

SIFAT KIMIA DAN KUALITAS ARANG LIMA JENIS KAYU ASAL KALIMANTAN BARAT *(Chemical Properties and Charcoal Quality of Five Wood Species from West Kalimantan)*

Lisna Efiyanti, Suci Aprianty Wati, Dadang Setiawan, Saepulloh, & Gustan Pari

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

Diterima 30 September 2019, direvisi 18 Desember 2019, disetujui 5 Maret 2020

ABSTRACT

Various wood producing tree species grows in large forest area of Indonesia. Wood could be used for various products such as furniture, crafts, building constructions and other products like charcoals. Utilization of products is also generally associated with physical, chemical, anatomy and mechanics characteristic of wood. This research aims to determine chemical and extractive composition of five lesser-known wood species from West Kalimantan, namely kumpang, bengkulung, sawang, kempili and ubar wood, and their influences on charcoal properties produced from corresponding wood types. The chemical and extractive components of the five wood types were analyzed according to the Indonesian National Standard (SNI) method. Each wood species was heated into charcoal through pyrolysis method with a temperature of 500°C for 4 hours. Results show that the cellulose, pentosan, lignin of these five wood species are 51.53–61.16%; 13.93–17.67%; and 26.55–38.46% respectively. The solubility in cold water, hot water, NaOH 1% and alcohol-benzene are ranged from 0.632–2.640%; 3.28–8.41%; 10.41–19.01%; and 3.38–4.3% respectively. Water, ash and silica contents from these woods are respectively ranged from 7.97–9.97%; 0.32–2.14%; and 0.21–0.68%. The charcoal products were obtained from five wood types generally have fulfilled the Indonesian National Standard (SNI) requirements with the value of water, ash, volatile matter and carbon contents are ranged from 0.01–0.69%; 0.59–5.40; 13.95–26.15%; and 73.05–84% respectively. The best quality of charcoal was obtained from kumpang wood charcoal.

Keywords: Charcoal, characterization, wood chemistry, kumpang, lignin

ABSTRAK

Indonesia memiliki hutan yang cukup luas dengan jenis pohon penghasil kayu yang sangat beragam. Kayu dapat dimanfaatkan untuk berbagai produk seperti furnitur, kerajinan, konstruksi bangunan serta produk lain seperti arang. Pemanfaatan kayu juga pada umumnya berhubungan dengan sifat fisik, kimia, anatomi maupun mekanik kayu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia dan ekstraktif lima jenis kayu kurang dikenal asal Kalimantan Barat, yaitu kayu kumpang, bengkulung, sawang, kempili, dan ubar serta pengaruhnya terhadap sifat arang yang terbuat dari jenis-jenis kayu tersebut. Lima jenis kayu tersebut dianalisa komponen kimia serta zat ekstraktif sesuai metode SNI. Kemudian tiap jenis kayu diproses menjadi arang dengan metode pirolisis pada suhu 500°C selama 5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar selulosa, pentosan, dan lignin kelima jenis kayu tersebut masing-masing berkisar antara 51,53–61,16%; 13,93–17,67%; dan 26,55–38,46%. Kadar kelarutan dalam air dingin, air panas, NaOH 1% dan alkohol-benzena masing-masing berkisar antara 0,632–2,640%; 3,28–8,41%; 10,41–19,01%; dan 3,38–4,3%. Adapun untuk kadar air, kadar abu dan kadar silika kelima jenis kayu masing-masing berkisar 7,97–9,97%; 0,32–2,14; dan 0,21–0,68%.

Produk arang yang terbentuk dari kelima jenis kayu tersebut telah memenuhi standar persyaratan SNI dengan nilai kadar air, abu, zat terbang, dan karbon terikat masing-masing berkisar antara 0,01–0,69%; 0,59–5,40; 13,95–26,15%; dan 73,05–84%. Produk arang yang memiliki kualitas terbaik berasal dari kayu kumpang.

Kata kunci: Arang, karakterisasi, kimia kayu, kumpang, lignin

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kawasan hutan yang cukup luas, yakni sekitar 120 juta ha (Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan, 2019) sehingga menghasilkan potensi kayu yang cukup banyak dan beragam jenisnya. Kayu memiliki berbagai macam sifat dan karakteristik, salah satunya adalah komponen kimia kayu. Komponen kimia kayu memiliki pengaruh terhadap pemanfaatan kayu tersebut agar lebih tepat guna. Seperti diketahui bahwa kayu dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, diantaranya untuk kerajinan, furnitur, konstruksi bangunan serta produk turunan kayu lain seperti pulp serta arang untuk kepentingan energi, adsorben maupun aplikasi lainnya.

Kayu merupakan material yang terdiri dari selulosa, lignin, hemiselulosa dan zat ekstraktif yang masing-masing memiliki fungsi di dalam tanaman, diantaranya selulosa memberi kekuatan terhadap dinding sel, lignin mendukung serat selulosa dan memberi efek hidrofobik serta menahan serangan patogen sedangkan zat ekstraktif dapat memberi pertahanan fisik kayu (Stackpole, Vaillancourt, Alves, Rodrigues, & Potts, 2011). Setiap komponen kimia yang terkandung pada kayu memiliki pengaruh dalam mendukung tanaman kayu serta produk kayu yang dihasilkan.

Kayu dapat diubah menjadi arang melalui pirolisis pada suhu 400–500°C tanpa keberadaan atau sedikit oksigen, sehingga menghasilkan material berpori dengan kandungan karbon yang tinggi dan fraksi uap yang dapat terkondensasi (Papari & Hawboldt, 2015). Arang dapat diperoleh dari material organik lain seperti limbah biomassa (Christiana, Olusegun, & Kazeem, 2014), akan tetapi kayu merupakan bahan baku yang paling umum digunakan di berbagai negara (Adamu, Sabo, Chinade, & Lame, 2018). Arang hasil karbonisasi kayu terdiri dari atom karbon, heteroatom dan bahan mineral karena dihasilkan

dari kayu yang memiliki struktur polimer yang mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa dan material organik atau anorganik (Pastor-Villegas, Pastor-Valle, Rodríguez, & García, 2006).

Arang kayu telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk medis, pertanian, lingkungan, energi (Kongprasert, Wangphanich, & Jutitarptavorn, 2019) dan sebagai bahan pengisi kayu komposit sehingga mampu menurunkan tingkat emisi formaldehida (Kumar, Gupta, Sharma, Nasir, & Khan, 2013). Kegunaan lain dari material arang yaitu sebagai pelindung elektromagnetik, penjernih air, pengawet makanan, farmasi, bahkan menjadi kapasitor yang memiliki kapasitas besar, energi, dan penyimpanan gas (Zhang, Li, & Zheng, 2012).

Indonesia selama ini merupakan negara pengekspor arang terbesar di dunia, dengan total ekspor senilai US\$157 juta dari total ekspor dunia sebanyak US\$990 juta dengan negara tujuan ekspor terbanyak adalah Korea Selatan, Jepang, Arab Saudi, dan China (Indonesian Trade Promotion Center, 2016). Tingginya ekspor arang ini membuktikan bahwa Indonesia memiliki potensi yang besar dalam produksi dan pemasaran arang, didukung dengan sumber daya yang bisa menjadi bahan baku arang, terutama dari sektor kehutanan. Banyaknya aplikasi, kebutuhan serta penambahan devisa dari arang kayu mendorong ketertarikan terhadap pengembangan produk arang untuk memenuhi permintaan kebutuhan, sehingga perlu diketahui sifat dan karakteristik arang dari berbagai jenis bahan yang berpotensi sebagai bahan baku arang tersebut.

Beberapa penelitian telah banyak menganalisa komponen kimia kayu seperti jenis *Eucalyptus pellita* F. Muell (Fatimah, Susanto, & Lukmandaru, 2015), komponen kimia kayu yang dihubungkan dengan sifat akustik kayu (Karlinsari, Nawawi, & Widayani, 2010), komponen fisik kayu dan arang kayu *Eucalyptus* spp. (Andrade, Filho, &

Moutinho, 2018), produksi arang dari 6 jenis kayu yang berbeda yaitu *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus robur*, *Populus alba*, dan *Picea sitchensis* (Shi, Chrusciel, & Zoulalian, 2007), kualitas arang kayu gelam (Alpian, Prayitno, Sutapa, & Budiadi, 2011), kualitas arang 6 jenis kayu asal Jawa Barat (Hastuti, Pari, Setiawan, Mahpudin, & Saepuloh, 2015) dan penelitian mengenai produksi arang kayu yang berkelanjutan di Zambia untuk mengetahui prospek produksi arang di negara tersebut (Chidumayo, 2019).

Kualitas dan produksi arang dari kayu dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya sifat kimia, fisik, mekanik, dan anatomi kayu (Pereira et al., 2013), sehingga diperlukan informasi produksi dan sifat arang yang dihubungkan dengan salah satu atau semua faktor penentu kualitas produk arang dari kayu. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai komponen kimia dan ekstraktif dari 5 jenis kayu kurang dikenal asal Kalimantan Barat yaitu kayu kumpang, bengkulung, sawang, kempili, dan ubar dan kualitas produk arang berbahan baku kelima jenis kayu asal Kalimantan Barat tersebut. Selama ini, pemanfaatan kayu pada umumnya menggunakan kayu dari jenis-jenis yang sudah dikenal luas, namun seiring berjalannya peningkatan kebutuhan kayu, maka diperlukan informasi mengenai karakteristik kayu dan produk dari kayu kurang dikenal agar dapat membantu pemenuhan kebutuhan kayu di Indonesia. Komponen kimia, ekstraktif kayu dan karakterisasi arang juga dievaluasi berdasarkan parameter dan analisa yang sesuai dengan persyaratan Standar Nasional Indonesia.

II. BAHAN DAN METODE

A. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah lima jenis kayu kurang dikenal asal Kalimantan Barat, yaitu kayu kumpang (*Albizia* sp.), bengkulung (*Xanthophyllum excelsum* Miq.), sawang (*Santiria* sp.), kempili (*Lithocarpus enyckii* Korth.), dan ubar (*Syzygium* sp.). Bahan kimia yang digunakan adalah natrium sulfat (Merck-Jerman), asam asetat (Merck-Jerman), asam sulfat (Merck-Jerman), natrium hidroksida (Merck-Jerman), alkohol (Merck-Jerman), benzena

(Smart Lab. Indonesia), natrium hipoklorit, asam klorida (Merck-Jerman). Adapun peralatan yang digunakan seperti reaktor pirolisis, alat pencacah, neraca analitik, ayakan, desikator, *crucible* tang, gelas piala, gelas ukur, pipet ukur, kantong plastik, dan peralatan gelas lainnya.

B. Metode Penelitian

1. Preparasi dan analisa komponen kimia kayu dari lima jenis kayu asal Kalimantan Barat

Kelima jenis kayu diambil dari campuran bagian atas, tengah dan bawah batang, kemudian ukuran sampel kayu tersebut diseragamkan dengan pencacahan dan digiling serta diayak lolos pada saringan 40 mesh. Hasil penyaringan sampel kayu kemudian digunakan untuk bahan baku analisa kandungan komponen kimia kayu (selulosa, lignin, dan pentosan), kadar abu, kadar silika, kadar air, kelarutan dalam air panas, kelarutan dalam air dingin, kelarutan dalam NaOH 1% serta kelarutan dalam alkohol benzena dengan analisis dua kali ulangan. Beberapa standar yang diikuti dalam proses analisa kimia kayu adalah sebagai berikut: selulosa mengikuti standar Norman dan Jenkins (Wise, 1944), lignin mengikuti standar SNI 0492-2008, pentosan (SNI 01-1561-1989), kadar abu (SNI 14-1031-1989), kadar silika (SNI 14-1031-1989), kadar air (SNI 01-1682-1996), kelarutan dalam air panas dan dingin (SNI 14-1305-1989), kelarutan dalam NaOH 1% (SNI 14-1838-1990), dan kelarutan dalam alkohol-benzena (SNI 14-1032-1989).

2. Pembuatan dan analisis kualitas arang dari lima jenis kayu asal Kalimantan Barat

Produk arang diperoleh dari proses pirolisis yang berkapasitas $\pm 1,5$ kg pada suhu 500°C selama 4 jam, kemudian arang yang dihasilkan dihitung dan diuji menggunakan metode SNI diantaranya rendemen, kadar air (SNI 01-1683-1989), kadar abu (SNI 01-1683-1989), kadar zat terbang (SNI 01-1683-1989) serta kadar karbon terikat (SNI 01-1683-1989), sedangkan produk cair hasil pirolisis berupa asap cair dihitung volumenya. Setelah semua data didapatkan, maka dilakukan analisis deskriptif berdasarkan data yang dikaitkan dengan SNI maupun referensi terkait.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

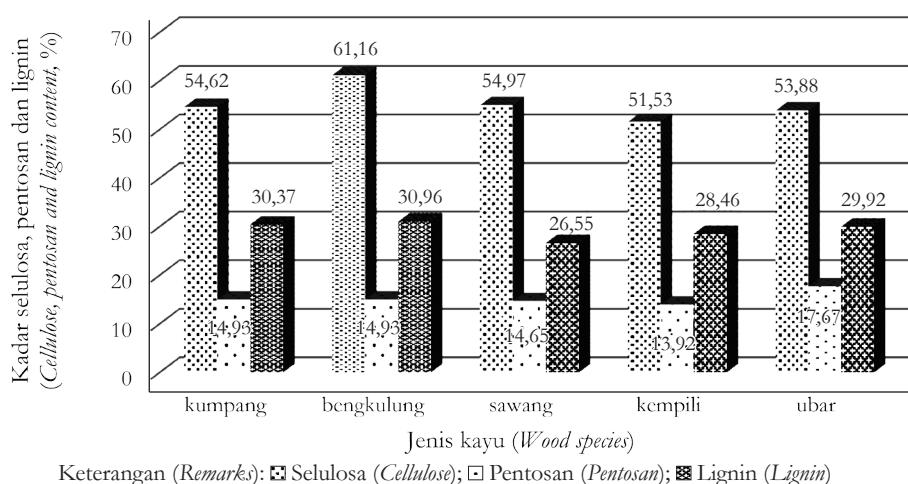
A. Hasil Analisa Komponen Kimia dari Lima Jenis Kayu Asal Kalimantan Barat

Analisa komponen selulosa, pentosan, dan lignin dari kelima jenis kayu yang dianalisis, disajikan dalam Gambar 1. Dari Gambar 1, dapat dilihat bahwa kadar ketiga komponen kimia penyusun kelima jenis kayu yang dianalisis bernilai berbeda. Kadar selulosa berkisar antara 51,53–61,16% dengan kadar terendah dimiliki oleh kayu kempili dan kadar tertinggi dimiliki oleh kayu bengkulung, pentosan berkisar antara 13,92–17,67 dengan kadar pentosan terendah dimiliki oleh kayu kempili dan kadar pentosan tertinggi dimiliki oleh kayu ubar, sedangkan untuk kadar lignin berkisar antara 26,55–30,96% dengan kadar lignin terendah ada pada kayu sawang dan kadar lignin tertinggi tercatat pada kayu bengkulung. Apabila dibandingkan dengan penelitian Sokaandi, Pari, Setiawan, dan Saepuloh (2014) dengan kadar selulosa 10 jenis kayu sebesar 42,03–54,95%, pentosan 15,36–17,15%, dan lignin 22,66–35,20%, maka kelima jenis kayu asal Kalimantan Barat memiliki kadar selulosa lebih tinggi dengan pentosan dan lignin yang cenderung lebih rendah.

Kadar selulosa berhubungan dengan waktu pembentukan kayu, semakin muda kayu itu terbentuk, maka diduga kandungan selulosa

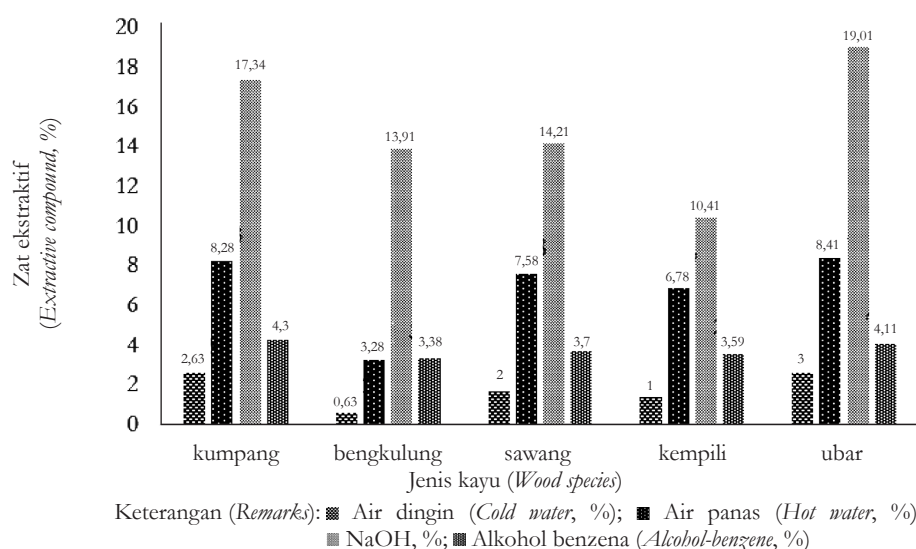
semakin rendah dikarenakan lebih banyak terbentuk gula non-selulosa dengan berat molekul rendah (Yunanta, Lukmandaru, & Fernandes, 2014). Komponen lignin memiliki struktur aril-alkil dan ikatan eter, sehingga komponen ini menjadi komponen yang paling kuat dalam lignoselulosa (Usmana, Rianda, & Novia, 2012). Adapun pentosan merupakan komponen penyusun hemiselulosa diantaranya xylosa dan arabinosa (Hastuti, Efiyanti, Pari, Saepuloh, & Setiawan, 2017).

Degradasi kayu hasil studi termogravimetri terjadipada beberapa tahapan, yaitu air terdegradasi pada suhu sekitar 100°C, kemudian hemiselulosa terdegradasi pada suhu sekitar 300°C, selulosa pada suhu 350°C sedangkan lignin terdegradasi bertahap pada suhu sekitar 250–500°C sehingga semua komponen pembentuk kayu memberikan kontribusi terhadap pembentukan produk pirolisis (Poletto, Zattera, Forte, & Santana, 2012). Hemiselulosa terdegradasi pada awal pirolisis karena strukturnya yang amorf dan mudah terhidrolisis diikuti selulosa dengan memiliki rantai polimer yang panjang dengan adanya ikatan hidrogen sehingga struktur selulosa lebih teratur dan membentuk daerah kristalin. Lignin terdegradasi di akhir pirolisis dikarenakan lignin merupakan komponen kimia yang sangat kuat dengan tingkat aromatik dan disusun dari unit fenil propena bercabang (Darmawan, Syafii, Wistara,



Gambar 1. Komponen selulosa, pentosan dan lignin lima jenis kayu kurang dikenal asal Kalimantan Barat

Figure 1. Cellulose, pentosan and lignin of five lesser known wood species from West Kalimantan



Gambar 2. Komponen ekstraktif 5 jenis kayu asal Kalimantan Barat
Figure 2. Extractive component of five wood species from West Kalimantan

Maddu, & Pari, 2015) dengan kandungan karbon yang cukup tinggi. Dari pernyataan tersebut, dapat menjadi bahan pertimbangan bahwa untuk membuat arang dengan hasil yang baik (kadar karbon terikat tinggi dengan zat mudah menguap yang rendah), diharapkan bahan baku memiliki selulosa yang rendah karena selulosa cenderung membentuk produk lain baik yang terkondensasi atau tidak (Pereira et al., 2013), sehingga kualitas dan rendemen arang dipengaruhi oleh komposisi kimia kayu yang digunakan.

Zat ekstraktif merupakan senyawa dalam kayu dengan jenis beragam sehingga diperlukan berbagai jenis pelarut dengan tingkat kepolaran yang berbeda untuk mengisolasi zat ekstraktif tersebut. Semakin besar kadar ekstraktif yang terlarut dalam pelarut polar, maka senyawa yang banyak terlarut bersifat polar dan hidrofilik, sehingga mudah berikatan dengan air, begitupun sebaliknya, sehingga kadar zat ekstraktif yang tinggi pada pelarut polar akan menambah sifat higroskopis dari kayu dan kadar air kayu akan meningkat melalui mekanisme fisika dan kimia dengan pengisian rongga kayu dan pengikatan air pada kayu (Nawawi, Wicaksono, & Rahayu, 2013). Adapun beberapa contoh senyawa yang larut dalam pelarut organik diantaranya adalah resin, lemak, lilin, dan tanin (Astuti, Yahya, & Sundaryono, 2018). Senyawa polar pada rongga sel tanaman dapat diekstraksi dengan menggunakan air panas (Fatimah et al., 2015), sedangkan untuk

melarutkan komponen gula rantai pendek dari hemiselulosa digunakan senyawa NaOH 1% (Yunanta et al., 2014). Secara umum tingkat kelarutan komponen senyawa dalam kayu tersebut lebih rendah terutama pada kelarutan NaOH dibandingkan penelitian Zhang et al., (2012), yang mendapatkan komposisi *Miscanthus floridulus* yaitu 14,97% untuk kelarutan air panas, 56,28% dalam NaOH, dan 6,22% dalam pelarut organik, sedangkan *M. sinensis* 6,07% untuk kelarutan air panas, 51,43% dalam NaOH, dan 2,85% dalam pelarut organik.

Kadar ekstraktif kayu merupakan kumpulan senyawa organik yang terkandung dalam kayu dan dapat mempengaruhi kualitas arang, baik pengaruh positif maupun negatif bergantung dari komposisi kimia dan rasio C/H dalam senyawa organik tersebut (Santos et al., 2011). Pada umumnya, dari hasil penelitian, kadar zat ekstraktif yang tinggi akan menghasilkan kualitas arang yang lebih baik, karena akan menghasilkan zat mudah menguap yang rendah, hal ini sesuai dengan penelitian Iskandar dan Rofiatin (2017), yang menyatakan bahwa kadar ekstraktif berpengaruh positif terhadap kualitas arang, terutama nilai kalor.

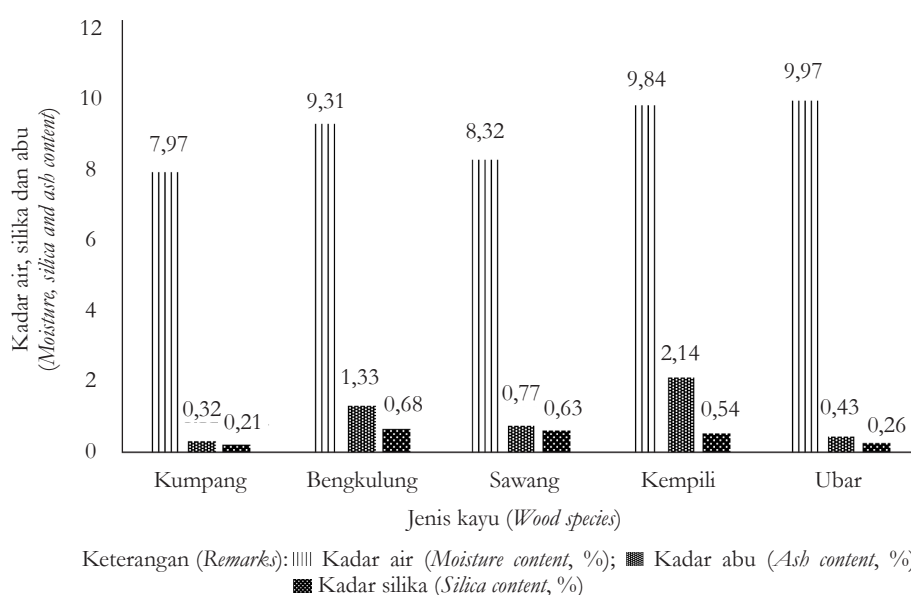
Dari Gambar 3 dapat dilihat nilai dari masing-masing kandungan silika, abu dan kadar air dari kelima jenis kayu yang dianalisis. Kadar silika berkisar antara 0,21–0,68% dengan silika terendah dimiliki oleh kayu kumpang sedangkan yang

tertinggi dimiliki oleh kayu bengkulung. Kadar abu yang terhitung berkisar antara 0,32–2,14% (kadar tertinggi pada kayu kempili dan terendah pada kayu kumpang), sedangkan kadar air kelima jenis kayu berkisar antara 7,97–9,97% dengan kadar air terendah dimiliki oleh kayu kumpang dan kadar air tertinggi dimiliki oleh kayu ubar. Hasil ini sedikit berbeda dengan penelitian Zhang et al. (2012) yang mendapatkan kadar abu *M. floridulus* dan *M. sinensis* masing-masing sebesar 3,61 dan 4,21%, sedangkan kandungan abu dari *Quercus faginea* terhitung masing-masing sebesar 23–25% dan 0,4–1% (Miranda, Sousa, Ferreira, & Pereira, 2017).

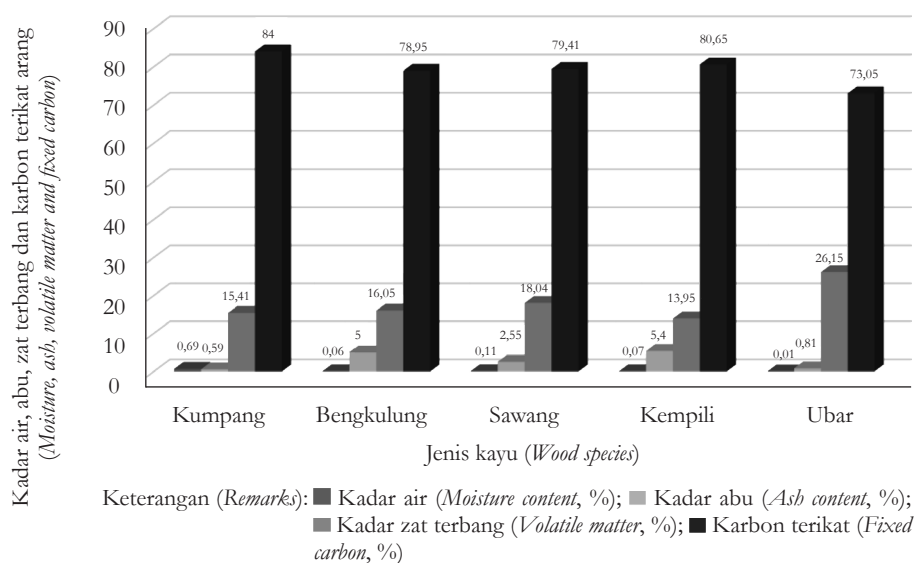
Kadar abu berhubungan dengan bahan anorganik yang terkandung dalam kayu (Mandre, 2006) dan dipengaruhi oleh kondisi tanah karena tanaman diduga dapat menyerap bahan anorganik dari tanah tempat tumbuh tanaman tersebut. Pada umumnya keberadaan komponen anorganik pada kayu disinyalir dapat mengganggu produksi arang karena komponen tersebut sulit terdegradasi pada proses pirolisis. Begitupun juga dengan kadar air, dapat menurunkan fraksi organik, sehingga karbon terikat pada produk arang akan menurun (Alpian et al., 2011). Kadar silika pada kayu diharapkan rendah, karena tingginya kadar silika dalam kayu menyebabkan cepat tumpulnya alat kerja dalam proses pengerjaan kayu (Pasaribu, Sipayung, & Pari, 2007).

B. Hasil Analisa Kualitas Arang dari Lima Jenis Kayu Asal Kalimantan Barat

Hasil analisa kualitas arang dari tiap-tiap jenis kayu meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang dan karbon terikat sesuai dengan metode SNI disajikan pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan data analisis proksimat produk arang dari lima jenis kayu yang dipirolisis selama 4 jam pada suhu 500°C. Kadar air kelima sampel arang berkisar antara 0,01–0,69% dengan kadar air terendah dimiliki oleh arang kayu ubar dan kadar air tertinggi ada pada kayu kumpang, nilai ini masih termasuk memenuhi persyaratan SNI 01-1683 (1989). Untuk kadar abu kelima jenis produk arang berkisar antara 0,59–5,40% (kadar abu terendah diperoleh dari arang kayu kumpang sedangkan yang tertinggi dari kayu kempili) sehingga kadar abu arang kempili dan bengkulung tidak memenuhi SNI 01-1683 (1989) yang mensyaratkan kadar abu <4%. Adapun untuk kadar zat terbang dan kadar karbon terikat masing-masing berkisar antara 13,95–26,15% dan 73,05–84% dengan kadar zat terbang terendah dimiliki oleh arang kayu kempili dan kadar karbon terikat tertinggi dimiliki oleh arang kayu kumpang. Nilai kadar zat terbang dan karbon terikat memenuhi SNI 01-1683 (1989) yang mensyaratkan kadar zat terbang <30%.



Gambar 3. Kadar silika, abu dan air dari 5 jenis kayu kurang dikenal asal Kalimantan Barat
Figure 3. Silica, ash and moisture content of five lesser known wood species from West Kalimantan



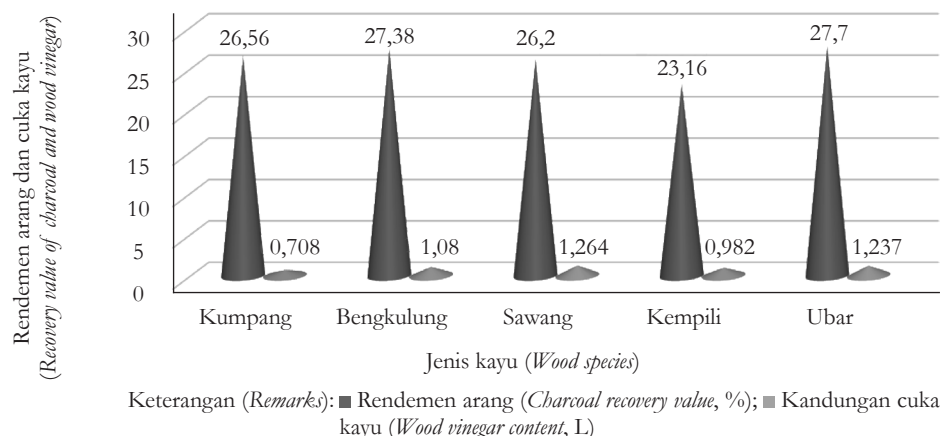
Gambar 4. Analisis proksimat produk arang dari 5 jenis kayu asal Kalimantan Barat
Figure 4. Proximate analysis charcoal product of five lesser known wood species from West Kalimantan

Dari kelima jenis arang kayu, kualitas terbaik adalah arang kayu yang berasal dari pirolisis kayu kumpang karena memiliki karbon terikat paling tinggi serta kadar abu dan kadar zat terbang yang rendah. Hal ini dimungkinkan terjadi karena kayu kumpang memiliki kandungan lignin yang cukup tinggi (30%) dengan selulosa yang cukup rendah dibanding kayu lain (54%), serta kayu kumpang juga memiliki kadar abu, silika, dan kadar air yang paling rendah diantara kelima jenis kayu yang dianalisis. Hasil analisis proksimat arang kayu kumpang juga lebih baik jika dibandingkan dengan hasil penelitian Pereira et al. (2013) pada kayu *Eucalyptus* sp. (memiliki kadar lignin 28–30%, selulosa 46–48% dan abu 0,2–0,3%) yang menghasilkan kadar karbon terikat arang sebesar 72–75%, zat terbang 24–26%, dan abu 0,3–0,6%, walaupun rendemennya lebih tinggi yaitu 34–35%.

Kadar air dan kadar abu yang tinggi dalam kayu dapat menyebabkan penurunan fraksi organik dari kayu, sehingga produk arang yang dihasilkan akan memiliki kadar karbon terikat yang lebih rendah dan arang yang memiliki karbon terikat tinggi dapat dimanfaatkan untuk substitusi batu bara (Hastuti et al., 2015), Produk arang dengan kualitas rendah dengan kadar karbon terikat sekitar 60% dan zat terbang 30–35% dapat digunakan untuk penggunaan energi rumah tangga (Alpian et al., 2011).

Keberadaan air dalam produk arang dinilai mempengaruhi sifat dari produk arang tersebut, akan tetapi jika kadar air <18% maka sifat fisiko kimia arang tidak akan terpengaruh oleh kadar air karena tidak mengandung air bebas (Adamu et al., 2018). Kadar air juga dipengaruhi oleh proses pengeringan dan kadar air tersebut mempengaruhi nilai kalor dan berat arang yang dihasilkan, sehingga arang dengan kadar air rendah lebih diinginkan untuk sifat pemanasan yang lebih tinggi (Kongprasert et al., 2019). Kandungan abu dalam material arang berkaitan dengan kandungan senyawa anorganik seperti kalsium dari biomassa sumber bahan baku arang tersebut. Arang kayu yang memiliki kadar abu tinggi cenderung lebih banyak mengkonsumsi bahan bakar untuk pemasakan, hal ini dikarenakan abu adalah komponen yang tidak mudah terbakar, sehingga arang dengan kadar abu rendah akan lebih baik dari segi nilai pembakaran dibanding arang dengan kadar abu yang tinggi. Kadar abu juga diharapkan seminimal mungkin pada arang karena akan mengganggu peralatan dari arang tersebut.

Zat terbang pada arang berkaitan dengan proses kecepatan pengapian dan pembakaran. Dengan tingginya kandungan zat terbang, maka proses pengapian akan lebih cepat dengan nilai bahan bakar yang tinggi sehingga bersifat lebih reaktif untuk laju pembakaran. Akan tetapi, ketika zat terbang terlalu tinggi, maka produktivitas



Gambar 5. Rendemen arang dan perolehan asap cair dari 5 jenis kayu asal Kalimantan Barat

Figure 5. Recovery value of charcoal product and liquid smoke from five wood species of West Kalimantan

arang kayu akan menurun karena degradasi termal yang tinggi akan mempercepat hilangnya masa arang ketika proses pembakaran, sehingga apabila menginginkan proses pembakaran yang tidak terlalu cepat namun bersifat lebih bersih, maka akan lebih baik jika kandungan zat terbang arang bernilai kecil (Maes & Verbist, 2012). Kadar zat terbang arang juga dipengaruhi oleh kadar selulosa, lignin dan ekstraktif dari kayu, dengan tingginya selulosa dan ekstraktif maka kadar zat terbang akan cenderung bernilai tinggi dan karbon terikat akan semakin rendah dan tingginya kadar lignin maka zat terbang akan cenderung bernilai rendah, sedangkan karbon terikat bernilai tinggi (Pereira et al., 2013), sehingga perlu dilihat tujuan pemanfaatan arang itu sendiri, seperti contoh apabila ingin digunakan sebagai alat pembakaran maka zat terbang tinggi lebih disukai akan tetapi jika digunakan untuk pemurnian bahan kimia atau produksi logam maka diperlukan arang dengan kadar zat terbang yang rendah (Christiana et al., 2014).

Kadar karbon terikat menunjukkan kandungan karbon pada arang yang terbentuk, sehingga semakin tinggi kadar karbon terikat pada arang, maka diduga kualitas arang tersebut semakin baik. Arang untuk memproduksi besi sebaiknya memiliki kadar karbon terikat >75% dengan kadar abu serendah mungkin dikarenakan kandungan ini berhubungan dengan konsumsi karbon (Nisgoski, Magalhães, Batista, França, & Muñoz, 2014) dan dapat menyebabkan penambahan pengotor pada besi. Arang kayu

dengan kandungan karbon terikat yang rendah cenderung memperpanjang waktu memasak dengan pelepasan panas yang rendah, sehingga kandungan karbon yang tinggi merupakan faktor utama yang menentukan energi kalor (FAO, 1995).

C. Data Rendemen Arang dan Cuka Kayu Hasil Pirolisis Lima Jenis Kayu Asal Kalimantan Barat

Proses pirolisis kayu menghasilkan produk yang berupa arang dan cuka kayu. Hasil rendemen arang dan cuka kayu dari lima jenis kayu asal Kalimantan Barat disajikan pada Gambar 5. Oyedun, Lam, dan Hui (2012) menyatakan bahwa rendemen merupakan salah satu indikator untuk melihat efisiensi dari proses produksi arang. Rendemen arang juga berhubungan dengan komposisi prekursor, laju pemanasan, dan suhu akhir, sehingga pada penelitiannya ditemukan bahwa rendemen karbon dari 2 spesies *Miscanthus* menurun dengan peningkatan suhu karbonisasi (Zhang et al., 2012), sehingga kandungan lignin bukan satu-satunya indikator dari rendemen arang yang dihasilkan, melainkan karakter lain dari prekursor seperti berat jenis kayu (Dufourny et al., 2019). Dari sini, dapat dipahami bahwa hasil rendemen kelima jenis kayu kurang dikenal asal Kalimantan Barat bervariasi, baik rendemen arang maupun hasil asap cair yang diperoleh dan tidak hanya bergantung pada salah satu komponen atau komposisi kimianya.

Apabila kualitas arang kelima jenis kayu dibandingkan dengan penelitian Silva, Fortes, dan Sette Junior (2018) yang memperoleh nilai karbon terikat arang sebesar 72,43%, dengan kadar abu terendah berkisar 0,62%, zat terbang bernilai 26,95% serta rendemen arang bernilai 30–31%, serta hasil penelitian Pastor-Villegas et al. (2006) dengan karbon terikat sebesar 89,93%, zat terbang 8,01% dan kadar abu 2,06%, maka hasil analisa produk arang keseluruhan pada penelitian ini sudah cukup baik dan juga memenuhi persyaratan dari SNI. Adapun beberapa parameter hasil berbeda karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi karakter hasil produk arang, diantaranya jenis kayu, komponen kayu, anatomi kayu, kandungan elemen bahan baku, kristalinitas, rasio S/G serta proses karbonisasi/pirolisis dari kayu tersebut, sehingga perlu dianalisis lebih lanjut agar dapat diketahui pengaruh keseluruhan faktor tersebut terhadap kualitas produk arang yang dihasilkan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Labbé, Harper, Rials, dan Elder (2006) yang mengemukakan bahwa karakteristik dari arang kayu tidak hanya bergantung pada jenis kayu saja, namun juga dari temperatur karbonisasi dan kondisi lainnya.

Pemanfaatan dan aplikasi arang seperti telah disebutkan sebelumnya tidak hanya digunakan untuk energi saja, namun juga dapat digunakan sebagai biofilter toluen (Singh, Singh, Rai, & Upadhyay, 2010), biofilter *xylene* (Singh et al., 2017), media tanam dan pupuk yang memberi efek positif pada pertumbuhan tanaman (Carrari et al., 2018), *adherent* bakteri pada proses teknologi biometanasi (Sánchez-Sánchez, González-González, Cuadros-Salcedo, Gómez-Serrano, & Cuadros-Blázquez, 2019) agen pereduksi yang baik dibanding arang yang berasal dari fosil (Dufourny et al., 2019), serta dapat diaktivasi pada berbagai macam kondisi menjadi produk arang aktif untuk aplikasi yang lebih spesifik seperti katalis (Rusanen et al., 2019); Palomo, Rodríguez-Mirasol, & Cordero, 2019; Wang et al., 2019), adsorben (Yang, Zhang, Xu, & Zhao, 2019; Nejadshafiee & Islami, 2019), dan super kapasitor (Denshchikov et al., 2010).

Proses pirolisis juga menghasilkan produk samping yang berupa cuka kayu hasil kondensasi ketika selulosa, hemiselulosa, dan lignin

terdekomposisi, cuka kayu tersebut juga dapat digunakan untuk aplikasi pertanian mencegah serangan serangga, bakteri, jamur (Sangsuk, Suebsiri, & Puakhom, 2018), anti dermatitis (Lee et al., 2011), dan disinfektan *E. coli* (Liu et al., 2018).

Berdasarkan uraian diatas, diantara kelima jenis kayu asal Kalimantan Barat, maka kayu bengkulung kurang berpotensi sebagai bahan baku arang namun disinyalir dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku sumber selulosa karena memiliki kadar selulosa yang tinggi dan lignin yang rendah sehingga memiliki kadar abu dan zat terbang yang tidak sesuai standar, sedangkan kayu kumpang lebih berpotensi menghasilkan arang dengan kualitas dan rendemen yang lebih baik. Dengan diperolehnya informasi karakterisasi kimia kayu dan produk arang dari berbagai jenis bahan baku kayu, terutama kayu kurang dikenal akan menambah wawasan dan diversifikasi produk kayu tersebut.

IV. KESIMPULAN

Karakteristik lima jenis kayu kumpang, bengkulung, sawang, kempili, dan ubar asal Kalimantan Barat memiliki komponen kimia selulosa, pentosan dan lignin masing-masing berkisar antara 51,53–61,16%; 13,93–17,67% dan 26,55–38,46%. Kadar kelarutan dalam air dingin, air panas, NaOH 1% dan alkohol-benzen berkisar antara 0,632–2,640%; 3,28–8,41%; 10,41–19,01% dan 3,38–4,3% serta kadar air, kadar abu, dan kadar silika berkisar 7,97–9,97%; 0,32–2,14; dan 0,21–0,68%. Produk arang kelima jenis kayu tersebut secara umum memenuhi standar persyaratan SNI dengan nilai kadar air, abu, zat terbang dan karbon terikat masing-masing berkisar antara 0,01–0,69%; 0,59–5,40; 13,95–26,15% dan 73,05–84%. Kualitas arang terbaik dihasilkan dari pirolisis kayu kumpang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, atas pendanaan penelitian ini, tim peneliti dan Teknisi Laboratorium Kimia Terpadu yang telah membantu penelitian ini sehingga dapat terselenggara dengan baik.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain dan rancangan percobaan dilakukan oleh GP dan LE sebagai kontributor utama, pengambilan dan analisis data dilakukan oleh SAW, DS, SA, GP dan LE. Penulisan manuskrip dilakukan oleh LE dan GP. Perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh LE dan GP.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamu, H., Sabo, A., Chinade, A. A., & Lame, A. F. (2018). Exploration of influence of chemical composition on combustion and fuel characteristics of wood-charcoals commonly used in Bauchi State, Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(3), 1508–1519.
- Alpian, Prayitno, T. A., Sutapa, G. J., & Budiadi. (2011). Kualitas arang kayu gelam (*Melaleuca cajuputi*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 9(2), 141–152.
- Andrade, F. W. C., Filho, M. T., & Moutinho, V. H. P. (2018). Influence of wood physical properties on charcoal from *Eucalyptus* spp. *Floresta e Ambiente*, 25(3), 1–8. doi: 10.1590/2179-8087.017615.
- Astuti, S., Yahya, R., & Sundaryono, A. (2018). Analisis kadar komponen kimia pelepah sawit varietas dura sebagai bahan baku pulp yang diterapkan pada pembelajaran kimia. *PENDIPA Journal of Science Education*, 2(1), 69–75. doi: 10.33369/pendipa.2.1.69-75.
- Carrari, E., Ampoorter, E., Bussotti, F., Coppi, A., Garcia Nogales, A., Pollastrini, M., ... Selvi, F. (2018). Effects of charcoal hearth soil on forest regeneration: Evidence from a two-year experiment on tree seedlings. *Forest Ecology and Management*, 427(April), 37–44. doi: 10.1016/j.foreco.2018.05.038.
- Chidumayo, E. N. (2019). Is charcoal production in Brachystegia-Julbernardia woodlands of Zambia sustainable? *Biomass and Bioenergy*, 125(December 2018), 1–7. doi: 10.1016/j.biombioe.2019.04.010.
- Christiana. O, I., Olusegun, A. S., & Kazeem, A... (2014). Evaluation of combustion characteristic of charcoal from different tropical wood species. *International Organization of Scientific Research Journal of Engineering*, 4(4), 57–64. doi: 10.9790/3021-04465764.
- Darmawan, S., Syafii, W., Wistara, N. J., Maddu, A., & Pari, G. (2015). Kajian struktur arang-pirolisis, arang-hidro dan karbon aktif dari kayu *Acacia mangium* Willd. menggunakan difraksi Sinar-X. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 33(2), 81–92.
- Denshchikov, K. K., Izmaylova, M. Y., Zhuk, A. Z., Vygodskii, Y. S., Novikov, V. T., & Gerasimov, A. F. (2010). 1-Methyl-3-butylimidazolium tetrafluoroborate with activated carbon for electrochemical double layer supercapacitors. *Electrochimica Acta*, 55(25), 7506–7510. doi: 10.1016/j.electacta.2010.03.065.
- Dufourny, A., Van De Steene, L., Humbert, G., Guibal, D., Martin, L., & Blin, J. (2019). Influence of pyrolysis conditions and the nature of the wood on the quality of charcoal as a reducing agent. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 137, 1–13. doi: 10.1016/j.jaap.2018.10.013.
- Fatimah, S., Susanto, M., & Lukmandaru, G. (2015). Studi komponen kimia kayu *Eucalyptus pellita* F. Muell dari pohon plus hasil uji keturunan generasi kedua di Wonogiri, Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Kebutanan*, 7(1), 57–69. doi: 10.22146/jik.6138.
- Hastuti, N., Efianti, L., Pari, G., Saepuloh, S., & Setiawan, D. (2017). Komponen kimia dan potensi penggunaan lima jenis kayu kurang dikenal asal Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(1), 15–27. doi: 10.20886/jphh.2017.35.1.15-27.
- Hastuti, N., Pari, G., Setiawan, D., Mahpudin, & Saepuloh. (2015). Kualitas arang enam jenis kayu asal Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), 337–346.

- Iskandar, T., & Rofiatin, U. (2017). Karakteristik biochar berdasarkan jenis biomassa dan parameter proses pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 28–34.
- Indonesian Trade Promotion Center Osaka. (2016). Market brief: Wood charcoal HS 4402: 1-38. Diakses dari <http://itpc.or.jp/wp-content/uploads/2016/09/Market-Brief-ITPC-Osaka-2016-Charcoal-HS-4402.pdf>, diakses pada 9 Maret 2020.
- Karlinasari, L., Nawawi, D., & Widyani, M. (2010). Study of anatomic and mechanical properties of wood relation with acoustical properties. *Bionatura-Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati dan Fisik*, 12(3), 110–116.
- Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan. (2019). *Statistik lingkungan hidup dan kehutanan tahun 2018*. Sekretariat Jenderal Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- Kongprasert, N., Wangphanich, P., & Jutilarptavorn, A. (2019). Charcoal briquettes from madan wood waste as an alternative energy in Thailand. *Procedia Manufacturing*, 30, 128–135. doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.019.
- Kumar, A., Gupta, A., Sharma, K. V., Nasir, M., & Khan, T. A. (2013). Influence of activated charcoal as filler on the properties of wood composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 46, 34–39. doi: 10.1016/j.ijadhadh.2013.05.017.
- Labbé, N., Harper, D., Rials, T., & Elder, T. (2006). Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(10), 3492–3497. doi: 10.1021/jf053062n.
- Lee, C. S., Yi, E. H., Kim, H. R., Huh, S. R., Sung, S. H., Chung, M. H., & Ye, S. K. (2011). Anti-dermatitis effects of oak wood vinegar on the DNCB-induced contact hypersensitivity via STAT3 suppression. *Journal of Ethnopharmacology*, 135(3), 747–753. doi: 10.1016/j.jep.2011.04.009.
- Liu, L., Guo, X., Wang, S., Li, L., Zeng, Y., & Liu, G. (2018). Effects of wood vinegar on properties and mechanism of heavy metal competitive adsorption on secondary fermentation based composts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150(35), 270–279. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.12.037.
- Maes, W. H., & Verbist, B. (2012). Increasing the sustainability of household cooking in developing countries: Policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4204–4221. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.031.
- Mandre, M. (2006). Influence of wood ash on soil chemical composition and biochemical parameters of young Scots pine. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Biology, Ecology*, 55(2), 91–107.
- Miranda, I., Sousa, V., Ferreira, J., & Pereira, H. (2017). Chemical characterization and extractives composition of heartwood and sapwood from *Quercus faginea*. *PLoS ONE*, 12(6), 1–14. doi: 10.1371/journal.pone.0179268.
- Nawawi, D. S., Wicaksono, S. H., & Rahayu, I. S. (2013). Kadar zat ekstraktif dan susut kayu nangka (*Artocarpus heterophyllus*) dan mangium (*Acacia mangium*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 11(1), 46–54.
- Nejadshafiee, V., & Islami, M. R. (2019). Adsorption capacity of heavy metal ions using sultone-modified magnetic activated carbon as a bio-adsorbent. *Materials Science and Engineering C*, 101, 42–52. doi: 10.1016/j.msec.2019.03.081.
- Nisgoski, S., Magalhães, W.L.E., Batista, F.R.R., França, R.F., & Muñoz, G.I.B. de. (2014). Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. *Acta Amazonica*, 44(3), 367–372. doi.org: 10.1590/1809-4392201304572.
- Oyedun, A. O., Lam, K. L., & Hui, C. W. (2012). Charcoal production via multistage pyrolysis. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 455–460. doi: 10.1016/S1004-9541(11)60206-1.

- Palomo, J., Rodríguez-Mirasol, J., & Cordero, T. (2019). Methanol dehydration to dimethyl ether on Zr-loaded P-containing mesoporous activated carbon catalysts. *Materials*, 12(13), 1-12. doi.org/10.3390/ma12132204.
- Papari, S., & Hawboldt, K. (2015). A review on the pyrolysis of woody biomass to bio-oil : Focus on kinetic models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1580–1595. doi: 10.1016/j.rser. 2015.07.191.
- Pasaribu, G., Sipayung, B., & Pari, G. (2007). Analisis komponen kimia empat jenis kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 25(4), 327–333.
- Pastor-Villegas, J., Pastor-Valle, J. F., Rodríguez, J. M. M., & García, M. G. (2006). Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 76(1–2), 103–108. doi: 10. 1016/j.jaap.2005.08.002.
- Pereira, B. L. C., Carneiro, A. D. C. O., Carvalho, A. M. M. L., Colodette, J. L., Oliveira, A. C., & Fontes, M. P. F. (2013). influence of chemical composition of eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. *BioResources*, 8(3), 4574–4592. doi: 10.15376/biores.8.3.4574-4592.
- Poletto, M., Zattera, A. J., Forte, M. M. C., & Santana, R.M.C. (2012). Thermal decomposition of wood: Influence of wood components and cellulose crystallite size. *Bioresource Technology*, 109, 148–153. doi: 10.1016/j.biortech.2011. 11.122.
- Rusanen, A., Lahti, R., Lappalainen, K., Kärkkäinen, J., Hu, T., Romar, H., & Lassi, U. (2019). Catalytic conversion of glucose to 5-hydroxymethylfurfural over biomass-based activated carbon catalyst. *Catalysis Today*. doi: 10.1016/j.cattod.2019.02.040.
- Sánchez-Sánchez, C., González-González, A., Cuadros-Salcedo, F., Gómez-Serrano, V., & Cuadros-Blázquez, F. (2019). Charcoal as a bacteriological adherent for biomethanation of organic wastes. *Energy*, 179, 336–342. doi: 10.1016/j.energy.2019.04.192.
- Sangsuk, S., Suebsiri, S., & Puakhom, P. (2018). The metal kiln with heat distribution pipes for high quality charcoal and wood vinegar production. *Energy for Sustainable Development*, 47, 149–157. doi: 10.1016/j.esd.2018.10.002.
- Shi, Y., Chrusciel, L., & Zoulalian, A. (2007). Production of charcoal from different wood species. *Récents Progrès En Génie Des Procédés*, 96. doi:/hal-00265340.
- Silva, M. F. da, Fortes, M. M., & Sette Junior, C. R. (2018). Characteristics of wood and charcoal from *Eucalyptus clones*. *Floresta e Ambiente*, 25(3). doi: 10.1590/2179-8087.035016.
- Singh, K., Giri, B. S., Sahi, A., Geed, S. R., Kureel, M. K., Singh, S., ... Singh, R. S. (2017). Biofiltration of xylene using wood charcoal as the biofilter media under transient and high loading conditions. *Bioresource Technology*, 242, 351–358. doi: 10.1016/j.biortech.2017.02.085.
- Singh, K., Singh, R. S., Rai, B. N., & Upadhyay, S. N. (2010). Biofiltration of toluene using wood charcoal as the biofilter media. *Bioresource Technology*, 101(11), 3947–3951. doi: 10.1016/ j.biortech.2010.01.025.
- 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.
- Stackpole, D. J., Vaillancourt, R. E., Alves, A., Rodrigues, J., & Potts, B. M. (2011). Genetic variation in the chemical components of *Eucalyptus globulus* wood. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 1(2), 151–159. doi: 10.1534/g3.111. 000372.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989). *Uji pentosan kayu* (SNI 01-1561-1989). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989). *Pulp kayu dan kayu, kadar abu, silika dan silikat* (SNI 14-1031-1989). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1990). *Uji kelarutan kayu dan pulp dalam larutan natrium hidroksida satu persen* (SNI 14-1838-1990). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989). *Uji kadar sari (ekstrak alkohol benzena dalam pulp dan kayu* (SNI 14-1032-1989). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989). *Arang kayu* (SNI 01-1683-1989). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (1989). *Uji kadar kelarutan kayu dalam air dingin dan air panas* (SNI 14-1305-1989). Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Usmana, A. S., Rianda, S., & Novia. (2012). Pengaruh volume enzim dan waktu fermentasi terhadap kadar etanol (bahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan pretreatment alkali. *Jurnal Teknik Kimia Kimia*, 18(2), 17–25.
- Wang, H., Han, J., Bo, Z., Qin, L., Wang, Y., & Yu, F. (2019). Non-thermal plasma enhanced dry reforming of CH₄ with CO₂ over activated carbon supported Ni catalysts. *Molecular Catalysis*, 475. doi: 10.1016/j.mcat.2019.110486.
- Wise. L.E. (1944). *Wood chemistry*. New York: Reinhold Publisher Corporation.
- Yang, Z., Zhang, G., Xu, Y., & Zhao, P. (2019). One step N-doping and activation of biomass carbon at low temperature through NaNH₂: An effective approach to CO₂ adsorbents. *Journal of CO₂ Utilization*, 33(April), 320–329. doi: 10.1016/j.jcou.2019.06.021.
- Yunanta, R. R. K., Lukmandaru, G., & Fernandes, A. (2014). Sifat kimia dari kayu *Shorea retusa*, *Shorea macroptera*, dan *Shorea macrophylla*. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 8(1), 15–24.
- Zhang, W. B., Li, W. Z., & Zheng, B. S. (2012). Comparative analysis on chemical composition and charcoal characterization of two Miscanthus species. *Advanced Materials Research*, 415–417(December 2011), 1265–1272. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.415-417.12 65.