

KOMPONEN KIMIA ORGANIK LIMA JENIS ASAP CAIR (*Chemical Organic Compound of Five Liquid Smoke*)

Nur Adi Saputra, Sri Komarayati, & Gusmailina

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

Diterima 5 Februari 2018, direvisi 29 Januari 2019, disetujui 11 Februari 2021

ABSTRACT

*Plants such as cacao (*Theobroma cacao*), avocado (*Persea americana*), puspa (*Schima wallichii*), sengon (*Falcataria mollucana*) and tarik angin (*Usnea* sp.) are widely planted in the community for fruit or wood needs. Periodically, they harvest these types of wood for common uses or plant rotation purposes. In general, wood sorting is used for simple construction or even conventionally burned. In addition to conventional combustion techniques to produce charcoal, there is another product that can be produced, namely liquid smoke - using a combustion technique by adding a condenser to produce liquid smoke. Liquid smoke contains organic chemicals with various benefits. This study investigates the organic chemical content of liquid smoke of cacao, avocado, puspa, sengon, and tarik angin wood. The five types of materials were carbonized using a pyrolysis reactor around 400°C. Liquid smoke was obtained by condensing fumes mechanism. Analysis of organic liquid chemical using Gas Chromatography Mass Spectrometer (GCMS) Pyrolysis Type QP2010 and High Performance Liquid Chromatography (HPLC). GCMS analysis showed that cacao liquid smoke has the highest concentration of acidic group, of the 45.53%, where the concentration of acetic acid was 31.81%. The presence of the highest phenol group was in avocado liquid smoke as much as 56.86%, where the concentration of phenol compounds reached 41.92%. The acid and phenol groups are type of compounds contained in liquid smoke and have a lot of benefits.*

Keywords: Acetic acid, GCMS, liquid smoke, organic chemical compound, phenol

ABSTRAK

Beberapa tanaman seperti kakao (*Theobroma cacao*), alpukat (*Persea americana*), puspa (*Schima wallichii*), sengon (*Falcataria mollucana*) dan tarik angin (*Usnea* sp.) banyak ditanam di masyarakat untuk kebutuhan buah-buahan atau kayu. Secara periodik, masyarakat memanen jenis-jenis tersebut untuk dimanfaatkan kayunya atau peremajaan tanaman. Pada umumnya, sortimen kayu digunakan untuk konstruksi sederhana, atau dibakar. Selain teknik pembakaran konvensional untuk menghasilkan arang, ada produk lain yang dapat dihasilkan yaitu asap cair menggunakan teknik pembakaran dengan menambahkan kondensor untuk menghasilkan asap cair. Asap cair memiliki kandungan kimia organik dengan beragam manfaat. Studi ini bertujuan untuk menganalisis kandungan kimia organik jenis asap cair dari jenis kayu kakao, kayu alpukat, kayu puspa, kayu sengon dan kayu tarik angin. Kelima jenis material studi dikarbonisasi menggunakan reaktor pirolisis pada suhu 400°C. Asap cair didapat dengan cara kondensasi uap karbonisasi kelima jenis tersebut. Analisis kandungan kimia organik asap cair menggunakan kromatografi gas-spektrometer massa (*Gas Chromatography Mass Spectrophotometry*, GCMS) *Pyrolysis Type QP2010* dan *High Performance Liquid Chromatography (HPLC)*. Analisis GCMS menunjukkan bahwa asap cair kayu kakao memiliki konsentrasi kelompok asam tertinggi, yaitu 45,53%, sementara konsentrasi asam asetatnya adalah 31,81%. Kehadiran kelompok fenol tertinggi terdapat pada asap cair kayu alpukat sebanyak 56,86%, di mana konsentrasi senyawa fenol mencapai 41,92%. Kelompok asam dan fenol merupakan jenis senyawa yang terkandung pada asap cair dan memiliki manfaat yang luas.

Kata kunci: Asap cair, asam asetat, fenol GC-MS, senyawa kimia organik

I. PENDAHULUAN

Asap cair (*liquid smoke*) merupakan teknologi konversi biomassa melalui penguraian senyawa kimia organik menjadi senyawa penyusunnya (Ardila, Thamrin, WS, & Eddiyanto, 2013). Produksi asap cair pada umumnya menggunakan teknik pirolisis (Adfa et al., 2017; Pimenta, Fasciotti, Monteiro, & Lima, 2018; Yang, Yang, Liang, Gao, & Wu, 2016), dimana biomassa dipanaskan lebih dari 300°C (A'yuni, Darmadji, & Pranoto, 2017) sampai 450°C (Pimenta et al., 2018), dan asap dikondensasi menjadi bentuk cairan (Adfa et al., 2017; Ardila et al., 2013; Yang et al., 2016). Teknologi ini merupakan teknologi ramah lingkungan (Ariyani, Mujiyanti, & Harlianto, 2015; Wijaya, Wiharto, & Anwar, 2018) yang dapat mengurangi pelepasan CO₂ ke udara.

A'yuni, Darmadji, dan Pranoto (2017) melakukan penelitian untuk mengetahui senyawa penyusun asap cair kayu sengon dan pengaruhnya terhadap penurunan kadar logam Pb pada kacang kedelai. Asap cair kayu sengon memiliki kadar fenol sebesar 0,5%, kadar asam 5,27% dan karbonil 6,84%. Asap cair sengon kemudian diaplikasikan untuk menurunkan kadar Pb pada biji kedelai dan terbukti dapat menurunkan Pb sebesar 59,12%.

Asap cair kakao dilaporkan memiliki 10 senyawa kimia organik, sebagian besar termasuk polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), dimana senyawa *arenofuran* dan *apirazine* memberikan aktivitas anti jamur (Janairo & Amalin, 2018). Dua belas senyawa kimia organik ditemukan terdapat pada kulit buah kakao, didominasi golongan asam asetat, fenol dan methanol (Wijaya et al., 2018). Hasil serupa dikemukakan Handojo, Cherilisa, dan Indarto (2018), dimana asap cair kulit kakao banyak mengandung golongan asam dan fenol.

Mahendran, Brennan, dan Hariharan (2018) melaporkan 68 jenis senyawa volatil yang dikeluarkan di gudang penyimpanan alpukat. Analisis kromatografi gas dilakukan untuk memantau senyawa yang dilepaskan di gudang penyimpanan alpukat. Atmosfer dimodifikasi untuk melihat volatil yang dilepaskan alpukat di dalam gudang penyimpanan. Beberapa senyawa

yang terdeteksi di antaranya adalah golongan *butyl acetate*, *3-hexenyl acetate*, *2-hexenyl acetate* dan *hexyl acetate* (Mahendran et al., 2018). Kasus lain respon metabolisme sekunder alpukat terhadap serangan organisme penggerek tanaman *Copturus aguacatae* diamati melalui profil GC-MS. Dilaporkan produksi 16 senyawa terpenoid meningkat pada tanaman yang terserang *Copturus aguacatae*, sementara proporsi kecil *isobutylsilactone* dan *a-humulene* terdapat pada tanaman yang tidak terserang (Meléndez-González & Espinosa-García, 2018). Ekstrak daun alpukat diduga memiliki aktivitas sebagai anti diabetes. Ekstrak metanol dari daun alpukat terbukti sebagai enzim pencernaan pati atau komplikasi diabetes (Njateng et al., 2018).

Analisis GC-MS terhadap kulit kayu *Schima wallichii* dilakukan untuk mengetahui kandungan ekstrakmethanol. Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa senyawa 2, 3-benzofurandione, Glycidol, Phenylpropanolamine dan Rotenone terdeteksi pada fraksi 85-92 dari 30% MeOH dalam larutan kloroform (Paudel & Subba, 2014).

Beberapa tanaman seperti kakao, alpukat, sengon, puspa dan tarik angin menjadi limbah penebangan dan dibakar secara konvensional, sementara pada saat bersamaan dapat dihasilkan produk samping asap cair yang memiliki beragam manfaat. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis kandungan kimia organik asap cair yang dihasilkan dari kelima jenis tanaman tersebut menggunakan instrument GC-MS dan melakukan konfirmasi terhadap studi sebelumnya.

II. BAHAN dan Metode

A. Material Penelitian

Bahan baku yang digunakan sebagai material produksi asap cair terdiri dari 5 jenis kayu yaitu, kayu kakao (*Theobroma cacao*), kayu puspa (*Schima wallichii*), kayu sengon (*Falcataria mollucana*) dan kayu tarik angin (*Usnea* sp.) yang diperoleh dari 2 kelompok tani penghasil arang dan asap cair di Desa Karyamukti, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat, sedangkan asap cair kayu alpukat (*Persea americana*) diperoleh dari kelompok tani penghasil arang dan asap cair di Desa Singa, Kabupaten Karo, Sumatera Utara.

B. Metode Penelitian

1. Proses pirolisis

Material penelitian dipotong secara kasar (Karima, 2014), diukur dan ditimbang sebelum disusun dalam tungku drum modifikasi. Pemotongan secara kasar dilakukan agar mempermudah proses pembakaran (Karima, 2014). Pengaturan konsentrasi oksigen dilakukan menggunakan katup pengatur udara yang berada di bagian atas drum. Katup pengaturan oksigen dibuka pada saat proses pembakaran awal untuk mempercepat proses pembakaran dan ditutup setelah material terbakar di dalam reaktor.

Selama proses karbonisasi dilakukan monitoring temperatur menggunakan *temperatur gauge* yang terpasang di bagian atas tungku. Tahap pirolisis berakhir pada suhu 400–450°C ditandai asap semakin tipis dan berwarna biru-bening. Tungku bagian pembakaran awal kemudian ditutup menggunakan batu bata dan pasir agar tidak terjadi pembakaran sempurna di dalam tungku. Asap dari pembakaran material di salurkan melalui kondensor untuk merubah asap menjadi cairan (Ardila et al., 2013; Ariyani et al., 2015; Karima, 2014). Arang hasil pirolisis dan asap cair kemudian didiamkan selama 24 jam untuk proses pendinginan dan pengendapan. Tahap akhir produksi asap cair adalah penyaringan tar menggunakan kertas saring.

2. Analisis GC-MS Pirolisis

Pemindaian (*scanning*) kandungan kimia organik asap cair dilakukan menggunakan *Gas Chromatography Mass Spektrophotometry* (GC-MS) *Pyrolysis Type Shimadzu QP2010*. Gas pembawa (*carrier gas*) yang digunakan adalah gas helium kemurnian sangat tinggi dengan dengan kecepatan 23,7 cm per detik. Pengaturan waktu GCMS selama 50 menit dengan temperatur pirolizer 400°C dan pengaturan temperatur 280°C pada kolom dan injeksi gas pembawa. Senyawa kompleks diurai menjadi unsur penyusunnya oleh kromatografi gas dan diidentifikasi lebih lanjut dengan spektrofotometer massa. Komponen kimia organik pada analisis GC-MS kemudian dikonfirmasi dengan database *Chemical Abstract Service* (CAS). Komponen senyawa asam asetat

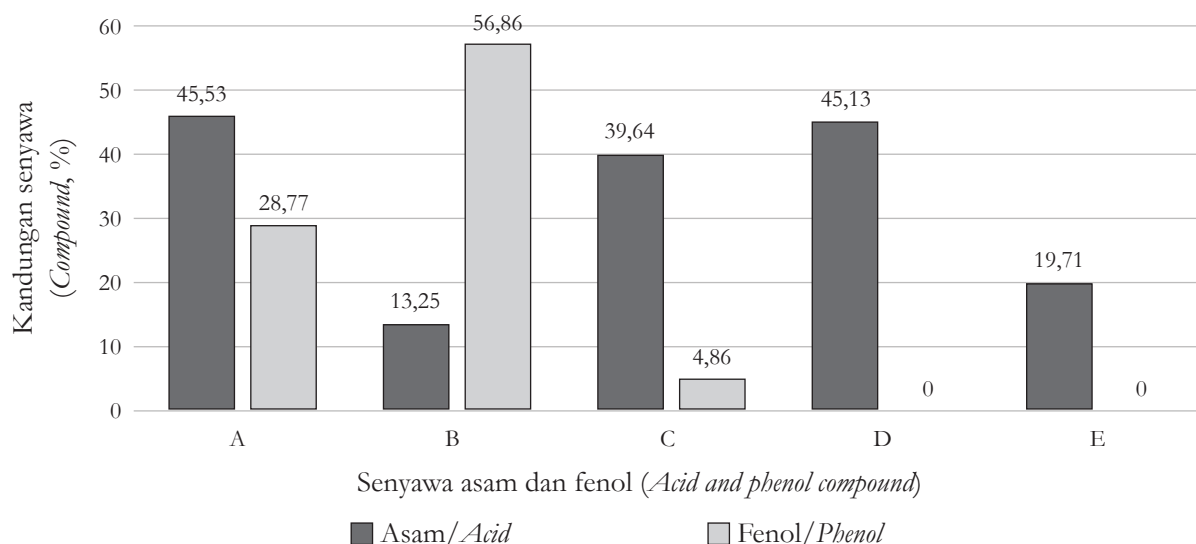
dan fenol akan diidentifikasi menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) Merk Hitachi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis GCMS Asap Cair

Hasil analisis GCMS (Gambar 1) menunjukkan bahwa kelompok senyawa asam tertinggi terdapat pada asap cair dari jenis kayu kakao (*Theobroma cacao*) sebanyak 45,53% dan terendah terdapat pada asap cair jenis kayu alpukat (*Persea americana*). Konsentrasi kelompok fenol tertinggi terdapat pada asap cair jenis kayu alpukat (*Persea americana*) sebanyak 56,86%, senyawa fenol berasal dari penguraian lignin (A'yuni et al., 2017). Studi ini tidak dapat mendeteksi keberadaan kelompok fenol pada asap cair dari kayu sengon dan kayu tarik angin. Hal ini kemungkinan terjadi karena lignin belum terurai, sehingga tidak terdeteksi oleh GC-MS. Kayu sengon terkenal sebagai spesies yang memiliki kandungan lignin rendah (A'yuni, et al., 2017) dan sering dijadikan bahan baku pulp (Azhari, Falah, Nurjannah, Suryani, & Bintang, 2014).

Senyawa *2-hexanone, 1,1,3,3,5-pentadeutero-5-methyl-4-oxa-* memiliki konsentrasi paling tinggi, terdapat pada asap cair jenis kayu tarik angin (*Usnea* sp.) sebanyak 51,97% (Tabel 1). Senyawa yang memiliki konsentrasi tinggi lainnya secara berturut-turut adalah *Fenol, 4-methoxy-* (CAS) *Hqmm* (25,55%) pada kayu alpukat, *Acetic acid* (CAS) *Ethyllic acid* (19,78%) pada kayu kakao, *Acetic acid* (CAS) *Ethyllic acid* (19,38%) pada kayu puspa dan senyawa *Peracetic Acid* (17,54%) pada kayu tarik angin. Senyawa *2-hexanone* digolongkan ke dalam senyawa karsinogenik. US Environmental Protection Agency (2010) melaporkan bahwa paparan *2-hexanone* sebanyak 0,23%, 0,65%, atau 2% di udara (9,422; 26,600; atau 81,900 mg/m³), dapat menyebabkan iritasi mata dan gangguan pernafasan. Sumber paparan *2-hexanone* dapat berasal dari printer, mebel dan cat (Environmental Protection Agency, 2010). Hasil survey terhadap karyawan perusahaan kain di Ohio, menyatakan bahwa sekitar 30% operator mengalami gangguan iritasi mata dan gangguan pernafasan.



Keterangan (Remarks):

- (A) = Asap cair kayu kakao (*Theobroma cacao liquid smoke*)
- (B) = Asap cair kayu alpukat (*Persea americana liquid smoke*)
- (C) = Asap cair kayu puspa (*Schima wallichii liquid smoke*)
- (D) = Asap cair kayu sengon (*Falcatari mollucana aliquid smoke*)
- (E) = Asap cair kayu tarik angin (*Usnea sp. liquid smoke*)

Gambar 1. Kandungan kelompok asam dan fenol lima jenis asap cair
Picture 1. Acetic acid and phenolic compound of five liquid smoke

Fenol, 4-methoxy- (CAS) Hqmm atau mequinol atau tretinoin sering digunakan terapi gangguan pigmen seperti hiperpigmentasi melasma dan postinflammatory (PIH) (NCBI, 2018). Mequinol digunakan juga di industri makanan sebagai bumbu/pemberi rasa, antineoplastik dan antioksidan (Yang et al., 2016; NCBI, 2018). Acetic acid (CAS) Ethylic acid atau asam asetat adalah salah satu asam karboksilat yang paling sederhana. Asam asetat digunakan luas di berbagai industri kimia seperti produksi botol minuman ringan, film fotografi; dan lem kayu, serta serat sintesis kain. Asam asetat juga sering digunakan sebagai bahan pembersih di rumah tangga, setelah diencerkan. Asam asetat digunakan juga sebagai pengatur tingkat keasaman di industri makanan untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme (NCBI, 2018).

Peracetic Acid dan peroxyacetic acid (PPA) adalah senyawa yang terdiri acetic acid, hydrogen peroxide dan air, dan membentuk keseimbangan molekul. Karakteristik PPA adalah tidak berwarna, jernih, dan tidak berbusa (Wilson, 2014). Semakin tinggi konsentrasi PPA akan mempertajam bau asap cair

(Wilson, 2014). Pemanfaatan PPA sudah lama dilakukan di industri makanan dan minuman serta industri kertas. Pemanfaatan PPA di bidang kesehatan adalah sebagai disinfektan, bahkan Amerika Utara menggunakan PPA sebagai disinfektan (Wilson, 2014) di fasilitas air limbah (Wilson, 2014; PeroxyCham, 2015). Penambahan perasetat ke dalam akan membuatnya mudah terurai di dalam air, namun pada akhirnya akan mencapai keseimbangan. Asam perasetat memiliki derajat keasaman 1, sehingga pada kondisi lingkungan asam, perasetat akan terurai sekitar 7–12 hari.

Puncak kromatogram asap cair kayu kakao mulai muncul pada waktu retensi 3,522 menit dan berhenti pada waktu retensi 20,842 menit (Gambar 2). Puncak kromatogram tertinggi adalah 5,622 menit, ditandai dengan adanya senyawa Acetic acid (CAS) Ethylic acid dengan luas area 19,78%. Asap cair kayu kakao mengandung asam asetat sebanyak 31,81%, asam lainnya 13,72%, fenol 22,85%, fenol lain 5,92% dan senyawa organik lainnya sebanyak 25,72%.

Tabel 1. Persentase relatif senyawa organik lima jenis asap cair
Table 1. Relative percentage of organic compound of five liquid smoke

Senyawa (<i>Compound</i>)	TC (%)	PA (%)	SW (%)	PF (%)	US (%)	MF	MW	Manfaat (<i>Benefit</i>)
1-(methylencyclopropyl)-ethanol	0,61	-	-	-	-	C ₅ H ₁₀ O	98,145	Anti asma, antitusif
1,1,4,4-tetradeuteriotertam ethylenediamine	-	-	-	27,95	4,57	-	-	-
11,18-diacetoxy-5,6,12,17-trinaphthylenetetrona	-	-	10	-	-	-	-	-
2(3h)-furanone, dihydro- (CAS) butyrolactone	2,6	2,94	-	-	-	C ₄ H ₆ O ₂	86,09	Gangguan kantung kemih
2,3,4,5-tetramethyl-2-cyclopenten-1-one b	-	-	2,37	-	-	C ₉ H ₁₄ O	138,207	Agen antibakteri
2,4-hexadienedioic acid, 3,4-diethyl-, dimethyl ester, (e,z)- (CAS) cis,trans	1,13	2,83	-	-	-	-	-	-
2,4-hexadienedioic acid, 3-methyl-4-propyl-, dimethyl ester, (z,e)- (CAS)	0,63	-	-	-	-	C ₁₁ H ₂₄	156,313	-
2-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl- (CAS) corylon	2,7	1,57	-	-	-	C ₆ H ₈ O ₂	112,13	Tambahan produk makanan
2-cyclopenten-1-one, 3-(acetyloxy)-	-	1,48	-	-	-	C ₁₆ H ₂₂ O ₃	262,349	Agen penghilang bau
2-furanmethanol, tetrahydro- (CAS) tetrahydrofurfuryl alcohol	2,13	1,01	-	-	-	C ₅ H ₁₀ O ₂	102,133	Agen pemberi rasa makanan
2-hexanone, 1,1,3,3,5-pentadeutero-5-methyl-4-oxa-	-	-	-	-	51,97	-	-	-
2h-pyran-2-one, tetrahydro- (CAS) 5-valerolactone	1,28	1,78	-	-	-	C ₅ H ₈ O ₂	100,1158	Tambahan pada cat
2-methoxy-4-methylfenol	2,62	14,94	-	-	-	C ₈ H ₁₀ O ₂	138,166	Gangguan kulit
3-ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one	-	1,13	-	-	-	C ₇ H ₁₀ O ₂	126,155	Agen antibakteri
3-lauramidobenzoic acid	4,21	-	-	-	-	C ₁₉ H ₂₉ NO ₃	319,445	Ekspektoran
4-heptanol, 2,6-dimethyl- (CAS) 2,6-dimethyl-4-heptanol	1,41	3,61	-	-	-	C ₉ H ₂₀ O	144,258	Gangguan kulit dan tulang
4-methoxy-3-(methoxymethyl) fenol	3,3	-	-	-	-	C ₉ H ₁₂ O ₃	168,192	Ekspektoran, antitusif
4-pentensaeure, 3-methyl-2-phenylsulfonyl-, methylester (diastereomeres)	-	-	6,23	-	-	-	-	-
6-hepten-2-ol, 4-methylene- (CAS)	-	-	2,39	-	-	C ₈ H ₁₆ O	128,21	Kantung kemih
7.51 cyclobutane, 1-deutero-2-ethyl-1-(pentadeuteroethyl)-acetic acid (CAS) ethylic acid	-	-	-	-	7,51	-	-	-
acetic acid, anhydride with formic acid	31,81	2,22	30,1	-	-	C ₂ H ₄ O ₂	60,052	Investigasi atau analisis bahan dengan menggunakan resonansi magnetik nuklir, resonansi paramagnetik elektron atau efek putaran lainnya
acetic acid, mercapto-, 1,2-ethanediy ester (CAS) glycol dimercaptoacetate	-	-	-	-	9,37	C ₄ H ₆ O ₅	134,087	Gangguan kulit, osteoporosis
aflatoxicol h1	-	-	-	12,64	6,25	-	-	-
benzene, 1,2,3-trimethoxy- (CAS) 1,2,3-trimethoxybenzene (CAS) methylsyringol	-	4,64	-	-	4,73	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330,292	Osteoporosis, obat bius
benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-methyl- (CAS) toluene, 3,4,5-trimethoxy-	2,71	3,09	-	-	-	C ₉ H ₁₂ O ₃	168,192	Antineoplastic
benzenesulfonic acid, 4-hydroxy- (CAS) benzenesulfonic acid, p-hydroxy-	-	-	4,24	-	-	C ₆ H ₆ O ₄ S	174,17	Gangguan seksual, kontrasepsi

Tabel 1. Persentase relatif senyawa organik lima jenis asap cair (lanjutan)
Table 1. Relative percentage of organic compound of five liquid smoke (continued)

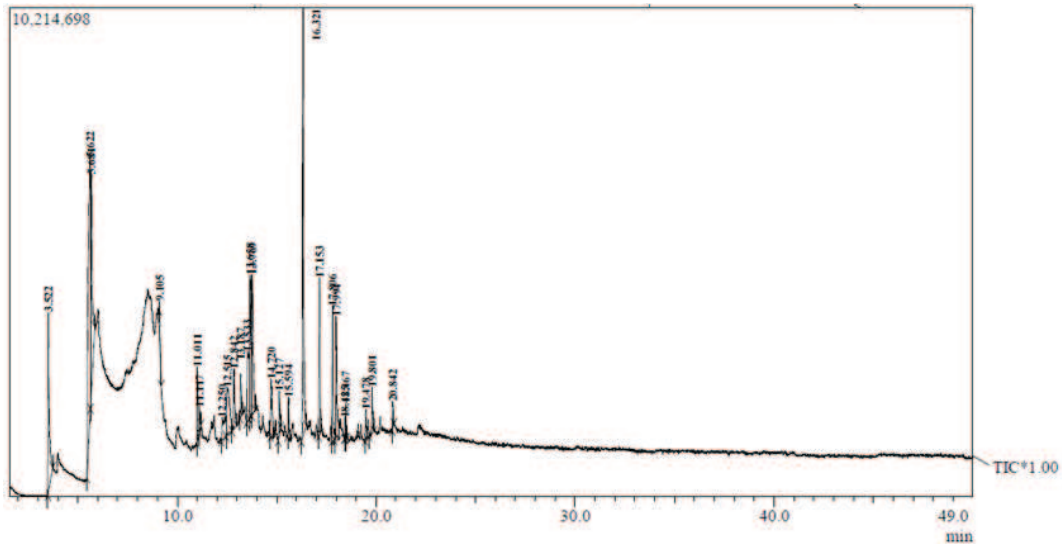
Senyawa (<i>Compound</i>)	TC (%)	PA (%)	SW (%)	PF (%)	US (%)	MF	MW	Manfaat (<i>Benefit</i>)
bicyclo [2.2.1] heptane,-5-(ethyl-1-amine)	-	-	-	11,39	-	C ₉ H ₁₇ N	139,242	Anti peradangan
butanoic acid, 2-propenyl ester (CAS) allyl n-butanoate	6,54	-	-	-	-	C ₇ H ₁₂ O ₂	128,171	Gangguan kulit, gangguan otot
butanoic acid, 3-hydroxy- (CAS) .beta.-hydroxybutyric acid	-	-	-	14,95	4,09	C ₄ H ₈ O ₃	104,105	Ekspektoran
carbamic acid, monoammonium salt (CAS) ammonium carbamate	-	-	5,3	-	-	CH ₆ N ₂ O ₂	78,071	-
cyclopentanone, 2-methyl-3-(1-methylethyl)- (CAS)	-	2,4	-	-	-	C ₆ H ₁₂ O	100,161	Ekspektoran, antitusif
cyclopropane, 1,1-dibromo-2-chloro-2-fluoro- (CAS) 1,1-dibromo-2-chloro	6,71	-	-	-	-	C ₃ H ₃ Br ₂ Cl	234,315	Senyawa akrilik
cyclopropyl carbinol	5,14	-	-	-	-	C ₄ H ₈ O	72,107	Ekspektoran, antitusif
ethane, 1,1,1-triethoxy- (CAS) triethyl orthoacetate	-	-	-	-	2,19	C ₈ H ₁₈ O ₃	162,229	Gangguan seksualitas, kontrasepsi
ethanone, 1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)- (CAS) acetosyringone	-	0,73	-	-	-	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	196,202	Gangguan seksualitas, kontrasepsi
heptanal (CAS) n-heptanal	-	-	17,06	-	-	C ₇ H ₁₄ O	114,188	Ekspektoran
hexadecanoic acid (CAS) palmitic acid	0,54	-	-	-	-	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256,43	Ekspektoran, antitusif
nitrogen oxide (N ₂ O) (CAS) nitrous oxide	-	0,79	-	-	-	N ₂ O	44,013	Terapi X-Ray, G-Ray
nonanoic acid (CAS) nonoic acid	-	7,59	-	-	-	C ₉ H ₁₈ O ₂	158,241	Antitusif
pentanal (CAS) n-pentanal	-	4,16	-	-	-	C ₅ H ₁₀ O	86,134	Antiasma
peracetic acid	-	-	-	17,54	-	CH ₃ COOOH	76,051	Ekspektoran, antitusif
fenol, 2,3-dimethyl- (CAS) 2,3-dimethylfenol	-	1,26	-	-	-	C ₈ H ₁₀ O	122,167	Ekspektoran, antitusif
fenol, 2,6-dimethoxy- (CAS) 2,6-dimethoxyfenol	12,44	8,77	-	-	-	C ₈ H ₁₀ O ₃	154,165	Gangguan seksualitas, kontrasepsi
fenol, 2-methoxy-4-propyl- (CAS) 5-propyl-guaiacol	-	0,92	-	-	-	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	166,22	Antipuritik, osteoporosis
fenol, 3-methoxy- (CAS) m-guaiacol	4,87	-	-	-	-	C ₇ H ₈ O ₂	124,139	Mukolitik, gangguan sistem urin
fenol, 2-methoxy- (CAS) m-guaiacol	4,4	-	4,86	-	-	C ₇ H ₈ O ₂	124,139	Mukolitik, gangguan sistem urin
fenol, 4-ethyl-2-methoxy- (CAS) p-ethylguaiacol	1,14	5,42	-	-	-	C ₉ H ₁₂ O ₂	152,193	Anti asma, gangguan skeleton
fenol, 4-methoxy- (CAS) hqmme	-	25,55	-	-	-	C ₇ H ₈ O ₂	124,139	Mukolitik, gangguan sistem urin
propanal, 2,3-dihydroxy- (CAS) glycrose	-	-	-	8,26	4,81	C ₃ H ₆ O ₃	90,078	Klimaterik
tetradecanoic acid (CAS) myristic acid	0,67	0,61	-	-	-	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	228,376	Ekspektoran, antitusif

Sumber (*Source*): Rumus molekul dan masa molekul CAS-NCBI. accessed Jan. 25, 2018. Diolah; Manfaat (*Benefit*) (U.S. National Library of Medicine section World Intellectual Property Organization-International Patent Classification, WIPO-IPC. Accessed Jan.10,2019. Diolah)

Gambar 3 memperlihatkan puncak kromatogram asap cair kayu alpukat mulai muncul pada waktu retensi 3,244 menit dan berhenti pada waktu retensi 20,856 menit. Puncak kromatogram tertinggi adalah 13,620 menit, ditandai dengan adanya senyawa *Fenol, 4-methoxy- (CAS) Hqmme* dengan luas area 25,55%. Asap cair kayu alpukat mengandung asam asetat sebanyak

2,2%, asam lainnya 11,3%, fenol 41,92%, fenol lainnya 14,94%, dan senyawa organik lainnya sebanyak 28,54%.

Puncak kromatogram asap cair kayu pusa mulai muncul pada waktu retensi 3,545 menit dan berhenti pada waktu retensi 16,383 menit (Gambar 4). Puncak kromatogram tertinggi adalah 7,648 menit, ditandai kehadiran senyawa *Acetic*

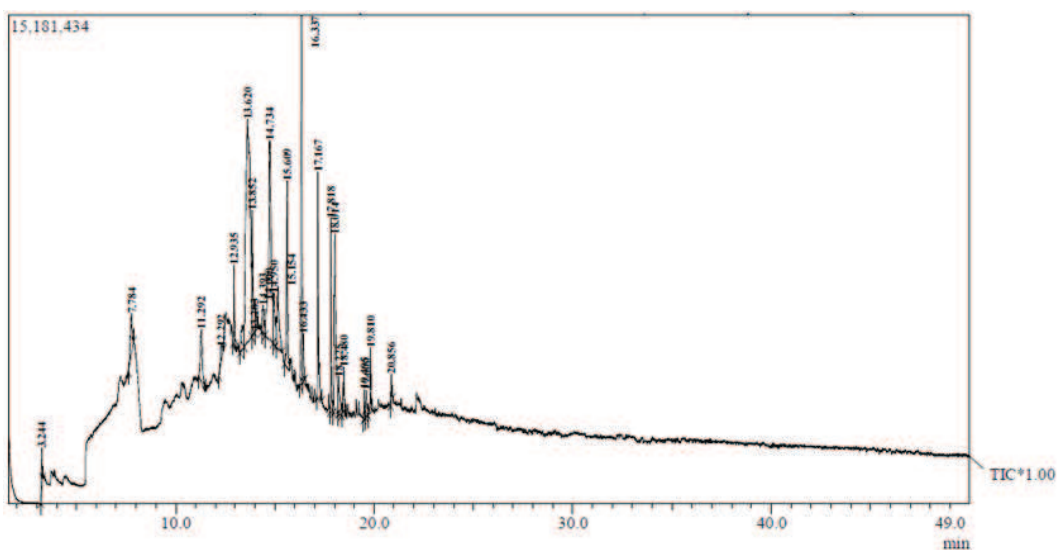


Gambar 2. Grafik kromatogram asap cair kakao (*Theobroma cacao*)
Figure 2. Chromatogram graph of liquid smoke of chocolate (*Theobroma cacao*)

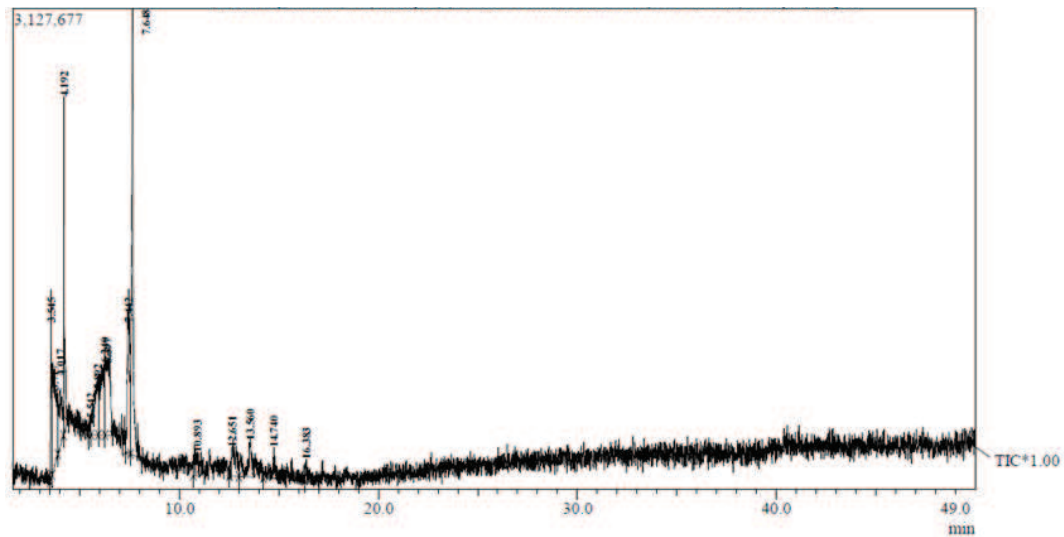
acid (CAS) Ethylic acid dengan luas area 19,38%. Asap cair kayu *Schima wallichii* mengandung asam asetat sebanyak 30,1%, asam lainnya 9,54%, fenol 4,86% dan senyawa organik lainnya sebanyak 55,5%. Puncak kromatogram asap cair kayu sengon mulai muncul pada waktu retensi 4,227 menit dan berhenti pada waktu retensi 8,418 menit (Gambar 5). Puncak kromatogram tertinggi adalah 4,767 menit, ditandai dengan adanya senyawa 1,1,4,4-tetraeterioterta methylenediamine dengan luas area 17,25%. Asap cair kayu sengon mengandung asam asetat sebanyak 12,64%, asam lainnya 32,49% dan senyawa organik lainnya sebanyak 54,86%.

Gambar 6 menunjukkan puncak kromatogram asap cair kayu tarik angin mulai muncul pada waktu retensi 4,268 menit dan berhenti pada waktu retensi 18,249 menit. Puncak kromatogram tertinggi adalah 4,436 menit, ditandai kehadiran senyawa 2-hexanone, 1,1,3,3,5-pentadeutero-5-methyl-4-oxa- dengan luas area 51,97%. Asap cair kayu tarik angin mengandung asam asetat sebanyak 15,62%, asam lainnya 4,09%, Aflatoxicol H1 4,73 % dan senyawa organik lainnya sebanyak 75,55%.

Hasil analisis GCMS mendeteksi keberadaan *Aflatoxicol* H1/mikotoksin pada asap cair kayu alpukat dan N₂O pada kayu tarik angin. Aflatoxicol



Gambar 3. Grafik kromatogram asap cair alpukat (*Persea americana*)
Figure 3. Chromatogram graph of liquid smoke of avocado (*Persea americana*)

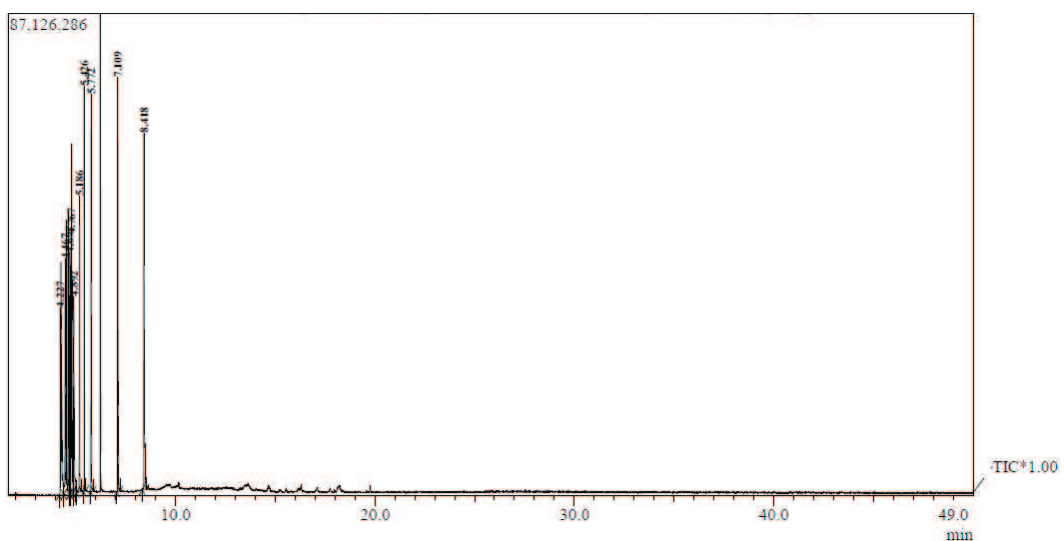


Gambar 4. Grafik kromatogram asap cair jenis puspa (*Schima wallichii*)
Figure 4. Chromatogram graph of liquid smoke of puspa (*Schima wallichii*)

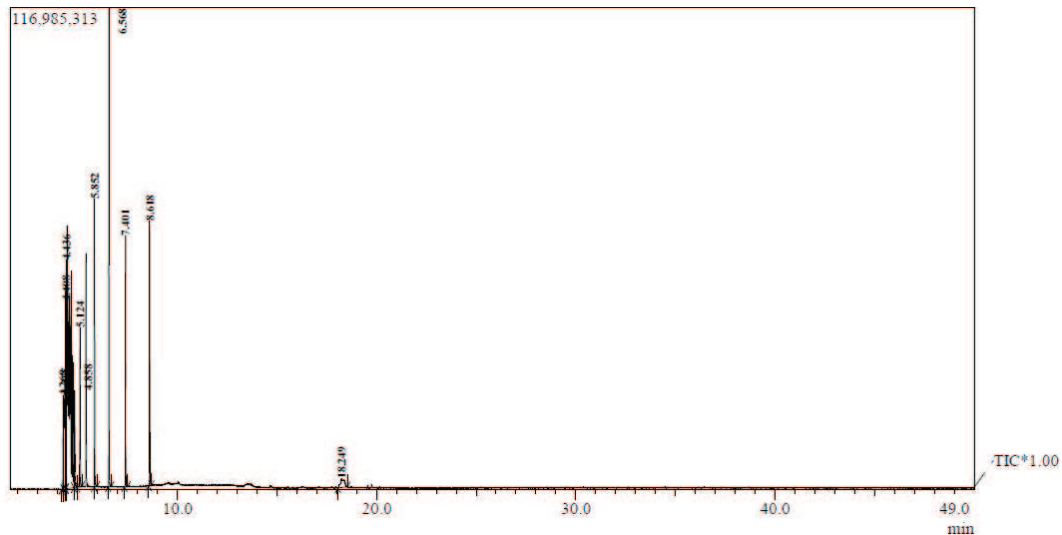
H1/mikotoksin adalah senyawa kimia organik yang bersifat karsinogenik (pemicu kanker), hepatotoksik (racun hati) dan mutagenik (pemicu mutasi gen) bagi manusia, mamalia dan unggas (Kasno, 2009; Wong & Hsieh, 1976; Mota, M. D.S. and Regitano, 2012). *Aspergillus flavus* (Kasno, 2009) dan *Aspergillus parasiticus* (Rahmianna & Ginting, 2011) merupakan jenis jamur penghasil Aflatoxicol H1, yang dapat menyerang tanaman. Aflatoxin muncul pada tahun 1960an (Mota, & Regitano, 2012), dimana serangannya mematikan 100.000 kalkun di Inggris (Wong & Hsieh, 1976). Pencegahan infeksi jamur *Aspergillus flavus* adalah dengan cara pengendalian penyakit daun,

menghindari cekaman kekeringan dan memenuhi kebutuhan unsur hara (Kasno, 2009; Rahmianna & Ginting, 2011).

Nitrogen oxide (N_2O) dikenal sebagai narkoba (gas ketawa) yang dikenalkan oleh ilmuwan Humphrey Davy kepada publik Inggris pada tahun 1799 (Samiaji & Davy, 2010). Bidang kedokteran menggunakan nitrogen oksida sebagai terapi disosiatif, anestesi dan analgesik (Samiaji & Davy, 2010). Gas nitrogen oksida dikenal dapat menyerap panas 298 kali (Signor & Cerri, 2013) lebih banyak dari karbon dioksida, sehingga termasuk ke dalam efek gas rumah kaca (Samiaji & Davy, 2010; Signor & Cerri,



Gambar 5. Grafik kromatogram asap cair jenis sengon (*Falcataria mollucana*)
Figure 5. Chromatogram graph of liquid smoke of sengon (*Falcataria mollucana*)



Gambar 6. Grafik kromatogram asap cair jenis kayu tarik angin (*Usnea* sp.)
Figure 6. Chromatogram graph of liquid smoke of kayu tarik angin (*Usnea* sp.)

2013). Sumber nitrogen oksida dapat berasal dari penggunaan pupuk kimia NPK pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi (Samiaji & Davy, 2010; Signor & Cerri, 2013). Pada studi ini ditemukan senyawa N_2O yang tidak umum ditemukan pada pembakaran biomassa. Penjelasan yang dapat dikemukakan adalah terjadi reaksi antara nitrogen dan oksigen pada saat berinteraksi dengan helium (*carrier gas*) di kolom GC-MS. Dengan demikian gas ini bukan tipikal dari pembakaran biomassa, baik pembakaran secara langsung (konvensional) atau tidak langsung yang menggunakan reaktor pirolisis.

B. Karakteristik Asap Cair

Karakteristik asap cair kayu alpukat, memiliki pH 4,01. Kondisi ini menunjukkan tingkat keasaman kayu alpukat lebih rendah jika dibanding dengan standar perbandingan Standar Jepang yaitu 3,70. Sementara Berat Jenis (BJ) kayu alpukat dan kayu kakao 0,83 lebih rendah jika dibandingkan dengan Standar Jepang. Demikian juga dengan kandungan asam asetat (0,96%) dan fenol (0,05%) lebih rendah dibanding dengan Standar Jepang, masing-masing 3,36 % dan 0,07 %.

Asap cair kayu puspa, kayu sengon dan kayu tarik angin memiliki pH yang memenuhi Standar Jepang, sebaliknya BJ dari ke tiga jenis kayu tersebut tidak termasuk standar Jepang. Kayu tarik angin memiliki kandungan asam asetat

paling tinggi yaitu mencapai 8%, untuk itu perlu dianalisis lebih lanjut tentang hal penyebabnya. Sementara ini diduga bahwa kayu tarik angin memiliki kandungan selulosa paling tinggi di antara kelima jenis kayu yang digunakan pada studi ini. Ekstrak selulosa kayu tarik angin telah digunakan memproduksi etanol untuk penyembuhan luka bakar (Fitriani, Saputra, Melisa, & Zaini, 2018). Selulosa merupakan komponen utama untuk menghasilkan etanol (Hermiati, 2019).

C. Isomer Senyawa Phenol pada Asap Cair

Isomer merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul yang sama, namun berbeda dalam pengaturan struktur atau ruang penyusunan atom. Isomer menjadi penting karena memiliki karakteristik/sifat kimia berbeda, walaupun jumlah atomnya sama. Studi ini memperlihatkan tiga isomer senyawa fenol yang terdiri dari $C_7H_8O_2$, $C_9H_{12}O_3$ dan $C_5H_{10}O$, berasal dari asap cair kayu kakao (TC) dan alpukat (PA). Senyawa fenol, *3-methoxy-m-guaiacol* (TC), fenol, *2-methoxy-m-guaiacol* (TC) dan fenol, *4-methoxy-bqmm* (PA) memiliki rumus ($C_7H_8O_2$) dan berat molekul yang sama, namun memiliki level bahaya yang berbeda. Senyawa fenol, *3-methoxy-m-guaiacol* memiliki level bahaya yang lebih tinggi dibanding 2 isomernya. Setidaknya 5 level bahaya disematkan pada senyawa ini: oral (GHS H302), dermal (GHS H311), iritasi kulit (GHS H315), iritasi mata

Tabel 2. Karakteristik lima jenis asap cair berdasarkan analisis HPLC
Table 2. Characteristics of five types of liquid smoke according to HPLC analysis

No (No)	Jenis (Species)	Asam asetat (Acetic acid, %)	Fenol (Fenol, %)	pH (pH)	Berat Jenis (Specific gravity)	Warna (Color)	Asal (Origin)
1.	Kayu alpukat	0,96	0,05	4,01	0,8294	Kuning kecoklatan	Karo (Sumut)
2.	Kayu kakao	3,36	0,07	3,48	0,8359	Cokelat kemerahan	Karo (Sumut)
3.	Kayu puspa	2,04	0,23	3,51	1,0300	Kuning kecokelatan	Cianjur
4.	Kayu tarik angin	8,00	0,45	3,60	1,0200	Hijau kekuningan	Cianjur
5.	Kayu sengon	2,40	0,53	2,90	0,9178	Kuning terang	Cianjur

(GHS H318) dan resiko inhalasi (GHS H332) terhadap kontak pada konsentrasi di atas 90%. Dua isomer *fenol*, *3-methoxy- m-guaiacol* memiliki level peringatan untuk oral, iritasi kulit dan mata. Rumus ($C_9H_{12}O_3$) dan beral molekul yang sama dinyatakan juga pada senyawa *4-methoxy-3-methoxymethyl fenol* (IC) dan *senyawa benzene, 1,2,3-trimethoxy- (CAS) 1,2,3-trimethoxybenzene (CAS) methylsyringol* (PA). Tidak ditemukan peringatan atau level bahaya untuk isomer $C_9H_{12}O_3$ dari *European Chemicals Agency* (ECHA), namun kontak langsung dengan kulit dan inhalasi menjadi perhatian dalam praktik laboratorium.

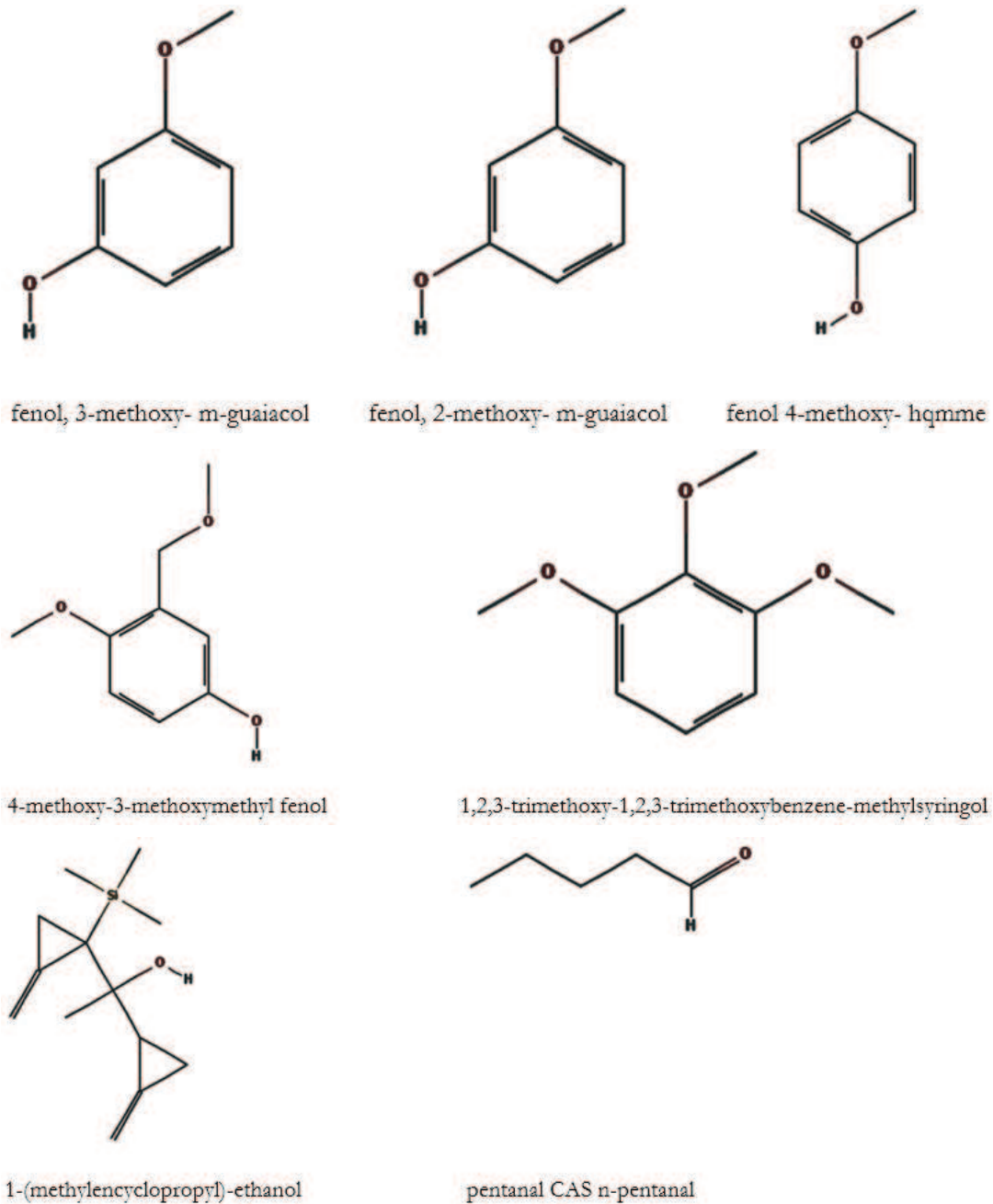
Isomer $C_5H_{10}O$ memiliki berat molekul berbeda antara *1-(methylenecyclopropyl)-ethanol* (IC) dan *pentanal CAS n-pentanal* (PA). *1-(methylenecyclopropyl)-ethanol* memiliki berat molekul 98,145g/mol, sementara senyawa *pentanal CAS n-pentanal* memiliki berat molekul 86,134g/mol. Kedua isomer ini digolongkan kepada senyawa yang mudah terbakar, bahkan pentanal merupakan cairan yang sangat mudah terbakar dan termasuk dalam kategori level berbahaya. Atribut lain yang melekat kepada pentanal adalah peringatannya terhadap korosi kulit (GHS H315), reaksi alergi kulit (GHS H317), iritasi mata serius (GHS H319), keracunan inhalasi (GHS H332) dan iritasi sistem pernafasan (GHS H335).

D. Manfaat dari Asap Cair

Asap cair memiliki variasi manfaat di pelbagai bidang. Penelitian sebelumnya telah mencatat dampak positif asap cair terhadap kumbang tanduk (Santoso, 2016), walang sangit (Santoso,

2015), preservasi kayu (Subekti, Fibriana, & Widiyaningrum, 2018), produk/produk turunan karet (Muthawali, 2016; Prasetyowati, Hermanto, & Farizy, 2014; Telaubanua, Wirjosentono, & Eddiyanto, 2013), antimikroba (Budaraga & Putra, 2019), pengawet produk makanan (Fitriarni & Ayuni, 2018; Hutomo, Swastawati, & Rianingsih, 2015; Lala, Pongoh, & Taher, 2017; Swastawati, Cahyono, & Wijayanti, 2017), anti-bakteri (Mashuni, Kadidae, Jahiding, Dermawan, & Hamid, 2019; Oktarina, Sumpono, & Elvia, 2017; Saputra, Trisatya, Darmawan, Wibisono, & Pari, 2020), produktivitas tanaman (Ahadiyat, Herliana, Widiyawati, & Santoso, 2019; Efendi, Mardhiansyah, & Saulaeman, 2019; Istiqomah & Kusumawati, 2019; Yuningsih, Sampoerno, & Puspita, 2015), agen chelating (A'yuni, et al., 2017), dan anti-oksidan (Budaraga, Susanti, Asnurita, Nurdin, & Ramaiyulis, 2019).

Methyl acetate dan 1-hidroxy 2 butanones diduga menjadi senyawa kimia yang bertanggung jawab dalam menangani kumbang tanduk (*Hexamitodera semivelutina*) yang biasa menyerang tanaman cengkeh (Santoso, 2016). Sementara golongan senyawa fenol, asam palmitat, metiloleat dan siklotetrakosana bertindak sebagai repelan *Leptocorisa oratorius* pada tanaman padi (Santoso, 2015). Efek asap cair dalam teknik preservasi kayu tidak memberikan hasil signifikan dibanding teknik konvensional menggunakan boraks, setidaknya untuk rayap jenis *C. curvignathus*. Kasus perendaman asap cair 5% terhadap kayu ulin dan jati menyebabkan kematian 100% *C. curvignathus* pada hari ke-20, sementara boraks



Gambar 7. Struktur penyusun ruang dari senyawa-senyawa isomer
Figure 7. Spatial structure of isomers

pada hari ke-25 (Subekti et al., 2018). Kasus ini menarik untuk dikembangkan lebih lanjut karena dapat membuktikan bahwa perendaman asap cair dapat menurunkan serangan rayap dalam pengawetan kayu.

Asap cair tercatat memberikan dampak positif terhadap olahan *lateks ribbed smoke sheet* (RSS). Proses pembekuan (koagulasi) merupakan salah satu tahapan penting dalam produksi RSS. Asam format atau asam asetat sering terlibat

dalam koagulasi lateks. Ion H^+ akan bereaksi dengan ion OH^- pada protein untuk menetralkan muatan, sehingga memicu terjadinya pembekuan (koagulasi). Asam cair yang kaya kandungan asam dapat menjadi substitusi asam format atau asam asetat. Impregnasi asap cair 10% selama 12 jam dapat meningkatkan kualitas RSS menjadi RSS I (Muthawali, 2016). Penelitian sebelumnya mencatat penurunan waktu koagulasi lateks menjadi lebih singkat pada konsentrasi asap cair

10% (Prasetyowati et al., 2014). Aplikasi asap cair sebagai koagulan karet meningkatkan kualitas produk, sehingga kadar kering lebih tinggi, susut massa rendah serta tidak menimbulkan bau busuk (Telaubanua et al., 2013). Asap cair dari kayu kakao dan kayu tarik angin pada studi ini, dengan kandungan asam tinggi, memiliki potensi untuk digunakan pada pengolahan karet atau turunannya.

Manfaat preservasi asap cair pernah diuji terhadap bahan dan produk olahan pangan baik menggunakan uji organoleptic maupun hedonik. Uji pemberian asap cair pada produk olahan belut meningkatkan kandungan karbohidrat dan menurunkan kolesterol (Hutomo et al., 2015). Hasil positif dari aplikasi asap cair berlaku juga untuk produk ikan tongkol asap (Lala et al., 2017), bahkan lebih higienis karena mengandung *E.coli* yang lebih rendah daripada teknik pengasapan konvensional (Swastawati et al., 2017). Kelompok senyawa fenol pada asap cair memberikan rasa yang khas pada produk ikan tersebut.

Sejak tahun 1860-an fenol atau asam karbolat (C_6H_5OH) telah digunakan di dunia medis sebagai aseptik dalam tindakan bedah atau pembersih peralatan-peralatan medis. Sifat toksik fenol ini yang kemudian dikembangkan untuk melawan mikroorganisme yang merugikan. Asap cair memiliki kandungan fenol yang bervariasi tergantung dari biomassa dan teknik pembakaran yang digunakan. Namun fenol dan asam asetat merupakan senyawa dominan yang ditemukan di asap cair. Asap cair telah dibuktikan efektif melawan *E. coli* pada konsentrasi 100%, ditandai dengan diameter zona bening yang luas (Oktarina, et al., 2017). Riset lain mencatat dampak serupa terhadap *E. coli* dan *S. aureus* (Mashuni et al., 2019), namun *E. coli* menunjukkan resistensi lebih tinggi dibanding *S. aureus* (Budaraga & Putra, 2019). Bahkan asap cair dapat digunakan untuk memperkuat efek positif minyak sitronella melawan kedua jenis bakteri tersebut (Saputra et al., 2020). Kandungan fenol asap cair dari kayu sengon dan kayu alpukat pada studi ini berpotensi digunakan melawan bakteri.

Aplikasi yang lebih sederhana adalah penerapan asap cair untuk meningkatkan produktivitas tanaman seperti padi gogo (Ahadiyat et al., 2019)

atau semai pulai (Efendi et al., 2019), namun tidak memberikan dampak signifikan terhadap lingkaran batang dan berat kering tanaman (Yuningsih et al., 2015). Perlakuan asap cair terhadap tanaman pertanian dapat mengurangi risiko paparan logam dari lingkungan sekitar, seperti Pb. Senyawa aktif yang memiliki peran besar menurunkan kadar Pb pada kedelai terpapar Pb berturut-turut adalah aseton, asam asetat, dan fenol (A'yuni et al., 2017). Studi lain menunjukkan aktivitas antioksidan yang baik dari asap cair *Theobroma cacao* melawan DPPH (Budaraga et al., 2019).

IV. KESIMPULAN

Asap cair dari kayu kakao memiliki kandungan relatif asam paling tinggi yaitu 31,81%, sementara analisis HPLC menunjukkan asap cair kayu tarik angin memiliki asam asetat tertinggi. Kandungan relatif fenol tertinggi terdapat pada asap cair kayu alpukat sebesar 41,92%, sementara hasil analisis HPLC kandungan fenol tertinggi pada asap cair dari kayu sengon. Senyawa dengan konsentrasi tertinggi berturut turut adalah *2-hexanone, 1,1,3,3,5-pentadeutero-5-methyl-4-oxa-* (51,97%, kayu tarik angin), *Fenol, 4-methoxy-* (CAS) *Hqmmme* (25,55%, alpukat), *Acetic acid (CAS) Ethylic acid* (19,78%, kakao), *Acetic acid (CAS) Ethylic acid* (19,38%, pupa) dan senyawa *Peracetic Acid* (17,54%, sengon). Kelompok asam pada asap cair studi ini dapat digunakan pada pengolahan karet atau produk turunannya, sementara kelompok fenol dapat digunakan untuk melawan bakteri. Beberapa senyawa isomer ditemukan juga pada asap cair dari kayu kakao dan alpukat. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui aktivitas dari senyawa-senyawa isomer tersebut dan manfaat asap cair yang lebih luas.

KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain dan rancangan percobaan oleh Sri Komarayati (SK); perlakuan, dan pengujian oleh Gusmailina (G); pengumpulan data dan analisis data dilakukan oleh SK, G dan Nur Adi Saputra (NAS); penulisan manuskrip dilakukan oleh NAS, perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh NAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan sebagai media publikasi/Jurnal dan fasilitas laboratorium pengujian. Ucapan serupa ditujukan juga kepada teknisi di Kelompok Peneliti Pengolahan Kimia Energi dan Hasil Hutan Bukan Kayu yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan analisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adfa, M., Kusnanda, A. J., Saputra, W. D., Banon, C., Efdi, M., & Koketsu, M. (2017). Termiticidal activity of *Toona sinensis* wood vinegar against *Coptotermes curvignathus* Holmgren. *Rasayan Journal of Chemistry*, 10(4), 1088–1093. doi: 10.7324/RJC.2017.1041866.
- Agustina A. Rahmianna, Ginting, E. & Yusnawan, E. (2011). Kontaminasi aflatoksin dan cara pengendaliannya melalui penanganan pra dan paskapanen. *Monograf Balitkabi*, (13), 329–347.
- Ahadiyah, Y. R., Herliana, O., Widiyawati, I. W., & Santoso, A. A. (2019). Karakter padi gogo pada sistem tanam padi-rumput dengan aplikasi asap cair tempurung kelapa pada kondisi kekeringan. *Jurnal Agro*, 6(2), 168–180. doi: 10.15575/6134.
- Ardila, D., Thamrin, Basuki, WS. & Eddiyanto (2013). Kajian kandungan senyawa phenol dan senyawa PAH pada asap cair cangkang kelapa sawit (ACKKS) redestilasi yang dihasilkan pada temperatur tinggi. *Agrium*, 18(April), 7–12.
- Ariyani, D., Mujiyanti, D. R., & Harlianto, D. U. Y. A. (2015). Studi kajian kandungan senyawa asap cair dari sekam padi. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 128–133.
- Azhari, A., Falah, S., Nurjannah, L., Suryani, S., & Bintang, M. (2014). Delignifikasi batang kayu sengon oleh *Trametes versicolor*. *Current Biochemistry*, 1(1), 1–10. doi: 10.29244/cb.1.1.1-10.
- Budaraga, I. K., & Putra, D. P. (2019). Liquid smoke antimicrobial test of cocoa fruit peel against *Escherichia Coli* dan *Staphylococcus aureus* bacteria. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 365(1). doi: 10.1088/1755-1315/365/1/012049.
- Budaraga, I Ketut, Susanti, E., Asnurita, A., Nurdin, E., & Ramaiyulis, R. (2019). The antioxidant characteristics of the liquid smoke of cocoa shell (*Theobroma cacao*) in different water content variations. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, 3(2), 226–238. doi: 10.32530/jaast.v3i2.106.
- Efendi, R., Mardhiansyah, M., & Saulaeman, R. (2019). Pengaruh pemberian asap cair serasah daun karet pada semai pulai (*Alstonia scholaris*) dengan media tanam berkompos. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kebutanan*, 3(1), 72–77.
- US. Environmental Protection Agency. (2010). Toxicological review of 2-hexanone. *Review Literature and Arts of the Americas*, 39(110), 759–786.
- Fitriani, L., Saputra, F., Melisa, M., & Zaini, E. (2018). Studi awal sediaan gel ekstrak etanol kayu angin (*Usnea* sp.) untuk penyembuhan luka bakar. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 5(2), 83. doi: 10.25077/jsfk.5.2.83-87.2018.
- Fitriarni, D., & Ayuni, R. (2018). Pemanfaatan asap cair alang-alang (*Imperata cylindrica*) sebagai pengawet terhadap karakteristik buah pisau makau (*Musa* spp.). *Agrointek*, 12(1), 39. doi: 10.21107/agrointek.v12i1.3496.
- Handojo, L., Cherilisa, & Indarto, A. (2018). Cocoa bean skin waste as potential raw material for liquid smoke production. *Environmental Technology*, 41(1), 1-23. doi: 10.1080/09593330.2018.1520306.
- Hermiati, E. (2019). *Orasi Profesor Riset*: Pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi bioetanol dan bioproduk sebagai substitusi produk berbahan baku fosil.
- Hutomo, H., Swastawati, F., & Rianingsih, L. (2015). Pengaruh konsentrasi asap cair terhadap kualitas dan kadar kolesterol belut (*Monopterus albus*) asap. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 4(1), 7–14.
- Istiqomah, & Kusumawati, D. E. (2019). Potensi asap cair dari sekam untuk meningkatkan pertumbuhan dan produksi padi. *Buana Sains*, 19(2), 23–30.

- Janairo, J. I. B., & Amalin, D. M. (2018). Volatile chemical profile of cacao liquid smoke. *International Food Research Journal*, 25(1), 213–216.
- Karima, R. (2014). Karakterisasi sifat fisika dan kimia cuka kayu dari tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 6(1), 35–40.
- Kasno, A. (2009). Pencegahan infeksi *A. flavus* dan kontaminasi aflatoksin pada kacang tanah. *Iptek Tanaman Pangan*, 4(2), 194–201.
- Lala, N. S., Pongoh, J., & Taher, N. (2017). Penggunaan asap cair cangkang pala (*Myristica fragrans*) sebagai bahan pengawet pada pengolahan ikan tongkol (*Eutbinnus affinis*) asap. *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 5(1), 24–29. doi: 10.35800/mthp.5.1.2017.14905.
- Mahendran, T., Brennan, J. G., & Hariharan, G. (2018). Aroma volatiles components of 'fuerte' avocado (*Persea americana* Mill.) stored under different modified atmospheric conditions. *Journal of Essential Oil Research*, 31(1), 34–42. doi: 10.1080/10412905.2018.1495108.
- Mashuni, M., Kadidae, L. O., Jahiding, M., Dermawan, M. A., & Hamid, F. H. (2019). Pemanfaatan kulit buah kakao sebagai antibakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *BioWallacea: Jurnal Penelitian Biologi*, 6(2), 1017. doi: 10.33772/biowallacea.v6i2.9009.
- Meléndez-González, C., & Espinosa-García, F. J. (2018). Metabolic profiling of *Persea americana* cv. Hass branch volatiles reveals seasonal chemical changes associated to the avocado branch borer, *Copturus aguacatae*. *Scientia Horticulturae*, 240(June), 116–124. doi: 10.1016/j.scienta.2018.06.003.
- Mota, M. D.S. & Regitano, L. C. A. (2012). Aflatoxins and aflatoxicosis in human and animals. *RFID Technology, Security Vulnerabilities, and Countermeasures*, 75–100. doi: 10.5772/711.
- Muthawali, D. I. (2016). Impregnasi dengan asap cair terhadap kualitas ribbed smoked sheet di PT. Perkebunan Nusantara III Dolok Merawan. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 8(1), 71–79.
- Njateng, G. S., Zaib, S., Chimi, L., Feudjio, C., Mouokeu, R., Gatsing, D., ... Iqbal, J. (2018). Antidiabetic potential of methanol extracts from leaves of *Piper umbellatum* L. and *Persea americana* Mill. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 8(3), 160. doi: 10.4103/2221-1691.227997.
- Dinda, O., Sumpono, & Rina Elvia. (2017). Uji efektivitas asap cair cangkang buah *Hevea braziliensis* terhadap aktivitas bakteri *Escherichia coli*. *Alotrop*, 1(1), 1–5.
- Paudel, R. R., & Subba, B. (2014). Extraction and isolation of chemical constituents from *Schima wallichii* Bark. *International Journal of Engineering Sciences & Research*, 3(8), 175–190.
- PeroxyCham. (2015). The decomposition kinetics of peracetic acid and hydrogen peroxide in municipal wastewaters (Vol. 2015).
- Pimenta, A. S., Fasciotti, M., Monteiro, T. V. C., & Lima, K. M. G. (2018). Chemical composition of pyrolytic acid obtained from eucalyptus GG100 clone. *Molecules*, 23(2), 1–12. doi: 10.3390/molecules23020426.
- Prasetyowati, Hermanto, M., & Farizy, S. (2014). Pembuatan asap cair dari cangkang buah karet sebagai koagulan lateks. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(1), 14–21.
- Rohmah Lufti A'yuni, N., Darmadji, P., & Pranoto, Y. (2017). Asap cair kayu sengon sebagai chelating agents logam timbal (Pb) pada model menggunakan biji kedelai (*Glycine max*). *Planta Tropika: Journal of Agro Science*, 5(1), 42–51. doi: 10.18196/pt.2017.070.42-51.
- Samiaji, T., & Davy, I. H. (2010). Karakteristik gas N₂O (Nitrogen Oksida) di atmosfer indonesia. *Berita Dirgantara*, 13(4), 147–154.
- Santoso, R. S. (2015). Asap cair sabut kelapa sebagai repelan bagi hama padi walang sangit (*Leptocorisa oratorius*). *Jurnal Sainsmat*, IV(2), 81–86.
- Santoso, R. S. (2016). Characterization of liquid smoke from coconut shell as a natural pesticide for *Hexamitodera semivelutinia* beetle on clove trees. *International Journal of Applied Chemistry*, 12(3), 289–397.

- Saputra, N. A., Trisatya, D. R., Darmawan, S., Wibisono, H. S., & Pari, G. (2020). Effect citronella oil against bacteria strains: *Escherichia coli* ATCC 10536, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and *Salmonella typhimurium* ATCC 14028. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 460(1). doi: 10.1088/1755-1315/460/1/011001.
- Signor, D., & Cerri, C. E. P. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43(3), 322–338. doi: 10.1590/S1983-40632013000300014.
- Subekti, N., Fibriana, F., & Widiyaningrum, P. (2018). Feeding rate of subterranean termites in wood treated with smoke wood and borax. *The 3rd Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC 2018)*. doi: 10.1088/1757-899X/434/1/012109.
- Swastawati, F., Cahyono, B., & Wijayanti, I. (2017). Perubahan karakteristik kualitas ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) dengan metode pengasapan tradisional dan penerapan asap cair. *Jurnal Info*, 19(2), 47–55.
- Telaubanua, Z., Wirjosentono, B., & Eddiyanto. (2013). Pemanfaatan asap cair dari tempurung kelapa sebagai koagulan komersial karet alam Nias Utara. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2(2), 55–67.
- Wijaya, M., M., Wiharto, M., & Anwar, M. (2018). Cellulose compound of cacao waste and chemical composition of cacao vinegar with GC-MS method. *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, 2(3), 191–197. doi: 10.20961/jkpk.v2i3.11974.
- Wilson, N. (2014). Peracetic acid as an alternative disinfectant. *Clear Waters*, 17–19.
- Wong, J. J., & Hsieh, D. P. (1976). Mutagenicity of aflatoxins related to their metabolism and carcinogenic potential. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 73(7), 2241–2244.
- Yang, J., Yang, C., Liang, M., Gao, Z., & Wu, Y. (2016). Chemical Composition, antioxidant, and antibacterial activity of wood vinegar from *Litchi chinensis*. *Molecules*, 21(August), 1–10.
- Yuningsih, R., Sampoerno, & Puspita, F. (2015). Uji beberapa dosis asap cair berbahan baku tandan kosong kelapa sawit terhadap pertumbuhan bibit cacao (*Theobroma cacao* L.). *Jom Faperta*, 1(2). 1–9.

