

## KARAKTERISTIK DAN POTENSI PEMANFAATAN ASAP CAIR KAYU TREMA, NANI, MERBAU, MATOA, DAN KAYU MALAS (*Characteristics and Potential Utilization of Liquid Smoke Made from Trema, Nani, Merbau, Matoa and Malas Woods*)

Sri Komarayati, Gusmailina, & Lisna Efiyanti\*

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 4 April 2018, direvisi 21 September 2018, disetujui 13 Oktober 2018

### ABSTRACT

*Wood is potential biomass with various benefits such as is utilizing them for liquid smoke raw material. Consequently, research on liquid smoke by pyrolysis should be conducted intensively to gain necessary information on the active content and utilization of the liquid smoke. This research is aimed to determine characteristics and potential utilization of liquid smoke made from trema, nani, merbau, matoa and malas wood. Research was conducted by pyrolysis process at 500°C for 5 hours and the liquid smoke was collected in container for analyzes. Analysis of liquid smoke characteristics included pH, specific gravity, acetic acid, phenol and other chemical component content using py-GCMS. The result showed that the pH ranged from 2.68 to 4.34, specific gravity ranged from 0.83 to 1.04, acetate 0.65–13.09%, and phenol content 0.19–2.50%. GCMS analysis showed chemical component diversity and its main component as identity of specific liquid smoke from five wood species confirmed were acetic acid (acetic acid, ethylic acid), phenolic (phenol, 2,6-dimethoxy (CAS) 2,6-dimethoxyphenol), and carbamic acid. The chemical component of liquid smoke is expected to be applied in wide variety of products based on product's perspective, objectives and product targets that would be achieved.*

*Keywords: Chemical compound, liquid smoke, pyrolysis, wood*

### ABSTRAK

Kayu merupakan biomassa potensial dengan berbagai manfaat, salah satunya adalah sebagai bahan baku asap cair. Penelitian mengenai asap cair yang dihasilkan dari pirolisis kayu perlu dilakukan secara intensif untuk mendapatkan informasi kandungan dan manfaat komponen asap cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan potensi manfaat asap cair lima jenis kayu, yaitu kayu trema, nani, merbau, matoa, dan malas. Penelitian dilakukan dengan proses pirolisis pada suhu 500°C selama 5 jam, dan asap cair yang dihasilkan ditampung dalam wadah untuk dianalisis karakteristiknya. Karakteristik asap cair yang dipelajari meliputi pH, berat jenis, kadar asam asetat, kadar fenol, dan kandungan komponen kimia lainnya, menggunakan py-GCMS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH asap cair kelima jenis kayu berkisar antara 2,68–4,34, berat jenis 0,83–1,04, kadar asetat 0,65–13,09% dan kadar fenol 0,19–2,50%. Sementara itu, hasil analisis py-GCMS menunjukkan keragaman komponen kimia yang terkandung dalam asap cair masing-masing jenis kayu dengan komponen utama sebagai penciri asap cair pada kelima jenis kayu adalah senyawa asam asetat (acetic acid, ethylic acid), fenol (phenol, 2,6-dimethoxy (CAS) 2,6-dimethoxyphenol), dan asam karbamat. Komponen kimia asap cair diharapkan dapat diaplikasikan dalam berbagai variasi produk yang lebih luas sesuai cara pandang, tujuan, dan target produk yang ingin dicapai.

Kata kunci: Asap cair, kayu, komponen kimia, pirolisis

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan biomassa berlignoselulosa sebagai sumber bahan baku berbagai produk energi sekarang ini semakin berkembang dan menjadi fokus utama penelitian (Oramahi, Diba, & Nurhaida, 2014). Hal ini dikarenakan adanya isu pemanasan global, ketidakstabilan harga dan pengurangan stok dari energi fosil (Luo, Guda, Steele, & Wan, 2016). Penggunaan sumber bahan baku tidak terbarukan dari fosil menghadapi masalah lingkungan yang serius, sehingga biomassa dapat berperan penting dalam perbaharuan sistem produk yang berkelanjutan karena dapat menguntungkan secara ekonomi maupun lingkungan dimana ketersediaannya melimpah dan dapat diperbaharui (Thy et al., 2017; Luo et al., 2016; Wang, Lin, Song, Yao, 2010). Potensi kayu di Indonesia sebagai biomassa sangat tinggi, dengan banyaknya jenis-jenis kayu namun hanya dimanfaatkan dalam skala kecil dan untuk kegunaan tertentu saja (Simangunsong et al., 2017).

Biomassa lignoselulosa ini dapat dikonversi menjadi komponen kimia yang potensial seperti campuran hidrokarbon, asap cair, maupun residu padatan yang kaya kandungan karbon (Luo et al., 2016) dengan berbagai metode, salah satunya proses karbonisasi dan pirolisis (Wu et al., 2015) pada suhu tinggi dan tanpa adanya oksigen (Oramahi et al., 2014). Untuk mengetahui manfaat kayu yang tepat guna diperlukan analisis mengenai sifat karakteristik masing-masing produk turunan kayu tersebut.

Asap cair merupakan hasil pembakaran langsung maupun tidak langsung (Asmawit & Hidayati, 2016) berupa cairan terkondensasi pada saat proses pirolisis/karbonisasi pada suhu sekitar 400–500°C (Baimark & Niamsa, 2009), dapat digunakan untuk sintesis kimia karena mengandung beberapa asam organik (Choi, Ahn, & Kim, 2012). Asap cair banyak dikembangkan terutama di Jepang di antaranya untuk pengawet makanan (Oramahi & Diba, 2013), sebagai bahan koagulan di industri karet karena memiliki efek korosi yang rendah (Vachlepi & Suwardin, 2015), antioksidan anti-bakteri terhadap *Escherichia coli*, *Salmonella choleraesuis*, *Staphylococcus aureus* dan *Listeria monocytogenes* yang ramah lingkungan

(Baimark & Niamsa, 2009; Soares et al., 2016), anti rayap (Oramahi et al., 2014) serta memperkaya pertumbuhan tanaman (Mungkunkamchao, Kesmla, Pimratch, Toomsan, & Jothityangkoon, 2013).

Hagner, Penttinen, Tiilikkala, dan Setälä, (2013) melakukan penelitian mengenai efek penggunaan asap cair dalam proses degradasi herbisida glyphosate sehingga dapat menurunkan efek buruk pelepasan glyphosate ke lingkungan. Haji, Alim, Lay, Sutjahjo, dan Pari (2007) melakukan analisa karakterisasi asap cair pirolisis dari limbah organik padat dengan variasi suhu pirolisis berkisar antara 350–510°C dan mengemukakan bahwa semakin tinggi suhu pirolisis yang digunakan maka pH asap cair semakin rendah, kemudian kadar phenol berkisar antara  $6,15 \times 10^{-3}$  –  $2,24 \times 10^{-2}$  dengan rendemen asap cair berkisar antara 30-37% w/v, serta komponen utama yang terdeteksi di dalam asap cair limbah padat adalah senyawa *phenol* (23%), 1-1 *dimetil hidrazine* (8,98%), dan 2,6 *dimetoxi phenol* (8,68%).

Penelitian Nunkaew, Kantachote, dan Chaiprapat (2016) juga menggunakan asap cair sebagai sumber *levulinic acid* dalam sintesis 5-*levulinic acid* (ALA) sehingga mampu memperkaya kandungan ALA yang merupakan bahan untuk insektisida maupun herbisida di bidang pertanian yang mudah didegradasi. Swastawati, Boesono, Susanto, dan Indah (2016) juga melakukan penelitian menggunakan asap cair yang didestilasi pada ikan bandeng asap sehingga kandungan asam amino bandeng asap dapat terjaga serta kandungan berbahaya seperti histamin dapat diturunkan hingga 80%. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari komponen asap cair hasil pirolisis lima jenis kayu yaitu kayu trema, kayu nani, kayu merbau, kayu matoa serta kayu malas. Analisis dilakukan untuk mengetahui sifat, karakteristik, dan kandungan asap cair yang dihasilkan, sehingga dapat diketahui potensi manfaat asap cair kelima jenis kayu tersebut.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Alat dan Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah sampel kayu trema (*Trema orientalis* Linn. Blume) dan kayu nani (*Xanthostemon verus* (Lindl.) Peter G.

Wilson yang berasal dari Pulau Obi-Halmahera serta kayu merbau (*Intsia retusa* Kurz.), kayu matoa (*Pometia tomentosa* Kurz.) dan kayu malas (*Parastemon* spp.) yang berasal dari Papua. Bahan kimia yang digunakan antara lain benzene, iodine, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, larutan kanji 1%, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HCl, bromide kromate, phenoptalein, dan NaOH. Peralatan yang digunakan antara lain alat pirolisis, termokopel, timbangan analitik, oven, dan peralatan gelas.

## B. Prosedur Penelitian

Proses pembuatan asap cair dilakukan dengan metode pengarangan menggunakan reaktor pirolisis dengan suhu 500°C selama 5 jam. Hasil pirolisis berupa destilat kemudian ditampung dan disaring untuk proses pemisahan ter. Asap cair yang didapatkan dianalisa sifat dan karakteristiknya meliputi: pH, kadar asam asetat, kandungan fenol serta berat jenis, dan kandungan senyawa lain melalui py-GCMS dan analisa di Laboratorium Kimia Terpadu Hasil Hutan (Wibowo, 2012).

### 1. Pengukuran pH asap cair

Pengukuran pH asap cair dilakukan pada masing-masing asap cair hasil pirolisis dengan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi terlebih dahulu, kemudian dicatat nilai pH yang diperoleh.

### 2. Kadar asam asetat (metode titrasi AOAC, 1990)

Persentase asam asetat dihitung berdasarkan metode titrasi, yaitu dengan melarutkan 10 gr sampel kedalam 100 mL aquades. Dari larutan induk, diambil 10 mL dan diberi indikator phenoptalein 2 tetes untuk kemudian dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,1 sampai larutan berada pada titik akhir titrasi yang ditunjukkan dengan perubahan warna menjadi merah keunguan.

Perhitungan persentase asam asetat mengikuti rumus berikut:

$$\text{Nilai asam (\%)} = \frac{(V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times \text{BM})}{(\text{Berat sampel})} \times 100\% \dots\dots(1)$$

Keterangan:

- V NaOH = volume NaOH;
- N NaOH = Normalitas NaOH;
- BM = Berat molekul asam asetat.

### 3. Perhitungan kadar fenol dalam sampel asap cair (metode titrasi AOAC, 1990)

Asap cair seberat 0,5 gr ditambahkan dengan 5 mL larutan NaOH dengan konsentrasi 2 N dan diencerkan sampai volume 250 mL (disebut dengan larutan induk). Setelah itu, 25 mL larutan induk diambil dan ditambahkan dengan 10 mL larutan bromida kromate, 50 mL akuades dan 5 mL HCl pekat dilarutkan dan dikocok sekitar 1 menit, sehingga larutan menjadi homogen. Setelah itu, larutan tersebut didiamkan selama 5–30 menit dan ditambahkan 5 mL larutan KI 15% kemudian dilakukan pengocokan selama 1 menit dan dititrasi menggunakan Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada konsentrasi 0,1 N.

Perhitungan kadar fenol dalam sampel asap cair mengikuti rumus berikut:

$$\text{Kadar fenol} = \frac{((b-a) \times N \times \text{BM} \times fp)}{1000 \times S} \times 100\% \dots\dots(2)$$

Keterangan:

- a = mL Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada larutan sampel;
- b = mL Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada larutan blanko;
- BM = berat molekul fenol;
- N = Normalitas mL Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- fp = faktor pengenceran;
- S = berat sampel.

### 4. Perhitungan berat jenis asap cair

Perhitungan berat jenis asap cair mengikuti persamaan berikut:

$$\text{Berat jenis} = \frac{(\text{Bc}-\text{Bp})}{(\text{Ba}-\text{Bp})} \times 100\% \dots\dots(3)$$

Keterangan:

- Bc = Berat piknometer + sampel;
- Bp = Berat piknometer kosong;
- Ba = Berat piknometer + air.

### 5. Analisis asap cair menggunakan instrumen py-GCMS

Asap cair yang dihasilkan masing-masing dianalisa menggunakan instrument GCMS agar dapat diketahui komponen kimia yang terkandung di dalamnya. Kondisi operasi GCMS yang digunakan pada saat analisis adalah sebagai berikut:

Jenis instrumen : Py-GCMS Shimadzu QP  
5050A  
Suhu kolom : 60°C  
Suhu detektor : 300°C  
Suhu Injektor : 280°C  
Waktu analisis : 60 menit

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakteristik Asap Cair

Hasil analisa karakteristik asap cair lima jenis kayu meliputi rendemen asap cair, nilai pH, berat jenis, kadar asam asetat, dan kadar fenol disajikan pada Tabel 1.

##### 1. Nilai pH

Berdasarkan Tabel 1, pH terendah dimiliki oleh asap cair kayu malas dan pH tertinggi dimiliki oleh asap cair kayu matoa. Nilai pH <4 dalam penggunaan untuk pengawet makanan diduga mampu menghambat kinerja mikroorganisme yang akan merusak makanan (Nasruddin, 2015). Apabila dibandingkan dengan nilai keasaman asap cair standar Jepang, maka pH asap cair kayu nani, kayu trema, kayu merbau dan kayu malas memiliki nilai pH yang memenuhi standar Jepang yaitu 1,5–3,7 sedangkan pH asap cair kayu matoa melebihi standar yang dipersyaratkan oleh Jepang. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian Komarayati, Gusmailina, dan Pari (2011) yang membuat asap cair dari beberapa jenis campuran kayu menghasilkan pH yang bervariasi, yaitu pH sesuai standar asap cair Jepang untuk sampel potongan kayu campuran mahoni dan nangka (pH 3,2) sedangkan asap cair potongan kayu

sengon dengan kulitnya (3,8), asap cair dari potongan kayu sengon tanpa kulit (pH 4,5), dan asap cair sebetan kayu sengon dengan kulitnya menghasilkan pH 6,8 melebihi standar mutu asap cair Jepang.

Ariestya, Swastawati, dan Susanto (2016) juga melakukan pembuatan asap cair dari tempurung kelapa dengan metode mikroenkapsulasi, nilai pH asap cair yang didapat berkisar antara 4–5,2 (diatas nilai pH asap cair standar Jepang), namun ternyata asap cair yang diaplikasikan pada ikan nila masih memberikan efek positif dalam mengawetkan dan menjaga kualitas ikan nila ketika disimpan pada suhu <5°C. Hal ini tentu saja dikarenakan adanya kontribusi kandungan asam asetat dan fenol yang dapat berfungsi sebagai antibakteri pada makanan. Fitriani dan Prawiro (2017) juga mengaplikasikan asap cair alang-alang yang memiliki nilai pH 2–3 terhadap *Aspergillus flavus*, sehingga didapatkan bahwa asap cair alang-alang mampu menghambat pertumbuhan jamur tersebut.

Nilai pH merupakan salah satu parameter kualitas asap cair yang dihasilkan, sehingga apabila nilai pH semakin rendah maka kualitas asap cair diharapkan akan semakin baik (Komarayati & Wibowo, 2015), terutama untuk penggunaan dalam hal pengawet makanan (Haji et al., 2007) maupun untuk koagulan pengganti asam format sehingga pH lateks semakin rendah dan dapat mencapai titik isoelektriknya.

Pada asap cair, nilai pH diukur untuk mengetahui proses penguraian bahan baku yang dilakukan dengan pirolisis sehingga menghasilkan asam organik, hal ini dikarenakan selulosa dan hemiselulosa pada kayu terdekomposisi sehingga

**Tabel 1. Karakteristik asap cair lima jenis kayu**

**Table 1. Liquid smoke characteristics of five types of wood**

No.	Jenis kayu ( <i>Species wood</i> )	pH	Berat jenis ( <i>Specific gravity</i> )	Asam asetat ( <i>Acetic acid value, %</i> )	Fenol ( <i>Phenol, %</i> )	Keterangan ( <i>Information</i> )
1.	Trema	2,90	0,87	13,09	2,50	
2.	Nani	2,75	0,87	2,17	2,14	
3.	Merbau	3,22	0,84	0,65	0,19	
4.	Matoa	4,34	0,83	1,25	0,19	
5.	Malas	2,68	1,04	ttd	ttd	Tidak terdeteksi ( <i>Not detected</i> )
6.	Asap cair standar Jepang ( <i>JIS standard</i> )	1,5–3,7	>1,005	-	-	

menghasilkan asam asetat yang merupakan komponen utama asap cair (Pamori, Efendi, & Restuhadi, 2015). Nilai pH pada asap cair disinyalir dapat dipengaruhi oleh kadar air dari asap cair itu sendiri, seperti pada penelitian Pamori et al. (2015) yang melaporkan bahwa semakin tinggi kadar air asap cair maka nilai pH nya akan semakin meningkat, hal ini terlihat pada kadar asap cair sabut kelapa muda 70% memiliki nilai pH 3 sedangkan asap air sabut kelapa muda dengan kadar air 20% memberikan nilai pH 2,6. Kemudian nilai pH juga dapat dipengaruhi oleh kandungan asam pada asap cair dan merepresentasikan kandungan asam organik pada asap cair (Ariestya et al., 2016) misalnya asam asetat dan asam karboksilat lain sehingga semakin tinggi kandungan asam pada asap cair, maka diduga memberikan nilai pH asap cair yang semakin rendah sehingga nilai pH juga berkaitan dengan nilai total asam tertitiasi.

Untuk memperoleh kualitas asap cair yang memiliki nilai pH yang lebih rendah, maka dapat dilakukan proses destilasi suhu tinggi pada asap cair yang dihasilkan dari pirolisis yang dilanjutkan dengan proses penyaringan, sehingga kandungan asam pada asap cair meningkat dan pengotor serta kandungan lain dapat tersaring. Hal ini terbukti pada penelitian Fachraniah, Foba, dan Rahmi (2009) yang melakukan proses destilasi dengan variasi suhu sehingga didapatkan bahwa pada fraksi destilasi yang pertama dengan suhu <math>100^{\circ}\text{C}</math> didapat pH asap cair 1,35 sedangkan fraksi yang keempat dengan suhu destilasi  $151\text{--}180^{\circ}\text{C}$  menurunkan pH asap cair hingga 0,36. Sementara itu, proses pirolisis dengan perbedaan suhu dan waktu pirolisis juga memberikan pengaruh pada hasil pH asap cair yang dihasilkan, seperti pada penelitian Akbar, Paindoman, dan Coniwanti (2013) yang melakukan pirolisis dengan variasi suhu  $150\text{--}350^{\circ}\text{C}$  dengan waktu pirolisis 10–30 menit menghasilkan pH tertinggi 2,7 pada suhu  $150^{\circ}$  dengan waktu pirolisis 10 menit sedangkan pH terendah 2,08 pada suhu pirolisis  $350^{\circ}\text{C}$  pada waktu 30 menit pirolisis.

## 2. Berat jenis

Berat jenis asap cair lima jenis kayu yang dianalisis juga memperlihatkan hasil yang berbeda, dengan variasi berat jenis antara 0,83–1,04

dengan berat jenis terendah dimiliki oleh asap cair kayu matoa dan tertinggi dihasilkan asap cair kayu malas. Apabila dibandingkan dengan mutu asap cair Jepang maka berat jenis kelima asap cair yang didapat bernilai lebih rendah sehingga belum memenuhi kelas mutu berat jenis asap cair standar Jepang. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Satriadi, Jauhari, dan Ariandi (2010) yang membuat asap cair dari jelutong sehingga menghasilkan berat jenis 1,0014 belum sesuai dengan persyaratan mutu asap cair. Begitu juga pada asap cair dari bahan baku campuran kayu pada penelitian Komarayati et al. (2011) menghasilkan nilai berat jenis sekitar 0,97–0,99 sehingga belum juga memenuhi standar, sedangkan pada penelitian Wibowo (2012) asap cair hasil pirolisis dari limbah tempurung nyamplung menghasilkan nilai berat jenis yang sesuai standar mutu asap cair Jepang yaitu 1,009.

Berat jenis yang terukur pada asap cair merupakan gambaran kerapatan molekul yang terkandung dalam asap cair tersebut. Beberapa kondisi dapat mempengaruhi perbedaan nilai BJ dari asap cair, yaitu di antaranya proses degradasi selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada saat pirolisis (Nasruddin, 2015). Masing-masing kayu menghasilkan asap cair dengan senyawa yang berbeda-beda (terlihat dari hasil analisa GC-MS yang didapat) dengan persentase yang berbeda, sehingga senyawa-senyawa ini juga diduga turut mempengaruhi berat jenis pada asap cair. Beberapa senyawa yang disinyalir dapat mempengaruhi berat jenis asap cair di antaranya Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH), fenol, dan tar (Nasruddin, 2015). Seperti pada pH, berat jenis juga dapat menurun nilainya dengan melakukan destilasi pada asap cair, karena setelah destilasi, senyawa tar akan mengendap sementara senyawa lain seperti fenol, karbonil, dan asam akan mengalami penguapan.

## 3. Asam asetat

Asap cair setiap jenis kayu juga dihitung kadar asam asetat yang terkandung didalamnya. Penggunaan asam asetat pada asap cair dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti sebagai pengganti asam format pada sistem koagulasi lateks, pemberi rasa dan aroma kuat pada makanan serta merupakan pereaksi kimia

penting dalam industri (Asmawit & Hidayati, 2016) serta pengatur keasaman dan pelunak air (Akbar et al., 2013).

Kadar asam asetat pada Tabel 1 untuk kelima jenis kayu memiliki kadar yang variatif berkisar antara 0,65–13,09% dengan kadar terendah yaitu asap cair kayu merbau sedangkan kadar asam asetat tertinggi dimiliki asap cair kayu trema, kemudian dari Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa kayu malas menghasilkan asap cair kadar asam asetat yang tidak terdeteksi, hal ini terjadi kemungkinan karena kadarnya terlalu kecil sehingga tidak terhitung pada saat analisis menggunakan metode titrasi. Pamori et al. (2015) melakukan pirolisis terhadap sabut kelapa sehingga menghasilkan kadar asam asetat sebesar 5,2%, sementara itu Asmawit dan Hidayati (2016) melakukan redistilasi 3–5 kali pada asap cair tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan menghasilkan kadar asam asetat 3,6–3,7%.

Asam asetat pada asap cair merupakan asam organik dan terbentuk dari dekomposisi selulosa dan hemiselulosa pada kayu, sehingga kadar asam asetat kemungkinan dipengaruhi oleh kandungan bahan baku yang digunakan. Perbedaan bahan baku yang digunakan akan menghasilkan kadar asam asetat yang juga berbeda. Namun begitu pada umumnya asam asetat juga merupakan komponen asam tertinggi pada asap cair (Choi et al., 2012). Kandungan asam asetat pada asap cair dapat ditingkatkan melalui destilasi suhu lebih tinggi karena semakin tinggi suhu destilasi, maka asam asetat akan mengalami penguapan. Fraksi pertama destilasi menghasilkan konsentrasi asam asetat sebesar 0,7 N sementara fraksi keempat destilasi meningkatkan konsentrasi asam asetat hingga 7,25 N (Fachraniah et al., 2009).

#### 4. Fenol

Kadar fenol pada asap cair juga dihitung untuk mengetahui kandungan fenol pada setiap asap cair yang dihasilkan, sehingga masing-masing asap cair dapat dimanfaatkan secara tepat guna. Kadar fenol terendah yaitu 0,19% dimiliki asap cair kayu merbau dan matoa, sedangkan kadar fenol tertinggi 2,50% dimiliki kayu trema, sedangkan kadar fenol pada kayu malas tidak terdeteksi, karena kemungkinan nilainya terlalu

kecil sehingga tidak dapat terhitung, sehingga asap cair kayu trema dan kayu nani dapat digunakan sebagai agen bakterisidal (kadar fenol > 1%).

Alpian, Prayitno, Pramana, dan Sutapa (2014) menganalisis kualitas asap cair batang gelam sehingga menghasilkan kadar fenol yang lebih besar berkisar antara 2,429–9,231%. Sementara itu, Asmawit dan Hidayati (2016) membuat asap cair dari tandan kosong kelapa sawit dengan 3–5 kali proses destilasi dan menghasilkan kadar fenol yang tidak terlalu tinggi (1,2–1,3%). Kadar fenol pada asap cair dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kandungan lignin dan suhu pada saat pirolisis. Semakin tinggi kandungan lignin, disinyalir akan menghasilkan kadar fenol yang juga tinggi, selain itu penggunaan suhu yang tepat pada saat proses pirolisis akan mengefektifkan reaksi penguraian lignin secara sempurna (Asmawit & Hidayati, 2016). Senyawa fenol secara luas diketahui sebagai antibakteri dan antioksidan yang aktif sehingga banyak digunakan di berbagai industri (He, Yin, Chen, Cai, & Tai, 2015; Ho, Lazim, Fazry, & Zaki, 2016).

#### B. Analisis Komponen Asap Cair Lima Jenis Kayu dengan Menggunakan Py-GCMS

Data analisis komponen kimia masing-masing asap cair kelima jenis kayu ditampilkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Komponen kimia yang memiliki kandungan yang tinggi pada asap cair kayu trema yaitu asam asetat sekitar 22,34%, 1-hexyn-3-ol (CAS) 1-hexyne-3-ol sebesar 16,65%, dan komponen senyawa fenol beserta turunannya sekitar 19,16%. Kemudian, dari analisa juga dapat dilihat bahwa ada beberapa komponen senyawa yang hanya diperoleh pada asap cair hasil pirolisis kayu trema.

Beberapa senyawa tersebut memiliki banyak manfaat seperti pada penelitian Sweidan et al. (2016) dimana dilakukan desain dan sintesis butyrolactone dengan mengganti cincin pada struktur butyrolactone sehingga memperkaya aktivitasnya, dan diuji terhadap aktivitas antibakteri *Streptococcus gordinii*. Hasil penelitian memberikan kesimpulan bahwa terdapat dua jenis *butyrolactane* yang disintesis memberikan efektivitas antibakteri yang lebih tinggi (2–3 kali)

**Tabel 2. Hasil analisa py-GCMS asap cair kayu trema, nani, merbau, matoa, dan malas**  
**Table 2. Analysis result of liquid smoke from trema, nani, merbau, matoa and malas wood by py-GCMS**

No.	Komponen kimia (Chemical compounds)	% Relatif (Relative)				
		Kayu Trema (Trema wood)	Kayu Nani (Nani wood)	Kayu Merbau (Merbau wood)	Kayu Matoa (Matoa wood)	Kayu Malas (Malas wood)
1.	Carbamic acid, monoammonium salt (CAS) ammonium carbamate	0,97	1,54	8,36	10,82	
2.	Acetic acid, ethylic acid	12,21	17,54	20,09	12,01	0,75
3.	2-propanone, 1 hydorxy (CAS) acetol	4,87		6,66		3,46
4.	Acetic acid, ethylic acid	10,13	7,81	17,07, 12,74	22,05 2,48	13,29
5.	2(3)H furanone,dyhydro (CAS) butyrolactone	1,31				
6.	6-oxa-bycyclo[3.1.0]hexane-3-on	0,94	1,22			
7.	Phenol-CAS-izal	0,87	1,48	3,37		
8.	Cyclopentene-1-one, 2-hydroxy-3-methyl(CAS) Corylon	3,22	3,53	1,93	2,35	
9.	Cyclopentene-1-one, 2-hydroxy-3-methyl(CAS) Corylon	2,59			0,90	
10.	Phenol, 4-metoxy (CAS) Hymme	5,55				
11.	1-Hexyne-3-ol (CAS) 1-hexyne-3-ol	16,65				
12.	2-Methoxy-4-methylphenol	2,09	2,48	2,32	3,80	
13.	1-Octene-(CAS) caprylene	2,30	1,95			
14.	Oxirane,2-butyl-3-methyl-(CAS)2,3-epoxyheptane	5,73	5,05			
15.	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy (CAS)-p-ethylguaiacol	1,73	2,04	0,63	0,88	
16.	6-heptyne-2-one, 4-4,dimethyl (CAS)	2,13				
17.	Dyhydrojasmone	1,36				
18.	Phenol, 2-6,dimethoxy-(CAS), 2-6-dimethoxyphenol	5,88	6,24	2,92	8,73	14,16
19.	(2R-5R-6R)-5-3-Butenyl-2-tert-butyl-6-methyl-1,3-dioxan-4-one	1,78				
20.	Benzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxy-(CAS) vanillin	1,55	0,60			
21.	4-Methoxy, 3-(methoxymethyl) phenol	3,04				
22.	Hexanoic acid, 1-methylethyl ester (CAS) isopropyl hexanoat	6,09	5,88			
23.	1,6-anhydro-beta-d-glucopyranose (levoglucosan)	4,67	3,77			
24.	4-octanol-7-methyl-acetate (CAS) 7-methyl-4-octyl-acetate	0,73				
25.	2,4-Hexadienedioic-acid, 3,4-diethyl, dimethyl ester (E,Z) CAS CIS trans	1,60	1,57	0,60		
26.	2 furancarboxaldehyde, 5-methyl-CAS-5 methyl, 2 furfural		2,39	1,41		
27.	Cyclohexane-1,1,2-trymethyl (CAS) trimethylcyclohexane		1,36			
28.	Phenol,2-methoxy (CAS)-guaiacol		5,20	8,91	3,61	
29.	Butanoic acid, 2-propenyl-ester-allyl-n-butanoat		2,34			

**Tabel 2. Hasil analisa py-GCMS asap cair kayu trema, nani, merbau, matoa, dan malas**  
**Table 2. Analysis result of liquid smoke from trema, nani, merbau, matoa and malas wood by py-GCMS**

No.	Komponen kimia ( <i>Chemical compounds</i> )	% Relatif ( <i>Relative</i> )				
		Kayu Trema ( <i>Trema wood</i> )	Kayu Nani ( <i>Nani wood</i> )	Kayu Merbau ( <i>Merbau wood</i> )	Kayu Matoa ( <i>Matoa wood</i> )	Kayu Malas ( <i>Malas wood</i> )
30.	Cyclopropyl-carbinol		6,93			
31.	3-Methoxy-pyrocatechol		2,28			
32.	Spiro,2,4-heptan-4-one (CAS) spiro-2,4-heptan-4-one		1,15			
33.	1,4-Benzenediol, 2-Methyl (CAS) THQ		1,72			
34.	Benzene, 1,2,3-Trimethoxy-(CAS)-1,2,3-trimethoxybenzene		3,77	1,31		
35.	Benzene, 1,2,3-Trimethoxy-4-methyl (CAS)-Toluene-3,4,5-trimethoxy		1,13		1,94	
36.	2-Peopanone-1,(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) CAS 1,4-hydroxy-3-methoxyphenyl		0,76			
37.	Methyl, 2-hydroxy-3-etoxybenzyl ether		0,34			
38.	Benzaldehyde, 4-hydroxy,3,5-dimethoxy-CAS-syringaldehyde		0,38			
39.	Ethanone,1,4 hydroxy-dimethoxyphenyl-CAS-acetosyringone		0,78	0,66	0,70	
40.	1-H-pyrazole, 3,5-dimethyl (CAS) 3,5-dimethylpyrazole			2,04		
41.	5-Hexene-2-one (CAS) Allylacetone			0,83		
42.	Cyano hydroxypentane			0,48		
43.	1,3H imidazole 4YL- ethanone			1,14		
44.	5-Hydroxy, 2,7-dymethyl-4-octanone			0,68		
45.	Butyric acid, ester with m-hydroxybenzonitrile(CAS) m-cyanophenile			0,88		
46.	Ethanone,1,4 hydroxy-3-methoxyphenyl-CAS-acetovanilone			0,68		
47.	Dodecanemide,N,N-bis-2-hydroxyethyl\			3,18		
48.	Tetradecanoic acid,(CAS)myristic acid			0,71	1,43	
49.	9-Octadecenoic acid, Z CAS Oleic acid			0,39		
50.	Benzenesulfonic acid,4-hydroxy (CAS) Benzenesulfonic acid, p-hydroxy				8,02	
51.	2H-Pyran-2-one, tetrahydro(CAS) 5-valerolactone				1,04	
52.	1,6:2,3-Dianhydro-4-deoxy-beta-D-lyxo-hexopyranosa				1,05	
53.	Phenol, 3 methyl (CAS) m-cresol				4,99	
54.	Benzoic acid, (CAS) Retardex				0,68	
55.	2-Propenoic acid, 2-methyl, etyl ester (CAS) ethyl meylclirate				0,82	



**Tabel 2. Hasil analisa py-GCMS asap cair kayu trema, nani, merbau, matoa, dan malas**  
**Table 2. Analysis result of liquid smoke from trema, nani, merbau, matoa and malas wood by py-GCMS**

No.	Komponen kimia ( <i>Chemical compounds</i> )	% Relatif ( <i>Relative</i> )				
		Kayu Trema ( <i>Trema wood</i> )	Kayu Nani ( <i>Nani wood</i> )	Kayu Merbau ( <i>Merbau wood</i> )	Kayu Matoa ( <i>Matoa wood</i> )	Kayu Malas ( <i>Malas wood</i> )
56.	1,2,4-Trymethoxybenzene				3,87	
57.	Dodecanoic acid, (CAS) Lauric acid				4,27	
58.	Phenol, 1,1-dymethyl ethyl, 4-methoxy (CAS) Butylated hydroxuanisole				0,59	
59.	Hexadecanoic acid (CAS) palmitic acid.				0,67	
60.	Phenol, 3-methyl(CAS) o-cresol				0,61	
61.	Peroxide, bis (1,1-dymethylethyl) (CAS) di-tert-buthyl peroxide					0,16
62.	Butanal, 3-hydroxy-(CAS) 3-hydroxybutanal					22,75
63.	1-Propen-2-ol, acetate (CAS) Isopropenyl acetate					0,23
64.	1,2-Benzenediol (CAS) pyrocatechol					10,09
65.	2-Ethyl-3-methoxy-2-cyclopentene					6,62
66.	3-Ethenylheptan-2,6-Dion					2,08
67.	Cyclohexanone, 3-hydroxy-(CAS) 3-Hydroxycyclohexanone					1,10
68.	4,6-Dimethylnitropyrdone-2(1H)					4,44
69.	Ethanone, 1-(2,24,6- tryhydroxyphenyl)-(CAS) Acetophloroglucine					0,93
70.	1,1-Heptenediol, diacetate (CAS)					1,20
71.	3-Oxabicyclo (3,3,0) Octan-2-on, 7-Methylen-4,4-dimethyl					2,65
72.	Acetic acid, phenyl ester (CAS) Phenyl acetate					5,67
73.	Phenol, 3-(phenylimino)methyl-N- oxide (CAS) N,M-Hydroxybenziline					0,66
74.	Hydrazine, 1,1-dimethyl-(CAS) N,N-dimethylhydrazine					3,28
75.	Acetic acid, 8-acetoxy-2-oxa— selena-adamantan-4-YL-ester					0,73
76.	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2- propenyl)-(CAS) 4-ALLYL-2,6- dimethoxyphenol					0,81
77.	Propane, 1,1-sulfonyblis-(CAS) Di- N-Propyl Sulphone					0,20
78.	2-Acetyl-2-methyl-succinonitrile					3,35
79.	2,(5-hydroxy-1,1,5-trimethylhexyl)-3- methylcyclopropenyl methyl ketone					0,16
80.	Ethanol, 2-propoxy-(CAS) 2-propoxyethanol					0,29

dibanding antibiotik pembanding (*doxycycline*). Kedua jenis butyrolactone tersebut memiliki ikatan alkyl yang paling panjang, dan diketahui bahwa semakin panjang alkyl yang terikat maka aktivitas antibakteri juga dapat meningkat. Sementara itu, komponen dyhydrojasmone berfungsi untuk penguat rasa dan pemberi aroma seperti bunga, biasa digunakan juga untuk pembuatan parfum dan dapat disintesis mereaksikan hexyl bromide dengan laevulinic ester menghasilkan senyawa lactone yang kemudian dapat bereaksi dengan *polyphosphoric acid* sehingga membentuk hydrojasmone (Opdyke, 1972).

Komponen asam asetat pada asap cair kayu Nani berkisar antara 25,35%, fenol sekitar 15% dan komponen *cyclopropyl carbinol* sekitar 6,93%. Pada penelitian Newby, Peebles, dan Peebles (2005) dilakukan pengamatan mengenai struktur atom dan stabilitas konformer dari cyclopropyl carbinol melalui *Fourier transform microwave spectrometer*, hal ini didasari karena senyawa tersebut memiliki kemampuan membentuk ikatan hidrogen intramolekuler dan cincin cyclopropane yang mampu menjadi penerima proton yang baik. Sementara itu, 3-methoxy-pyrochatechol (1,2 benzenediol) pada penelitian Kim dan Lee (2014) disintesis dari bahan alam (akar kesemek) dan diuji aktivitas mikroba terhadap pertumbuhan bakteri gram positif, sehingga diketahui bahwa 1,2 benzenediol dan beberapa struktur analognya memiliki kemampuan menghambat bakteri pada makanan.

Pada asap cair hasil pirolisis kayu merbau, tiga komponen dengan kandungan terbesar yaitu asam karbamat sekitar 49,90%, fenol sekitar 18,15%, asam karbamat 8,36%, dan *butyric acid* termasuk yang hanya ditemukan pada asap cair merbau. Stein, Wimmer, Ortner, Fuchs, dan Bochmann (2017) memaksimalkan produksi senyawa *butyric acid* dari limbah makanan sebagai prekursor produksi butanol melalui fermentasi ABE (aseton-butanol-etanol), hal ini didasarkan pada banyaknya manfaat *butyric acid* di antaranya untuk memperkaya fermentasi ABE sehingga meningkatkan produksi butanol, baik konversi maupun rasio butanol terhadap aseton.

Asap cair kayu matoa menghasilkan komponen senyawa yang memiliki kandungan yang tinggi di antaranya asam asetat sebesar 36,54%, fenol 23,21% dan asam karbamat sebesar 10,82%,

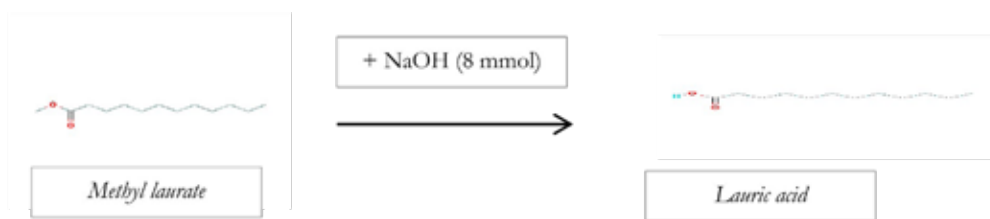
sedangkan komponen lauric acid dan asam palmitat ditemukan hanya ada pada asap cair matoa. Zatta, Ramos, dan Wypych (2013) menggunakan lauric acid sebagai bahan baku untuk menghasilkan biodiesel melalui proses esterifikasi menggunakan katalis heterogen montmorillonit yang teraktivasi asam. Lain halnya dengan Nitbani, Jumina, Siswanta, dan Solikhah (2016) yang mengisolasi dan mensintesis lauric acid dari minyak kelapa dan diujicobakan aktivitas antimikrobanya terhadap *S. aureus*, *Bacillus cereus*, *S. Typhimurium* dan *E. coli*. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa lauric acid dapat menghambat pertumbuhan bakteri gram positif maupun bakteri gram negatif, akan tetapi aktivitas antimikrobanya masih lebih rendah jika dibandingkan dengan ciprofloxacin.

Asam palmitat juga merupakan komponen yang memiliki banyak manfaat, di antaranya sebagai bahan baku untuk proses esterifikasi menggunakan katalis zeolite-Y dan ZSM-5 seperti pada penelitian Prinsen, Luque, dan González-arellano (2018).

Asam palmitat yang merupakan asam lemak ternyata juga dapat digunakan sebagai alternatif bahan pembengkak dalam pembuatan SMP (Shape Memory Polymers) pada karet alam (Wee, Chai, & Ho, 2017). Sementara itu, Cao et al. (2018) juga melakukan reaksi hidrodoksigenasi dan hidroisomerasi menggunakan bahan baku palmitic acid dengan katalis zeolit (H-ZSM 22) yang diimpregnasi logam Cobalt 4% sehingga menghasilkan fraksi energi.

Pada asap cair kayu malas, dapat diketahui bahwa kandungan komponen terbesar adalah asam asetat dengan persentase sekitar 20,44%, fenol berkisar 15,63%, dan kandungan lain yang ditemukan kadarnya tinggi yaitu butanal, 3 hydroxy-(CAS)-3-hydroxybutanal dengan persentase sekitar 22,75%, nitropyridine, dan N,N-dimethylhydrazine.

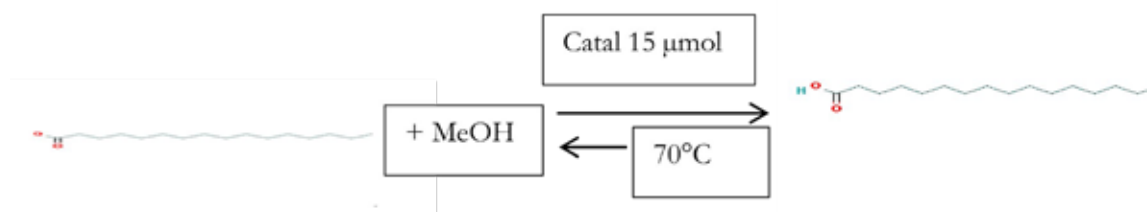
Frey, Rusche, Schink, dan Schleheck (2016) melakukan penelitian kloning, ekspresi fungsional, serta karakterisasi dehidrogenase 3-hydroxybutanal pada metabolisme aseton, sehingga didapatkan bahwa senyawa 3-hydroxybutanal dapat dioksidasi oleh enzim menjadi acetoacetaldehyde ( $83 \pm 18$  mU/mg). Pada penelitian Wang et al. (2014) dilakukan sintesis dan evaluasi turunan nitropyridine



**Gambar 1. Sintesis lauric acid**

**Figure 1. Lauric acid synthesis**

Sumber: Nitbani et al. (2016)



**Gambar 2. Reaksi esterifikasi asam palmitat menggunakan katalis**

**Figure 2. Esterification of palmitic acid using catalyst**

Sumber: Prinsen et al. (2018)

terhadap daya hambat HIV. Dengan metode pendekatan Scaffold dan penambahan beberapa pereaksi didapatkan bahwa senyawa turunan baru nitropyridine mampu memberikan aktivitas dalam menghambat HIV-1 ( $EC_{50} = 0,056 \mu M$ ).

Ban, Asakura, dan Morita (2009) menunjukkan senyawa N,N-dimethylhydrazine dapat diaplikasikan juga pada proses reduksi Pu (IV) dan Np (VI) agar dapat terpisah dari U dan Pu pada proses PUREX. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa N,N-dimethylhydrazine terkonfirmasi mampu mereduksi secara selektif Np (VI) menjadi Np (V) tanpa mempengaruhi valensi dari U (VI) dan PU (IV). Hasil simulasi numerik mengindikasikan bahwa 99,9% Np dapat terpisah dari U dan Pu dengan reduksi dari N,N-dimethylhydrazine.

### C. Potensi Manfaat Kandungan Asap Cair

Kandungan asap cair hasil pirolisis berkaitan dengan proses pirolisis serta bahan baku yang digunakan (Soares et al., 2016), sehingga kayu yang berbeda akan menghasilkan berbagai tingkat kandungan fenol, karbonil, dan asam organik yang juga berbeda, yang pada akhirnya akan membuat aktivitas asap cair juga akan berbeda

(Lingbeck et al., 2014). Pirolisis terjadi dalam empat tahapan yaitu penguapan air, dekomposisi hemiselulosa dan dekomposisi selulosa (suhu  $180-350^{\circ}C$ ) menghasilkan asam karboksilat dan senyawa karbonil kemudian dekomposisi lignin ( $300-500^{\circ}C$ ) yang menghasilkan senyawa fenol (Lingbeck et al., 2014), sehingga semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka senyawa phenol yang terbentuk akan semakin bertambah (Wu et al., 2015).

Asap cair secara umum memiliki beberapa jenis komponen kimia yang utama, yaitu kelompok senyawa asam asetat, fenol, furfural dan keton, serta asam organik (Lingbeck et al., 2014). Komponen senyawa asam asetat dan fenol telah dijadikan salah satu penciri kualitas dan keaslian dari asap cair (Cerezo et al., 2008). Pada penelitian ini juga dapat dilihat bahwa beberapa senyawa seperti asam asetat, ethylic acid, fenol, 2-6, dimethoxy-(CAS), 2-6-dimethoxyphenol, dan asam karbamat terdapat pada hampir semua jenis asap cair yang dianalisa.

Salah satu penggunaan asam asetat pada asap cair yang menarik untuk dikembangkan di antaranya adalah menjadi energi yaitu etanol. Beberapa penelitian melakukan hidrogenasi asam

**Tabel 3. Potensi manfaat komponen kimia asap cair lima jenis kayu**  
**Table 3. Chemical compounds utilization of liquid smoke of five wood species**

No.	Komponen kimia* ( <i>Chemical compounds</i> )	Formula* ( <i>Formula</i> )	Berat* molekul ( <i>Mol. weight</i> )	Berat pasti** ( <i>Exact mass</i> )	Fragmentasi ion-MS* ( <i>Fragment ion</i> )	Penggunaan** ( <i>Utilization</i> )
1.	Acetic acid, ethylic acid	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	60	60,021	14, 15, 29, 43, 60	Memiliki sifat antibakteri dan antijamur, senyawa pereaksi dalam pembuatan plastik
2.	Hydrazine, 1,1-dimethyl-(CAS) N,N-dimethylhydrazine	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	60	60,069	14, 18, 28, 42, 60, 72	Bahan bakar berenergi tinggi pada aplikasi militer, propelan roket, absorben gas asam
3.	Carbamic acid, monoammonium salt (CAS) ammonium carbamate	CH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	61	61,075	12, 17, 28, 44	Senyawa kunci dalam pembuatan sintesis urea
4.	Cyclopropyl-carbinol	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	72	72,058	25, 27, 44, 57, 71	Dapat membentuk ikatan hydrogen intramolekuler
5.	2-propanone, 1 hydroxy (CAS) acetol	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	74	74,037	27, 31, 43, 74	Sebagai penguat rasa dan zat aditif pada makanan, sintesis obat
6.	2(3)H Furanone, dihydro (CAS) butyrolactone	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	86	86,037	24, 27, 28, 42, 56, 82	Pelarut farmasi
7.	Phenol-CAS-izal	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	94	94,042	26, 39, 55, 66, 74, 94	Untuk produksi resin fenolik dalam industri plywood dan otomotif, zat antara dalam pembuatan resin dan epoksi serta desinfektan dan obat kumur
8.	1-H-pyrazole, 3,5-dimethyl (CAS) 3,5-dimethylpyrazole	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	96	96,069	41, 54, 68, 81, 96, 98	Dapat menjadi produk turunan penghambat nitrifikasi (anggota turunan pirazol yaitu 3,5-Dimethylpyrazoliumglyceroborate)
9.	5-Hexene-2-one (CAS) Allylacetone	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	98	98,073	25, 43, 56, 83, 98	Bahan penyedap rasa
10.	6-oxa-bicyclo[3.1.0]hexane-3-one	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	98	98,036	55, 69, 98	Aktivitas anti tripanosoma
11.	1-Hexyne-3-ol (CAS) 1-hexyne-3-ol	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	98	98,073	12, 27, 44, 57, 72, 97	Pelarut farmasi
12.	2H-Pyran-2-one, tetrahydro(CAS) 5-valerolactone	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	100	100,068	24, 27, 41, 56, 70, 85, 100	Penguat rasa, senyawa antara
13.	Ethanol, 2-propoxy-(CAS) 2-propoxyethanol	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	104	104,084	27, 41, 43, 57, 73, 86, 104	Pelarut, tinta, toner
14.	Phenol, 3 methyl (CAS) m-cresol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108	108,058	37, 39, 51, 63, 79, 90, 108	Bahan antiseptik dan desinfektan
15.	Phenol, 3-methyl(CAS) o-cresol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	108	108,058	37, 39, 51, 63, 79, 90, 108	Bahan antiseptik dan desinfektan
16.	2 furancarboxaldehyde, 5-methyl-CAS-5 methyl, 2 furfural	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	110	110,037	27, 39, 53, 61, 81, 95, 110	Penguat rasa, biasa ditemukan pada cabai ( <i>Capsicum annum</i> ), produk sekunder dari saccharide
17.	Cyclopentene-1-one, 2-hydroxy-3-methyl(CAS) Corylon	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	112	112,052	25, 27, 41, 55, 69, 83, 112	Sebagai aditif makanan dan penguat rasa
18.	1-Octene-(CAS) caprylene	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	112	112,125	14, 27, 41, 57, 70, 84, 112	Zat aditif makanan serta pengatur viskositas
19.	2-Propenoic acid, 2-methyl, ethyl ester (CAS) ethyl methylcitate	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	114	114,068	27, 41, 43, 69, 71, 86, 99, 114	Biasa digunakan untuk membuat senyawa polimer, serta penguat rasa
20.	Cyclohexanone, 3- hydroxy-(CAS) 3-Hydroxycyclohexanone	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	114	114,068	41, 43, 68, 71, 96, 114	Dapat dihidrogenasi menjadi cyclohexane 1,3-dione

Tabel 3. Potensi manfaat komponen kimia asap cair lima jenis kayu  
Table 3. Chemical compounds utilization of liquid smoke of five wood species

No.	Komponen kimia* (Chemical compounds)	Formula* (Formula)	Berat* molekul (Mol. weight)	Berat pasti** (Exact mass)	Fragmentasi ion-MS* (Fragment ion)	Penggunaan** (Utilization)
21.	Benzoic acid, (CAS) Retardex	$C_7H_6O_2$	122	122,037	27, 39, 51, 65, 77, 94, 105, 122	Antioksidan, pengawet makanan, penguat rasa, bakterisida, fungisida
22.	Phenol, 2-methoxy (CAS)-guaiacol	$C_7H_8O_2$	124	124,052	27, 39, 53, 63, 81, 95, 109, 124, 126	Memiliki khasiat desinfektan dan digunakan sebagai ekspektoran
23.	Phenol, 4-metoxy (CAS) Hymme	$C_7H_8O_2$	124	124,137	27, 39, 53, 65, 81, 95, 109, 124, 126	Dapat mencegah ploriferasi neoplasma
24.	1,4-Benzenediol, 2-Methyl (CAS)THQ	$C_7H_{10}O_2$	124	124,052	14, 27, 39, 53, 67, 77, 95, 107, 124	Sejenis methylhidroquinon
25.	Butanoic acid, 2-propenyl-ester-allyl-n-butanoat	$C_7H_{12}O_2$	128	128,084	32, 41, 43, 57, 71, 89, 100, 113, 128	Bahan penyedap
26.	Acetic acid, phenyl ester (CAS) Phenyl acetate	$C_8H_8O_2$	136	136,052	15, 38, 43, 58, 77, 94, 136	Bahan penyedap makanan dan permen
27.	2-Methoxy-4-methylphenol	$C_8H_{10}O_2$	138	138,068	15, 39, 55, 67, 77, 95, 106, 123, 138	Zat aditif pada makanan
28.	3-Methoxy-pyrocatechol	$C_7H_8O_3$	140	140,047	27, 39, 51, 68, 79, 97, 107, 125, 140	1,2-benzenediol dan analog strukturalnya menunjukkan aktivitas antimikroba yang sangat kuat terhadap bakteri
29.	Propane, 1,1-sulfonylbis-(CAS) Di-N-Propyl Sulphone	$C_6H_{14}O_2S$	150	150,071	26, 27, 41, 43, 57, 71, 85, 108, 149	Elektrolit dalam baterai litium
30.	Phenol, 4-ethyl-2-methoxy (CAS)-p-ethylguaiacol	$C_9H_{12}O_2$	152	152,084	39, 51, 65, 77, 91, 107, 121, 137, 152	Penguat rasa, biasa ditemukan juga pada kopi arabika
31.	4,6-Dimethylnitropyridine-	$C_7H_8N_2O_2$	152	152,059	37, 41, 42, 67, 77, 94, 110, 123, 153, 168	Bahan untuk membuat Paladium kompleks
32.	Phenol, 2,6-dimethoxy-(CAS), 2-6-dimethoxyphenol	$C_8H_{10}O_3$	154	154,063	15, 39, 51, 65, 79, 93, 11, 125, 139, 140, 154	Bahan penguat rasa
33.	Benzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxy-(CAS) vanillin	$C_8H_8O_3$	155	155,066	14, 18, 29, 51, 65, 81, 95, 109, 123, 137, 152	Penguat rasa
34.	Hexanoic acid, 1-methylethyl ester (CAS) isopropyl hexanoat	$C_9H_{18}O_2$	158	158,131	27, 41, 43, 60, 71, 87, 99, 117, 143	Penguat rasa, biasa ditemukan di buah-buahan seperti anggur, stroberi, belimbing
35.	1,6-anhydro-beta-d-glucopyranose (levoglucosan)	$C_6H_{10}O_5$	162	1,621,406	15, 27, 29, 43, 60, 73	Biomarker kimiawi dalam pembakaran biomassa terutama pada studi kimia atmosfer, dapat diubah menjadi bioetanol
36.	Dyhidrojasmon	$C_{11}H_{18}O$	166	166,136	36, 41, 53, 67, 81, 95, 110, 123, 137, 151, 166	Penguat rasa, biasa ditemukan pada jeruk
37.	Ethanone, 1,4 hydroxy-3-methoxyphenyl-CAS-acetovanilone	$C_9H_{10}O_3$	166	166,063	29, 39, 43, 65, 80, 93, 108, 123, 136, 151, 166	Penguat rasa di industri makanan, melindungi dari fibrosis paru

**Tabel 3. Potensi manfaat komponen kimia asap cair lima jenis kayu**  
**Table 3. Chemical compounds utilization of liquid smoke of five wood species**

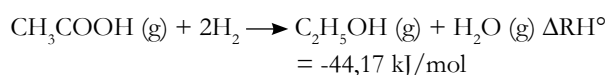
No.	Komponen kimia* (Chemical compounds)	Formula* (Formula)	Berat* molekul (Mol. weight)	Berat pasti** (Exact mass)	Fragmentasi ion-MS* (Fragment ion)	Penggunaan** (Utilization)
38.	Benzene, 1,2,3-Trimethoxy-(CAS)-1,2,3-trimethoxybenzene	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	168	168,079	31, 39, 51, 65, 77, 95, 110, 125, 138, 153, 154, 168	Bahan penyedap rasa
39.	Eitanone, 1-(2,4,6-trihydroxyphenyl)-(CAS) Acetophloroglucine	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	168	168,042	14, 16, 40, 69, 73, 85, 111, 123, 126, 153, 154, 168	Umumnya ditemukan dalam buah-buahan, dapat juga diisolasi dari kulit pohon plum
40.	5-Hydroxy, 2,7-dimethyl-4-octanon	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	172	172,146	30, 41, 43, 69, 70, 85, 98, 116	Penguat rasa
41.	Benzenesulfonic acid,4-hydroxy (CAS) Benzenesulfonic acid, p-hydroxy	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub> S	174	173,999	26, 39, 50, 66, 74, 94	Senyawa intermediet
42.	Phenol, 1,1-dymethyl ethyl, 4-methoxy (CAS) Butylated hydroxyanisole	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	180	180,115	41, 51, 65, 77, 91, 107, 124, 137, 149, 165, 200	Antioksidan pada pengawet makanan
43.	Benzaldehyde, 4-hydroxy,3,5-dimethoxy-CAS-syngaldehyde	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	182	182,058	38, 51, 65, 79, 93, 111, 123, 139, 153, 167, 182	Bahan penyedap rasa
44.	Butyric acid, ester with m-hydroxybenzonnitrile (CAS) m-cyanophenile	C <sub>11</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>	189	189,079	26, 41, 43, 64, 71, 90, 102, 199, 130, 146, 189	Senyawa prekursor dibidang farmasi dan penguat rasa di industri makanan
45.	Phenol, 2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)-(CAS) 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	194	194,094	27, 39, 53, 65, 77, 91, 103, 119, 131, 147, 167, 179, 194	Penguat rasa
46.	Ethanone,1,4 hydroxy-dimethoxyphenyl-CAS-acetosyringone	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	196	196,074	43, 65, 77, 93, 108, 123, 138, 153, 181, 196	Penyedap rasa, juga dapat berfungsi sebagai obat asma dan antiinflamasi non steroid
47.	Dodecanoic acid, (CAS) Lauric acid	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	200	200,178	22, 41, 60, 73, 85, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 200	Antimikroba, toksisitas rendah sehingga juga digunakan untuk bahan surfaktan sampo dan sabun, penguat rasa
48.	Tetradecanoic acid,(CAS)myristic acid	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	228	228,209	27, 41, 43, 60, 73, 85, 98, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 214, 228	Pereaksi sintesis penguat rasa serta bahan sabun dan kosmetik
49.	Hexadecanoic acid (CAS) palmitic acid.	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	256	256,240	270, 41, 60, 73, 85, 98, 115, 129, 143, 157, 171, 185, 213, 227, 256	Surfaktan, penguat rasa,adhesive, senyawa antara
50.	9-Octadecenoic acid, Z CAS Oleic acid	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	282	282,256	39, 41, 55, 69, 83, 97, 112, 129	Digunakan dalam pembuatan oleat dan lotion, serta pelarut farmasi
51.	Dodecanemide,N,N-bis-2-hydroxyethyl	C <sub>6</sub> H <sub>35</sub> NO <sub>3</sub>	287	287,246	27, 41, 60, 73, 85, 101, 115, 129, 143, 157, 171, 200	Di industri biasa digunakan untuk “surface active agent” dan senyawa antara

Keterangan (Remarks):

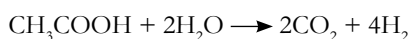
\* = berdasarkan data analisa py-GCMS; ;

\*\* = berdasarkan data National Center for Biotechnology Information. PubChem Compound Database

asetat menjadi etanol dengan tambahan katalis Cu (Zhang, Yao, Jiang, Li, & Chen, 2017), Pt-Sn (Rakhsit, Voolapalli, & Upadhyayula, 2018), dan In-Cu/SiO<sub>2</sub> (Zhang, Ye, Guo, Gan, & Tong, 2018). Pada penelitian Rakhsit et al. (2018) yang menggunakan katalis Pt-Sn dengan mengamati pengaruh asam bronsted terhadap selektifitas produk yang dihasilkan sehingga didapatkan bahwa 81% asam asetat dapat dikonversi dengan selektifitas etanol yang terbentuk sekitar 95%. Mekanisme reaksi hidrogenasi asam asetat menjadi etanol:



Penelitian Xu et al. (2013) menjadikan asap cair dari *camellia oleifera* sebagai bahan baku dalam pembuatan hidrogen menggunakan bantuan katalis Ni/M/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode *steam reforming*. Hal ini dikarenakan asap cair memiliki viskositas rendah dan senyawa aromatik sehingga tidak akan terpolimerisasi dan menyumbat alat. Komposisi kandungan asap cair setelah proses reaksi mengalami penurunan pada senyawa organik dari 8% menjadi 6%, asam 7,071% menjadi 4,762%, dan fenol 4,031 menjadi 1,858%. Mekanisme reaksi pembuatan hidrogen dengan metode steam reforming:



Baimark dan Niamsa (2009) meneliti sifat koagulan dan anti jamur dari asap cair tempurung kelapa, bambu, dan Eucalyptus. Dari hasil penelitiannya ditemukan bahwa penggunaan asap cair dari biomassa pada karet alam memberikan sifat indeks retensi plastisitas, viskositas mooney dan sifat mekanik pada karet mirip dengan yang menggunakan asam asetat bahkan lebih baik dibanding dengan penggunaan asam format.

Asap cair juga pernah dikembangkan sebagai pengurang efek negatif yang dihasilkan dari penggantian NaCl oleh KCl pada sosis bologna rendah lemak. Seperti pada penelitian dos Santos Alves et al. (2017) yang melakukan penggantian kandungan NaCl oleh KCl pada sosis yang diteliti, secara teknologi, fisikokimia maupun sifat mikrobiologi yang diamati, penggantian ini tidak memberi dampak negatif, namun ada efek sensoris yang berkurang, sehingga sosis menjadi lebih pahit dan rasa asin menjadi berkurang,

sehingga diberi tambahan 0,1% asap cair pada sosis dan efek negatif pada sensoris dapat berkurang.

Kandungan asam organik pada asap cair juga memberikan alternatif penggunaan lain dari asap cair, di antaranya untuk ekstraksi logam menggantikan asam sintesis seperti pada penelitian Choi et al., (2012) yang mengaplikasikan asap cair pada ekstraksi logam tembaga, arsen, dan krom pada kayu yang dipreparasi sehingga mampu mengekstraksi 95,7% tembaga, 92,7% arsen, dan 86,3% logam krom. Logam-logam tersebut memiliki kuat ikatan dan afinitas yang berbeda terhadap lignin, sehingga proses ekstraksi memberi hasil yang berbeda. Semakin kuat afinitas antara logam dan lignin, maka ekstraksi dengan asap cair akan semakin sulit dan memberikan hasil ekstraksi yang lebih rendah.

Senyawa lain yang cukup penting pada asap cair adalah ammonium karbamat, acetol, levoglucosan, propionic acid, dan butanoic acid. Ammonium carbamate merupakan senyawa yang biasa digunakan dalam pupuk dan memainkan peranan penting dalam sintesis urea, juga cadangan komponen penting untuk lingkungan dingin/di luar planet dalam bentuk fasa padatan (garam), senyawa ini juga dapat dibentuk dari reaksi NH<sub>3</sub> dan CO (Bossia, Theulé, Duvernay, Borget, & Chiavassa, 2008). Acetol termasuk senyawa utama dalam produk cair hasil pirolisis biomassa, memiliki manfaat penting di antaranya selain untuk penguat rasa juga senyawa bernilai untuk sintesis obat. Senyawa acetol dapat di sintesis melalui beberapa tahap, yaitu mereaksikan bromoacetone dengan sodium/potassium formate yang diikuti dengan proses hidrolisis senyawa ester dengan menggunakan methyl alcohol, dehidrogenasi glycerol/propylene glycol menggunakan katalis pada suhu 200–300°C ataupun rute alternatif lain yaitu ekstraksi dari cairan hasil pirolisis menggunakan tambahan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Wang et al., 2010).

Sementara itu, levoglucosan juga merupakan komponen kimia yang potensial untuk dijadikan bahan baku produk tertentu, seperti pada penelitian Lian, Garcia-perez, dan Chen (2013) yang menggunakan levoglucosan dari hasil pirolisis biomassa yang diberi beberapa perlakuan terutama menggunakan ragi *R.*

glutinis dan *R. toruloides* menjadi lipid, sehingga *levoglucosa* kinase dalam mikroorganisme tersebut berfungsi dalam fosforilasi levoglucosan menjadi glucose-6-phosphate dan kemudian difermentasi menghasilkan lipid. Levoglucosan juga dapat diubah menjadi energi transportasi melalui proses fermentasi menjadi alkohol, sintesis menggunakan katalis menjadi hidrokarbon, serta dehidrasi menjadi furfural dan furan (Helle et al. (2007) dalam Wang, Zheng, Wang, dan Lu (2018). Wang et al. (2018) juga melakukan optimasi ekstraksi levoglucosan dari biooil hasil pirolisis sehingga didapat ekstraksi paling optimal menghasilkan levoglucosan 78% dengan kadar kemurnian 95,56%.

*Propionic acid* dan *butanoic acid* mampu menstimulasi proses ekstraksi logam tembaga, arsen dan krom pada kayu yang diberi perlakuan (Choi et al., 2012). Senyawa-senyawa asam organik lemah diketahui juga dapat terdisosiasi dan masuk ke dalam membran mikroorganisme, dan menurunkan pH sitoplasma sehingga mempengaruhi sistem enzim, asam nukleat dan protein sel. Dari beberapa penjelasan sebelumnya, banyak sekali manfaat asap cair hasil pirolisis biomassa yang dapat dikembangkan untuk kepentingan masa depan, karena tidak hanya asap cair yang secara langsung dapat dimanfaatkan, namun juga komponen kimia yang terkandung di dalam asap cair apabila diekstraksi maupun dipreparasi dan dimodifikasi.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH asap cair kelima jenis kayu berkisar antara 2,68–4,34, berat jenis 0,83–1,04, kadar asetat 0,65–13,09%, dan kadar fenol 0,19–2,14%. Sementara itu, kandungan hasil analisa py-GCMS menemukan keragaman komponen kimia yang terkandung dalam asap cair masing-masing jenis kayu beserta manfaatnya, dan komponen utama sebagai penciri asap cair pada kelima jenis kayu terkonfirmasi adalah senyawa asam asetat, ethylic acid, fenol, 2-6-dimethoxy-(CAS), 2-6-dimethoxyphenol, dan asam karbamat. Masing-masing asap cair maupun komponen yang terkandung di dalamnya memiliki manfaat dan bernilai tinggi, seperti pengawet makanan,

sumber etanol, bahan pereduksi unsur, pemberi stimulus ekstraksi logam, penghambat HIV, sehingga kedepan diharapkan dapat diaplikasikan dalam berbagai variasi produk yang lebih luas sesuai cara pandang, tujuan dan target produk yang ingin dicapai.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan (P3HH), tim peneliti dan teknisi Laboratorium Kimia Terpadu–P3HH, Dadang Setiawan, Poedji Hastuti, Mad Ali, dan Umi Kulsum yang telah membantu dalam proses penelitian dan analisa sampel sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A., Paindoman, R., & Coniwanti, P. (2013). Pengaruh variabel waktu dan temperatur terhadap pembuatan asap cair dari limbah kayu pelawan (*Cyanometra cauliflora*). *Jurnal Teknik Kimia*, 19(1), 1–8.
- Alpian, Prayitno, T. A., Pramana, J., & Sutapa, G. (2014). Kualitas asap cair batang gelam (*Melaleuca sp.*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(2), 83–92.
- Ariestya, D. I., Swastawati, F., & Susanto, E. (2016). Antimicrobial activity of microencapsulation liquid smoke on tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) meat for preservatives in cold storage ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ). *Aquatic Procedia, 2nd International Symposium on Aquatic Products Processing and Health, ISAPPROSH 20157*, 19–27. doi: 10.1016/j.aqpro.2016.07.003.
- Asmawit, & Hidayati. (2016). Karakteristik destilat asap cair dari tandan kosong kelapa sawit proses redistilasi. *Majalah BLAM*, 8–14.
- Baimark, Y., & Niamsa, N. (2009). Study on wood vinegars for use as coagulating and antifungal agents on the production of natural rubber sheets. *Biomass and Bioenergy*, 33(6-7), 994–998. doi.org: 10.1016/j.biombioe.2009.04.001.



- Ban, Y., Asakura, T., & Morita, Y. (2009). Reduction kinetics of Pu (IV) and Np (VI) by N, N-dimethylhydrazine, and its potential application in nuclear fuel reprocessing. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 279(2), 423–424. doi: 10.1007/s10967-007-7262-4.
- Bossa, J. B., Theulé, P., Duvernay, F., Borget, F., & Chiavassa, T. (2008). Carbamic acid and carbamate formation in NH<sub>3</sub> : CO<sub>2</sub>ices – UV irradiation versus thermal processes. *Astronomy & Astrophysics*, 724, 719–724.
- Cao, Y., Shi, Y., Bi, Y., Wu, K., Hu, S., & Wu, Y. (2018). Hydrodeoxygenation and hydroisomerization of palmitic acid over bifunctional Co / H-ZSM-22 catalysts. *Fuel Processing Technology*, 172(August 2017), 29–35. doi: 10.1016/j.fuproc.2017.09.020.
- Cerezo, A., Tesfaye, W., Torija, M. J., Mateo, E., Garcá, M. C., & Troncoso, A. (2008). The phenolic composition of red wine vinegar produced in barrels made from different woods. *Food Chemistry*, 109, 606–615. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.01.013
- Choi, Y., Ahn, B.-J., & Kim, G. (2012). Bioresource technology extraction of chromium, copper, and arsenic from CCA-treated wood by using wood vinegar. *Bioresource Technology*, 120, 328–331. doi: 10.1016/j.biortech.2012.06.045.
- dos Santos Alves, L. A. A., Lorenzo, J. M., Gonçalves, A. C. A., Alves dos Santos, B., Heck, R. T., Cichoski, J. A., & Campagnol, C. P. B. (2017). Impact of lysine and liquid smoke as flavor enhancers on the quality of low-fat Bologna-type sausages with 50 % replacement of NaCl by KCl. *Meat Science*, 123, 50–56. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.09.001.
- Fachraniah, Foba, Z., & Rahmi, Z. (2009). Peningkatan kualitas asap cair dengan distilasi. *Jurnal Reaksi (Journal of Science and Technology)*, 7(14), 1–11.
- Frey, J., Rusche, H., Schink, B., & Schleheck, D. (2016). Cloning, functional expression and characterization of a bifunctional 3-hydroxybutanal dehydrogenase/reductase involved in acetone metabolism by *Desulfococcus biacutus*. *Biomed Central Microbiology*, 1–9. doi: 10.1186/s12866-016-0899-9
- Hagner, M., Penttinen, O., Tiilikkala, K., & Setälä, H. (2013). The effects of biochar, wood vinegar and plants on glyphosate leaching and degradation. *European Journal of Soil Biology*, 58, 1–7. doi: 10.1016/j.ejsobi.2013.05.002
- Haji, A. G., Alim, Z., Lay, B. W., Sutjahjo, S. H., & Pari, G. (2007). Karakterisasi asap cair hasil pirolisis sampah organik padat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(3), 111–118.
- He, J., Yin, T., Chen, Y., Cai, L., & Tai, Z. (2015). Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers of *Pyrus pashia*. *Journal of Functional Foods*, 17, 371–379. doi: 10.1016/j.jff.2015.05.045
- Ho, C. W., Lazim, A. M., Fazry, S., & Zaki, U. K. H. H. (2016). Varieties, production, composition and health benefits of vinegars: A review. *Food Chemistry*, 221, 1621–1630. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.128
- Kim, H., & Lee, M. (2014). 1,2-Benzendiol isolated from persimmon roots and its structural analogues show antimicrobial activities against food-borne bacteria. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57, 429–430. doi: 10.1007/s13765-014-4141-x.
- Komarayati, S., Gusmailina, & Pari, G. (2011). Produksi cuka kayu hasil modifikasi tungku arang terpadu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(3), 234–247.
- Komarayati, S., & Wibowo, S. (2015). Karakteristik asap cair dari tiga jenis bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(2), 167–174.

- Lian, J., Garcia-perez, M., & Chen, S. (2013). Bioresource technology fermentation of levoglucosan with oleaginous yeasts for lipid production. *Bioresource Technology*, 133, 183–189. doi: 10.1016/j.biortech.2013.01.031.
- Lingbeck, J. M., Cordero, P., Bryan, C. A. O., Johnson, M. G., Ricke, S. C., & Crandall, P. G. (2014). Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation. *Meat Science*, 97(2), 197–206. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.02.003.
- Luo, Y., Guda, V. K., Steele, P. H., & Wan, H. (2016). Bio-oils to hydrocarbons in fixed-bed continuous. *Bioresouces*, 11, 4415–4431.
- Mungkunkamchao, T., Kesmala, T., Pimratch, S., Toomsan, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Scientia horticulturae wood vinegar and fermented bioextracts: natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 154, 66–72. doi: 10.1016/j.scienta.2013.02.020
- Nasruddin. (2015). Karakteristik asap cair yang ditambahkan ekstrak aroma daun pandan wangi (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.). *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 26(1), 19–31.
- Newby, J. J., Peebles, R. A., & Peebles, S. A. (2005). Heavy atom structure and conformer stabilities of cyclopropyl carbinol from rotational spectroscopy and ab initio calculations. *Journal of Molecular Structure*, 740, 133–142. doi: 10.1016/j.molstruc.2005.01.042.
- Nitbani, F. O., Jumina, Siswanta, D., & Solikhah, N. E. (2016). Isolation and antibacterial activity test of lauric acid from crude coconut oil (*Cocos nucifera* L.). *Procedia Chemistry*, 18, 132–140. doi: 10.1016/j.proche.2016.01.021,
- Nunkaew, T., Kantachote, D., & Chairapat, S. (2016). Use of wood vinegar to enhance 5-aminolevulinic acid production by selected *Rhodopseudomonas palustris* in rubber sheet wastewater for agricultural use. *Saudi Journal of Biological Science*. doi: 10.1016/j.sjbs.2016.01.028.
- Opdyke, D. L. (1972). Monographs on fragrance raw materials Dihydrojasmane. *Food and Cosmetics Toxicology*, 12(4), 1972.
- Oramahi, H. ., Diba, F., & Nurhaida. (2014). New bio preservatives from lignocelluloses biomass bio-oil for anti termites *Coptotermes curvignathus* Holmgren. *Procedia Environmental Sciences*, 4th International Conference on Sustainable Future for Human Security, Sustain 2013,20, 778–784. doi: 10.1016/j.proenv.2014.03.094.
- Oramahi, H. A., & Diba, F. (2013). The 3rd international conference on sustainable future for human security maximizing the production of liquid smoke from bark of durio by studying its potential compounds. *Procedia Environmental Sciences*, The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security, Sustain 2012,17, 60–69. doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.012.
- Pamori, R., Efendi, R., & Restuhadi, F. (2015). Karakteristik asap cair dari pirolisis limbah sabut kelapa muda. *Sagu*, 14(2), 43–50.
- Prinsen, P., Luque, R., & González-arellano, C. (2018). Microporous and mesoporous materials zeolite catalyzed palmitic acid esteri fi cation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 262, 133–139. doi: 10.1016/j.micromeso.2017.11.029.
- Rakhsit, K. P., Voolapalli, K. R., & Upadhyayula, S. (2018). Acetic acid hydrogenation to ethanol over supported Pt-Sn catalyst: Effect of bronsted acidity on product selectivity. *Molecular Catalysis*, 448, 78–90. doi: 10.1016/j.mcat.2018.01.030.

- Satriadi, T., Jauhari, A., & Ariandi, M. (2010). Perbandingan rendemen cuka kayu (*Wood Vinegar*) jelutung (*Dyera spp.*) berdasarkan ukuran bahan baku. *Jurnal Hutan Tropis*, 11(30), 47–55.
- Simangunsong, B. C. H., Sitanggang, V. J., Manurung, E. G. T., Rahmadi, A., Moore, G. A., & Aye, L. (2017). Potential forest biomass resource as feedstock for bioenergy and its economic value in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 81, 10–17. doi: 10.1016/j.forpol.2017.03.022.
- Soares, J. M., Franklin, P., Saorin, B. M., Brustolin, A. P., Cansian, L., & Valduga, E. (2016). Antimicrobial and antioxidant activity of liquid smoke and its potential application to bacon. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38(A), 189–197.
- Stein, U. H., Wimmer, B., Ortner, M., Fuchs, W., & Bochmann, G. (2017). Maximizing the production of butyric acid from food waste as a precursor for ABE-fermentation. *Science of the Total Environment*, 598, 993–1000. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.139
- Swastawati, F., Boesono, H., Susanto, E., & Indah, A. (2016). Changes of amino acids and quality in smoked milkfish [*Chanos chanos* (Forsk.)] processed by different redistillation methods of corncob liquid smoke. *Aquatic Procedia*, 2nd International Symposium on Aquatic Product Processing and Health ISAPPROSH 2015, 7, 100–105. doi: 10.1016/j.aqpro.2016.07.013.
- Sweidan, A., Chollet-krugler, M., Weghe, P. Van De, Chokr, A., Tomasi, S., Bonnaure-mallet, M., & Bousarghin, L. (2016). Design, synthesis and biological evaluation of potential antibacterial butyrolactones. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 24(22), 5823–5833. doi: 10.1016/j.bmc.2016.09.040.
- Thy, P., Barfod, G. H., Cole, A. M., Brown, E. L., Jenkins, B. M., & Lesher, C. E. (2017). Trace metal release during wood pyrolysis. *Fuel*, 203, 548–556. doi: 10.1016/j.fuel.2017.04.050.
- Vachlepi, A., & Suwardin, D. (2015). Characterization of iron metal corrosion in liquid smoke coagulant. *Procedia Chemistry, International Symposium on Applied Chemistry 2015 (ISAC 2015)*, 16, 420–426. doi: 10.1016/j.proche.2015.12.073.
- Wang, J., Zhan, P., Li, Z., Liu, H., Clercq, E. De, Pannecouque, C., & Liu, X. (2014). Chemistry discovery of nitropyridine derivatives as potent HIV-1 non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors via a structure-based core refining approach. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 76, 531–538. doi: 10.1016/j.ejmech.2014.02.047.
- Wang, J., Zheng, J., Wang, J., & Lu, Z. (2018). Industrial crops & products: A separation and quantification method of levoglucosan in biomass pyrolysis. *Industrial Crops & Products*, 113, 266–273. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.01.045.
- Wang, Z., Lin, W., Song, W., & Yao, J. (2010). Preliminary investigation on concentrating of acetol from wood vinegar. *Energy Conversion and Management*, 51(2), 346–349. doi: 10.1016/j.enconman.2009.09.031.
- Wee, J. S., Chai, A. B., & Ho, J. (2017). Fabrication of shape memory natural rubber using palmitic acid. *Journal of King Saud University—Science*. 29(4), 494–501. doi: 10.1016/j.jksus.2017.09.003.
- Wibowo, S. (2012). Karakteristik asap cair tempurung nyamplung. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(3), 218–227.
- Wu, Q., Zhang, S., Hou, B., Zheng, H., Deng, W., Liu, D., & Tang, W. (2015). Study on the preparation of wood vinegar from biomass residues by carbonization process. *Bioresource Technology*, 179, 98–103. doi: 10.1016/j.biortech.2014.12.026
- Xu, X., Jiang, E., Li, B., Wang, M., Wang, G., Ma, Q., ... Guo, X. (2013). Hydrogen production from wood vinegar of *Camellia oleifera* Shell by. *Catalysis Communication*, 39, 106–114. doi: 10.1016/j.catcom.2013.04.024.

- Zatta, L., Ramos, L. P., & Wypych, F. (2013). Acid-activated montmorillonites as heterogeneous catalysts for the esterification of lauric acid acid with methanol. *Applied Clay Science*, 80-81, 236–244. doi: 10.1016/j.clay.2013.04.009.
- Zhang, M., Yao, R., Jiang, H., Li, G., & Chen, Y. (2017). Applied surface science insights into the mechanism of acetic acid hydrogenation to ethanol on Cu ( 111 ) surface. *Applied Surface Science*, 412, 342–349. doi: 10.1016/j.apsusc.2017.03.222.
- Zhang, Y., Ye, C., Guo, C., Gan, C., & Tong, X. (2018). In  $2O_3$ -modified Cu /  $SiO_2$  as an active and stable catalyst for the hydrogenation of methyl acetate to ethanol. *Chinese Journal of Catalysis*, 39(1), 99–108. doi: 10.1016/S1872-2067(17)62932-2.