

## Derajat Kristalinitas dan Struktur Anatomi Kayu Jati Muna Akibat Perlakuan Panas

### (The Degree of Crystallinity and Anatomical Structure of Teakwood Muna Due to Heat Treatment)

Fendi<sup>1\*</sup>, Dian Kurniaty<sup>1</sup>, Saptadi Darmawan<sup>2</sup>

(Diterima Mei 2016/Disetujui Maret 2017)

#### ABSTRAK

Kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) telah menjadi bagian penting sebagai bahan bangunan di Kabupaten Muna, Sulawesi Tenggara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kayu jati Muna terutama tingkat kristalinitas dan anatomi kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) setelah diberi perlakuan panas selama 0,5–12 jam. Hasil analisis XRD menunjukkan diameter kristalinitas tanpa perlakuan dan dengan perlakuan suhu 90, 120, 150, dan 180 °C mengalami penurunan dengan meningkatnya suhu, yakni sekitar 7,04; 6,2; 6,02; 5,97; dan 5,95 nm. Analisis SEM menunjukkan perubahan profil permukaan kayu jati setelah mengalami perlakuan panas.

Kata kunci: kayu jati (*Tectona grandis* L.f.), kristalinitas, XRD, SEM

#### ABSTRACT

Teak wood (*Tectona grandis* L.f.) is an important part of building material in Muna, Southeast Sulawesi. This study aims to investigate the characteristics of teakwood Muna namely the degree of crystallinity and the anatomical structure of teakwood after heat treatment for 0.5–12 hours. The results of XRD analysis showed crystallinity diameter without treatment and after treatment of temperature at 90, 120, 150, dan 180 °C decreased with increasing temperature namely 7.04; 6.2; 6.02; 5.97; and 5.95 nm. SEM analysis showed teakwood surface profile changes after heat treatment applied.

Keywords: crystallinity, SEM, teak wood (*Tectona grandis* L.f.), XRD

#### PENDAHULUAN

Kayu merupakan material biologis kompleks yang dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu kayu daun jarum (*softwood*) dan daun lebar (*hardwood*). Kedua kelompok tersebut memiliki struktur seluler dan karakteristik berbeda (Brian 2006). Jati Muna (*Tectona grandis* L.f.) merupakan salah satu jenis *hardwood* yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan terutama untuk industri mebel. Provinsi Sulawesi Tenggara khususnya di Kabupaten Kendari Selatan dan di Kabupaten Muna jenis ini banyak dibudidayakan dalam bentuk hutan rakyat (Rullianty & Lempang 2004).

Kayu jati memiliki ketahanan alami terhadap rayap (Thulasidas *et al.* 2006; Lukmandaru & Takahashi 2008; Lukmandaru & Takahashi 2009; Syofuna *et al.* 2012). Karakterisasi terhadap kayu jati yang telah dilakukan adalah mengenai sifat fisis, mekanis, anatomi, variasi warna, dan stabilitas dimensi kayu jati (Rullianty 2004; Thulasidas *et al.* 2006; Izezor *et al.*

2010; Kokutse 2010; Syofuna *et al.* 2012; Izezor & Fuwape 2011). Di sisi lain, pengetahuan mengenai degradasi termal dari bahan merupakan salah satu celah yang paling penting dalam pengembangan model ketahanan kayu (Winandy 2001).

Secara garis besar, kayu disusun oleh tiga komponen kimia utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selulosa memiliki struktur polikristalin, sementara hemiselulosa dan lignin bersifat amorf sehingga difraktogram sinar-X pada kayu menunjukkan pola difraksi yang mencirikan selulosa. Telah menjadi kesepakatan secara umum bahwa selulosa alami pada kayu merupakan gabungan dari dua jenis kristal, yaitu triklinik untuk selulosa I<sub>α</sub> dan monoklinik untuk selulosa I<sub>β</sub> dengan perbandingan selulosa I<sub>α</sub>/I<sub>β</sub> yang bervariasi untuk setiap jenis kayu. Selulosa I<sub>β</sub> lebih tahan terhadap degradasi panas dibandingkan I<sub>α</sub> (Masahisa *et al.* 1993; Masahisa *et al.* 2000). Melalui analisis difraksi sinar-X (Vasiliev *et al.* 2003) dapat ditentukan ukuran kristal menggunakan metode Scherrer. Pada metode ini ukuran (diameter) kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul, semakin kecil ukuran kristalin maka makin lebar puncak difraksi yang dihasilkan. Kristal yang dipantulkan besar dengan satu orientasi menghasilkan puncak difraksi yang mendekati sebuah garis vertikal, sedangkan kristalin yang sangat kecil meng-

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian (STIP) Wuna Raha, Kampus Baru, Jl. Letjen Gatot Subroto KM.7 Lasalepa-Raha, Muna, Sulawesi Tenggara 93654.

<sup>2</sup> Balai Penelitian Teknologi Hasil Hutan Bahan Kayu, Mataram.

\* Penulis Korespondensi: E-mail: fenstip@gmail.com

hasilkan puncak difraksi yang sangat lebar. Dengan demikian, lebar puncak difraksi tersebut memberikan informasi tentang ukuran kristalin (Abdullah 2009).

Penelitian mengenai perubahan struktur kayu jati Muna yang diakibatkan adanya pemanasan pada kayu jati masih terbatas. Terutama dalam hal kajian mengenai derajat kristalinitas dan anatomi kayu jati Muna. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian struktur kayu jati Muna (*Tectona grandis* L.f.) pada beberapa suhu pemanasan.

## METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kayu jati Muna (*Tectona grandis* L.f.) yang diperoleh dari CV. Cendana Mas, Kabupaten Muna yang merupakan salah satu tempat pengolahan kayu jati Muna sebagai bahan bangunan. Peralatan dan instrumen yang digunakan diantaranya timbangan digital, tanur/furnace, desikator, *scanning electron microscopy* (SEM), dan *X-ray diffraction* (XRD) Shimadzu XRD-7000.

### Persiapan Bahan Baku

Sampel kayu jati diambil secara acak untuk analisis, dimana dibuat dalam bentuk potongan kecil dengan ukuran masing-masing:

0,5 cm (P) x 0,5 cm (L) x 0,5 cm (T): untuk sampel uji SEM

1 cm (P) x 1 cm (L) x 1 mm (T): untuk sampel uji Kadar Air

2 cm (P) x 1 cm (L) x 1 mm (T): untuk sampel uji Kadar Air

2 cm (P) x 1 cm (L) x 1 mm (T): untuk sampel uji XRD

Sampel yang digunakan selanjutnya diberi label berdasarkan perlakuan yang diberikan.

### Penentuan Kadar Air

Sampel yang telah disiapkan ditimbang dan dimasukkan ke dalam tanur. Perlakuan yang digunakan adalah pemanasan/*anealling* pada suhu 90, 120, 150, dan 180 °C masing-masing selama 0,5–12 jam dan kontrol dengan label berturut-turut JT<sub>0</sub>, JT<sub>1</sub>, JT<sub>2</sub>, JT<sub>3</sub>, dan JT<sub>4</sub>. Setelah pemanasan, sampel disimpan dalam desikator selama 30 menit kemudian ditimbang. Penetapan kadar air (KA) dihitung berdasarkan persamaan:

$$KA = \frac{\text{Berat Awal}-\text{Berat Kering Tanur}}{\text{Berat Kering Tanur}} \times 100\%$$

### Analisis Struktur Menggunakan XRD

Sampel berukuran 2 cm (P) x 1 cm (L) x 1 mm (T) diberi perlakuan panas pada suhu 90, 120, 150, dan 180 °C selama 0,5–12 jam. Sampel (bentuk sayatan) dimasukkan ke dalam *holder* aluminium dan dikarakterisasi menggunakan XRD dengan sumber radiasi tembaga (Cu), energi sebesar 40 kV, arus 30 mA, kecepatan pemindai 2°/menit, dan pencatatan data setiap 0,02°.

Ukuran (diameter) kristalin dihitung dengan menggunakan persamaan *Scherrer*, yaitu:

$$D = K \frac{\lambda}{B \cos \theta}$$

dimana:

D : Ukuran (diameter) kristalin

λ : Panjang gelombang sinar-X yang digunakan

θ<sub>B</sub> : Sudut Bragg

B : FWHM satu puncak yang terpilih

K : Konstanta (0,9)

Penetapan derajat kristalinitas dilakukan menggunakan perangkat lunak XRD-6000/7000 versi 5.21. Nilai Z (penentu yang dominan antara selulosa I<sub>α</sub> dan I<sub>β</sub>) dan perbandingan antara I<sub>α</sub> dan I<sub>β</sub>. Penetapan nilai Z dilakukan menggunakan indeks puncak difraksi dengan parameter d<sub>1</sub> (I<sub>α</sub> 100 dan I<sub>β</sub> 110) dan d<sub>2</sub> (I<sub>α</sub> 010 dan I<sub>β</sub> 110) pada rentang sudut 2θ = 12–26° (Masahisa *et al.* 2010), yang selanjutnya digunakan persamaan: Z = 1693d<sub>1</sub> - 902d<sub>2</sub> - 549 (Masahisa *et al.* 2000).

### Profil Permukaan Sampel

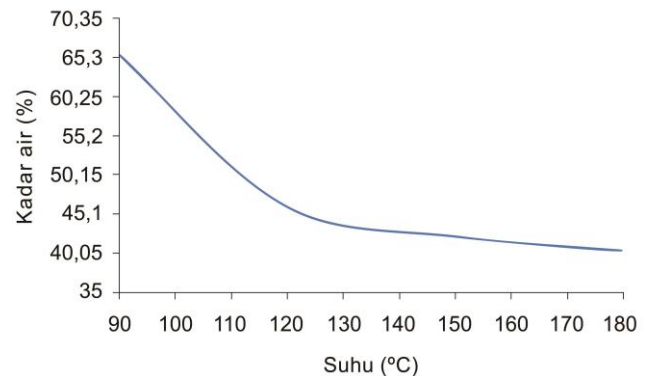
Profil penampang lintang kayu digambarkan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel uji yang digunakan adalah sampel dengan ukuran 0,5 cm (P) x 0,5 cm (L) x 0,5 cm (T) baik sampel yang tanpa perlakuan, maupun sampel yang melalui proses *anealling* pada suhu 90, 120, 150, dan 180 °C selama 0,5–12 jam pada masing-masing suhu tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kadar Air

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rata-rata kadar air mengalami penurunan dengan meningkatnya suhu *anealling* sebagaimana disajikan pada Gambar 1.

Air di dalam kayu terdapat dalam bentuk air bebas dan terikat. Melalui pemanasan, air akan terdesak keluar dalam bentuk uap air. Air bebas akan lebih mudah dilepaskan dibandingkan air terikat. Menurut Panshin dan de Zeeuw (1980), air dalam kayu terletak dalam dinding sel sebagai air terikat, dan air dalam rongga sel sebagai air bebas. Sementara itu, John (2006) memaparkan bahwa air terikat dalam dinding sel tetap bahkan pada tekanan uap yang sangat rendah menunjukkan bahwa gaya tarik antara adsorben (dalam hal ini kayu) dan adsorbat (air) jauh lebih besar daripada gaya menarik dari adsorbat



Gambar 1 Hubungan antara kadar air kayu (%) terhadap suhu (°C).

untuk dirinya sendiri. Proses ini disertai dengan perkembangan panas. Adsorpsi fisik terjadi dimana molekul teradsorpsi dipegang oleh gaya valensi sekunder, seperti ikatan-H. Adsorpsi air dalam dinding sel kayu adalah salah satu contohnya. Energi ikat mula-mula sekitar 20 kJ/mol, yang tinggi dan menunjukkan ikatan hidrogen yang kuat. Adsorpsi semacam ini adalah reversibel.

Lebih lanjut, John (2006) menyatakan gaya antarmolekul memegang air terikat lebih besar dari pada yang memegang air bebas, sehingga air bebas adalah yang pertama hilang. Selain itu, dinding sel adalah higroskopis. Hal ini disebabkan oleh adanya gugus hidroksil yang terdapat di seluruh strukturnya. Ketika dinding sel menyerap air, air menembus di daerah non-kristal dan membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil yang diperoleh, terutama pada hemiselulosa. Namun, air tidak dapat menembus mikrofibril kristal dimana semua gugus hidroksil sudah saling terikat. Semakin tinggi suhu pemanasan, kandungan air dalam kayu akan semakin berkurang.

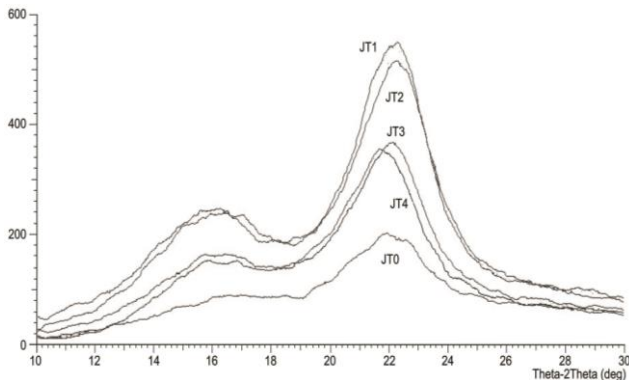
**Struktur Kayu Jati (*Tectona grandis* L.f.)**

Analisis XRD menunjukkan pada suhu pemanasan yang lebih tinggi mengalami penurunan derajat kristalinitas. Peristiwa ini mengindikasikan bahwa semakin kecil diameter kristalin yang dihasilkan sebagai mana ditunjukkan oleh Gambar 2.

Fenomena ini diduga berlangsung karena sebagian lignin mulai meleleh dan bergerak kepermukaan menutupi serat. Pada saat analisis XRD dilakukan, sifat lignin yang amorf akan menghalangi sinar-X mencapai selulosa sehingga derajat kristalinitas kayu turun. Penurunan diameter kristalin kayu sebagai akibat penurunan kadar air disajikan pada Gambar 3.

Kayu jati didominasi oleh struktur selulosa I<sub>β</sub> dengan nilai Z lebih kecil dari nol. Kenaikan suhu hingga 150 °C menyebabkan perubahan atau peningkatan kandungan selulosa I<sub>β</sub> yang ditunjukkan oleh semakin kecilnya nilai Z (Gambar 4).

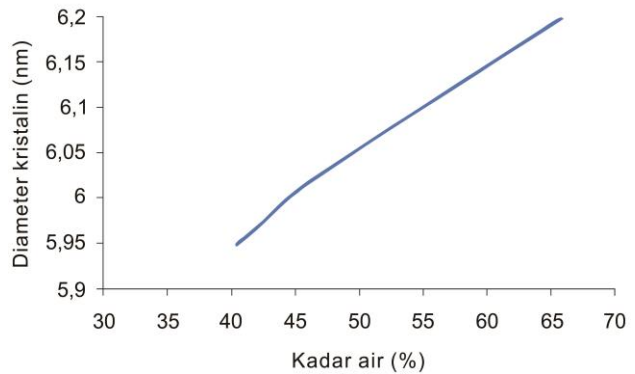
Perlakuan pemanasan juga mengakibatkan terjadinya perubahan jarak antar kristal. Perubahan pada jarak antar kristal tersebut mengindikasikan adanya transformasi dari I<sub>α</sub> ke I<sub>β</sub> yang diduga terjadi di atas temperatur transisi fase kristal sekitar 120–150 °C sebagaimana ditunjukkan Gambar 5.



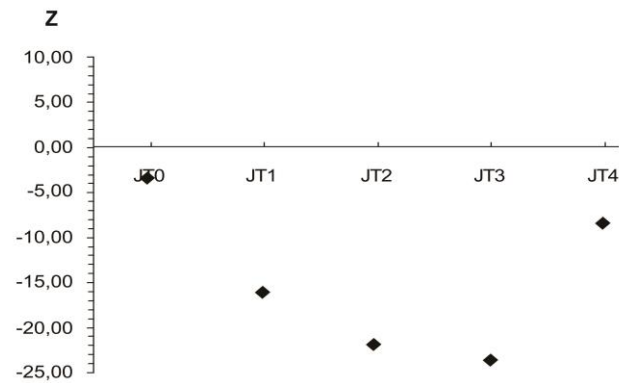
Gambar 2 Difraktogram sinar-X.

Hasil analisis SEM permukaan lintang sampel kayu control (tanpa perlakuan panas) menunjukkan adanya struktur yang lebih berongga dan kurang rapat sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 6.

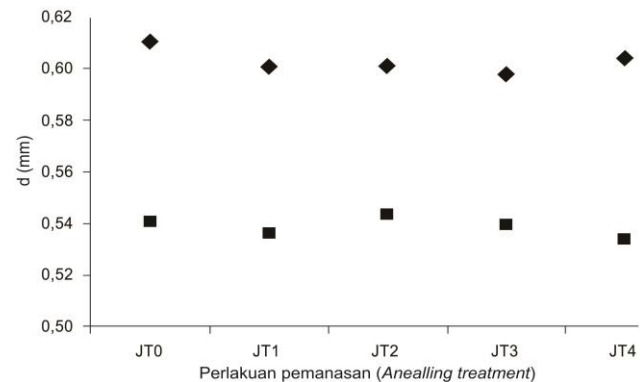
Permukaan lintang kayu mengalami perubahan setelah mengalami perlakuan panas. Sejalan dengan pernyataan Amin dan Dwianto (2006) bahwa dengan semakin meningkatnya suhu maka akan menurunkan kadar air, dimana panas akan mendesak uap air keluar dari dalam kayu. Rusaknya molekul air akibat perlakuan suhu tinggi menyebabkan terjadinya kerusakan pada ikatan H antar molekul di dalam matriks hemiselulosa-lignin. Meningkatnya suhu dan semakin lamanya komponen kayu dikenai panas juga dapat menyebabkan terdegradasinya hemiselulosa.



Gambar 3 Hubungan antara diameter kristalin (nm) terhadap kadar air kayu (%).



Gambar 4 Nilai Z pada perlakuan *anealling*.

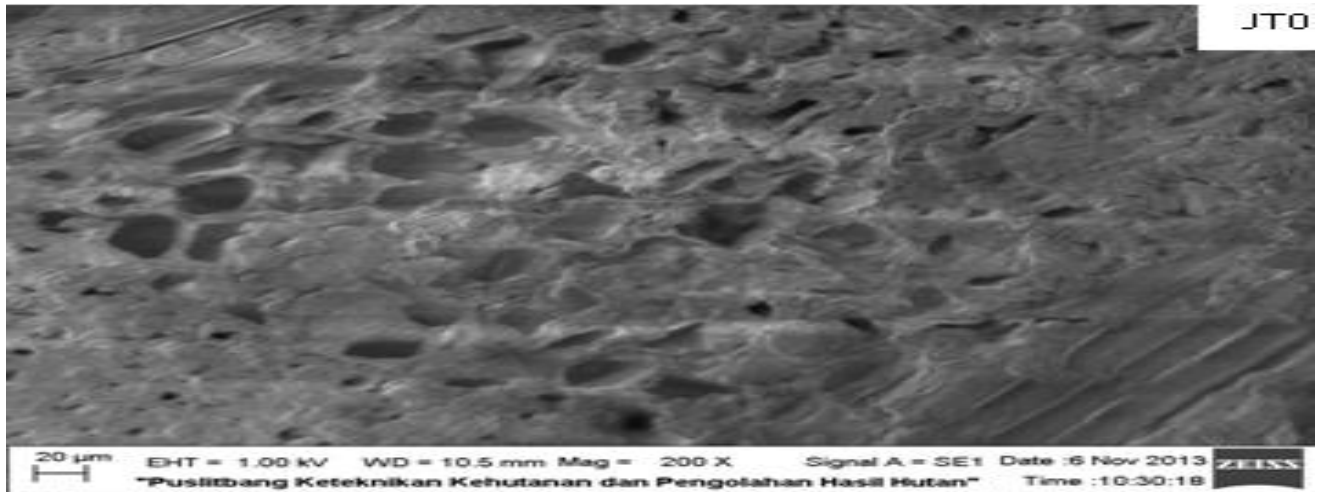


Gambar 5 Perubahan jarak antar kristal dengan naiknya pemanasan (♦ = d<sub>1</sub> dan ■ = d<sub>2</sub>).

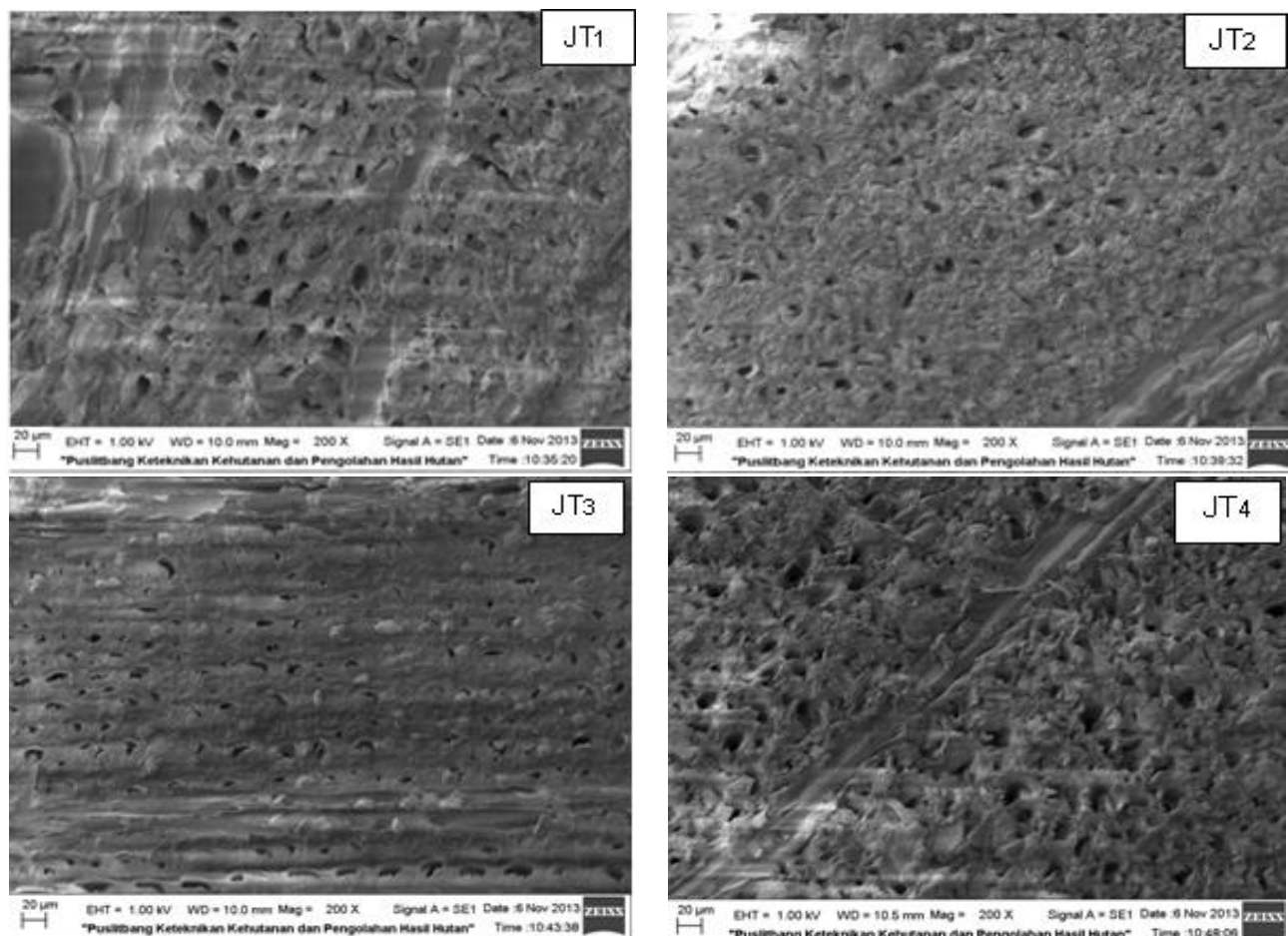
Semakin tinggi suhu *annealing* maka profil permukaan kayu semakin menyusut. Sel-sel penyusun kayu menjadi lebih rapat dan pori rongga sel menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan kayu kontrol (tidak diberi perlakuan panas). Profil permukaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 7.

### KESIMPULAN

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan adanya perubahan pada diameter kristalin kayu jati (*Tectona grandis* L.f.) akibat perlakuan panas. Semakin tinggi perlakuan panas yang diberikan pada kayu maka



Gambar 6 Gambaran hasil *scanning electron microscopy* permukaan lintang sampel kayu dengan perbesaran 200 x. (JT<sub>0</sub>) sampel kayu tanpa perlakuan panas.



Gambar 7 Gambaran hasil *scanning electron microscopy* pada permukaan lintang sampel kayu dengan perbesaran 200 x. (JT<sub>1</sub>) Sampel dengan *annealing* pada suhu 90 °C; (JT<sub>2</sub>) Sampel dengan *annealing* pada suhu 120 °C; (JT<sub>3</sub>) Sampel dengan *annealing* pada suhu 150 °C; dan (JT<sub>4</sub>) Sampel dengan *annealing* pada suhu 180 °C.

diameter kristalin kayu akan semakin menurun. Sedangkan hasil analisis SEM menunjukkan profil morfologi permukaan lintang kayu juga mengalami perubahan akibat pemanasan/*anealling* pada suhu 90, 120, 150, dan 180 °C selama 0,5–12 jam, dimana sejalan dengan berkurangnya kadar air kayu. Semakin meningkat suhu *anealling* yang diberikan juga dapat menyebabkan terjadinya degradasi pada komponen penyusun kayu.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Program Hibah Penelitian Dosen Pemula tahun 2013, melalui surat Perjanjian Pelaksanaan Desentralisasi Penelitian Dosen Pemula Kopertis Wilayah IX Tahun Anggaran 2013 Nomor: 0235/PNL/PK-KOP.IX/2013. Ucapan terima kasih kepada pihak Laboratorium Pengujian Hutan Pusat Litbang Hasil Hutan Bogor Republik Indonesia atas bantuan selama proses karakterisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin Y, Dwianto W. 2006. Pengaruh Suhu dan Tekanan Uap Air Terhadap Fiksasi Kayu Kompresi dengan Menggunakan *Close system compression*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 4(2): 55–60.
- Abdullah M. 2009. *Pengantar Nanosains*. Bandung (ID): Institut Teknologi Bandung.
- Brian B. 2006. *The Structure of Wood: Form and Function*. In: Walker JCF, Editor. Primary Wood Processing: Principles and Practice. 2nd edition. New Zealand (NZ): Springer.
- Izekor DN, Fuwape JA, Oluyeye AO. 2010. Effects of Density on Variations in The Mechanical Properties of Plantation Grown *Tectona Grandis* Wood. *Archives of Applied Science Research*. 2(6): 113–120.
- Izekor DN, Fuwape JA. 2011. Variations in The Anatomical Characteristics of Plantation Grown *Tectona grandis* Wood in Edo State, Nigeria. *Archives of Applied Science Research*. 3(1): 83–90.
- John W. 2006. *Water in Wood*. In: Walker JCF, Editor. Primary Wood Processing: Principles and Practice. 2nd edition. New Zealand (NZ): Springer.
- Kokutse AD, Brancheriau L, Chaix G. 2010. Rapid Prediction of Shrinkage and Fibre Saturation Point on Teak (*Tectona grandis*) Wood Based on Near-Infrared Spectroscopy. *Annals of Forest Science*. 67(4): 403. <http://doi.org/fm85fz>
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2008. Variation in the Natural Termite Resistance of Teak (*Tectona grandis* Linn. fil.) Wood as a Function of Tree Age. *Annals of Forest Science*. 65(7): 708. <http://doi.org/csc33v>
- Lukmandaru G, Takahashi K. 2009. Radial Distribution of Quinones in Plantation Teak (*Tectona grandis* L.f.). *Annals of Forest Science*. 66(6): 605. <http://doi.org/d8njng>
- Masahisa W, Junji S, Takeshi O. 1993. Native Celluloses on the Basis of Two Crystalline Phase ( $I_{\alpha}/I_{\beta}$ ) System. *Journal of Applied Polymer Science*. 49(8): 1491–1496. <http://doi.org/cxr5jx>
- Masahisa W, Takeshi O, Junji S. 2000. Allomorphs Of Native Crystalline Cellulose I Evaluated By Two Equatorial D-Spacings. *Journal of Wood Science*. 47(2): 124–128.
- Masahisa W, Ritsuko H, Ung-Jin K, Sono S. 2010. X-ray Diffraction Study on The Thermal Expansion Behavior of Cellulose Ib and its High-Temperature Phase. *Polymer Degradation and Stability*. 95(8): 1330–1334. <http://doi.org/cs92f9>
- Panshin AJ, de Zeeuw C. 1980. *Textbook of wood Technology*. Volume 1. 3<sup>rd</sup> ed. New York (US): McGraw-Hill.
- Rullianty S, Lempang M. 2004. Sifat Anatomi dan Fisis Kayu Jati Dari Muna dan Kendari Selatan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 22(4): 231–237.
- Syofuna A, Banana, AY, Nakabonge G. 2012. Efficiency Of Natural Wood Extractives As Wood Preservatives Against Termite Attack. *Maderas. Ciencia y Tecnologia*. 14(2): 155–163. <http://doi.org/bv9r>
- Thulasidas PK, Bhat KM, Okuyama T. 2006. Heartwood Colour Variation in Home Garden Teak (*Tectona grandis*) From Wet and Dry Localities Of Kerala, India. *Journal of Tropical Forest Science*. 18(1): 51–54.
- Vasiliev AD, Astakhov AM, Nefedov AA, Stepanov RS. 2003. Crystal And Molecular Structure Of Monoammonium Salt Of 5-Nitroaminotetrazole. *Journal of Structural Chemistry*. 44(2): 322–325. <http://doi.org/dxwgb9>
- Winandy JE. 2001. Thermal Degradation of Fire-Retardant-Treated Wood: Predicting Residual Service Life. *Forest Products Journal*. 51(2): 47–54.