

KOMPONEN KIMIA DAN POTENSI PENGGUNAAN LIMA JENIS KAYU KURANG DIKENAL ASAL JAWA BARAT (*Chemical Component and Potential Utilization of Five Lesser Known Wood Species Originated from West Java*)

Novitri Hastuti, Lisna Efiyanti, Gustan Pari, Saepuloh, & Dadang Setiawan

Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
Jl. Gunung Batu No. 5, Bogor 16610
Telp. (0251) 8633378; Fax. (0251) 8633413
E-mail: novienov3@yahoo.com

Diterima 19 Januari 2017, Direvisi 28 Februari 2017, Disetujui 14 Maret 2017

ABSTRACT

There are about 4,000 timber producing trees grow naturally in Indonesia, which comprise of commercially and lesser-known wood species. Wood chemical component analysis is one indicator for timber utilization. This paper studies the chemical components of five lesser-known wood species originated from West Java namely *ki bugang* (*Arthophyllum diversifolium* Bl.), *sempur lilin* (*Dillenia obovata* Hoogl.), *cangcaratan* (*Lithocarpus sundaicus* Bl.), *ki pasang* (*Prunus javanica* Miq), and *ki langir* (*Othophora spectabilis* Bl). The analysis was conducted according to the testing standard of Norman Jenkin, Indonesian National Standard (SNI) and TAPPI. Results show that *Ki bugang* has the highest content of both of cellulose and pentosan about 52.57% and 21,37%, respectively. *Cangcaratan* wood has the highest lignin content about 31.84%. *Ki langir* has the highest solubility in cold water, alcohol benzene and NaOH about 3.34%, 2.75%, and 22.17%, respectively. In addition, *sempur lilin* has the highest solubility in hot water about 8.56%. The highest ash content is 3.60% belongs to *Ki langir* and the highest silica content is 1.92% belongs to *sempur lilin*. Based on the chemical content, *cangcaratan* wood is recommended for pulp and energy purposes and *ki bugang* wood is recommended for bio-ethanol.

Keywords: Chemical content, five wood species, West Java, pulp, energy, bioethanol

ABSTRAK

Hutan Indonesia memiliki potensi pohon tropis yang sangat beragam. Salah satu komoditi utama yang dihasilkan dari pohon sebagai komponen utama penyusun hutan adalah kayu. Penggunaan kayu umumnya disesuaikan dari sifat kayu, seperti sifat fisik-mekanik, sifat keterawetan dan sifat dasar lainnya. Salah satu sifat kayu yang penting dan menentukan karakteristik penggunaannya antara lain sifat kimia. Penelitian ini menganalisis komponen kimia 5 jenis kayu yang kurang dikenal asal Jawa Barat, yaitu *ki bugang*, *sempur lilin*, *cangcaratan*, *ki pasang*, dan *ki langir*. Analisis meliputi komponen kimia kayu sesuai standar Norman Jenkin, Standar Nasional Indonesia (SNI) dan TAPPI. Hasil analisis menunjukkan bahwa *ki bugang* memiliki kadar selulosa dan pentosane tertinggi, masing-masing sebesar 52,57% dan 21,37%. Kayu *cangcaratan* memiliki kadar lignin tertinggi yaitu sebesar 31,84%. *Ki langir* memiliki nilai kelarutan dalam air dingin, kelarutan dalam alkohol-benzena dan kelarutan dalam NaOH tertinggi, masing-masing sebesar 3,34%, 2,75%, dan 22,17%. Kayu Sempur lilin memiliki kelarutan dalam air panas tertinggi sebesar 8,56%. *Ki langir* juga memiliki kadar abu tertinggi sebesar 3,60% dan kayu *sempur lilin* memiliki kadar silika tertinggi sebesar 1,92%. Berdasarkan pemetaan potensi penggunaannya, kayu *cangcaratan* lebih berpotensi sebagai bahan baku pulp dan kayu energi, sedangkan kayu *ki bugang* lebih berpotensi sebagai bahan baku bioetanol.

Kata kunci: Bioetanol, lima jenis kayu, Jawa Barat, pulp, energi, biodiesel

I. PENDAHULUAN

Hutan Indonesia memiliki potensi pohon tropis yang sangat beragam. Salah satu komoditi utama yang dihasilkan dari pohon sebagai komponen utama penyusun hutan adalah kayu. Kayu yang merupakan produk alam memiliki karakteristik tertentu yang dipengaruhi oleh asal kayu tersebut yang melibatkan aspek habitat seperti iklim tempat tumbuh, curah hujan dan kondisi tanah. Meskipun sifat kayu sangat beragam, namun semua jenis kayu memiliki sifat-sifat yang spesifik yang terbentuk dari proses pertumbuhan pohon, seperti pembentukan lingkaran tahun yang menjadi ciri pembentukan kayu awal (*earlywood*) dan kayu akhir (*latewood*) (Hoadley, 2000). Indonesia diperkirakan memiliki 4000 jenis kayu dan hanya sekitar 10% yang dianggap penting karena telah dimanfaatkan. Jenis kayu yang masuk dalam 10% tersebut, sekitar 30% nya merupakan jenis kayu yang kurang dikenal. Jenis kayu kurang dikenal ini tumbuh di sekitar masyarakat dan belum diketahui informasi penggunaan atau potensinya (Muslich et al., 2013).

Penggunaan kayu umumnya disesuaikan dengan sifat kayu itu sendiri seperti sifat fisik-mekanik, sifat keterawetan dan sifat dasar lainnya. Salah satu sifat kayu yang penting dan menentukan karakteristik penggunaannya yaitu sifat kimia. Sifat kimia kayu berupa kadar selulosa dapat menjadi rujukan untuk penggunaan kayu sebagai bahan bioetanol (Sokanandi, Pari, Setiawan, & Saepuloh, 2014). Kayu sebagai salah satu material berlignoselulosa memiliki variasi kandungan komponen kimia yang dapat dikonversi sebagai bioetanol juga dipengaruhi oleh karakteristik musim dan kondisi geografis (Balat, & Oz, 2008). Sifat kimia kayu berupa kadar holoselulosa, lignin, dan kadar pentosan diketahui dapat menjadi rujukan penggunaan kayu sebagai bahan pulp dan kertas (Pasaribu, Sipayung, & Pari, 2006).

Penggunaan kayu sebagai sumber energi juga memperhatikan sifat kimia kayu seperti kandungan lignin dan nilai kalor kayu. Bowyer, Shmulsky dan Haygreen (2007) menyebutkan bahwa sifat kimia kayu berupa kandungan lignin dan selulosa dapat mempengaruhi nilai kalor kayu. Pemanfaatan kayu sebagai sumber energi dalam

bentuk briket arang kayu mensyaratkan nilai kalor minimum briket sebesar 5000 kal/g sesuai dengan SNI 01-6235 (2000).

Sifat kimia kayu memang mempengaruhi penggunaan kayu untuk tujuan tertentu. Dengan melihat besarnya potensi jenis kayu yang kurang dikenal di Indonesia, studi sifat kimia kayu jenis kurang dikenal menjadi hal yang diperlukan. Pemanfaatan jenis kayu kurang dikenal dapat menjadi alternatif untuk menggantikan jenis kayu komersial yang sudah populer, namun keberadaannya terancam berkurang akibat kegiatan penebangan yang tidak diimbangi dengan budidaya jenis tersebut. Oleh karena itu studi ini bertujuan untuk mengetahui komponen kimia 5 (lima) jenis kayu kurang dikenal yang berasal dari Jawa Barat sebagai dasar pemanfaatannya.

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Lima jenis kayu yang digunakan sebagai sampel untuk dianalisa adalah ki bugang (*Arthophyllum diversifolium* Bl.), sempur lilin (*Dillenia obovata* Hoogl.), cangcaratan (*Lithocarpus sundaicus* Bl.), ki pasang (*Prunus javanica* Miq.) dan ki langir (*Othophora spectabilis* Bl). Bahan kimia yang digunakan adalah alkohol, benzena, natrium sulfit, asam sulfat, air suling, asam klorida, natrium hipoklorit, dan kertas saring. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanur, ayakan, mesin giling, kantong plastik, gelas kaca, dan neraca analitik.

B. Bahan dan Metode

Pohon yang ditebang dipilih dalam bentuk lurus, tidak bengkok, tidak cacat dan dalam keadaan sehat. Contoh kayu yang diambil di lapangan adalah pohon yang berdiameter ± 40 cm. Penebangan dilakukan setinggi dada (130 cm di atas permukaan tanah) atau 20 cm di atas banir dengan menggunakan *chain saw*. Untuk melihat variasi sifat kimia yang diteliti maka sampel kayu diambil pada bagian pangkal, tengah dan ujung batang bebas cabang. Sampel pengujian sifat kimia kayu diambil dalam bentuk lempengan dengan ketebalan 10 cm.

Masing-masing jenis kayu digiling dan diayak dengan saringan 40 mesh dan saringan 60 mesh. Hasil saringan di oven pada suhu 100°C dan dihitung kadar airnya. Sampel kemudian dianalisa kandungan kimianya. Analisis selulosa menggunakan standar Norman dan Jenkins (Wise, 1944), lignin klason mengikuti standar SNI 0492 (2008), pentosan menggunakan standar TAPPI T 19m-50 (TAPPI, 1992), kadar abu menurut standar SNI 14-1031 (1989), kadar silika mengacu standar SNI 14-1031 (1989), kelarutan dalam alkohol benzena mengikuti standar SNI 14-1032 (1989), kelarutan dalam air dingin dan panas mengikuti standar SNI 14-1305 (1989), sedangkan kelarutan dalam NaOH 1% mengacu standar SNI 14-1838 (1990).

Perhitungan nilai kalor kayu berdasarkan proses destilasi kering. Untuk pengujian destilasi kering diambil lempengan kayu dari ujung dolok setebal 15 cm, lalu dibelah melalui titik pusatnya menjadi beberapa potong juring. Potongan juring tersebut dibiarkan beberapa waktu atau dikeringkan dalam oven sampai mencapai kadar air sekitar 20%.

C. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif. Untuk mengetahui pemetaan potensi penggunaan kayu, maka hasil analisis komponen

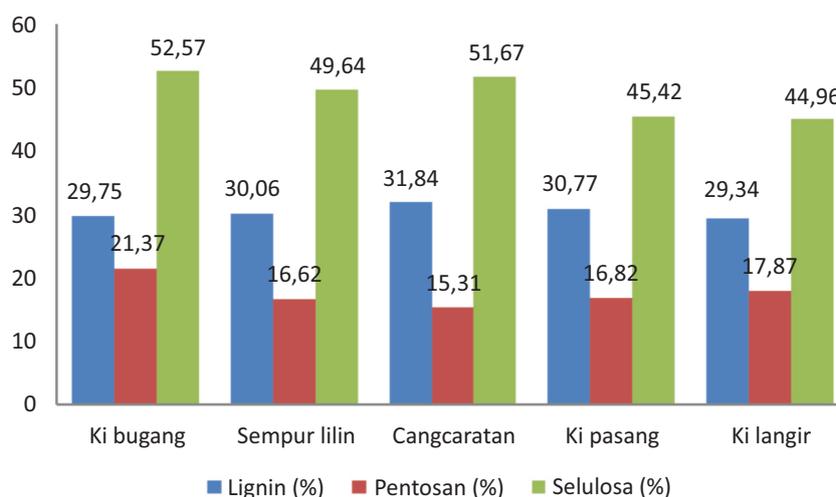
kimia ditabulasi sesuai persyaratan untuk tujuan penggunaan tertentu seperti, untuk pembuatan pulp, untuk bahan bioetanol, dan untuk energi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kadar Lignin, Pentosan, dan Selulosa

Hasil analisis komponen kimia 5 jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat berupa kadar lignin, pentosan dan selulosa ditunjukkan pada Gambar 1. Kelima jenis kayu yang dianalisis memiliki kandungan komponen kimia berupa lignin, pentosan dan selulosa yang berbeda. Dari data tersebut diketahui bahwa kadar lignin berkisar antara 29,34-31,84% sehingga apabila merujuk pada kelas komponen daun lebar kadar ini termasuk ke dalam kelas komponen sedang (Departemen Pertanian, 1976). Kadar lignin terendah terdapat pada kayu ki langir sedangkan kadar lignin tertinggi berada pada kayu cangcaratan.

Lignin juga disinyalir sebagai komponen utama yang menghambat proses hidrolisis lignoselulosa menjadi bioetanol (Sokanandi et al., 2014). Dengan demikian, maka salah satu kriteria bahan baku yang digunakan untuk bioetanol adalah jenis kayu yang memiliki kandungan lignin rendah.



Gambar 1. Persentase kandungan lignin, pentosan dan selulosa lima jenis kayu kurang dikenal
Figure 1. Percentage of lignin, pentosan and cellulose content of five lesser known wood species

Selain akan menghasilkan produk lebih maksimal, rendahnya kadar lignin, juga akan mempersingkat waktu dan tahap produksi bioetanol. Lignin memiliki struktur ikatan aril-alkil dan ikatan eter sehingga dapat melindungi komponen lain yang berada di sekitarnya, sehingga proses hidrolisis terhadap komponen karbohidrat lainnya sulit dilakukan. Lignin itu sendiri adalah material yang paling kuat di dalam biomassa (Usmana, Rianda, & Novia, 2012).

Lignin sangat resisten terhadap degradasi, baik secara biologis, enzimatis, maupun kimiawi. Kandungan karbon yang relatif tinggi pada lignin dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa menyebabkan lignin memiliki kandungan energi yang tinggi (Usmana et al., 2012). Oleh karena itu, untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan lignin di dalam bahan lignoselulosa (delignifikasi), dilakukan perlakuan pendahuluan (*pretreatment*) terlebih dahulu sebelum proses hidrolisis dan fermentasi (Irawati et al., 2012). Tujuan dari perlakuan pendahuluan adalah untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polimer polisakarida menjadi monomer gula, karena kandungan lignin yang cukup tinggi dari bahan lignoselulosa dapat menyebabkan aksesibilitas enzim menjadi berkurang (Mosier et al. dalam Irawati et al., 2009). Proses delignifikasi dalam produksi bioetanol dapat dilakukan secara fisika, kimiawi dan biologis. Hasil penelitian Agustini dan Efiyanti (2015) menunjukkan efektivitas delignifikasi dan hidrolisis limbah kayu sengon dan pelepah daun kelapa sawit untuk produksi etanol secara kimiawi lebih optimal dibandingkan dengan delignifikasi fisika dan biologis.

Kadar pentosan dari kelima jenis kayu berkisar antara 15,31-21,37% dengan nilai terendah pada kayu cangcaratan dan tertinggi pada kayu ki bugang. Kadar pentosan ini berdasarkan klasifikasi kelas komponen termasuk ke dalam kelas komponen sedang untuk kayu ki bugang dan kelas komponen rendah untuk empat jenis kayu lainnya (ki langir, cangcaratan, ki pasang dan sempur lilin). Pentosan merupakan salah satu bahan baku pendukung untuk pembuatan bioetanol yang banyak menyusun hemiselulosa. Kandungan hemiselulosa berkisar 25-35% dari berat kering kayu. Kandungan pentosan menun-

jukkan gula pentosan seperti xylosa dan arabinosa yang menyusun hemiselulosa. Senyawa gula ini dapat dipecah menjadi monomer gula sebagai bahan baku bioetanol (Balat et al., 2008). Semakin besar kandungan pentosan, harapannya bioetanol yang diperoleh akan semakin banyak dikarenakan bahan baku yang tersedia semakin besar.

Kandungan selulosa dari ke lima jenis kayu kurang dikenal ini berkisar antara 44,96-52,57%. Kandungan selulosa tertinggi terdapat pada kayu ki bugang dan yang terendah pada kayu ki langir. Kayu ki langir termasuk ke dalam kelas komponen selulosa sedang karena berkisar 40-45%, sedangkan empat jenis kayu lainnya termasuk ke dalam kelas komponen selulosa tinggi, karena nilainya berada dalam kisaran lebih dari 45% (Departemen Pertanian, 1976). Selulosa merupakan polimer glukosa yang tidak bercabang (Usmana et al., 2012). Pada produksi bioetanol generasi dua, sumber bahan baku utama untuk menghasilkan bioetanol adalah selulosa. Selulosa ketika dihidrolisis akan menghasilkan monomer glukosa yang pada tahap berikutnya difermentasi menjadi bioetanol. Kadar komponen selulosa yang rendah mengindikasikan bahwa terdapat kandungan senyawa lain yang akan menghambat proses hidrolisis karena enzim atau katalis yang digunakan sulit mengakses selulosa menjadi glukosa (Sokanandi et al., 2014).

Biodegradasi selulosa dalam pembuatan bioetanol pada proses hidrolisis enzimatis menggunakan *cellobiohydrolase* I (CBH I) menunjukkan bahwa modul pengikat selulosa (*cellulose binding module*/CBM) pada enzim berfungsi pada dua aktivitas yaitu: 1) untuk mengikat dan meningkatkan konsentrasi efektif CBH I pada permukaan selulosa, dan 2) memutus ikatan hidrogen dan pada akhirnya mengganggu permukaan kristalin pada selulosa (Wang et al., 2008 dalam Fang, Shen, Bao, & Qu, 2010). Dengan demikian, kandungan selulosa yang tinggi diharapkan akan menghasilkan bioetanol yang lebih besar dengan semakin banyaknya selulosa yang terdegradasi baik secara enzimatis maupun kimiawi. Dengan melihat persentase kandungan selulosa dan pentosan di dalam kelima jenis kayu asal Jawa Barat yang diteliti, kayu ki bugang lebih berpotensi sebagai bahan bioetanol dengan kandungan selulosa di atas 50% dan kadar pentosan di atas 20%.

Kandungan lignin, pentosan dan selulosa tidak hanya berpengaruh terhadap tujuan penggunaan kayu sebagai bahan bioetanol. Ketiganya juga dapat berpengaruh bagi tujuan penggunaan sebagai bahan pulp dan kertas. Berdasarkan ulasan sebelumnya, kandungan lignin kelima jenis kayu tergolong dalam kelas komponen sedang yakni berkisar antara 29,34-31,84% (Departemen Pertanian, 1976).

Kandungan lignin yang tinggi akan menyebabkan konsumsi alkali pada proses pulping akan semakin tinggi sehingga nilai bilangan kappa akan semakin meningkat (Casey, 1980). Lignin memiliki ikatan karbon berupa C-C dan ikatan rangkap C=C. Ikatan karbon dengan karbon akan lebih sulit diputus dibandingkan dengan ikatan karbon dengan oksigen (C-O) (Maciulaitis, Jefimovs, & Zdanevicius, 2012). Oleh karena itu kandungan lignin yang tinggi tidak diinginkan jika tujuan penggunaan kayu sebagai bahan pulp dan serat. Perbandingan unit syringil dan guaiacil (*S/G ratio*) dalam struktur lignin *Eucalyptus grandis* diketahui mempengaruhi hasil pulping dengan cara Kraft (Reina, Galetta, Vinciguerra, & Menendez, 2014).

Struktur lignin seperti gugus hidroksil (OH) fenolik diketahui memiliki kemampuan penentu sifat antioksidan. Di samping gugus OH fenolik, unit fenilpropana berupa unit syringil (S) dan guaiacil (G) pada struktur lignin juga mempengaruhi sifat antioksidan lignin (Ponomarenko et al., 2015).

Kadar pentosan memiliki keterkaitan dengan kebutuhan bahan baku serat. Hal ini dikarenakan apabila kadar pentosan tinggi, maka serat akan semakin sulit dibentuk secara mekanis dan kontak serat akan lebih sulit sehingga ketika kandungan

pentosan tinggi maka benang rayon yang dihasilkan akan semakin rapuh (Sjostrom, 1993).

Komponen selulosa tinggi diperlukan dalam pembuatan kertas yang memerlukan tingkat kemurnian selulosa yang baik, seperti halnya kertas Whatman (Pasaribu et al., 2006). Berdasarkan analisis kandungan selulosa pada Gambar 1, kayu ki bugang memiliki potensi yang lebih besar dalam pemanfaatannya sebagai sumber bahan baku serat jika dilihat dari kandungan selulosanya yang mencapai 52,57%. Namun jika dilihat total persentase komponen penghambat pembuatan serat (lignin dan pentosan), maka kayu *sempur lilin* lebih berprospek karena memiliki total persentase komponen penghambat terkecil, yaitu sebesar 46,68% dengan kadar selulosa yang relatif tinggi mencapai 49,64%. Keempat jenis kayu lainnya memiliki persentase penghambat pembuatan serat di atas 47%.

Meskipun komponen kimia seperti kadar lignin, selulosa dan pentosan berpengaruh terhadap pembuatan pulp dan kertas, namun kondisi pengolahan dan morfologi serat bahan berlignoselulosa juga mempengaruhi sifat pembuatan pulp dan kertas dari jenis kayu tertentu (Pasaribu & Silitonga, 1974 dalam Nuriyatin & Sofyan, 2011).

Komposisi lignin dan selulosa juga berpengaruh terhadap nilai kalor arang kayu yang dihasilkan. Haygreen et al. (2003) dalam Cahyono, Coto, dan Febrianto (2008) menyebutkan bahwa nilai kalor lignin sebesar 6100 kkal/g dan selulosa sebesar 4150-4350 kkal/g. Adapun hasil analisis nilai kalor arang dari kelima jenis kayu seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan lignin, selulosa dan nilai kalor arang lima jenis kayu kurang dikenal di Jawa Barat

Table 1. Lignin, cellulose content and calorific value of charcoal made of five lesser known wood species originated from West Java

Nama lokal kayu (Local name of wood)	Kandungan lignin (Lignin content, %)	Kandungan selulosa (Cellulose content, %)	Nilai kalor arang (kal/g) (Calorific value of charcoal, cal/g)
ki bugang (<i>Arthrophyllum diversifolium</i> Bl.)	29,75	52,57	6472
sempur lilin (<i>Dillenia obovata</i> Hoogl.)	30,06	49,64	6333
cangcaratan (<i>Lithocarpus sundaicus</i> Bl.)	31,84	51,67	6500
ki pasang (<i>Prunus javanica</i> Miq.)	30,77	45,42	6476
ki langir (<i>Othophora spectabilis</i> Bl.)	29,34	44,96	6532

Pada Tabel 1 diketahui bahwa nilai kalor arang tertinggi diperoleh dari kayu cangcaratan sebesar 6500 kal/g. Tingginya nilai kalor arang dari kayu ini diperkirakan karena kandungan ligninnya. Kayu cangcaratan diketahui memiliki kandungan lignin paling tinggi di antara kelima jenis kayu yang ada. Dari hasil analisis ini kayu cangcaratan lebih berprospek digunakan sebagai kayu energi dibandingkan keempat jenis kayu lainnya.

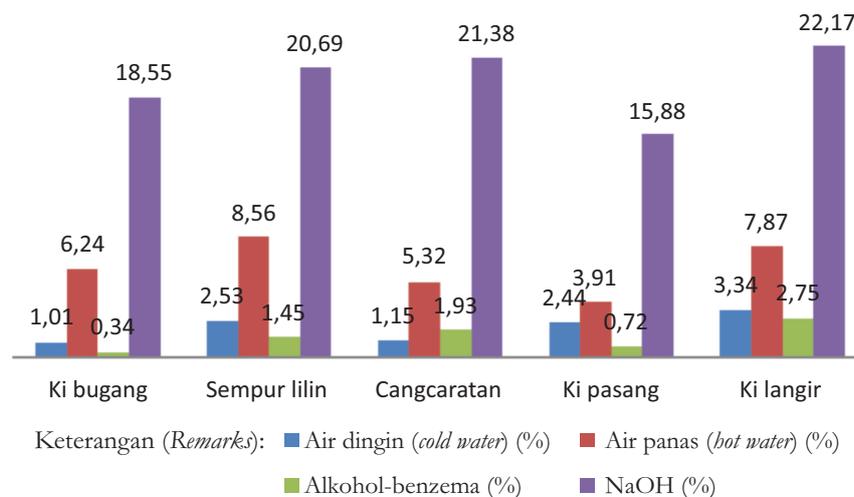
Meskipun kadar lignin paling rendah dimiliki oleh kayu ki langir, namun nilai kalor arang kayu ini masih lebih tinggi dibandingkan dengan kayu ki bugang. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kalor arang tidak hanya dipengaruhi oleh kadar lignin dan selulosa. Braadbart, Huisman, dan Oz (2012) menyebutkan bahwa fraksi organik seperti kadar karbon terikat akan mempengaruhi nilai kalor arang. Kandungan fraksi organik ini sendiri dipengaruhi oleh kadar air dan kadar abu yang nilainya bervariasi dari berbagai jenis arang. Nilai kalor arang dari kelima jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat ini memenuhi SNI 01-6235 (2000) tentang briket arang kayu yang mensyaratkan nilai kalor minimum sebesar 5000 kal/g.

B. Analisis Zat Ekstraktif dalam Sampel Kayu

Hasil analisis zat ekstraktif dari 5 jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat ditampilkan pada Gambar 2. Kelima jenis kayu yang dianalisa

memiliki kadar kelarutan air dingin, air panas, alkohol-benzena, dan NaOH yang bervariasi. Kadar kelarutan dalam air dingin berkisar antara 1,01 - 3,34%, dalam air panas 3,91 - 8,56%, dalam alkohol-benzena 0,34 - 2,75%, dan dalam NaOH 15,88 - 22,17%. Nilai kelarutan ini berkaitan dengan kadar ekstraktif di dalam kayu. Kadar zat ekstraktif dapat berpengaruh terhadap proses pulping dan konversi bahan lignoselulosa menjadi bioetanol.

Kandungan ekstraktif terutama yang lipofilik diketahui sangat tahan terhadap bahan kimia saat *pulping* dan mempengaruhi hasil *pulping* dengan munculnya bercak hitam. Keberadaan ekstraktif yang bersifat lipofilik tersebut mengakibatkan konsumsi bahan kimia yang tinggi pada proses pemutihan (Kilulya, Msegati, Mamba, Ngila, & Bush, 2014). Kadar zat ekstraktif berkaitan dengan proses *pulping* dalam produksi pulp dan kertas, hal ini karena apabila kandungan zat ekstraktif tinggi, maka di dalam proses *pulping* akan cenderung terjadi reaksi dengan larutan pemasak dan juga dapat menurunkan rendemen pulp yang dihasilkan (Pasaribu et al., 2006). Sedangkan kaitan dengan produksi bioetanol adalah bahwa zat ekstraktif akan mengisi rongga dalam sel kayu sehingga menurunkan aksesibilitas dalam proses produksi. Akibatnya, zat ekstraktif dianggap dapat menghambat jalannya proses fermentasi dan menurunkan kinerja mikroorganisme yang terlibat. Dengan begitu, kriteria dalam pemilihan bahan



Gambar 2. Persentase zat ekstraktif lima jenis kayu kurang dikenal
Figure 2. Percentage of extractive content of five lesser known wood species

baku bioetanol salah satunya adalah rendahnya kandungan zat ekstraktif yang terdapat dalam bahan baku tersebut (Soekanandi et al., 2014).

Kelarutan dalam air dingin dan air panas dapat menjelaskan kemudahan ekstraksi senyawa seperti pati, tanin, getah, pektin dan senyawa disakarida (Harkin & Rowe, 1971). Kelarutan dalam air panas dapat merepre-sentasikan kemudahan untuk menghidrolisis hemiselulosa pada kayu. Ekstraksi air panas sering disebut sebagai proses autohidrolisis atau *hydrothermal treatment*. Pada ekstraksi air panas senyawa berberat molekul rendah yang merupakan turunan dari hemiselulosa seperti senyawa oligosakarida atau monosakarida dapat terekstrak (Song, Pranovich, & Holmbom, 2011). Perlakuan awal dengan air panas dan asam encer diketahui sebagai teknik terpilih untuk melarutkan hemiselulosa ampas tebu dan bambu sehingga meningkatkan aksesibilitas enzim pada hidrolisis selulosa. Perlakuan awal dengan air panas menunjukkan total gula pereduksi yang dihasilkan lebih besar pada ekstraksi bahan berlignoselulosa ampas tebu dan bambu (Timung et al., 2015). Ekstraksi menggunakan air sebagai pelarut perlu memperhatikan sifat fisika dan kimia air yang dapat bervariasi pada suhu dan tekanan tertentu. Air pada suhu 100°C (373 K) dan tekanan 0,5 MPa akan memiliki kapasitas panas spesifik sebesar 4,22 J g⁻¹ K⁻¹ (Plaza & Turner, 2015). Achmadi (1990) menyebutkan bahwa tidak ada perbedaan yang tegas antara komponen ekstraktif yang dipisahkan dengan pelarut berbeda. Contohnya tanin yang dapat larut dalam air panas namun juga dapat ditemukan dalam ekstrak alkohol. Komponen utama yang larut air terdiri atas senyawa karbohidrat, protein dan garam-garam anorganik.

Pada kelima jenis kayu yang dianalisis, kayu Sempur lilin memiliki kadar kelarutan dalam air dingin dan air panas yang paling tinggi. Kayu Ki bugang memiliki kadar kelarutan dalam air dingin terendah sedangkan kayu Ki pasang memiliki kelarutan dalam air panas terendah.

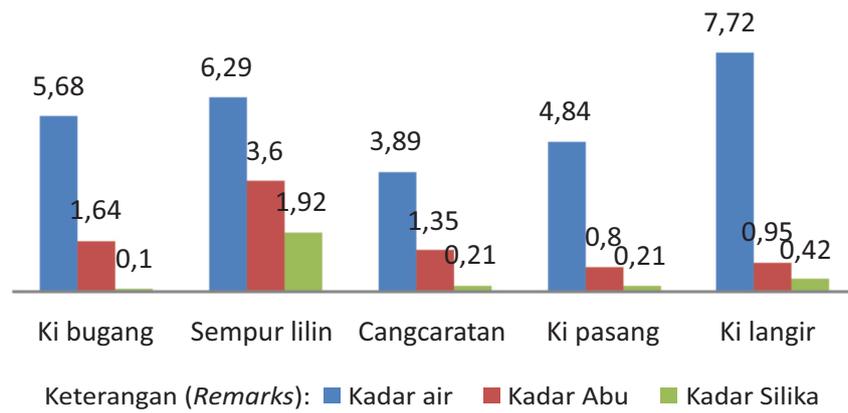
Kelarutan dalam alkohol-benzena menunjukkan kemudahan untuk mengekstrak senyawa semi polar dan non polar. Senyawa seperti polifenol sederhana, glikosida, tanin, mono dan disakarida diketahui dapat diekstrak menggunakan alkohol (Harkin & Rowe, 1971).

Senyawa polifenol dan sakarida sangat penting bagi industri biorefineri. Senyawa polifenol diketahui memiliki sifat antioksidan yang dapat digunakan dalam industri farmasi dan kosmetik (Dhianawaty & Ruslin, 2015). Senyawa sakarida dari bahan berlignoselulosa dapat difermentasi dan digunakan untuk bahan baku pembuatan bioetanol (Sokanandi et al., 2014). Dari kelima jenis kayu yang dianalisis, diketahui bahwa kayu ki langir memiliki kelarutan alkohol-benzena tertinggi sedangkan ki pasang memiliki kadar kelarutan alkohol-benzena terendah.

Kelarutan dalam NaOH juga menunjukkan kemudahan selulosa untuk diakses pada proses *pulping*, karena struktur kimia selulosa yang kaku (rigid) dan memiliki ikatan inter dan intra hidrogen yang kuat. Kamide, Okajima, Matsui, dan Kowsaka (1984) serta Isogai dan Atalla (1998) dalam Zhang, Xue-li, Yong Yu, dan Lo Hsieh (2010) menyebutkan bahwa struktur mikro-kristalin selulosa diketahui memiliki kelarutan yang sangat terbatas pada NaOH. Selanjutnya Zhang et al. (2010) mempelajari kelarutan selulosa pada pelarut NaOH kompleks yang terdiri dari NaOH/urea/thiourea/air dan hasilnya pelarut NaOH kompleks ini menunjukkan kinerja yang paling baik dalam melarutkan selulosa dan tidak mendegradasi selulosa setelah waktu penyimpanan lebih dari 1 bulan. Studi lain menyebutkan bahwa larutan NaOH 7% (b/b) dan urea 12% (b/b) merupakan pelarut yang baik untuk selulosa (Cai et al., 2005 dalam Qi, Liebert, Meister, & Heinze, 2009). Kelarutan dalam pelarut alkali (*aqueuse*) menunjukkan kemudahan dalam ekstraksi senyawa phlobapene, asam fenolik, fragmen suberin, hemiselulosa dan lignin (Harkin & Rowe, 1971). Pada studi kali ini, kayu ki langir diketahui memiliki kadar kelarutan NaOH paling tinggi yaitu sebesar 22,17%. Kayu ki langir lebih berprospek sebagai bahan pulp dibandingkan keempat jenis kayu lainnya jika dilihat dari nilai kelarutan NaOHnya.

C. Kadar Air, Kadar Abu, dan Kadar Silika

Analisis komponen kimia yang juga penting meliputi kadar air, kadar abu dan kadar silika. Hasil analisis terhadap kelima jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat disajikan pada Gambar 3. Kadar air berkisar antara 3,89 - 7,72% dengan



Gambar 3. Persentase kadar air, kadar abu, dan kadar silika lima jenis kayu kurang dikenal
Figure 3. Percentage of water, ash and silica content of five lesser known wood species

kadar air terendah terdapat pada kayu cangcaratan dan kadar air tertinggi pada kayu ki langir. Kadar air kayu sangat mempengaruhi karakteristik kayu dalam bidang teknologi kayu, fisika kayu dan kimia kayu karena sifat kayu yang higroskopis (Achmadi, 1990). Kayu akan selalu mencari kesetimbangan dengan kelembapan disekitarnya. Oleh karena itu, kadar air kayu sangat dipengaruhi oleh temperatur dan kelembapan relatif. Kadar air kayu dapat berbeda antara satu lapisan dengan lapisan lainnya sehingga dikenal dengan istilah gradien kadar air (*moisture gradient*) yang dapat menyebabkan kembang susut kayu dan mempengaruhi sifat fisik dan mekanik kayu (Glass & Zelinka, 2010).

Perubahan kadar air menyebabkan terjadinya kembang susut kayu sehingga dalam penggunaannya dimensi kayu tidak stabil. Kayu cenderung akan mengembang lebih banyak pada arah tangensial. Kadar air juga mempengaruhi proses impregnasi dengan pengawet. Keberadaan air bebas yang mengisi rongga sel dan dinding lumina menyebabkan penetrasi pengawet ke dalam sel kayu menjadi terhambat. Oleh karena itu kadar air sangat diperhatikan dalam modifikasi kayu secara kimia maupun dengan panas (Hill, 2006).

Kayu yang digunakan untuk kondisi kering pada struktur tertutup mensyaratkan kadar air maksimal sebesar 19% (SNI 7973, 2013). Kelima jenis kayu asal Jawa Barat ini memiliki kadar air di bawah 10%, sehingga jika merujuk pada SNI 7973 (2013) tentang spesifikasi desain untuk

konstruksi kayu, kelima jenis kayu memenuhi syarat kondisi kering. Namun demikian, untuk persyaratan kayu konstruksi perlu diketahui juga sifat kekuatannya.

Kadar abu kelima jenis kayu berkisar antara 0,8-3,6% dengan kadar abu terendah pada kayu ki pasang dan kadar abu tertinggi pada kayu sempur lilin. Kadar abu mencirikan kandungan bahan anorganik yang terdapat di dalam kayu. Achmadi (1990) menyebutkan bahwa kadar abu bervariasi sesuai tempat tumbuhnya. Kadar abu kayu tropis akan lebih tinggi dibandingkan kayu yang ada di iklim sedang. Kadar abu juga dapat berbeda antara kayu dari bagian cabang dengan kayu bagian batang serta kulit kayu (Arryati, 2006). Kadar abu akan mempengaruhi kadar karbon terikat yang ada di dalam kayu dan dapat mengurangi proporsi fraksi organik di dalam kayu (Pari, Setiawan, & Mahyudin, 1996). Pada proses pembuatan biofuel dari biomassa atau bahan berlignoselulosa, kadar abu penting untuk diperhatikan karena kandungan material anorganik di dalam kayu akan menjadi inhibitor enzim dalam menghidrolisis substrat menjadi glukosa (Timung et al., 2015). Kadar abu yang tinggi juga tidak diinginkan untuk bahan baku serat (pulp). Kayu dengan kadar abu tinggi akan meninggalkan kandungan abu yang tinggi juga pada produk pulp (Roliadi, Dulsalam, & Anggraini, 2010). Smoker dan Kocurek (1992) dalam Roliadi et al. (2010) menyebutkan bahwa abu atau mineral dapat bereaksi dengan fraksi karbohidrat kayu pada gugus fungsionalnya (OH, CO dan OR). Komposisi abu (fraksi anorganik)

pada kayu juga akan mempengaruhi kinetik gasifikasi kayu. Komposisi abu berupa logam alkali (sodium, kalsium) dan besi akan meningkatkan laju gasifikasi, sedangkan komposisi abu berupa silika, alumina, dan fosfat cenderung mengurangi laju gasifikasi (Umeki et al., 2012 dalam Reschmeier & Karl, 2016). Pada studi kali ini kadar abu kayu tertinggi ada pada kayu sempur lilin sebesar 3,6% dan kadar abu terendah ada pada kayu ki pasang sebesar 0,8%. Dengan demikian dapat diduga bahwa fraksi anorganik pada kayu sempur lilin lebih tinggi dibandingkan keempat jenis kayu lainnya.

Analisis komponen kimia lainnya yang juga penting adalah kadar silika. Kadar silika yang dihitung pada kelima jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat pada studi kali ini berkisar antara 0,10 - 1,92%. Kadar silika tertinggi ada pada kayu sempur lilin dan kadar silika terendah ada pada kayu ki bugang. Kadar silika akan mengakibatkan proses penumpukan peralatan logam pada proses pengerjaan kayu (Bowyer et al., 2007). Silika berperan pada proses pematuan kayu (fosil kayu). Silika akan mengisi dinding sel dan ruang antar sel yang berdekatan pada saat selulosa (kayu) terdegradasi dan menyisakan ruang untuk proses presipitasi silika. Keseimbangan antara presipitasi silika ke dalam sel kayu dan degradasi kimia dan biologis menyebabkan kayu akan menjadi keras dan membatu (Saminpanya & Sutherland, 2013).

Kadar silika pada kayu dapat mempengaruhi kualitas kertas, semakin tinggi kadar silika maka kualitas kertas yang dihasilkan semakin menurun. Kayu yang akan dijadikan sumber bahan baku kertas, sebaiknya dipilih kayu dengan silika yang rendah. Kadar silika yang terdapat pada kayu dapat menghambat proses produksi bioetanol terutama pada poses hidrolisis, sehingga kadar silika tinggi pada kayu tidak diharapkan untuk proses bioetanol (Soekanandi et al., 2014; Pasaribu et al., 2006).

Dari kelima jenis kayu kurang dikenal yang dianalisis, kayu sempur lilin memiliki kadar silika tertinggi sebesar 1,9%. Kayu ki bugang memiliki kadar silika terendah sebesar 0,1%. Dengan melihat kadar silika ini, perlu diperhatikan penggunaan jenis kayu ini pada saat pengerjaan kayu dan pemanfaatannya untuk tujuan tertentu.

D. Pemetaan Potensi Penggunaan Kayu

Untuk lebih memudahkan penentuan penggunaan jenis kayu kurang dikenal berdasarkan hasil analisis komponen kimia, maka potensi penggunaan kayu perlu dipetakan. Pemetaan ini disesuaikan dengan hasil rekapitulasi analisis komponen kimia. Hasil rekapitulasi dibuat peringkat sesuai aspek karakteristik yang diminta untuk tujuan pembuatan pulp, bahan bioteanol, dan kayu energi (arang). Dua peringkat terbaik ditandai dengan ceklis pada tabel pemetaan. Hasil pemetaan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Pemetaan potensi penggunaan kayu*
Table 2. Mapping the potential utilization of wood

Karakteristik Pemanfaatan (Utilization characteristics)	Jenis Kayu (Wood species)				
	Ki bugang (<i>Arthophyllum diversifolium</i> Bl.)	Sempur lilin (<i>Dillenia obovata</i> Hoogl.)	Cangcaratan (<i>Litbocarpus sundaicus</i> Bl.)	Ki pasang (<i>Prunus javanica</i> Miq.)	Ki langir (<i>Othophora spectabilis</i> Bl.)
Pembuatan pulp (<i>Pulp production</i>)					
Selulosa tinggi, pentosan & lignin rendah (<i>High cellulose, low pentosan & lignin</i>)	X	√	√	X	X
Ekstraktif rendah (<i>Low extractive</i>)	√	X	X	√	X
Kelarutan NaOH tinggi (<i>High solubility of NaOH</i>)	X	X	√	X	√
Kadar air, abu, & silika rendah (<i>Low water, content ash, & silica content</i>)	X	X	√	√	X
Bahan bioetanol (<i>Bioethanol raw material</i>)					
Selulosa & pentosan tinggi, lignin rendah (<i>High cellulose, pentosan & low lignin</i>)	√	√	X	X	X
Ekstraktif rendah (<i>Low extractive</i>)	√	X	X	√	X
Kadar air, abu, & silika rendah (<i>Low water, ash & silica content</i>)	X	X	√	√	X
Kayu energi (arang) (<i>Wood for energy</i>)					
Lignin & selulosa tinggi (<i>High lignin & cellulose</i>)	√	X	√	X	X
Nilai kalor tinggi (min 6500 kal/g) (<i>High calor value</i>)	X	X	√	X	√
Kadar air, abu, & silika rendah (<i>Low water, ash & silica content</i>)	X	X	√	√	X

Keterangan (*Remarks*):

*Hasil pengolahan data analisis komponen kimia (*The result from data analysis of chemical analysis*)

(√) menunjukkan dua peringkat terbaik hasil pengolahan data (*Represent two of the best rank of data analysis*)

(X) menunjukkan tidak masuk dua peringkat terbaik hasil pengolahan data (*Represent not included in two of the best rank of data*)

IV. KESIMPULAN

Hasil analisis komponen kimia lima jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat menunjukkan bahwa kadar selulosa berkisar antara 45,42 - 52,57%, kadar pentosan 15,31 - 21,37%, kandungan lignin 29,34 - 31,84%, kelarutan dalam air dingin 1,01 - 3,34%, kelarutan air panas 3,91- 8,56%, kelarutan alkohol benzena 0,34 - 2,75%, kelarutan dalam NaOH 1% 15,88 - 22,17%, kadar abu 0,80 - 3,60%, dan kadar silika 0,10 - 1,92%.

Berdasarkan pemetaan potensi penggunaannya, kayu cangcaratan lebih berpotensi sebagai bahan pembuatan pulp dan kayu energi. Untuk bahan pembuatan bioetanol, dengan mengutamakan kandungan selulosa dan pentosan yang tinggi serta kadar ekstraktif rendah, maka kayu ki bugang lebih berpotensi dibandingkan keempat jenis kayu lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S.S. (1990). *Kimia kayu*. Bogor: Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat IPB.
- Agustini, L. & Efiyanti, L. (2015). Pengaruh perlakuan delignifikasi terhadap hidrolisis selulosa dan produksi etanol dari limbah berlignoselulosa. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33 (1), 69-80.
- Arryati, H. (2006). Analisis kimia kayu batang, cabang dan kulit kayu jenis kayu Leda (*Eucalyptus deglupta* Blume). *Jurnal Hutan Tropis Borneo*, 18, 81-84.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2008). *Cara uji kadar lignin pulp dan kayu (Metode klason)*. (SNI 0492-2008). Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2013). *Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu*. (SNI 7973-2013). Badan Standardisasi Nasional.
- Balat, M., Balat, H. & Oz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 551-573.
- Braadbart, F., Huisman, D.J.H., & van Os, B. (2012). Fuel, fire and heat: An experimental approach to highlight the potential of studying ash and char remains from archeological contexts. *Journal of Archeological Science*, 39(4), 836-847.
- Bowyer, J.L., Shmulsky, R. & Haygreen, J.G. (2007). *Forest products and wood science : An introduction* (5th Edition).
- Casey, J. P. (1980). *Pulp and paper chemistry and chemical technology*. (3rd edition, Vol. I). A New York: Willey-Interscience Publisher Inc.
- Cahyono, T.D., Coto, Z. & Febrianto, F. (2008). Analisis nilai kalor dan kelayakan ekonomis kayu sebagai bahan bakar substitusi batu bara di pabrik semen. *Forum Pascasarjana*, 31(2), 105-116.
- Departemen Pertanian. (1976). *Vademecum Kehutanan Indonesia*. Balai Penyelidikan Kehutanan, Jakarta
- Dhianawaty, D. & Ruslin. (2015). Kandungan total polifenol dan aktivitas antioksidan dari ekstrak metanol akar *Imperata cylindrica* (L) Beauv. (Alang-alang). *Majalah Kedokteran Bandung*, 47(1), 60-64, doi: 10.1539-5/mkb.v47ni.398.
- Fang, X., Shen, Y., Zhao, J., Bao, X., & Qu, Y. (2010). Review: Status and prospect of lignocellulosic bioethanol production in China. *Bioresource Technology*, 101, 4814-4819.
- Glass, S.V., & Zelinka, S.L. (2010). Moisture relations and physical properties of wood. Dalam Roos, R.J. (Eds), *Wood handbook: Wood as engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190* (pp 1-1 - 20-13). Madison, Wisconsin : USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Harkin, J.M. & Rowe, J.W. (1971). Bark and its possible uses. *Research Note 091*. Wisconsin: *Forest Products Laboratory* USDA, 2-21.
- Hill, C.A.S. (2006). Wood modification: Chemical, thermal and other processes. Dalam C.V. Stevens, (Eds), *Wiley Series in Renewable Resources*. West Sussex, England : John Wiley & Sons, Ltd.
- Hoadlay, R.B. (2000). *Understanding wood a craftsman's guide to wood technology*. Newtown, USA: The Taunton Press.
- Irawati, D., Mardika, P.A. & Marsoem, S.N. (2009). Produksi bioetanol dari limbah serbuk kayu meranti merah (*Shorea* spp.) dengan pra-perlakuan menggunakan Ca(OH). *Prosiding Seminar Nasional MAPEKI XII E-03*. Bandung, 23-25 Juli.
- Irawati, D., Sutapa, J.P.G., Firmansyah, R.B., Permana Arief M., Wijanarko, F., & Marsoem, S.N. (2012). Peningkatan produksi etanol secara enzimatik dua jenis limbah serbuk kayu dengan pretreatment kalsium hidroksida. *Prosiding Seminar Nasional Mapeki XV*. Makassar 6-7 November.
- Kilulya, K.F., Msagati, T.A.M., Mamba, B.B., Ngila, J.C. & Bush, T. (2014). Effect of site,

- species and tree size on the quantitative variation of lipophilic extractives in Eucalyptus woods used for pulping in South Africa. *Industrial Crops and Products*, 56, 166-174.
- Maciulaitis, R., Jefimovas, A. & Zdanevicius, P. (2012). Research on natural wood combustion and charring processes. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(5), 631-641.
- Muslich, M, Rulliaty, S., Hadjib, N., Suprapti, S., Basri, E., Iskandar, M.I., Pari, G., Djarwanto, Abdurachman & Anggraini, D. (2013). Sifat dasar dan kegunaan kayu Jawa. *Laporan Hasil Penelitian 2013*. Bogor : Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.
- Nuriyatin, N., & Sofyan, K. (2011). Kemungkinan pemanfaatan beberapa jenis bambu tertentu, berdasarkan pola penyusunan berkas pembuluh, sebagai bahan baku pulp dan kertas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(4), 287-300.
- Pasaribu, G., Sipayung, B. & Pari, G. (2007) Analisis komponen kimia empat jenis kayu asal Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 25(4), 327-333.
- Pari, G., Setiawan D., & Mahpudin. (1996). Hasil destilasi kering 10 jenis kayu dari Nusa Tenggara Barat. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 14(8), 12-18.
- Plaza, M., & Turner, C. (2015). Pressurized hot water extraction of bioactives. *Trends in Analytical Chemistry*. doi:10.1016/j.trac.2015.02.022.
- Ponomarenko, J., Dizhbite, T., Lauberts, M., Volperts, A., Dobele, G., Telysheva, G., & (2015). Analytical pyrolysis- A tool for revealing of lignin structure-antioxidant activity relationship. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, doi: 10.1016/j.jaap.2015.02.0
- Qi, H., Liebert, T., Meister, F., & Heinze, T. (2009). Homogenous carboxymethylation of cellulose in the NaOH/urea aqueous solution. *Reactive & Functional Polymers*, 69, 779-784
- Reina, L., Galetta, A., Vinciguerra, V., Resquin, F. & Ménendez, P. (2014). The relationship between *Eucalyptus grandis* lignin structure and kraft pulping parameters. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107, 284-288.
- Reschmeier, R. & Karl, J. (2016). Experimental study of wood char gasification kinetics in fluidized beds. *Biomass and Bioenergy*, 85, 288-299.
- Roliadi, H., Dulsalam, & Anggraini, D. (2010). Penentuan daur teknis optimal dan faktor eksploitasi kayu hutan tanaman jenis Eucalyptus hybrid sebagai bahan baku pulp kertas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28(4), 332-357.
- Saminpanya, S., & Sutherland, F.L. (2013). Silica phase-transformations during diagenesis within petrified woods found in fluvial deposits from Thailand–Myanmar. *Sedimentary Geology*, 290, 15-26.
- Sjostrom E. (1993). *Kimia kayu, dasar-dasar dan penggunaannya*. (edisi kedua). H. Sastrohamidjojo, penerjemah. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. Terjemahan dari: *Wood chemistry, basics and its uses*.
- Sokanandi, A., Pari, G., Setiawan, D. & Saepuloh. (2014). Komponen kimia sepuluh jenis kayu kurang dikenal: Kemungkinan penggunaan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(3), 209-220.
- Song, T., Pranovich, A., & Holmbom, B. (2011). Effects of pH control with phthalate buffers on hot-water extraction of hemicelluloses from spruce wood. *Bioresource Technology*, 102, 10518-10523.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989a). *Cara uji kadar abu, silika dan silikat dalam kayu dan pulp kayu*. (SNI 14-1031-1989). Dewan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989b). *Cara uji kadar sari (Ekstrak alkohol benzena) dalam kayu dan pulp*. (SNI 14-1032- 1989). Dewan Standardisasi Nasional.
- (1989c). *Cara uji kadar kelarutan kayu dalam air dingin dan air panas*. (SNI 14-1305-1989). Dewan Standardisasi Nasional.

- (1990). *Cara uji kadar kelarutan kayu dan pulp dalam larutan natrium hidroksida satu persen*. (SNI 14-1838-1989). Dewan Standardisasi Nasional.
- Timung, R., Mohan, M., Chilukoti, B., Sasmal, S., Banerjee, T., & Goud, V.V. (2015). Optimization of dilute acid and hot water pretreatment of different lignocellulosic biomass: A comparative study. *Biomass and Bioenergy*, 81, 9-18.
- Usmana, A.S., Rianda, S. & Novia. (2012). Pengaruh volume dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol (Bahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan pretreatment alkali). *Jurnal Teknik Kimia*, 18(2), 17-25.
- Wise. L.E. (1944). *Wood chemistry*. New York: Reinhold Publisher Corporation.
- Zhang, S., Xue-li, F., yong Yu, J., & Lo Hsieh, Y. (2010). Dissolution behaviour and solubility of cellulose in NaOH complex solution. *Carbohydrate Polymers*, 81, 668-674.