



Distribusi Sel Pori pada Kayu Tarik dan Korelasinya dengan Komposisi Lignin

Distribution of Vessels in Tension Wood and Its Correlation with Lignin Composition

Deded Sarip Nawawi^{1*}, Istie Sekartining Rahayu², Nyoman Jaya Wistara¹, Rita Kartika Sari¹, & Wasrin Syafii¹

¹ The Division of Forest Products Chemistry, Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, Bogor, Indonesia

*Email: dsnawawi@apps.ipb.ac.id, dnawawi66@yahoo.com

² The Division of Wood Quality Improvement, Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, Bogor, Indonesia

CATATAN PENELITIAN

Riwayat Naskah :

Naskah masuk (*received*): 7 Februari 2018

Diterima (*accepted*): 23 Mei 2018

KEYWORDS

lignin
guaiacyl
syringyl
tension wood
vessel distribution

KATA KUNCI

lignin
distribusi pori
guaiasil
kayu tarik
siringil

ABSTRACT

The anatomical properties of tension wood were investigated for number and diameter of vessel and its correlation with lignin composition. Reaction wood sample was taken from the leaning stem of mindi (Melia azedarach). The formation of tension wood reduced the number and size of vessel and, consequently, increased the proportion of fiber. Number and diameter of vessels positively correlated with lignin content. However, syringyl/guaiacyl ratio of lignin and erythro/threo ratio of β -O-4 structures were negatively correlated with number and diameter of vessels. It was confirmed that changes in the proportion of wood cell was an importance factor influencing the changes in chemical characteristic of tension wood lignin.

INTISARI

Sifat anatomi kayu tarik dianalisis untuk parameter jumlah dan diameter pori dan korelasinya dengan komposisi lignin. Sampel kayu reaksi diambil dari batang pohon mindi (*Melia azedarach*) yang tumbuh miring. Pembentukan kayu tarik menurunkan jumlah dan diameter pori dan sebagai implikasinya meningkatkan proporsi serat. Jumlah dan diameter pori berkorelasi positif dengan kadar lignin. Nisbah siringil/guaiasil dan *erythro/threo* struktur β -O-4 berkorelasi negatif dengan jumlah dan diameter pori. Hasil penelitian ini mengkonfirmasi bahwa perubahan proporsi sel penyusun kayu akibat tegangan pertumbuhan merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap perubahan karakteristik kimia lignin kayu tarik.

Pendahuluan

Lignin adalah polimer polifenil penyusun dinding sel kayu dengan kadar dan komposisinya beragam signifikan antar kelompok kayu daun lebar dan daun jarum, spesies, kayu reaksi, dan antar sel kayu. Guaiasil adalah tipe lignin kayu daun jarum dengan komposisi utama unit guaiasil dan sedikit unit *p*-hidroksifenil (Akiyama et al. 2005). Lignin kayu daun lebar dikenal sebagai lignin guaiasil-siringil tersusun dari unit guaiasil dan siringil dengan perbedaan nisbah tertentu (Boerjan et al. 2003; Akiyama et al. 2005; Santos et al. 2015). Karakteristik lignin kayu reaksi juga berbeda dibandingkan dengan lignin kayu normal. Kadar lignin dan unit *p*-hidroksifenil kayu tekan lebih tinggi dibandingkan dengan kayu oposit (Nanayakara et al. 2009, Yeh et al. 2006). Keragaman komposisi lignin lebih tinggi ditemukan pada kayu tarik jenis kayu daun lebar. Kadar lignin dan nisbah siringil/guaiasil berubah signifikan selama pembentukan kayu tarik (Akiyama et al. 2003, Nawawi et al. 2017a).

Keragaman lignin juga ditemukan pada tingkat morfologi jaringan kayu. Analisis mikroskopis menunjukkan bahwa unit siringil adalah tipe fenilpropana utama penyusun lignin sel serat dan jari-jari kayu, sedangkan lignin dalam lamela tengah dan dinding sekunder sel pori terutama disusun oleh unit guaiasil (Fergus & Goring 1970; Musha & Goring 1975), dan unit *p*-hidroksifenil terutama berada dalam jaringan lamela tengah (Terashima et al. 1988). Hal tersebut menunjukkan bahwa perbedaan struktur lignin dalam kayu daun lebar berkorelasi dengan distribusi dan kelimpahan tipe sel penyusun kayu.

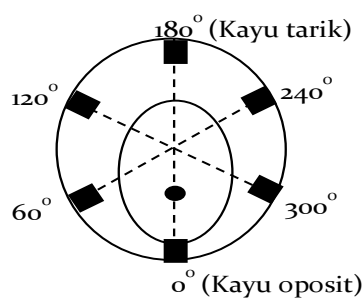
Perbedaan distribusi tipe sel jaringan kayu terjadi selama pembentukan kayu reaksi. Secara umum, kayu tarik memiliki sel pori lebih sedikit dan berdiameter le-

bih kecil dibandingkan dengan kayu oposit (Jourez et al. 2001; Fang et al. 2005), sehingga proporsi sel serat lebih tinggi dalam kayu tarik dibandingkan dengan kayu opositnya. Sementara itu, hasil penelitian Akiyama et al. (2003) terhadap kayu *Liriodendron tulififera* menunjukkan bahwa nisbah siringil/guaiasil dan *erythro/threo* dari struktur ikatan β -O-4 meningkat dari arah bagian kayu oposit ke arah kayu tarik. Berdasarkan hal tersebut, perubahan karakteristik lignin dalam kayu tarik terindikasi sejalan dengan perubahan proporsi dan ukuran sel penyusun jaringan kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara perubahan komposisi lignin dengan perubahan distribusi sel pori pada kayu reaksi mindi (*Melia azedarach*). Distribusi sel pori dinyatakan dalam jumlah dan diameter sel pori sedangkan komposisi lignin dinyatakan dalam nisbah siringil/guaiasil dan *erythro/threo* struktur ikatan β -O-4. Nisbah siringil/guaiasil diketahui memiliki korelasi kuat dengan proporsi isomer struktur ikatan β -O-4 (Akiyama et al. 2005) dan keduanya berpengaruh terhadap reaktifitas lignin (Shimizu et al. 2012, Nawawi et al. 2017b).

Bahan dan Metode

Sampel kayu

Sampel kayu berbentuk lempengan arah melintang batang diambil dari pohon mindi (*Melia azedarach*) yang tumbuh miring. Sampel uji berupa blok kayu diambil dari enam bagian lempengan kayu searah lingkaran sampel (Gambar 1). Sampel kayu tersebut digunakan untuk analisis distribusi sel pori dan komposisi lignin. Sampel untuk analisis kimia lignin disiapkan dalam bentuk partikel berukuran 40-60 mesh. Sebelum analisis kimia, sampel diekstraksi dengan pelarut campuran etanol/benzena (1:2 v/v) selama 8 jam.



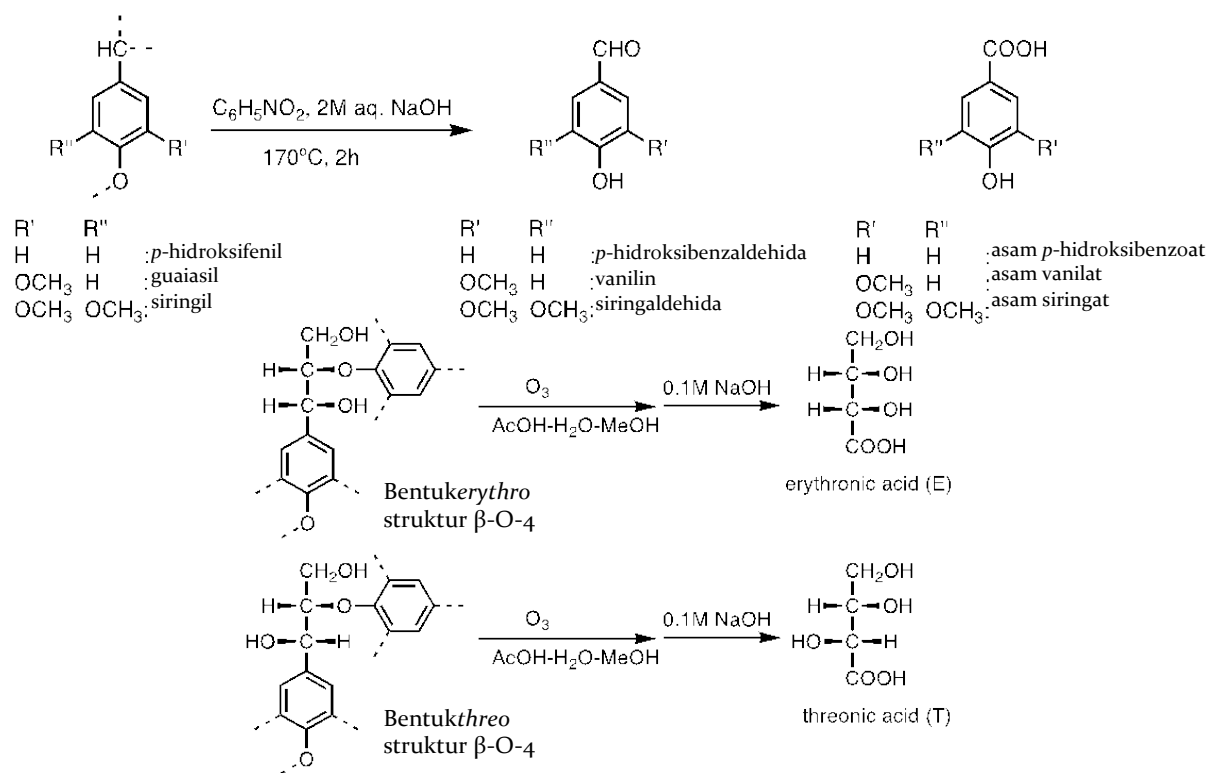
Gambar 1. Posisi sampel uji dari lempengan kayu reaksi mindi.
Figure 1. Sampel position from the reaction wood disk of mindi.

Pengukuran kerapatan dan diameter pori

Sampel blok kayu direbus selama dua jam untuk melunakan sampel kayu. Untuk setiap sampel uji, sayatan tipis (20 µm) jaringan kayu arah melintang batang disiapkan dengan alat mikrotom geser yang dilengkapi dengan pisau stainless steel FEATHER S35. Sampel sayatan tipis jaringan kayu didehidrasi bertahap dengan alkohol dan diwarnai dengan larutan pewarna safranin. Kerapatan dan diameter pori diukur terhadap masing-masing 25 sel pori menggunakan mikroskop yang dilengkapi mikrometer. Diameter pori dan jumlah pori diukur dengan perbesaran masing-masing 100 dan 32 kali. Distribusi sel pori dinyatakan dalam jumlah pori mm⁻² dan diameter pori (µm).

Karakteristik lignin

Karakteristik lignin dinyatakan dalam proporsi tipe aromatik penyusun polimer lignin dan proporsi isomer ikatan β-O-4. Proporsi tipe aromatis penyusun lignin diuji menggunakan metode oksidasi nitrobenzena alkali dan proporsi isomer struktur ikatan β-O-4 diuji dengan metode ozonasi (Gambar 2) dengan merujuk pada penelitian Nawawi et al. (2017a). Proporsi nisbah tipe aromatis penyusun lignin dinyatakan dalam nisbah siringil (siringil/guaiasil) dan proporsi isomer struktur ikatan β-O-4 dinyatakan dalam nisbah *erythro* (*erythro*/*erythro*+*threo*).



Gambar 2. Metode oksidasi nitrobenzena alkali dan ozonasi lignin. *Erythronic acid* adalah produk ozonasi dari bentuk isomer *erythro* struktur β-O-4, dan *threonic acid* adalah produk ozonasi dari bentuk isomer *threo* struktur β-O-4.

Figure 2. Alkaline nitrobenzene oxydation and ozonation methods of lignin. *Erythronic acid* is an ozonation product from β-O-4 structure of *erythro* isomeric form, and *threonic acid* is a product from β-O-4 structure of *threo* isomeric form.

Hasil dan Pembahasan

Distribusi Pori

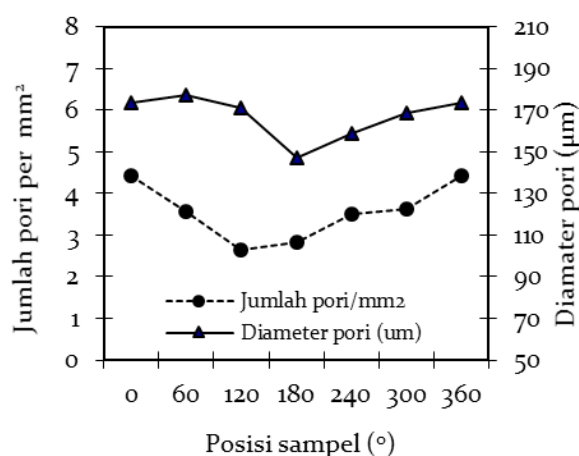
Kayu mindi membentuk jaringan kayu lebih lebar pada bagian sisi atas batang pohon yang merupakan ciri khas kayu tarik dari jenis kayu daun lebar (Nawawi et al. 2017a). Diameter pori pada kayu reaksi mindi menurun dari jaringan kayu bagian sisi bawah batang ke arah jaringan kayu bagian sisi atas batang pohon (Gambar 3). Tendensi diameter pori diikuti dengan kerapatan pori yang lebih rendah dibandingkan dengan kayu opositnya. Tendensi tersebut merupakan karakter kayu tarik jenis kayu daun lebar. Secara anatomi, kayu tarik memiliki sel serat dan pori lebih panjang, proporsi lebih sedikit, dan ukuran diameter pori lebih kecil dibandingkan dengan kayu opositnya (Jourez et al. 2001; Fang et al. 2008). Distribusi dan ukuran sel pori tersebut menyebabkan meningkatnya proporsi dan ketebalan dinding sel serat (Jourez et al. 2001).

Sel pori merupakan salah satu sel penyusun jaringan kayu selain sel serat dan parenkim. Pembentukan kayu tarik pada kayu mindi menyebabkan penurunan jumlah dan diameter pori. Perubahan mikrostruktur pada kayu tarik dan distribusi komponen kimianya banyak dikaitkan dengan adanya pengaruh tegangan pertumbuhan akibat pertumbuhan abnormal pohon. Studi korelasi antara indeks tekanan pertumbuhan dengan karakteristik anatomi dan kimia kayu tarik

poplar menunjukkan bahwa peningkatan tekanan pertumbuhan pada bagian kayu tarik menyebabkan penurunan proporsi pori dan peningkatan panjang serat dengan dinding sel lebih tebal (Fang et al. 2008) dan hal tersebut menyebabkan perubahan pada sifat kimia kayu tarik. Berdasarkan komposisi kimianya, kayu tarik memiliki kadar selulosa tinggi dan kadar lignin rendah (Yoshida et al. 2002). Karakter kimia kayu tarik tersebut disebabkan oleh tingginya proses lignifikasi pada lamella tengah dan sel pori, serta rendahnya lignifikasi pada sel serat yang mengakibatkan konsentrasi lignin sel pori lebih tinggi dibandingkan dengan sel serat (Xu et al. 2006). Peningkatan ketebalan dinding sel serat selama pembentukan kayu tarik disertai dengan pembentukan “*gelatinous layer*” berkadar selulosa tinggi (Fang et al. 2008).

Korelasi distribusi pori dengan komposisi lignin

Lignin adalah komponen kimia kayu yang sangat beragam dan berubah komposisinya akibat faktor pertumbuhan dan keragamannya dianggap berkorelasi dengan evolusi tumbuhan (Vanholme et al. 2010). Kadar dan komposisi lignin merupakan salah satu parameter utama karakteristik kimia kayu reaksi (Nanayakkara et al. 2009; Yoshida et al. 2002). Karakteristik kimia lignin kayu tarik mindi sama dengan yang ditemukan pada kayu tarik *yellow poplar* (Akiyama et al. 2003). Pengaruh komposisi sel penyusun jaringan kayu terhadap kadar dan komposisi lignin kayu tarik mindi ditunjukkan oleh adanya



Gambar 3. Distribusi sel pori pada kayu tarik mindi. Posisi 0°(=360°): bagian sisi bawah batang (kayu oposit), posisi 180°: bagian sisi atas batang (kayu tarik). Posisi sampel sesuai dengan Gambar 1.

Figure 3. Distribution of vessels in tension wood of mindi. Position of 0°(=360°): lower side part of the stem (opposite wood), position of 180°: upper side part of the stem (tension wood). The sample position according to Figure 1.

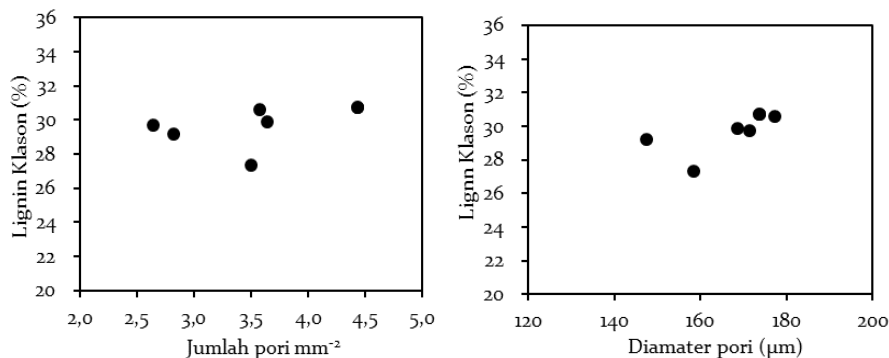
korelasi antara kadar lignin, nisbah siringil/guaiasil dan *erythro/threo* struktur β -O-4 dengan jumlah dan diameter pori.

Kadar lignin kayu tarik mindi berkorelasi positif dengan jumlah dan diameter pori (Gambar 4). Penurunan jumlah dan ukuran pori berimplikasi pada peningkatan proporsi sel serat pada kayu tarik. Pembentukan kayu tarik menghasilkan sel serat dengan lignifikasi rendah sedangkan sel pori dan lamella tengah mengalami lignifikasi tinggi (Xu et al. 2006), sehingga penurunan kadar lignin pada kayu tarik dipengaruhi oleh peningkatan proporsi serat akibat penurunan jumlah dan diameter pori (Jourez et al. 2001.).

Pembentukan kayu tarik mindi juga menyebabkan perubahan komposisi lignin dan dipengaruhi oleh perubahan mikrostruktur kayu akibat tegangan pertumbuhan. Nisbah siringil/guaiasil dalam lignin kayu tarik mindi berkorelasi negatif dengan diameter dan jumlah pori (Gambar 5). Peningkatan proporsi unit siringil dalam kayu tarik dipengaruhi oleh tingginya proporsi serat dan tegangan

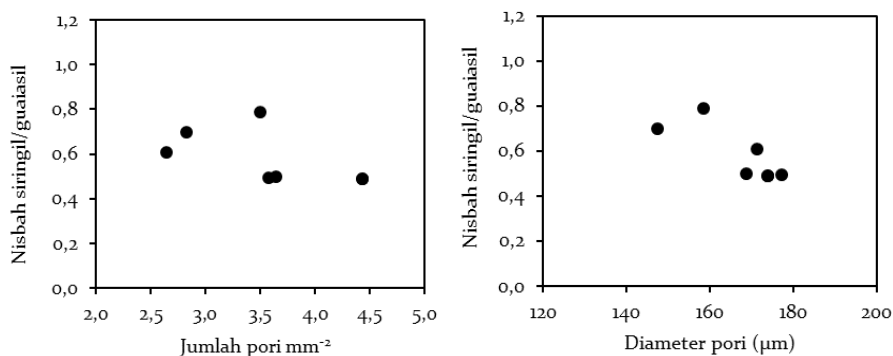
pertumbuhan tarik. Penelitian Yoshida et al. (2002) menunjukkan adanya pengaruh peningkatan tegangan pertumbuhan tarik pada bagian sisi atas kayu miring menyebabkan penurunan kadar lignin dan peningkatan nisbah siringil/guaiasil. Selain itu, peningkatan proporsi siringil dalam lignin kayu tarik dipengaruhi juga oleh peningkatan proporsi sel serat dan penurunan jumlah serta ukuran pori. Serat kayu (*fiber*) mengandung proporsi siringil tinggi sedangkan dinding sel pori terutama mengandung guaiasil (Musa & Goring 1975).

Dalam tipe lignin guaiasil-siringil ditemukan adanya keteraturan dalam biosintesis polimer lignin yaitu lignin dengan unit siringil tinggi akan memiliki kadar lignin rendah, kelimpahan ikatan β -O-4 tinggi, nisbah *erythro/threo* struktur β -O-4 tinggi dan nisbah siringil/guaiasil berkorelasi positif dengan nisbah *erythro/threo* (Akiyama et al. 2005). Gambar 6 menunjukkan nisbah *erythro/threo* struktur β -O-4 berkorelasi negatif dengan diameter dan jumlah pori atau berkorelasi positif dengan proporsi sel serat sehingga secara umum lignin kayu tarik memiliki kadar lignin lebih rendah, nisbah siringil/



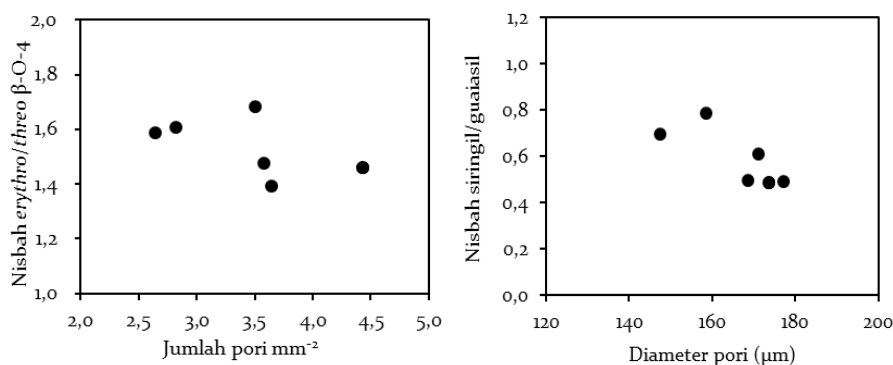
Gambar 4. Korelasi kadar lignin dengan jumlah dan diameter pori pada kayu tarik mindi.

Figure 4. Correlation between lignin content with vessel number and diameter in tension wood of mindi.



Gambar 5. Korelasi antara diameter dan kerapatan pori dengan nisbah siringil/guaiasil lignin kayu tarik mindi.

Figure 5. Correlation between vessel diameter and density with syringil/guaiacyl ratio in tension wood lignin of mindi.



Gambar 6. Korelasi antara diameter dan kerapatan pori dengan nisbah *erythro/threo* struktur β -O-4.
Figure 6. Correlation between diameter and density of vessel with *erythro/threo* ratio of β -O-4 structure.

guaiasil dan *erythro/threo* ratio struktur β -O-4 lebih tinggi dibandingkan dengan kayu opositnya. Lignin bernisbah syringil/guaiasil lebih tinggi akan lebih mudah didelignifikasi dalam kondisi alkali (Nawawi et al. 2017b), dan struktur ikatan β -O-4 dalam bentuk isomer *erythro* lebih reaktif dibandingkan dengan bentuk isomer *threo* (Shimizu et al. 2012), sehingga lignin kayu tarik diduga akan memiliki reaktifitas lebih tinggi dibandingkan dengan kayu opositnya.

Kesimpulan

Kayu mindi membentuk kayu tarik disertai dengan penurunan jumlah dan diameter pori. Jumlah dan diameter pori berkorelasi negatif dengan nisbah syringil/guaiasil dan *erythro/threo* struktur β -O-4, tetapi berkorelasi positif dengan kadar lignin. Kayu tarik berkadar lignin rendah dengan nisbah syringil/guaiasil dan *erythro/threo* struktur β -O-4 tinggi dipengaruhi oleh rendahnya proporsi sel pori dan tingginya proporsi sel serat.

Daftar Pustaka

- Akiyama T, Matsumoto Y, Okuyama T, Meshitsuka G. 2003. Ratio of erythro and threo form of β -O-4 structures in tension wood lignin. *Phytochemistry* **64**:1157-1162.
- Akiyama T, Goto H, Nawawi DS, Syafii W, Matsumoto Y, Meshitsuka G. 2005. *Erythro/threo* ratio of β -O-4 structures as an important structural characteristics of lignin. Part 4. Variation in the *erythro/threo* ratio in softwood and hardwood lignins and its relation to syringyl/guaiacyl ratio. *Holzforchung* **59**:276-281.
- Aoyama W, Matsumura A, Tsutsumi Y, Nishida T. 2001. Lignification and peroxidase in tension wood of *Eucalyptus viminalis* seedling. *Journal of Wood Science* **47**:419-424.
- Boerjan W, Ralph J, Baucher M. 2003. Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology* **54**:519-546.
- Fang CH, Guibal D, Clair B, Gril J, Liu YM, Liu SQ. 2008. Relationship between growth stress and wood properties in poplar I-69 (*Populus deltoides* Bartr. cv. "Lux" ex I-69/55). *Annals of Forest Science* **65**:307_{pi}-307_{po}.
- Fergus BJ, Goring DAI. 1970. The location of guaiacyl and syringyl lignin in birch xylem tissue. *Holzforchung* **24**:113-117.
- Jourez B, Riboux A, Leclercq A. 2001. Anatomical characteristics of tension wood and opposite wood in young inclined stem of poplar (*Populus euramericana* cv-Ghoy). *IAWA Journal* **22**:133-157.
- Musha Y, Goring DAI. 1975. Distribution of syringyl and guaiacyl moieties in hardwood as indicated by ultraviolet microscopy. *Wood Science Technology* **9**(1):45-58.
- Nanayakkara B, Harris MM, Suckling ID, Donaldson LA. 2009. Quantitative chemical indicators to assess the gradation of compression wood. *Holzforchung* **63**:431-439.
- Nawawi DS, Syafii W, Akiyama T, Matsumoto Y. 2017 a. Characteristic of β -O-4 structures in different reaction wood lignin from *Eusideroxylon zwageri* and four wood species. *Holzforchung* **71**(1):11-20.
- Nawawi DS, Syafii W, Tomoda I, Ushida Y, Akiyama T, Yokoyama T, Matsumoto Y. 2017 b. Characteristics and reactivity of lignin in *acacia* and *eucalyptus* woods. *Journal of Wood Chemistry and Technology* **37**(4):273-282.
- Santos RB, Capanema EA, Balakshin MY, Chang H, Jameel H. 2012. Lignin structural variation in hardwood species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**:4923-4930.
- Shimizu S, Yokoyama T, Akiyama T, Matsumoto Y. 2012. Reactivity of lignin with different composition of aromatic syringyl/guaiacyl structures and *erythro/threo* side chain structures in β -O-4 type during alkaline delignification: As a basis for the different degradability of hardwood and softwood lignin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **60**(26): 6471-6476.
- Terashima N, Fukushima K. 1988. Heterogeneity in formation of lignin XI: An autoradiographic study of the heterogeneous formation and structure of pine lignin. *Wood Science and Technology* **22**:259-270.

- Vanholme R, Demedts B, Morreel K, Ralph J, Boerjan W. 2010. Lignin biosynthesis and structure. *Plant Physiology* **153**:895-905.
- Xu F, Sun RC, Lu Q, Jones GL. 2006. Comparative study of anatomy and lignin distribution in normal and tension wood of *Salix gordejecii*. *Wood Science and Technology* **40**:358-370.
- Yeh TF, Braun JL, Goldfarb B, Chang H, Kadla JF. 2006. Morphological and chemical variations between juvenile wood, mature wood, and compression wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Holzfoschung* **60**: 1-8.
- Yoshida M, Ohta H, Yamamoto H, Okuyama T. 2002. Tensile growth stress and lignin distribution in the cell walls of yellow poplar, *Liriodendron tulipifera* Linn. *Trees* **16**:457-464.