 46: 73-88.
- Laine K, Rautkari L, Hudges M, Kutnar A. 2013 Reducing the Set-recovery of surface densified solid scots pine wood by hydrothermal post-treatment. *Europ J Wood Prod.* 71 : 17-23.
- Li Y, Cao JZ, dan Jin XJ. Deformation fixation, mechanical properties and chemical analysis of compressed populus cathayana wood pretreated by glycerin. *For Stud China.* 12 (4): 213-217.
- Mburu F, Dumarcay S, Bocquet JF, Petrissans M, Gérardin P. 2008. Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *grevillea robusta* wood. *J Polym Degradation and Stability* 93:401-405.
- Pandit IKN, Nandika D, Darmawan W, Rineldi, Juwita IA, Nuralexa FD. 2009. Evaluasi jenis dan kualitas kayu hasil hutan tanaman rakyat. Laporan akhir hibah kompetitif penelitian sesuai prioritas nasional Batch IV. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. Institut Pertanian Bogor.
- Rilatupa J, Surjokusumo S, dan Nandika D. 2004. Keandalan papan lapis dari kayu damar (*Agathis loranthifolia* Salisb.) terpadatkan sebagai pelat buhul pada arsitektur konstruksi atap kayu. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis* 2(1): 51-56.
- Rismayadi Y dan Arinana. 2009. Pengembangan produk formulasi umpan rayap untuk perlindungan bangunan. *J Ilmu Teknol Hasil Hutan.* 2(1): 32-39.
- Shams Md-I, Yano H, dan Endou K. 2004. Compressive deformation of wood impregnated with low molecular weight phenol formaldehyde (PF) Resin I: Effect of Pressing Pressure and Pressure Holding. *J Wood Sci.* 50: 337-342.
- Sulistiyono, Nugroho N, dan Surjokusumo S. 2003. Teknik rekayasa pemadatan kayu ii: sifat fisik dan mekanik kayu agatis (*Agathis loranthifolia* Salisb.) terpadatkan dalam konstruksi bangunan kayu. *Bul Keteknikan Pert.* 17(1): 32-45.
- Unsal O, Kartal SN, Candan Z, Arango RA, Clausen CA, Green F. 2009. Decay and termite resistance, water absorption, and swelling of thermally compressed wood panels. *Int*

- Biodeterioration and Biodegradation* 63: 548-552.
- Usman FH, Surjokusumo HMS, Nandika D, Nugroho N. 2007. Sifat Fisis dan mekanis kayu sengon yang diaplikasikan dengan senyawa khitosan dari cangkang udang windu. *Proceeding Seminar Nasional MAPEKIX. Pontianak*.
- Welzbacher CR, Wehsener J, Rapp AO, Haller P. 2008. Thermo-mechanical densification combined with thermal modification of norway spruce (*Picea abies* Karst) in industrial scale-dimensional stability and durability aspects. *Holz Roh Werkst.* 66: 39-49.
- Yang HC dan Hon MH. 2009. The Effect of molecular weight of chitosan nanoparticles and its application on drug delivery. *Microchem J.* 92: 87-91.
- Yano H, Mori K, Collins PJ, Yazaki Y. 2000. Effects of element size and orientation in the production of high strength resin impregnated wood based materials. *Holzforschung* 54: 443-447.