

# Jurnal Ilmu Kehutanan

Journal of Forest Science  
https://jurnal.ugm.ac.id/v3/jik/  
ISSN: 2477-3751 (online); 0126-4451 (print)



## Kelarutan Lignin Kayu Sengon dan Leda dalam Ekstraksi Alkali (Lignin dissolution of sengon and leda woods during alkali extraction)

Deded Sarip Nawawi<sup>1\*</sup>, Adesna Fatrawana<sup>2</sup>, & Wasrin Syafii<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Divisi Kimia Hasil Hutan Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan  
Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680 Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Khairun, Jl. Gambesi Ternate Maluku Utara

\*Email: dsnawawi@apps.ipb.ac.id

### HASIL PENELITIAN

DOI: 10.22146/jik.v15i1.1512

#### RIWAYAT NASKAH :

Diajukan (submitted): 27 Februari 2020

Diperbaiki (revised): 27 Januari 2021

Diterima (accepted): 3 Maret 2021

#### KEYWORD

Lignin, alkali extraction,  $\beta$ -O-4 linkage, erythro/threo ratio, fast growing species

#### KATA KUNCI

Lignin, ekstraksi alkali, ikatan  $\beta$ -O-4, nisbah erythro/threo

### ABSTRACT

The dissolution of wood lignin in the alkali solution was analyzed for two fast growing species, sengon (*Paraserianthes falcataria*) and leda (*Eucalyptus deglupta*). Wood samples were extracted in 1% sodium hydroxide solution in cold and hot temperatures for 24 and 1 h, respectively. Extractable substances content, permanganate consumption (expressed as assumed lignin content) were analyzed from the filtrates; lignin content and diastereomeric of  $\beta$ -O-4 structure were analyzed from the wood residue after alkali extraction. The extracted substances from both woods in hot alkali were higher than in cold alkali solution, although the time of cold alkali extraction was much longer than hot alkali extraction. Assumed lignin content in the extract was quite high in both samples which were 34.4-42.9% and 35.5-39.8% including 2.15-2.29% and 1.04-1.32% of lignin for cold and hot alkali extraction, respectively. The changes in stereo isomeric form, erythro and threo, of  $\beta$ -O-4 structure of lignin in wood residue indicated that partial depolymerization of lignin developed during alkali treatment.

### INTISARI

Jenis kayu cepat tumbuh, sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan leda (*Eucalyptus deglupta*) dianalisis kelarutan ligninnya dalam larutan alkali. Sampel kayu diekstraksi dalam larutan sodium hidroksida 1% pada kondisi suhu ruang dan suhu didih air masing-masing selama 1 dan 24 jam. Kadar ekstraktif terlarut, konsumsi permanganat (dinyatakan sebagai asumsi lignin terlarut) dianalisis dari filtrat, dan kadar lignin serta struktur diastereomer ikatan  $\beta$ -O-4 dianalisis dari residu sampel setelah ekstraksi. Kadar ekstrak terlarut alkali panas lebih tinggi dibandingkan dengan alkali dingin, walaupun dengan waktu lebih singkat. Asumsi kadar lignin dalam ekstrak kedua jenis kayu cukup tinggi berkisar 34,4-42,9% untuk ekstraksi alkali dingin dan 35,5-39,8% untuk ekstraksi alkali panas, termasuk di dalamnya lignin sebesar 2,15-2,29% dan 1,04-1,32%. Perubahan nisbah stereoisomer erythro terhadap threo struktur ikatan  $\beta$ -O-4 dari residu mengindikasikan terjadinya depolimerisasi parsial pada ikatan eter polimer lignin.

## Pendahuluan

Lignin adalah polimer kompleks komponen dinding sel tumbuhan yang bersama holoselulosa merupakan komponen penting dalam mendukung sifat kimia dan mekanis dinding sel kayu. Polimer lignin disusun dari unit monomer fenilpropana; *p*-hidroksifenil, guaiasil dan siringil. Lignin kayu daun lebar disusun oleh unit guaiasil dan siringil dan disebut dengan lignin siringil-guaiasil, sedangkan lignin kayu daun jarum memiliki tipe lignin guaiasil yang terutama disusun oleh unit guaiasil dan sedikit *p*-hidroksifenil (Sjostrom 1991; Dence 1992). Polimer lignin dibentuk melalui berbagai tipe ikatan dan yang umum ditemukan adalah ikatan  $\beta$ -O-4 (arylglycerol- $\beta$ -aryl ether),  $\beta$ -5 (phenylcoumaran),  $\beta$ - $\beta$ ,  $\beta$ -1 (diarylpropane), 5-5 (biphenyl) and 5-O-4 (diaryl ether). Dari banyak tipe ikatan lignin, struktur ikatan yang paling dominan adalah arylglycerol  $\beta$ -aryl ether (Adler 1977; Nawawi et al. 2017).

Kadar dan struktur alami lignin merupakan aspek penting dalam kaitannya dengan konversi biomassa menjadi pulp, serat, bahan kimia, dan energi. Dalam konversi kayu menjadi pulp reaksi utamanya adalah delignifikasi, dan kayu dengan proporsi siringil tinggi lebih mudah didelignifikasi (Gonzales-Vila et al. 1999; del Rio et al. 2005). Hal ini terkait dengan pemutusan ikatan  $\beta$ -aryl ether dalam siringil lignin yang lebih mudah dibandingkan dengan lignin guaiasil, misalnya dalam kondisi alkali (Tsutsumi et al. 1995), sehingga akan meningkatkan laju delignifikasi dan menurunkan konsumsi alkali (Nawawi et al. 2017). Reaktivitas ikatan  $\beta$ -O-4 dalam lignin siringil dipengaruhi pula oleh tingginya proporsi isomer *erythro* yang lebih reaktif dibandingkan dengan struktur isomer *threo*  $\beta$ -O-4 (Shimizu et al. 2012).

Perlakuan alkali adalah salah satu perlakuan yang banyak dilakukan pada pengolahan kayu antara lain

dalam pembuatan produk pulp, bioetanol, peningkatan mutu komposit kayu, dan penyiapan produk nanoselulosa. Perlakuan alkali bersuhu tinggi dalam proses pembuatan pulp alkali terutama bertujuan untuk melarutkan lignin melalui tahapan delignifikasi awal, curah, dan delignifikasi sisa (Casey 1980). Perlakuan alkali suhu rendah semakin banyak diteliti untuk berbagai perlakuan kayu atau lignoselulosa lainnya, antara lain untuk peningkatan mutu biokomposit dan modifikasi kayu. Pada proses pemasakan pulp alkali, tahap awal delignifikasi pada suhu  $<120^{\circ}\text{C}$  dicirikan oleh delignifikasi yang masih relatif rendah (Casey 1980). Pada suhu sampai  $120^{\circ}\text{C}$ , pemasakan alkali dikategorikan sebagai fase ekstraksi yang melarutkan komponen kimia berbobot molekul rendah dan komponen kimia dinding sel mulai terdegradasi terutama hemiselulosa. Sebagian kecil lignin dan selulosa relatif masih tahan karena adanya fraksi kristalin (Asghar et al. 2015; Sanni et al. 2018; Oriez et al. 2020). Hemiselulosa dilaporkan sudah mulai mengalami degradasi pada suhu  $70^{\circ}\text{C}$  melalui reaksi pengelupasan sedangkan kelarutan lignin masih relatif kecil. Reaksi delignifikasi intensif terjadi mulai suhu  $140^{\circ}\text{C}$  dan dipengaruhi oleh komposisi polimernya, misalnya nisbah siring/guaiasil; sedangkan hemiselulosa dan selulosa mulai mengalami degradasi melalui reaksi hidrolisis (Brannvall 2017; Wigell et al. 2007).

Unit lignin yang memiliki gugus hidroksi fenolik bebas adalah struktur reaktif yang terutama berkaitan dengan pemutusan ikatan  $\alpha$ -eter dan  $\beta$ -eter (Kondo et al. 1984). Oleh karena struktur  $\beta$ -O-4 adalah tipe ikatan dominan dalam polimer lignin (Matsumoto et al. 1986; Akiyama et al. 2005), maka reaktivitas ikatan tersebut sangat menentukan reaktivitas lignin. Dalam kondisi alkali, reaktivitas ikatan  $\beta$ -O-4 dipengaruhi oleh bentuk stereokimianya, dengan bentuk *erythro* struktur  $\beta$ -O-4 cenderung lebih reaktif dibandingkan

dengan bentuk *threo*. Oleh sebab itu, pada lignin dengan kelimpahan ikatan  $\beta$ -O-4 dalam bentuk *erythro* akan memiliki laju delignifikasi tinggi (Shimizu et al. 2012). Struktur ikatan  $\beta$ -O-4 adalah struktur ikatan yang paling dominan dan memiliki dua bentuk diastereomerik yaitu *erythro* dan *threo*. Bentuk *erythro* adalah bentuk stereo isomer dominan dalam struktur  $\beta$ -O-4 lignin kayu daun lebar (Matsumoto et al. 1986; Akiyama et al. 2005; Nawawi et al. 2017) dengan keragaman nisbah *erythro/threo* sangat tinggi (Akiyama et al. 2005), sehingga menyebabkan adanya keragaman reaktivitas lignin antar jenis kayu daun lebar. Penelitian ini mempelajari sifat kimia lignin dua jenis kayu dan reaktivitas struktur ikatan  $\beta$ -O-4 dalam perlakuan alkali suhu rendah.

## Bahan dan Metode

### Penyiapan Bahan

Dua jenis kayu yaitu sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan leda (*Eucalyptus deglupta*) digunakan dalam penelitian ini. Kayu gubal dan kayu teras dipisahkan dari pohon berumur sekitar 6-8 tahun. Serbuk kayu berukuran 40-60 mesh disiapkan dengan penggilingan dan penyaringan bertingkat. Serbuk lebih halus untuk analisis ozonasi disiapkan dengan alat *vibrator ball mill* selama 10 menit pada laju vibrasi 30 per detik.

### Perlakuan Alkali

Perlakuan ekstraksi alkali dilakukan dalam dua kondisi pada suhu ruang dan suhu didih. Sebanyak 4 g serbuk kayu diekstraksi masing-masing dengan 200 mL larutan alkali 1% selama 1 jam pada suhu didih atau 24 jam pada suhu ruang ( $\pm 25$  °C). Setelah ekstraksi, sampel disaring dan dibilas dengan air destilata dan filtrat digenapkan menjadi 500 mL. Kadar ekstrak dihitung berdasarkan perbedaan sampel kering sebelum dan setelah ekstraksi dinyatakan dalam persen terhadap sampel awal.

### Konsumsi Permanganat

Konsumsi permanganat dari filtrat diukur pada kondisi pengukuran sama dengan bilangan kappa. Sebanyak 10 mL filtrat dan 60 mL air destilata ditempatkan dalam gelas piala dan diaduk dengan pengaduk magnet berputar. Sebanyak 4 mL  $H_2SO_4$  4 N dan 10 mL  $KMnO_4$  0,1 N ditambahkan ke dalam campuran dan suhu reaksi diukur untuk koreksi. Reaksi dihentikan setelah 10 menit dengan menambahkan 2 mL KI 1M dan campuran larutan segera dititrasi dengan Thiosulfat 0.05 N. Titrasi dilakukan pula untuk sampel blanko. Asumsi kadar lignin dalam filtrat dihitung berdasarkan asumsi bahwa satu unit lignin ( $C_6-C_3$ ) mengosumsi ekuivalen 13 permanganat.

### Analisis Ozonasi

Analisis ozonasi dari lignin sampel kayu setelah ekstraksi dilakukan dengan merujuk pada metode yang dikembangkan oleh Akiyama et al. (2002). Analisis ozonasi menggunakan sampel halus setelah perlakuan penggilingan vibrasi. Produk ozonasi dianalisis dengan gas-kromatografi (GC-FID, Shimadzu 17A, IC-1 column). Analisis ozonasi diukur dari produk berupa senyawa asam eritronat dan treonat.

### Kadar Lignin

Kadar lignin residu setelah ekstraksi diukur dengan metode lignin klason (TAPPI T222 om-88). Serbuk kayu (1 g) dihidrolisis dengan 15 mL  $H_2SO_4$  72% selama 2 jam pada suhu 20 °C. Campuran diencerkan sampai konsentrasi larutan asam sulfat 3% dan direaksikan pada suhu didih selama 4 jam. Filtrat disaring dan lignin klason diukur sebagai berat residu lignin setelah pengeringan oven bersuhu 105 °C selama 24 jam. Lignin klason diukur untuk kedua sampel awal dan setelah ekstraksi alkali.

## Hasil dan Pembahasan

### Kelarutan Lignin

Komponen kimia kayu terekstrak dalam alkali panas lebih tinggi dibandingkan dengan ekstraksi suhu ruang, walaupun ekstraksi alkali dingin dalam waktu yang lebih lama. Ekstraksi pada suhu lebih tinggi meningkatkan kelarutan substansi terekstrak dari dalam kayu. Rata-rata kadar ekstrak kayu sengon terlarut alkali lebih tinggi dibandingkan dengan kadar ekstrak kayu leda. Asumsi kadar lignin dalam ekstrak alkali dingin kayu sengon rata-rata 39,95% dan alkali panas sebesar 36,95%, sedangkan untuk kayu leda masing-masing sebesar 38,6% dan 37,65% (Tabel 1). Asumsi kadar lignin terlarut dalam filtrat kemungkinan tidak berarti menunjukkan kadar lignin terlarut sebenarnya. Pada pemasakan alkali suhu rendah, kehilangan lignin dicirikan sebagai hasil dari fase ekstraksi (Kondo et al. 1984), sehingga lignin berbobot bermolekul rendah dan zat ekstraktif fenolik mirip struktur lignin diduga sebagai fraksi lignin yang terlarut dalam perlakuan ekstraksi alkali. Lignan adalah salah satu contoh zat ekstratif berstruktur mirip lignin (Heitner et al. 2010) yang dapat ditemukan dalam banyak jenis tumbuhan termasuk kayu daun jarum dan kayu daun lebar (Ekman et al. 2002; Suzuki dan Umezawa 2007; Rudiyanisya 2013; Benkeder et al. 2015; Teponno et al. 2016; Mansikkala et al. 2020).

Perlakuan alkali panas mampu melarutkan zat ekstraktif dan komponen karbohidrat berbobot

molekul rendah terutama hemiselulosa dan selulosa terdegradasi (TAPPI 1996), serta sebagian lignin (Fatrawana et al. 2019). Oleh sebab itu, ekstrak perlakuan alkali kayu sengon atau leda dapat berbeda jumlah dan terdiri atas banyak substansi dari komponen kimia kayu. Kayu sengon memiliki substansi terlarut alkali lebih tinggi dibandingkan dengan kayu leda terutama dari kelompok bukan lignin (Tabel 1). Substansi terekstrak selain lignin (asumsi kadar lignin) dalam alkali panas dan dingin masing-masing sebesar 4,89% dan 8,30% untuk kayu sengon, sedangkan untuk kayu leda sebesar 4,45% dan 7,35%. Perbedaan asumsi lignin terlarut dalam ekstraksi alkali ditunjukkan pula antara kayu gubal dan kayu teras. Walaupun kadar ekstrak terlarut alkali hampir sama untuk kayu gubal dan teras tetapi asumsi kadar lignin dalam ekstrak berbeda cukup besar terutama untuk kayu leda (4,3-8,6%). Hal ini diduga adanya perbedaan sifat kimia lignin dan komposisi ekstraktif antara kayu gubal dan kayu teras, walaupun karakterisasi komposisi ekstrak diperlukan untuk identifikasi komponen terlarut dari kedua bagian kayu gubal dan teras leda.

Berdasarkan kadar lignin sampel residu (Tabel 2), ekstraksi alkali dingin melarutkan lignin kayu sengon rata-rata 2,29% dan kayu leda rata-rata 1,04%, sedangkan ekstraksi alkali panas melarutkan lignin kayu sengon dan leda masing-masing sebesar 2,15% dan 1,47%. Persentase asumsi kadar lignin dalam filtrat terhadap sampel kayu (Tabel 1) lebih tinggi

**Tabel 1.** Kadar ekstrak dan asumsi lignin dalam filtrat hasil ekstraksi alkali dingin dan panas  
**Table 1.** Extracts and assumed lignin content in the filtrate of cold and hot alkali extractions

Sampel kayu	Bagian kayu	Ekstraksi alkali dingin		Ekstraksi alkali panas	
		Kadar ekstrak (%)	Asumsi lignin dalam ekstrak (%)	Kadar ekstrak (%)	Asumsi lignin dalam ekstrak (%)
<i>E. deglupta</i>	Gubal	7.3	42.9 (3,13 )	12.1	39.8 (4,82)
	Teras	7.2	34.3 (2,47)	11.5	35.5 (4,08)
<i>P. falcataria</i>	Gubal	8.4	38.4 (3,23)	13.7	36.0 (4,93)
	Teras	7.8	41.5 (3,24)	12.6	37.9 (4,78)

Keterangan: (..) adalah persentase asumsi kadar lignin dalam filtrat terhadap sampel kayu  
Remark: (..) is the percentage of assumed lignin content in the filtrate with wood sample

**Tabel 2.** Kadar lignin Klason kayu setelah perlakuan alkali dingin dan panas  
**Table 2.** Klason lignin content in the cold and hot alkali extracted wood samples

Jenis kayu	Bagian Kayu	Lignin (%)		
		Ekstraksi alkali dingin	Ekstraksi alkali panas	Sampel awal
<i>E. deglupta</i>	Gubal	25.93 (1,05)	25.18 (1,80)	26.98
	Teras	25.19 (1,02)	25.07 (1,14)	26.21
<i>P. falcataria</i>	Gubal	21.41 (2,21)	20.95 (2,67)	23.62
	Teras	21.28 (2,37)	21.30 (2,35)	23.65

Keterangan: (..) adalah data kelarutan lignin  
 Remark: (..) is lignin solubility data

dibandingkan dengan kelarutan lignin dari residu (Tabel 2) sehingga mengonfirmasi dugaan adanya kelompok fenolik terlarut yang bereaksi dengan permanganat dan terdeteksi sebagai lignin. Secara umum, kelarutan lignin dalam alkali bersuhu rendah masih relatif sedikit, seperti yang umumnya terjadi pada tahap awal delignifikasi pemasakan pulp alkali (Alen 2000).

#### Reaktivitas Ikatan $\beta$ -O-4

Depolimerisasi lignin terutama tergantung pada pemutusan ikatan aril-eter, sedangkan ikatan karbon-karbon dan diaril-eter lebih stabil (Stenius 2000). Oleh karena ikatan aril-eter adalah tipe ikatan dominan dalam lignin (Matsumoto et al. 1984), maka pemutusan ikatan aril-eter berperan besar pada depolimerisasi lignin. Ekstraksi alkali panas dan dingin kayu sengon dan leda menurunkan nisbah distereomerik, *erythro* dan *threo*, struktur ikatan  $\beta$ -O-4 lignin (Tabel 3). Hal ini menunjukkan sebagian struktur lignin kayu setelah ekstraksi alkali berbeda dibandingkan dengan struktur lignin kayu awal. Sugimoto et al. (2003) melaporkan bahwa perubahan nisbah *erythro* dan *threo* struktur  $\beta$ -O-4 kayu birch terjadi pada saat pemasakan alkali bersuhu lebih tinggi dari 100 °C, sehingga penelitian ini menunjukkan bahwa lignin kayu sengon dan leda relatif cukup reaktif terhadap alkali terutama untuk tipe ikatan  $\beta$ -O-4. Reaktivitas lignin akan bermanfaat pada pengolahan kayu dengan reaksi utama delignifikasi seperti pada proses pengolahan pulp.

Data penelitian menunjukkan pula bahwa tidak ada korelasi tinggi antara nisbah diastereomerik struktur  $\beta$ -O-4 dengan selektifitas delignifikasi pada perlakuan alkali sampai suhu 100 °C. Hal ini mengindikasikan bahwa kelarutan lignin pada suhu rendah belum sepenuhnya bergantung pada reaksi kimia depolimerisasi. Kondo et al. (1984) melaporkan bahwa pada pemasakan alkali suhu rendah, kelarutan lignin terutama berasal dari tahap ekstraksi. Oleh sebab itu, penurunan nisbah *erythro/threo* struktur  $\beta$ -O-4 lignin sampel kayu setelah ekstraksi diduga sebagai akibat terlarutnya lignin berbobot molekul rendah atau sebagian struktur *uncondensed* lignin yang banyak memiliki struktur  $\beta$ -O-4 dalam bentuk isomer *erythro*. Dalam reaksi depolimerisasi lignin, Shimizu et al. (2012) melaporkan bahwa polimer lignin yang didominasi oleh tipe ikatan  $\beta$ -O-4 berbentuk isomer *erythro* lebih mudah diputus dibandingkan dengan bentuk *threo*. Tendensi yang sama terlihat pada Tabel 3 yaitu nisbah *erythro/threo* kayu setelah ekstraksi alkali lebih rendah dibandingkan dengan kayu awal. Perlakuan alkali mendegradasi atau melarutkan lignin dengan struktur  $\beta$ -O-4 berbentuk isomer *erythro* lebih banyak dibandingkan dengan  $\beta$ -O-4 berbentuk isomer *threo* sehingga nisbah *erythro/threo* dalam residu lebih rendah dibandingkan dengan kayu awal.

Perlakuan ekstraksi alkali 1% sampai suhu 100 °C selama 1 jam, selain melarutkan zat ekstraktif dan karbohidrat berbobot molekul rendah (TAPPI 1996), juga melarutkan sebagian lignin. Lignin terlarut

**Tabel 3.** Nisbah *erythro*/*threo* struktur ikatan  $\beta$ -O-4 lignin kayu setelah ekstraksi alkali dingin dan panas  
**Table 3.** *erythro*/*threo* ratio of  $\beta$ -O-4 structure in the cold and hot alkali extracted wood samples

Sampel kayu	Bagian kayu	Nisbah <i>erythro</i> / <i>threo</i> struktur $\beta$ -O-4		
		Sampel awal	Ekstraksi NaOH 1% dingin	Ekstraksi NaOH 1% panas
<i>E. deglupta</i>	Gubal	2.65	2.50	2.50
	Teras	2.71	2.49	2.46
<i>P. falcataria</i>	Gubal	2.37	2.25	2.23
	Teras	2.38	2.22	2.29

dalam alkali bersuhu rendah dapat berupa lignin berbobot molekul rendah. Hasil penelitian ini menunjukkan pula bahwa ekstraksi alkali bersuhu rendah dapat digunakan sebagai praperlakuan terhadap kayu untuk mengurangi fraksi amorf dan komponen kimia kayu berbobot molekul rendah lainnya.

### Kesimpulan

Perlakuan ekstraksi alkali dengan larutan sodium hidroksida pada suhu ruangan dan 100 °C melarutkan komponen kimia kayu sengon dan leda masing-masing sebesar 7,8-13,7% dan 7,2-12,1% yang di antaranya adalah lignin sebesar 2,15-2,29% dan 1,04-1,32%. Nisbah diasteremerik, *erythro* dan *threo*, struktur  $\beta$ -O-4 lignin kayu sengon dan leda menurun setelah perlakuan alkali yang mengindikasikan terjadinya reaksi depolimerisasi parsial dari polimer lignin atau kelarutan sebagian lignin berbobot molekul rendah.

### Daftar Pustaka

- Adler E. 1977. Lignin chemistry, present and future. *Wood Sci Technol.* 11:169-218.
- Akiyama T, Sugimoto T, Matsumoto Y, Meshitsuka G. 2002. *Erythro*/*threo* ratio of  $\beta$ -O-4 structures as an important structural characteristic of lignin. I. Improvement of ozonation method for the quantitative analysis of lignin side-chain structure. *Wood Sci.* 48:210-215.
- Akiyama T, Goto H, Nawawi DS, Syafii W, Matsumoto Y, Meshitsuka G. 2005. *Erythro*/*threo* ratio of  $\beta$ -O-4 structures as an important structural characteristic 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.
- Asgar U, Irfan M, Iram M, Huma Z, Nelofer R, Nadeem M, Syed Q. 2015. Effect of alkaline pretreatment on delignification of wheat straw. *Nat Prod Res.* 29(2):125-131.
- Benkeder ZK, Colin F, Dumarcay S, Gerardin P. 2015. Quantification and characterization of knotwood extractives of 12 European softwood and hardwood species. *Annals For Sci.* 72:277-284.
- Brannvall G. 2017. The limits of delignification in Kraft cooking. *BioResources* 12(1):2081-2107.
- Casey JP. 1980. Pulp and paper, chemistry and chemical technology. Vol.1. John Wiley & Sons. New York.
- Del Rio JC, Gutierrez A, Hernando M, Landin P, Romero J, Martinez AT. 2005. Determining the influence of Eucalyptus lignin composition in paper pulp yield using Pyr-GC/MS. *J Anal Appl Pyr.* 74:110-115.
- Dence CW. 1992 The determination of lignin. In: Methods in lignin chemistry. Eds. Lin, S.Y., Dence, C.W. Springer-Verlag. Berlin.
- Ekman R, Willfor S, Sjolholm R, Reunanen M, Maki J, Lehtila R, Eckerman C. 2002. Identification of the lignan Nortrachelogenin in knot and branch heartwood of scots pine (*P. sylvestris*) *Holzforchung* 56(3):253-256
- Fatrawana A, Maulana S, Nawawi DS, Sari RK, Hidayat W, Park SH, Febrianto F, Lee SH, Kim NH. 2019. Changes in chemical components of steam-treated betung bamboo strands and their effects on the physical and mechanical properties of bamboo-oriented strand boards. *European J Wood & Wood Prod.* 77(5):731-739.
- Gonzales-Vila FJ, Almendros G, del Rio JC, Martin F, Gutierrez A, Romero J. 1999. Easy of delignification assessment of wood from different Eucalyptus species by pyrolysis (TMAH)-GC/MS and CP/MAS <sup>13</sup>C-NMR spectrometry. *J Anal Appl Pyr.* 49:295-305.
- Heitner C, Dimmel D, Schmidt JA. 2010. Lignin and lignans: Advances in chemistry. CRC Press. New York.
- Kondo R, Saranen KV. 1984. Kinetic of lignin and hemicellulose dissolution during the initial stage of alkaline pulping. *Holzforchung* 38:31-36.
- Mansikkala T, Patanen M, Karkonen A, Korpinen R, Pranovieh A, Ohigashi T, Swaraj S, Seitsonen J, Ruokolainen J, Huttula M, Saranpaa P, Piispanen R. 2020. Lignin in knot wood of Norway spruce: L<sup>o</sup>Calisation with softX-ray microscopy and scanning transmission electron microscopy with energy dispersive X-rays spectroscopy. *Molecule* 25:1-22.
- Matsumoto Y, Ishizu A, Nakano J. 1986. Studies on chemical structure of lignin by ozonation. *Holzforchung* 40(Suppl.):81-85.
- Nawawi DS, Syafii W, Tomoda I, Uchida Y, Akiyama T, Yokoyama T, Matsumoto Y. 2017. Characteristics and reactivity of lignin in Acacia and Eucalyptus woods. *J. Wood Chem. Technol.* 37(4):273-282.
- Oriez V, Peydecastaing J, Pontaliner PY. 2020. Lign<sup>o</sup>Cellulosic biomass mild alkaline fractionation and resulting extract purification precosses, condition, yields and purities. *Clean Technol.* 2:91-115.

- Rudiyansyah. 2013. Steroid dan lignan dari kayu Batang *Durioxleyanus* (Malvaceae). *Valensi* 3(1):57-64.
- Sanni SE, Akinrinola O, Yusuf EO, Fagbiele OO, Agboola O. 2018. Chemical kinetic of alkaline pretreatment of Napres grass (*Pennisetum purpureum*) prior enzymatic hydrolysis. *The Open Chemical Engineering J.* 12:36-56.
- 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  $\beta$ -O-4 type during alkaline delignification: As a basis for the different degradability of hardwood and softwood lignin. *J Agric Food Chem.* 60(26):6471-6476.
- Sjostrom E. 1991. Wood chemistry, fundamental and applications. Academic Press. New York.
- Stenius P. 2000. Forest Products Chemistry. Papermaking Science and Technology. Fapet Oy. Finland.
- Suzuki S, Umezawa T. 2007. Biosynthesis of lignans and neolignans. *J Wood Sci.* 53:273-284.
- [TAPPI] Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 1996. TAPPI Test Methods. TAPPI Press. Atlanta.
- Teponno RB, Kusari S, Spiteller. 2016. Recent advances in research on lignans and neolignans. *Nat Prod Rep.* 33:1044-1092.
- Tsutsumi Y, Kondo R, Sakai K, Imamura H. 1995. The difference of reactivity between syringyl lignin and guaiacyl lignin in alkaline system. *Holzforschung* 49:423-428.