

Potensi Produksi Asap Cair, Arang dan Ter dari Limbah Industri Pengolahan Kayu

The Potential for Liquid Smoke, Charcoal, and Tar Production from Waste of The Wood Processing Industry

Alaik Z. H. Albaki¹, Ahmad S. Purnama¹, Fajri Yulianto¹, Budy Rahmat¹, Vita Meylani^{2,*}

¹Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi, Jl. Siliwangi No. 24, Tasikmalaya, Jawa Barat 46115, Indonesia

²Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Siliwangi, Jl. Siliwangi No. 24, Tasikmalaya, Jawa Barat 46115, Indonesia

*Penulis korespondensi: Vita Meylani, e-mail: vibriovita@unsil.ac.id

Tanggal submisi: 2 Juli 2021; Tanggal penerimaan: 31 Agustus 2021; Tanggal publikasi: 9 September 2021

ABSTRACT

The practice of burning and stockpiling to reduce wood waste from the wood processing industry is not in line with the demands of clean production, environmentally friendly and sustainable industries. Pyrolysis technology can be used to produce bioenergy from wood waste. The temperature and the time of the pyrolysis process, the water content of materials, and the content of different yields between types of wood waste affect the bioenergy products produced. This study was aimed at determining the effect of wood waste form and condition on the quality and quantity of liquid smoke, tar, and charcoal. A Completely Randomized Design with two factors of treatments, i.e., waste forms and the drying process, was applied in this research. The results showed that the condition and shape of the material affect the volume of liquid smoke and the weight of the charcoal produced. The condition of the material without drying with high water content and the shape of the chunks produce more liquid smoke with an average yield of 191.14 mL and 186.37 mL, while the charcoal produced is higher in the condition of the material with drying and shaved form at 125.83 g and 115.62 g. The results of the test characteristics of grade 1 and 2 distillation liquid smoke meet the Japanese liquid smoke quality standards with phenol levels in the range of 26.66-35.94 mg GAE/mL sample and acidity levels of 16.91-58.9%.

Keywords: Char; liquid smoke; pyrolysis; tar; wood waste.

© The Authors. Publisher Universitas Pattimura. Open access under CC-BY-SA license.

ABSTRAK

Praktik pembakaran dan penimbunan untuk mereduksi limbah kayu dari industri pengolahan kayu tidak selaras dengan tuntutan produksi bersih, ramah lingkungan dan industri berkelanjutan. Teknologi pirolisis dapat digunakan untuk memproduksi bioenergi dari limbah kayu dengan suhu dan waktu proses pirolisis, kadar air bahan serta kandungan rendemen yang berbeda antar jenis limbah kayu mempengaruhi produk bioenergi yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk dan kondisi limbah kayu terhadap kualitas dan kuantitas asap cair, ter dan arang. Metode penelitian yang dilakukan adalah Rancangan Acak Lengkap yang disusun secara faktorial dengan perlakuan bentuk limbah dan proses pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi dan bentuk bahan mempengaruhi volume asap cair dan bobot arang yang dihasilkan. Kondisi bahan tanpa pengeringan dengan kadar air tinggi dan bentuk bongkah menghasilkan asap cair lebih banyak dengan hasil rata-rata 191,14 mL dan 186,37 mL, sedangkan arang yang dihasilkan lebih tinggi pada kondisi bahan dengan pengeringan dan bentuk serut yaitu 125,83 g dan 115,62 g. Hasil uji karakteristik asap cair distilasi grade 1 dan 2 memenuhi standar mutu asap cair Jepang dengan kadar fenol berada pada kisaran 26,66-35,94 mg GAE/mL sampel dan kadar keasaman 16,91-58,9 %.

Kata kunci: Arang; asap cair; limbah kayu; pirolisis; ter.

© Penulis. Penerbit Universitas Pattimura. Akses terbuka dengan lisensi CC-BY-SA.

PENDAHULUAN

Limbah yang berasal dari pengolahan hasil pertanian dan kehutanan pada umumnya belum tertangani secara baik. Contoh yang banyak ditemui di Kota Tasikmalaya, limbah kayu dari industri rumahan (pengrajin) mebel hanya menumpuk di tempat pembuangan sampah dan bila tidak sempat dibakar akan terangkut truk sampah kota dan ditimbun di tempat pembuangan akhir. Menurut Purwanto (2011), limbah kayu dari industri penggergajian terdiri dari: sebetan kayu, potongan kayu dan serbuk kayu masing-masing sebesar 22%, 8%, dan 10% dari volume kayu batangan. Angka-angka tersebut belum termasuk volume limbah yang dihasilkan pada taraf pembentukan akhir seperti mebel, yakni serutan, serbuk dan potongan kayu.

Praktik pembakaran dan penimbunan untuk mereduksi limbah kayu (lignoselulosa) tidak selaras dengan tuntutan produksi bersih, ramah lingkungan dan industri berkelanjutan. Pembakaran limbah lignoselulosa berdampak meningkatnya emisi gas CO₂ yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Demikian pula, penimbunan limbah kayu di permukaan atau dalam tanah akan terjadi proses dekomposisi *anaerob* yang menghasilkan gas metana (CH₄), yang secara kualitatif memiliki dampak lebih kuat terhadap pemanasan global dibanding gas CO₂ (Tiilikkala *et al.*, 2010).

Di sisi lain dengan teknologi konversi, semua lignoselulosa segar (*virgin biomass*) dan lignoselulosa limbah (*waste biomass*) memiliki prospek dalam penyediaan bahan baku untuk memproduksi: i) biomaterial (makanan, pakan, pupuk, serat, biosida, bahan kimia, hasil kehutanan dll.); dan ii) bioenergi (arang, bioetanol, biogas) (Yokoyama dan Matsumura, 2008). Sehingga limbah tersebut memiliki potensi baik untuk dikembangkan yang nantinya dapat dimanfaatkan warga sebagai sumber pendapatan.

Teknologi pirolisis dapat digunakan untuk memproduksi bioenergi dari limbah kayu. Suhu dan waktu proses pirolisis, kadar air bahan serta kandungan rendemen yang berbeda antar jenis limbah kayu mempengaruhi produk bioenergi yang dihasilkan (Rahmat *et al.*, 2014). Penentuan suhu dan waktu pirolisis yang tepat mengoptimalkan terjadinya pembentukan produk sehingga tidak ada zat sisa dari reaksi. Kadar air berpengaruh pada laju pembakaran serbuk gergaji menjadi arang. Kadar air rendah cenderung lebih mudah dan cepat terbakar daripada serbuk gergaji dengan kadar air yang tinggi (Nurhayati *et al.*, 2006). Hal ini akan

mempengaruhi suhu optimal penguraian limbah kayu dan waktu yang dibutuhkan akan semakin panjang jika bahan memiliki kadar air yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk dan kondisi limbah kayu terhadap kualitas dan kuantitas asap cair, ter dan arang.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang dipersiapkan untuk percobaan ini adalah limbah kayu sebagai sumber lignoselulosa yang dari industri penggergajian kayu dan pengrajin mebel.

Pengambilan dan Persiapan Sampel Limbah Kayu

Sampel limbah diambil dari industri pengrajin mebel, kelom geulis (sandal khas Kota Tasikmalaya yang berbahan dasar kayu), dan *furniture* berbahan dasar kayu yang berada di Kecamatan Tamansari dan Cibereum Kota Tasikmalaya. Sampel diambil dari empat tempat yang berbeda dari masing-masing industri dan dilakukan metode pencampuran bahan sesuai dengan bentuknya, yaitu serbuk, bongkahan dan serutan. Jenis kayu yang digunakan merupakan kayu campuran dengan proporsi terbesar jenis Tisuk (*Hibiscus macrophyllus*) sebanyak 85% dan 15% lainnya dari campuran beberapa jenis tanaman berkayu seperti Albasia (*Albizia falcataria*), Bayur (*Pterospermum javanicum*), Mahoni (*Swetenia mahagoni*) dan Jati (*Tectona grandis*). Bahan yang telah diambil sesuai dengan bentuknya dibagi menjadi dua perlakuan, yaitu tanpa pengeringan (bahan segar) dan dengan pengeringan. Pengeringan dilakukan dibawah sinar matahari selama 16 jam sehingga menghasilkan kadar air bahan $\leq 15\%$. Kadar air dihitung dengan menggunakan *wood moisture meter*.

Proses Pirolisis dan Distilasi Asap Cair

Bahan ditimbang sebanyak 500 g, lalu dimasukkan ke dalam tungku pirolisis. Pirolisis dilakukan dengan suhu 250°-450°C selama ± 30 menit. Proses pirolisis dilakukan dalam tanur khusus yang tidak memungkinkan adanya keterlibatan oksigen dalam proses pirolisis. Proses pirolisis menghasilkan tiga produk sekaligus yaitu asap cair kasar, ter dan arang yang dapat dijadikan

bahan baku pembuatan arang aktif (*biochar*). Asap cair yang dihasilkan memiliki kualitas *grade 3* dimana harus dimurnikan menggunakan metode distilasi. Distilasi dilakukan dua kali, yaitu distilasi pertama untuk menghasilkan asap cair *grade 2* dan distilasi kedua untuk menghasilkan asap cair *grade 1*. Distilasi dilakukan dengan alat distilator kaca dengan suhu distilasi 100°-110°C (Setiawan, 2015).

Parameter Pengujian

Pengujian yang dilakukan mencakup pengujian kuantitatif dan pengujian kualitatif. Pengujian kuantitatif mencakup volume asap cair kasar menggunakan gelas ukur, volume asap cair distilasi menggunakan gelas ukur, volume ter menggunakan gelas ukur, bobot arang menggunakan metode gravimetri, bobot jenis menggunakan metode piknometer, pH menggunakan indikator universal dan kadar fenol menggunakan metode spektrofotometri. Sedangkan uji kualitatif mencakup warna dan transparansi asap cair.

Pengujian Kadar Total Fenol

Pengujian menggunakan metode spektrofotometri. Prosedur pengujian pertama yaitu dibuat larutan baku berupa asam galat sesuai dengan penelitian Tahir *et al.* (2017). Larutan baku yang digunakan terdiri dari enam larutan dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 0 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm, 4 ppm dan 5 ppm. Masing-masing larutan ditambahkan 1 mL follin ciocalteu (Merck, Jerman) kemudian dikocok dan dibiarkan selama 4-8 menit. Ditambahkan 10 mL Na₂S₂O₃ 10% (Merck, Jerman) dan akuades hingga volume 25 mL dalam labu takar. Kemudian dikocok hingga homogen. Larutan didiamkan selama 2 jam pada suhu ruang. Absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis 1800 (Shimadzu, Jepang) pada panjang gelombang 725 nm. Penentuan kadar fenol asap cair dilakukan dengan melakukan preparasi bahan dengan cara sebagai berikut (Noor *et al.*, 2014).

Sepuluh mL sampel asap cair di-*centrifuge* menggunakan *centrifuge* 80-1 (Electrical, Cina) pada 400 rpm selama 10 menit. Dipipet distilat yang sudah di-*centrifuge* sebanyak 5 mL. Kemudian ditambahkan 1 mL etanol (Merck, Jerman) dan 0,5 mL folin ciocalteu. Diamkan selama 5 menit. Tambahkan 1 mL Na₂S₂O₃ 10% kemudian dikocok selama 5 menit. Diamkan dalam ruangan gelap selama 50 menit. Ukur absorbansi sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis 1800 pada panjang gelombang 725 nm dengan pengenceran 10 kali.

Hasil pengukuran absorbansi dihitung konsentrasinya dengan persamaan regresi larutan baku yang didapat dengan menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil pengujian berupa data kadar fenol total dengan satuan mg GAE/mL (ekuivalen asam galat).

Pengujian Kadar Asam

Pengujian kadar asam menggunakan metode titrimetri yaitu dengan menggunakan NaOH (Merck, Jerman) sebagai bahan pembanding. Konsentrasi larutan NaOH dibuat 0,1 N. Langkah selanjutnya pipet 1 mL larutan uji ke dalam erlenmeyer. Kemudian tambahkan 9 mL akuades dan 2 tetes indikator phenoptalein (Merck, Jerman). Titrasi dengan menggunakan NaOH sampai berwarna merah muda. Ulangi langkah tersebut hingga didapatkan volume yang konstan. Kemudian hitung kadar keasaman dengan rumus (Wibowo, 2012):

$$\text{Kadar asam (\%)} = \frac{\text{Volume NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 60}{\text{bobot sampel} \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Asap Cair Kasar (*Crude*)

Kadar air awal bahan sangat mempengaruhi terhadap volume asap cair yang terbentuk. Air akan menguap pada suhu 100°C dan terkondensasi sehingga akan menambah volume asap cair yang terbentuk (Nurhayati *et al.*, 2006).

Tabel 1. Kuantitas asap cair kasar yang dihasilkan (mL)

Bentuk Bahan	Kondisi bahan		Rata rata
	Tanpa pengeringan	Dengan pengeringan	
Serbuk	205,67	115,50	160,58
Serut	189,25	125,25	149,68
Bongkah	193,62	179,12	186,37
Rata rata	191,14	139,95	

Volume Asap Cair Distilasi

Asap cair sudah dapat didistilasi pada suhu 100°-110°C (Nurhayati *et al.*, 2006). Pada suhu ini kandungan air masih banyak terbawa oleh asap cair sehingga rendemen yang dihasilkan masih cukup tinggi. Pengurangan hasil dari sebelum distilasi dan sesudah distilasi mengacu pada pengendapan zat-zat yang tidak menguap seperti ter yang masih terbawa.

Tabel 2. Kuantitas asap cair distilasi (mL)

Bentuk Bahan	Kondisi bahan		Rata rata
	Tanpa pengeringan	Dengan pengeringan	
Serbuk	181,75	79,25	130,50
Serut	174,12	112,00	150,62
Bongkah	161,50	147,25	154,37
Rata rata	177,50	112,83	

Bobot Arang

Arang yang dihasilkan pada proses pirolisis dipengaruhi oleh kondisi bahan. Bahan dengan perlakuan pengeringan menghasilkan arang atau biochar lebih banyak daripada bahan yang tidak mengalami pengeringan. Bentuk serutan dan serbuk menghasilkan lebih banyak arang secara signifikan setelah mengalami pengeringan yaitu dari 100 g pada kondisi tanpa pengeringan menjadi 131,25 g dan 125 g pada kondisi setelah pengeringan.

Tabel 3. Bobot arang (g)

Bentuk Bahan	Kondisi bahan		Rata rata
	Tanpa pengeringan	Dengan pengeringan	
Serbuk	100,00	125,00	112,50
Serut	100,00	131,25	115,62
Bongkah	100,00	121,25	110,62
Rata rata	100,00	125,83	

Volume Ter

Ter merupakan hasil sampingan dari produksi asap cair. Bentuk bahan serutan menghasilkan ter dengan jumlah tertinggi sejumlah 48,375 mL tanpa pengeringan dan 46,25 mL setelah pengeringan. Bentuk bongkahan menghasilkan ter dengan jumlah yang tinggi pula pada kondisi tanpa pengeringan yaitu 52 mL namun pada kondisi kering atau setelah pengeringan hanya 37 mL. Bentuk serbuk menghasilkan ter sebanyak 29,5 mL pada kondisi tanpa pengeringan dan 39,5 mL setelah pengeringan.

Tabel 4. Volume ter yang dihasilkan (mL)

Bentuk Bahan	Kondisi bahan		Rata rata
	Tanpa pengeringan	Dengan pengeringan	
Serbuk	29,50	39,50	34,50
Serut	48,37	46,25	47,31
Bongkah	52,75	32,75	42,75
Rata rata	43,54	39,50	

Kualitas Asap Cair Grade 1 dan Grade 2

Asap cair yang dihasilkan berupa asap cair dengan grade 1 dan grade 2. Grade 2 dihasilkan dari proses distilasi pertama sedangkan grade 1 dihasilkan dari proses distilasi kedua. Kualitas asap cair yang diuji berdasarkan standar asap cair yang dapat diterima oleh Negara Jepang yaitu pH, berat jenis, warna, transparansi, keasaman dan total fenol. Hasil pengujian asap cair grade 2 disajikan dalam Tabel 5 dan asap cair grade 1 dalam Tabel 6.

Dalam Tabel 5 dapat dilihat rendemen asap cair distilasi bahan yang tidak dikeringkan lebih tinggi dibandingkan dengan asap cair dari bahan setelah dikeringkan. Kadar air mempengaruhi rendemen di mana semakin tinggi kadar air maka rendemen yang terbentuk akan semakin tinggi. Namun hal ini berkorelasi negatif dengan kualitasnya. Kadar air yang tinggi menurunkan kepekatan bahan aktif asap cair. Hal ini terlihat dalam bobot jenis distilat di mana bobot jenis dapat menunjukkan kandungan zat aktif dalam asap cair, semakin tinggi bobot jenis maka semakin tinggi pula kandungan zat aktifnya. Bobot jenis yang dihasilkan masih tetap sesuai dengan kualitas standar Negara Jepang untuk asap cair yaitu > 1,001 g/mL (Alpian *et al.*, 2014; Nurhayati *et al.*, 2006).

Fenol dan keasaman (%) menjadi 2 komponen utama yang memiliki peran penting dalam pemanfaatan asap cair sebagai anti mikroba. Menurut Noor *et al.* (2014) semakin tinggi kadar fenol dan kadar asam dari asap cair, maka kemampuan untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme dari asap cair tersebut akan semakin tinggi. Menurut Hartati *et al.* (2013), konidium atau terjadinya lisis pada konidium *Colletotrichum capsici* disebabkan adanya senyawa kelompok fenol yang terkandung dalam cuka kayu pinus. Hasil pengujian asap cair grade 1 dan grade 2 memiliki kadar fenol yang tidak jauh berbeda pada kisaran 26,66-35,94 mg GAE/mL sampel dan kadar keasaman 16,91-58,9%.

Kualitas Arang

Kualitas arang yang diamati adalah kandungan C-Organik dan pH arang. Arang dengan kandungan C-Organik tinggi dapat memperbaiki sifat kimia tanah, dimana c-organik dibutuhkan tanah dalam pertumbuhan tanaman dan perkembangan mikroflora dan mikrofauna. pH arang hasil pengujian memberikan hasil yang relatif sama antar perlakuan.

Tabel 5. Kualitas asap cair distilasi *grade 2*

Jenis analisis	Nilai						Standar Jepang (Nurhayati, 2006)
	Tanpa pengeringan			Dengan pengeringan			
	Serbuk	Serutan	Bongkah	Serbuk	Serutan	Bongkah	
Rendemen, %	36,35	37,85	32,3	15,65	22,4	29,45	-
pH	2	2	2	2	2	2	1,5 – 3,7
Berat jenis, g/mL	1,017	1,016	1,023	1,021	1,020	1,024	>1,001
Warna	Kuning kecoklatan	Kuning kecoklatan	Kuning kecoklatan	Kuning kecoklatan	Kuning kecoklatan	Kuning kecoklatan	Kuning pucat – coklat kemerahan
Transparansi	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh	Sedikit keruh	Sedikit keruh	Sedikit keruh	Tidak keruh, tidak ada yang terdispersi
Kadar total fenol (mg GAE/mL sampel)	35,94	35,55	29,36	35,15	33,25	29,95	-
Keasaman (%)	18,8	21,7	46,6	46,4	48,8	58,9	1-18

Tabel 6. Kualitas asap cair distilasi *grade 1*

Jenis analisis	Nilai						Standar Jepang (Nurhayati, 2006)
	Tanpa pengeringan			Dengan pengeringan			
	Serbuk	Serutan	Bongkah	Serbuk	Serutan	Bongkah	
pH	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1,5 – 3,7
Berat jenis, g/mL	1,0149	1,0144	1,0187	1,0181	1,0184	1,0217	>1,001
Warna	Bening	Bening	Bening	Bening	Bening	Bening	Kuning pucat – coklat kemerahan
Transparansi	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh	Tidak keruh
Kadar total fenol (mg GAE/mL sampel)	34,10	34,56	27,85	26,79	26,66	27,58	-
Keasaman (%)	16,91	20,77	41,54	31,4	46,13	51,68	1-18

Tabel 7. Hasil analisis arang

Jenis analisis	Nilai					
	Tanpa pengeringan			dengan pengeringan		
	Serbuk	Serutan	Bongkah	Serbuk	Serutan	Bongkah
C-Organik (%)	5	15	15	5	15	10
pH	5	6,5	6	6	6	5

Korelasi C-Organik berkaitan erat terhadap P-tersedia. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi C-Organik pada bahan organik, maka akan terjadi dekomposisi yang menghasilkan asam-asam organik yang menghasilkan anion organik, kemudian akan mengikat ion Al, Fe dan Ca sehingga membentuk senyawa kompleks yang

mengakibatkan P menjadi tersedia di dalam larutan tanah (Wilson *et al.*, 2015). Nilai pH pada bahan arang sangat tergantung pada temperatur *pyrolysis* dan umur bahan arang yang digunakan. Nilai pH arang ada pada kisaran pH 11 apabila arang masih segar (belum terlapuk) dan suhu *pyrolysis* lebih dari 450°-500°C. Apabila arang sudah mengalami

pelapukan selama dan sesudah proses pirolisi serta bereaksi dengan uap maka nilai pH arang akan ada di kisaran pH 5-8 (Chan dan Xu, 2009).

KESIMPULAN

Asap cair yang dihasilkan pada bahan kayu tanpa pengeringan menghasilkan asap cair yang lebih banyak baik yang kasar maupun yang telah didistilasi. Volume ter yang terbentuk tidak dipengaruhi oleh kadar air dan bentuk bahan, sedangkan arang dihasilkan lebih banyak dari bahan yang telah dikeringkan.

Kualitas asap cair distilasi yang diuji menyesuaikan dengan mutu asap cair jepang. Asap cair yang dihasilkan dari bahan yang tidak dikeringkan dan yang telah dikeringkan memiliki karakteristik yang hampir sama, hanya bobot jenis yang berbeda dimana bobot jenis asap cair dari bahan yang dikeringkan lebih tinggi daripada yang tidak dikeringkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi yang mendanai penuh kegiatan penelitian penulis melalui skema program kreativitas mahasiswa (PKM).

DAFTAR PUSTAKA

- Alpian, T.A. Prayitno, J.P.G. Sutapa, dan Budiadi. 2014. Kualitas asap cair batang gelam (*Melaleuca* sp.). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 32: 83-92. DOI: 10.20886/jphh.2014.32.2.83-92.
- Chan, K.Y. and Z. Xu. 2009. *Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement*. Lehman, J. and S. Joseph (Eds.) *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. UK: Earthscan p. 67-84.
- Hartati, S., R. Meliansyah, dan L.T. Puspasari. 2013. Potensi cuka kayu pinus dalam pengendalian penyakit antraknosa pada cabai merah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia* 9: 173-178. DOI: 10.14692/jfi.9.6.173.
- Noor, E., C. Luditama, dan G. Pari. 2014. Isolasi dan pemurnian asap cair berbahan dasar tempurung dan sabut kelapa secara pirolisis dan distilasi. In: *Prosiding Konferensi Nasional Kelapa VIII*, hal. 93-102.
- Nurhayati, T., R.A. Pasaribu, dan D. Mulyadi. 2006. Produksi dan pemanfaatan arang dan cuka kayu dari serbuk gergaji kayu campuran. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 24: 395-411. DOI: 10.20886/jphh.2006.24.5.395-411.
- Purwanto, D. 2011. Pembuatan balok dan papan dari limbah industri kayu. *Jurnal Riset Industri* 5: 13-20.
- Rahmat, B., D. Pangesti, D. Natawijaya, and D. Sufyadi. 2014. Generation of wood-waste vinegar and its effectiveness as a plant growth regulator and pest insect repellent. *BioResources* 9: 6350-6360.
- Setiawan, W. 2015. *Pengaruh Asap Cair Tempurung Kelapa Terhadap Patogen Busuk Lunak (*Rhizopus stolonifer*) Pada Buah Stroberi (*Fragaria × ananassa*)*. Skripsi. Fakultas Pertanian. Universitas Siliwangi.
- Tahir, M., A. Muflihunna, dan Syafrianti. 2017. Penentuan kadar fenolik total ekstrak etanol daun Nilam (*Pogostemon cablin* Benth.) dengan metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia* 4: 215-218. DOI: 10.33096/jffi.v4i1.231.
- Tiilikkala, K., L. Fagernäs, and J. Tiilikkala. 2010. History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. *The Open Agriculture Journal* 4: 111-118. DOI: 10.2174/1874331501004010111.
- Wibowo, S. 2012. Karakteristik asap cair tempurung nyamplung. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 30: 217-226. DOI: 10.20886/jphh.2012.30.3.218-227
- Wilson, Supriadi, dan H. Guchi. 2015. Evaluasi sifat kimia tanah pada lahan kopi di Kabupaten Mandailing Natal. *Jurnal Online Agroekoteknologi* 3: 642-648.
- Yokoyama, S. and Y. Matsumura. 2008. *The Asian Biomass Handbook: A Guide for Biomass Production and Utilization Support*. 1 ed. Tokyo: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.

Copyright © The Authors



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).