

# PEMANFAATAN ASAP CAIR KAYU PINUS SEBAGAI BIOPESTISIDA DALAM MENGHAMBAT SERANGAN HAMA PENGGEREK (*Hypothenemus hampei* Ferr.) BUAH KOPI

*(Utilization of Liquid Smoke from Pine Wood in Inhibiting the Attacks of Coffe Fruit Press (Hypothenemus hampei Ferr.)*

Anne Hadiyane<sup>1</sup>, Aviva Navila<sup>1</sup>, Tati Karliati<sup>1</sup>, Gustan Pari<sup>2</sup>, Saptadi Darmawan<sup>2</sup>,  
Alfi Rumidatul<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Pascapanen, Sekolah Ilmu Teknologi Hayati Rekayasa, Institut Teknologi Bandung, Jl. Let. Jend. Purn. Dr. (HC) Mashudi No. 1, Sayang, Jatinangor Sumedang, 45363, (022)7798600.

<sup>2</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jalan Gunung Batu No. 5 Bogor.

E-mail : [alfirumidatul@itb.ac.id](mailto:alfirumidatul@itb.ac.id)

## ABSTRACT

Sawmill waste is a waste product that needs to be put to use. Applying biorefinery principles through pyrolysis technology, which produces liquid smoke, is one of the innovative efforts to utilize sawmill waste. Chemical compounds contained in the liquid smoke have the potential to act as biopesticides. Therefore, this study aimed to test the ability of liquid smoke from pine sawmill waste to fight PBKo (*Hypothenemus hampei*) pests on coffee plants. Pyrolysis produced the liquid smoke at 400–450 °C for 4–7 hours. The observed parameters were the physicochemical characteristics and efficacy of liquid smoke biopesticides at concentrations of 1.5%, 2%, and 2.5% against PBKo pests through pest attack tests, toxicity tests, and repellency tests. The results showed a total phenol value of 7248.01 mg GAE/100g. The results of the GC-MS analysis of the liquid smoke, which has the potential to be an insecticidal compound toxic to coffee fruit borer pests, are acetic acid, phenol, alcohol, furan, cycloalkane, cyclohexane, alkene, eugenol, and guaiacyl acetone. Based on the study's results, liquid smoke from sawn pine wood waste at a concentration of 2.5% has the potential to be a natural biopesticide for inhibiting the growth of PBKo pests on coffee plants.

**Keywords:** Biopesticide, biorefinery, liquid smoke, PBKo pests, phenol

## ABSTRAK

Limbah penggergajian kayu merupakan limbah yang perlu dimanfaatkan. Salah satu upaya inovatif untuk memanfaatkan limbah penggergajian kayu adalah menerapkan prinsip biorefinery melalui teknologi pirolisis yang menghasilkan asap cair. Senyawa kimia yang terdapat dalam asap cair berpotensi sebagai biopestisida. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kemampuan asap cair limbah penggergajian kayu pinus terhadap hama PBKo (*Hypothenemus hampei*) pada tanaman kopi. Pirolisis dilakukan pada suhu 400-450°C selama 4-7 jam untuk mendapatkan asap cair. Parameter yang diamati adalah karakteristik fisiko-kimia serta efektivitas biopestisida asap cair dengan konsentrasi 1,5%; 2%; dan 2,5% terhadap hama PBKo melalui uji serangan hama, uji toksisitas dan uji daya tolak makan. Hasil penelitian menunjukkan nilai total fenol sebesar 7248,01 mg GAE/100g. Hasil analisis GC-MS asap cair, yang berpotensi sebagai senyawa insektisidal yang bersifat toksik terhadap hama penggerrek buah kopi adalah asam asetat, fenol, alkohol, furan, sikloalkana, sikloheksana, alkena, eugenol dan guaiasil aseton. Berdasarkan hasil penelitian, asap cair limbah gergajian kayu pinus konsentrasi 2,5% berpotensi sebagai biopestisida alami dalam menghambat pertumbuhan hama PBKo pada tanaman kopi.

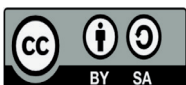
**Kata kunci:** Biopestisida, biorefinery, asap cair, hama PBKo, fenol

© 2024 The Author(s).

Published by BRIN Publishing. This is an

open access article under the CC BY-SA

license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).



17

Submitted : 29/9/2023

Revised : 28/11/2023

Accepted : 1/12/2023

## PENDAHULUAN

Industri pengolahan kayu seperti penggergajian, mebel, kayu lapis, dan lain-lain akan menghasilkan limbah kayu berupa limbah penggergajian (Aditya *et al.* 2019). Limbah penggergajian tersebut kerap kali berdampak negatif terhadap lingkungan akibat adanya penumpukan, pembusukan, maupun pembakaran yang disebabkan oleh ketidakmaksimalan penanganan limbah tersebut. Menurut Sarwendah *et al.* (2019), limbah penggergajian kayu dapat dikembangkan sebagai teknologi aplikatif dengan mengolahnya menjadi asap cair melalui proses biorefinery yang dapat menghasilkan beragam produk bernilai komersil, seperti biopestisida, biofertilizer, dan bahan pengawet alami.

Proses kondensasi asap pembakaran bahan berlignoselulosa akan menghasilkan asap cair. Komponen senyawa kimia yang terdapat dalam asap cair dipengaruhi oleh senyawa utama bahan berlignoselulosa yang dipirolisis, suhu pirolisis, dan sistem kondensasi yang berlangsung. Menurut Ridhuan *et al.* (2019), semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak jumlah asap cair yang dihasilkan. Hal tersebut disebabkan oleh kecepatan reaksi pirolisis yang semakin meningkat akibat suhu tinggi, sehingga durasi dekomposisi bahan baku dapat mencapai tingkat maksimal, senyawa-senyawa organik pada bahan baku pun semakin besar dan rendemen yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Penggunaan suhu yang terlalu tinggi dan durasi pirolisis yang terlalu lama akan menurunkan performa pembentukan asap cair, karena suhu pada air pendingin semakin meningkat sehingga asap yang dihasilkan tidak akan terkondensasi secara optimal. Pada penelitian ini digunakan suhu 400-450 °C, hal ini sesuai dengan penelitian Oramahi *et al.* (2021), bahwa rendemen dan komponen senyawa pada asap cair hasil proses pirolisis seperti kandungan fenol dan asam asetat pada suhu 400-450 °C dapat mencapai titik maksimum. Asap cair limbah penggergajian kayu menjadi biopestisida diharapkan tepat dalam menangani permasalahan serangan hama Penggerek (*Hypothenemus hampei*) Buah Kopi (PBKo). Berdasarkan data dari BPS tahun 2019, produktivitas kopi menurun sebesar 0,47% dari

tahun sebelumnya. Rendahnya produktivitas dan mutu hasil kopi yang disebabkan oleh serangan hama merupakan permasalahan utama perkebunan kopi di Indonesia (Girsang *et al.* 2020). Menurut Indriati dan Samsudin (2018), keberadaan senyawa asam asetat, furfural, fenol dan turunannya dalam asap cair limbah kayu mampu menolak perkembangbiakan hama penggerek buah kopi dan penyakit pada tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Nurfadhila dan Hambali (2022) bahwa biopestisida berbasis asap cair merupakan teknologi ramah lingkungan yang dapat menjamin produk pertanian yang berkualitas, aman dikonsumsi, bernutrisi tinggi, dan berkelanjutan. Sehingga, diharapkan masyarakat mampu mengurangi penggunaan bahan kimia sintesis dalam penanganan hama.

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik asap cair limbah penggergajian kayu pinus (*Pinus merkusii*) serta penggunaannya sebagai biopestisida terhadap pengendalian hama PBKo yang menyerang tanaman kopi. Hasil penelitian Indriati dan Samsudin (2018), menunjukkan bahwa tempurung kelapa, sekam padi, limbah gergaji, dan kulit kakao, yang diolah menjadi asap cair berpengaruh nyata terhadap mortalitas imago PBKo dan serangan hama PBKo terhadap buah kopi sehingga dinilai bersifat insektisidal terhadap hama PBKo. Diharapkan hasil penelitian bisa menjadi alternatif pengendalian hama pada tanaman kopi dan memaksimalkan pemanfaatan limbah gergaji kayu.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah penggergajian kayu pinus, aquades, buah kopi arabika kondisi matang, dan klorok 1%, dan tanaman kopi arabika berumur 3-4 tahun. Alat yang digunakan berupa batang pengaduk, Shimadzu GCMS-QP2010 SE, gelas kimia, gelas ukur, gelas plastik, jarum, plastik LDPE, instrument HPLC shimadzu LC 2030, pH meter digital, spray kapasitas 1L, dan spray

kapasitas 30 ml, thermometer, dan timbangan analitik.

## Metode

### *Persiapan Pembuatan Asap Cair*

Proses produksi asap cair mengacu pada Saputra *et al.* (2021). Limbah penggergajian kayu pinus sebesar 11 kg (kering udara) dimasukkan ke dalam retort lalu dihidupkan alat pemanas dan dimulai proses pirolisis. Pada proses pembakaran awal katup kontrol oksigen dibuka untuk mempersingkat durasi pembakaran, kemudian ditutup kembali setelah limbah serbuk gergaji kayu pinus terbakar dalam reaktor. Berakhirnya tahap pirolisis pada suhu 400 °C ditandai dengan semakin menipisnya asap dan berwarna biru-bening. Asap hasil pembakaran dialirkan melalui pipa kondensor guna mengubahnya menjadi cairan yang dibantu oleh media pendingin berupa air. Output pirolisis berupa asap cair sebanyak 5 liter dengan bentuk cairan berwarna coklat tua.

### *Analisis Karakteristik Kimia Asap Cair*

Asap cair berbasis limbah penggergajian kayu pinus hasil pirolisis dianalisis komponen kimianya secara kuantitatif melalui analisis total fenol dengan uji spektrofotometri, serta secara kualitatif dengan gas chromatography mass spectrometry (GCMS) (Komaryati *et al.* 2018).

### *Analisis Karakteristik Fisika Asap Cair*

Hasil pirolisis berupa asap cair dianalisis sifat fisiknya melalui pengamatan guna melengkapi data kualitas asap cair yang dihasilkan. Komponen yang diamati berupa rendemen asap cair, Berat Jenis, warna, aroma, dan keberadaan endapan (Jannah *et al.* 2020).

### *Penentuan Plot*

Penentuan plot mengacu pada penelitian Purba *et al.* (2015), dimana plot tanaman kopi (umur 5 tahun) berukuran 2 m x 1 m, jarak antar plot 1 m dan diulang sebanyak 3 kali. Tiap satu plot terdiri dari 3 tanaman kopi dengan kriteria memiliki minimal 4 ranting yang mengarah kepada empat penjuru mata angin yaitu Timur, Barat, Utara, dan Selatan dengan jarak tanam 1 m.

### *Pengaplikasian Asap Cair*

Asap cair hasil pirolisis dilarutkan bersama akuades dan dibuat dalam beberapa konsentrasi yakni (1,5 %; 2%; dan 2,5 %) v/v sebagai biopestisida yang selanjutnya diaplikasikan pada tanaman kopi (Indriati dan Samsudin 2018). Pengaplikasian asap cair pada tanaman kopi (pengujian *in vivo*) dilakukan dengan metode penyemprotan pada seluruh bagian tanaman secara merata hingga seluruh permukaan basah dan terselimuti oleh asap cair. Penyemprotan dilakukan seminggu sekali selama 60 hari (Soelistijono *et al.* 2020). Pengujian *in vitro* terhadap buah kopi adalah uji toksisitas dan uji preferensi makan, dilakukan melalui metode penyemprotan dengan volume semprot masing-masing 6,25 mL/wadah (Rahmawati *et al.* 2019).

### *Uji Serangan Hama PBKo*

Uji persentase serangan hama PBKo dihitung melalui penetapan sampel pohon pada masing-masing plot. Ditentukan 4 cabang yang berada pada bagian tengah pohon dan diamati intensitas serangan hama terhadap buah kopi pada setiap sampel yang ditandai dengan adanya lubang gergaji pada buah. Dihitung persentase serangan setiap minggu sekali selama 8 minggu dengan rumus (Girsang *et al.* 2020):

$$PS = BT / TB \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan (*Remarks*):

PS = persentase serangan (*Percentage of attack, %*); BT = jumlah buah kopi yang terserang (*Number of infested coffee cherries*); TB = jumlah keseluruhan buah kopi (*Total number of coffee fruits*)

### *Uji Toksisitas*

Prosedur uji toksisitas asap cair terhadap hama PBKo mengacu pada penelitian Indriati dan Samsudin (2018) dan Rahmawati *et al.* (2019). Dilakukan dengan metode residu dan ditentukan melalui perhitungan persentase kematian serangga. Sampel buah kopi yang digunakan disortasi dengan kriteria bobot 1,5-2 g dalam kondisi matang dan ditandai dengan buah yang berwarna merah. Dilakukan sterilisasi terhadap buah kopi dengan metode perendaman menggunakan klorox 1%, kemudian dibilas air

bersih serta dikeringanginkan 15 menit. Sebanyak 10 buah kopi disemprot dengan larutan uji sesuai perlakuan dan ditempatkan pada wadah plastik. Dimasukkan 10 ekor imago *H. hampei* pada setiap wadah dan ditutup wadah dengan plastik yang telah dilubangi oleh jarum dan diikat dengan karet. Parameter yang diamati yakni mortalitas imago hama PBKo pada 3, 6, 24, 48, 72, 96, dan 120 JSP (Jam Setelah Penyemprotan) serta diulang sebanyak 3 kali. Persentase kematian serangga dihitung dengan rumus:

$$PK = SM / SK \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan (*Remarks*):

PK = persentase kematian serangga (*Percentage of insect mortality, %*); SM = jumlah serangga yang mati (*Number of dead insects*); SK = jumlah serangga keseluruhan (*Total number of insects*)

#### **Uji Preferensi Makan**

Sampel buah kopi yang digunakan disortasi dengan kriteria bobot 1,5-2 g dalam kondisi matang dan ditandai dengan buah yang berwarna merah. Sterilisasi buah kopi dilakukan dengan metode perendaman menggunakan klorox 1%, selanjutnya dibilas dengan air bersih lalu dikeringanginkan selama 15 menit. Uji preferensi makan dilakukan dengan metode pakan tanpa pilihan. Pada metode tanpa pilihan, buah kopi kontrol dan buah kopi yang telah diberi perlakuan disimpan pada wadah berbeda. Dalam setiap wadah, dimasukkan 2 buah kopi yang telah ditimbang sebagai bobot awal dan disemprot dengan larutan uji sesuai perlakuan. Metode penyemprotan dilakukan dengan volume semprot masing-masing 6,25 mL/wadah. Dimasukkan 10 ekor imago *H. hampei* yang telah dipuasakan selama 2 jam pada setiap wadah dan ditutup wadah dengan plastik yang telah dilubangi oleh jarum dan diikat dengan karet dan didiamkan selama 7 hari. Buah kopi selanjutnya ditimbang kembali setelah 7 hari. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Persentase hambatan makan dihitung dengan rumus (Rahmawati *et al.* 2019):

$$AI (\%) = (K - P / K + P) \times 100\% \dots\dots (3)$$

Keterangan (*Remarks*):

AI = Antifeedant Index (%); K = rata-rata bobot buah kopi control (*Average fruit weight of control coffee*); P = rata-rata bobot buah kopi dengan perlakuan (*Average weight of coffee fruit with treatment*)

#### **Analisis Statistika**

Rancangan penelitian untuk pengujian in vivo adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan variabel bebas konsentrasi asap cair yang disemprotkan pada biji kopi dan variabel terikat yaitu persentase serangan hama, kematian serangga dan preferensi makanan hama untuk pengujian in vitro. Perlakuan terdiri dari variasi konsentrasi asap cair meliputi 1,5%; 2%; dan 2,5%, serta perlakuan kontrol. Data yang didapatkan kemudian dianalisa menggunakan IBM SPSS 25 pada uji ANOVA one-way. Apabila terdapat pengaruh pada perlakuan yang diberikan, maka dilanjutkan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) pada tingkat kepercayaan 5% dari signifikansi ( $P \leq 0,05$ ) (Alfiyanti *et al.* 2019).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Analisis Karakteristik Fisik Asap Cair**

Analisis karakteristik sifat fisik asap cair limbah penggergajian kayu pinus meliputi rendemen asap cair, Berat Jenis, warna, aroma, dan keberadaan endapan. Asap cair limbah gergaji kayu pinus memiliki warna coklat pekat hitam kemerahan dengan aroma kuat dan ada endapan berwarna hitam.

Rendemen adalah hasil dari perbandingan antara berat akhir bahan baku yang telah diproses dengan berat awal bahan baku sebelum diproses. Hasil rendemen pembuatan asap cair limbah penggergajian kayu pinus sebesar 49,47% dengan kadar air bahan baku 8,52%. Kadar air (KA) berpengaruh terhadap rendemen asap cair, apabilakandungan KA tinggi maka, maka rendemen akan rendah, sedangkan apabilakandungan KArendah, maka rendemen asap cair tinggi. Proses kondensasi juga berpengaruh terhadap hasil rendemen asap cair yang diperoleh. Hasil rendemen yang diperoleh lebih besar apabila dibandingkan dengan

rendemen dari limbah penggergajian kayu karet 8, 48% (Parulian *et al.* 2022), tempurung kelapa 42% dan sabut kelapa 32,4% (Megasari, 2020). Berat Jenis (BJ) asap cair limbah penggergajian kayu pinus sebesar 1,055 g/cm<sup>3</sup>, jumlah BJ asap cair ini jauh lebih besar dibandingkan BJ asap cair menurut standar Jepang (<1,005 g/cm<sup>3</sup>). BJ asap cair yang dihasilkan dari penelitian menunjukkan kandungan ter yang masih tinggi.

Warna hasil pirolisis bahan berselulosa, hemiselulosa, dan lignin dipengaruhi oleh kandungan senyawa karbonil, dimana senyawa karbonil memiliki peran penting dalam pewarnaan dan cita rasa yang dihasilkan oleh asap cair. Aroma asap cair limbah gergaji kayu pinus sangat kuat. Menurut Anggraini *et al.* (2018), aroma tersebut karena kandungan fenol, dimana senyawa fenol sangat berperan dalam pemberian aroma. Selain itu, endapan pada asap cair merupakan senyawa tar yang masih tersisa akibat proses pirolisis. Diperlukan proses destilasi maupun redestilasi guna menghilangkan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan seperti tar, benzopiren, dan partikel endapan lainnya, serta mendapatkan sifat fungsional dari asap cair.

### Analisis Karakteristik Kimia Asap Cair

Hasil analisis GC-MS karakteristik kimia secara kualitatif asap cair dari bahan baku limbah gergaji kayu pinus dapat dilihat berdasarkan

data pada Tabel 1. Berdasarkan data tersebut, diperoleh bahwa senyawa kimia asap cair limbah penggergajian kayu pinus terdiri atas 35 senyawa, dimana senyawa yang berkadar paling tinggi adalah: 1) Fenol, 2-metoksi-4-(2 profenil)-(CAS) eugenol (15,63%); 2) asam asetat (CAS) asam etilat (7,48%); 3) 2,7-dioksa-trisiklodeka-4,9-diene (7,47%); 4) 2-metoksi-4-metilfenol (7,01%); dan 5) Sikloheksanon (CAS) anon (6,75%). Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bahwa senyawa fenol merupakan senyawa dengan kadar tertinggi dan didukung pada hasil analisis kuantitatif yang menunjukkan jumlah total fenol pada sampel asap cair kayu pinus sebesar 7.248,01 mg GAE/100g. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Lubis dan Hidayat (2020) yang menyatakan bahwa hampir 1000 komponen kimia ditemukan di dalam asap cair, dimana senyawa yang sudah diidentifikasi terdiri dari asam (35 macam), fenolik (85 macam), karbonil (45 macam), hidrokarbon alifatik (21 macam), alkohol (15 macam), lakton (13 macam), dan furan (11 macam).

Berdasarkan data Tabel 1, dapat diidentifikasi golongan senyawa kimia organik yang bersifat toksik terhadap hama, antara lain keton, asam asetat, alkohol, furan, eugenol, dan guaiasil aseton seperti yang tercantum pada Tabel 2. Senyawa keton menyerang hama melalui metode racun pernafasan dan racun perut. Dimana rute

**Tabel 1.** Komponen kimia asap cair limbah penggergajian kayu pinus hasil analisis GC-MS

Senyawa Kimia ( <i>Chemical compounds</i> )	Kadar ( <i>Peak area</i> ), (%)
Kloropropil-cis-1,2,3-d3-metanol	4,02
Asam asetat (CAS) asam etilat	7,48
9,9-bis [4-(4-nitro fenoksi) fenil] fluoren	2,42
2-pentanone, 4-metil-(CAS) 4-metil-2-pentanone	2,35
Sikloheksanon (CAS) anon	6,75
2-siklopenten-1-one, 2-hidroksi-3-metil-(CAS) korilon	2,68
Fenol, 2-metoksi-(CAS) guaiasol	5,24
Pentanal (CAS) n-pentanal	4,85
2-metoksi-4-metilfenol	7,01
Fenol, 4-etil-2-metoksi-(CAS) p-etilguaiasol	2,19
2,7-dioksa-trisiklodeka-4,9-diene	7,47
Fenol, 2-metoksi-4-(2 profenil)-(CAS) eugenol	15,63
Etanon, 1-(4-hidroksi-3-metoksi fenil)-(CAS) 1-(4-hidroksi-metoksi)	2,44
2-propanon, 1-(4-hidroksi-3-metoksi fenil)	2,69

penyerangan insektisida yang dilalui keton yakni diawali dengan penguapan senyawa yang masuk ke saluran pernapasan serangga melalui *trakea* hingga mengganggu sistem pernafasan yang berujung pada kematian hama (Hong *et al.* 2018). Sementara, dengan metode racun perut, senyawa keton masuk melalui mulut serangga dan mengalir pada kerongkongan hingga akhirnya tiba di saluran pencernaan dan menyebabkan terganggunya aktivitas makan serangga (Rustam *et al.* 2018; Mumba dan Rante 2020).

Pada senyawa asam asetat, komponen yang berfungsi sebagai insektisida alami dengan metode racun kontak yang merusak permeabilitas kutikula serangga sehingga menyebabkan kematian serangga (Sari dan Samharinto 2018). Menurut Sari dan Samharinto (2018), senyawa alkohol bekerja sebagai racun kontak yang merusak protoplasma dan menyebabkan kebocoran sel dengan merusak sel, mendenaturasi protein, dan menginaktifkan enzim sehingga secara perlahan sel akan mati dan berujung pada serangga lethal. Sementara, senyawa furan bekerja sebagai *antifeedant* pada tanaman yang mampu memberikan efek keracunan pada hama

yang melakukan kontak dengan senyawa tersebut (Morimoto *et al.* 2017). Selain itu pada kelompok senyawa eugenol, berdasarkan penelitian Zhang *et al.* (2020), senyawa eugenol bekerja sebagai racun kontak dan fisiologi. Dimana saat eugenol dibentuk sebagai fumigan, gas dengan tekanan dan konsentrasi khusus yang dilepas pada lingkungan dengan hama dalam sekian waktu maka organisme yang terdapat pada lingkungan tersebut akan mati. Adapun kelompok senyawa *guaiacyl acetone* berperan sebagai *repellent* hama akibat efek aroma yang diberikannya (Vachon *et al.* 2020).

### Uji Serangan Hama PBKo

Efektivitas suatu perlakuan dalam menghambat serangan hama PBKo dapat ditinjau berdasarkan perhitungan persentase serangan hama PBKo terhadap tanaman kopi yang sudah diberi perlakuan. Semakin kecil nilai persentase serangan hama PBKo, maka semakin efektif perlakuan yang diberikan (Budiyani dan Sukasana 2020).

Berdasarkan Gambar 1, persentase serangan hama PBKo terhadap buah kopi pada perlakuan

**Tabel 2.** Kelompok senyawa asap cair kayu pinus yang bersifat insektisidal terhadap hama

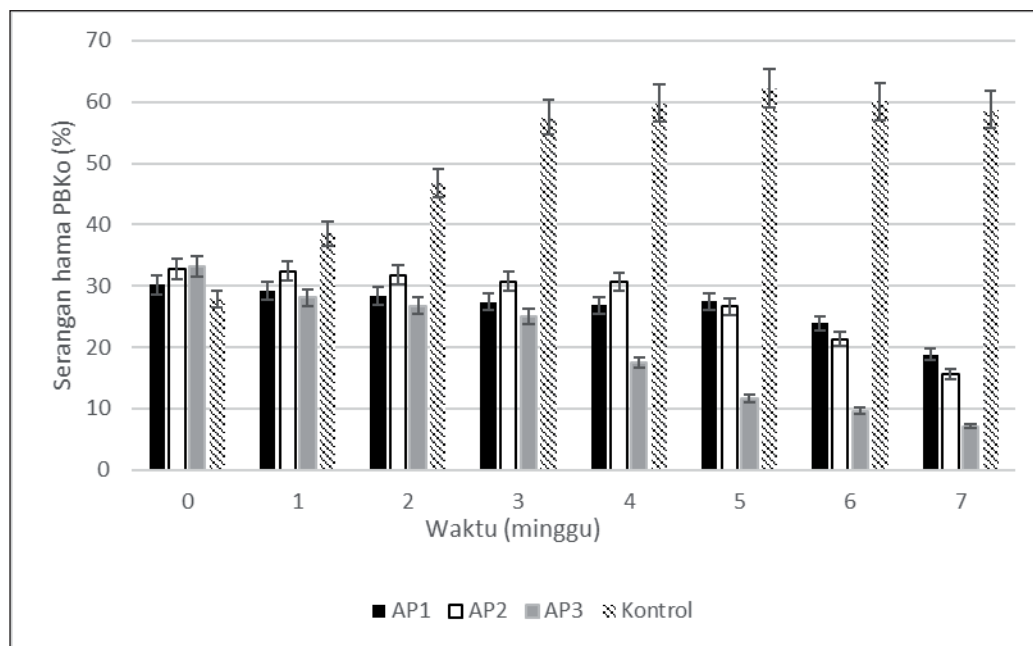
Kelompok senyawa (Group of compounds)	Jenis senyawa (Chemical compounds)
Keton	2-pentanone, 4-methyl-(CAS) 4-methyl-2-pentanone (Zavala-Gomez <i>et al.</i> 2021) Sikloheksanon (CAS) anon (Zhang <i>et al.</i> 2017) 2-siklopenten-1-one, 2-hidroksi-3-metil-(CAS) korilon (Kheirkhah <i>et al.</i> 2015) Etanon, 1-(4-hidroksi-3-metoksi fenil)-(CAS) asetovanillon (Al-Harbi <i>et al.</i> 2021)
Asam asetat	Asam asetat (CAS) asam etilat (Hastuti <i>et al.</i> 2019)
Alkohol	5-hidroksi pentan-2-one: etanol (alkohol) (Park <i>et al.</i> 2019) Metil-(2-hidroksi-3-etoksi-benzil) eter (Ahmed <i>et al.</i> 2020)
Furan	Benzofuran (CAS) kumaron (Souto <i>et al.</i> 2021) 3(2H)-benzofuranon, 2,4-dimetil-(CAS) firotartarik anhidrit (Shilaluke and Moteetee, 2022)
Eugenol	2,5-Furandion, dihidro-3-metil-(CAS) firotartarik anhidrit (Singh <i>et al.</i> 2023) Fenol, 2-metoksi-4-(2-profenil) -(CAS) eugenol (Coelho <i>et al.</i> 2022)
Guaiasil aseton	2-propanon, 1-(4-hidroksi-3-metoksi fenil)-(CAS) 1-(4-hidroksi-3-metoksi fenil) (Al-Harbi <i>et al.</i> 2021)

kontrol mengalami kenaikan dari titik awal pengamatan hingga mencapai puncak pada titik pengamatan ke-5 dan selanjutnya turun sampai akhir pengamatan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Hendry *et al.* (2016), menyatakan bahwa persentase buah terserang cenderung semakin meningkat sampai pengamatan minggu ke-6 dan selanjutnya turun hingga akhir pengamatan. Terlihat pada grafik, seluruh perlakuan variasi konsentrasi terendah hingga tertinggi menunjukkan nilai persentase serangan hama yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Hal tersebut menunjukkan penggunaan asap cair sebagai biopestisida dapat menurunkan serangan hama PBKo terhadap buah kopi. Hasibuan (2020) menyatakan bahwa serangga berkomunikasi melalui aroma.

Tanaman yang diberi perlakuan penyemprotan asap cair memiliki aroma sangat kuat sehingga hama tidak mau mendekat, karena aroma yang ditimbulkan dari asap cair tidak disenangi dan dianggap *repellent* bagi tanaman serta *antifeedant* bagi hama serangga. Hal tersebut mendukung

terjadinya penurunan tingkat serangan hama terhadap buah kopi di lahan perkebunan kopi. Berdasarkan hasil pengamatan selama 8 minggu, persentase serangan hama PBKo terhadap buah kopi pada pemberian asap cair kayu pinus, diperoleh perlakuan terbaik dalam menghambat serangan hama PBKo yakni dengan perlakuan konsentrasi 2,5% yang menunjukkan nilai serangan hama terendah pada pengamatan titik ke-4 hingga ke-7. Hal tersebut didukung oleh hasil analisis statistika yang menunjukkan bahwa asap cair limbah penggergajian kayu pinus dengan konsentrasi 2,5% memberikan pengaruh yang berbeda nyata terhadap serangan hama PBKo apabila dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal tersebut berkorelasi dengan data pada analisis karakteristik kimia asap cair yang menunjukkan bahwa fenol merupakan senyawa dengan kadar tertinggi.

Fenol dikenal sebagai zat beracun yang dapat digunakan sebagai insektisida karena mampu menyebabkan kerusakan pada sel hama yang berujung pada kematian serangga tersebut (Hernani *et al.* 2021). Turunan senyawa fenol



**Gambar 1.** Hasil pengujian serangan hama PBKo terhadap buah kopi arabika dengan perlakuan asap cair limbah penggergajian kayu pinus

Keterangan (Remarks): AP1 = Asap cair pinus (Pine liquid smoke) 1,5%  
 AP2 = Asap cair pinus (Pine liquid smoke) 2%  
 AP3 = Asap cair pinus (Pine liquid smoke) 2,5%

berinteraksi dengan sel hama melalui proses adsorpsi dengan melibatkan ikatan hidrogen. Pada kondisi kadar rendah terbentuk kompleks protein fenol yang memiliki ikatan lemah, diiringi penetrasi fenol ke dalam sel yang menyebabkan presipitasi serta denaturasi protein pada organ hama. Pada kadar yang tinggi fenol dapat menyebabkan koagulasi protein sehingga terjadi lisis pada sel membran (Ramadhan *et al.* 2022). Hal ini sejalan dengan penelitian Malvini dan Nurjismi (2019), yang menunjukkan semakin tinggi konsentrasi asap cair yang digunakan, maka semakin rendah serangan hama yang terjadi. Semakin tinggi konsentrasi asap cair, maka semakin besar kemampuan biopestisida tersebut dalam menekan kejadian busuk buah akibat serangan hama PBKo. Hasil penelitian juga sesuai dengan penelitian Indriati dan Samsudin (2018), bahwa asap cair limbah gergaji kayu pada konsentrasi 2,5% dapat menurunkan serangan PBKo lebih besar apabila dibandingkan dengan insektisida kimia.

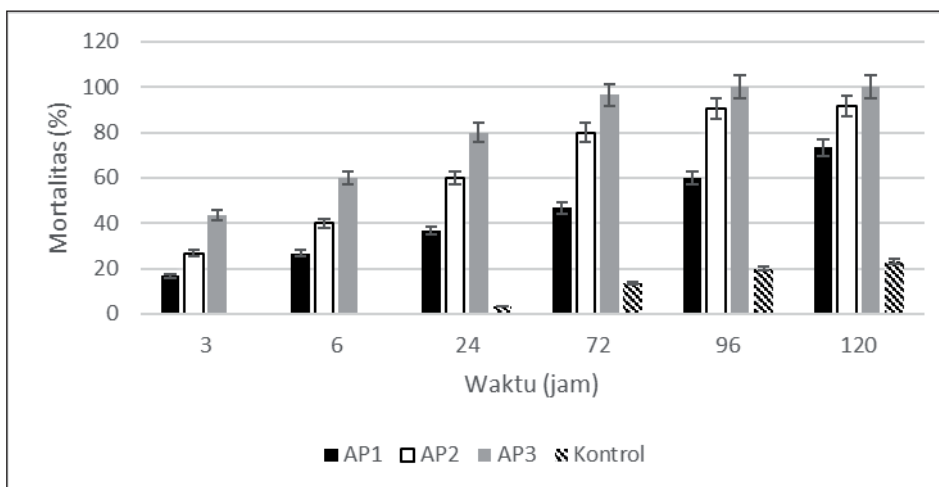
### Uji toksisitas

Uji toksisitas asap cair limbah penggergajian kayu pinus terhadap imago PBKo dengan metode residu (Gambar 2) menunjukkan bahwa perlakuan asap cair menyebabkan mortalitas imago PBKo.

Efektivitas perlakuan asap cair dapat ditinjau oleh nilai persentase hama yang semakin meningkat (Malvini dan Nurjismi 2019).

Gambar 2 menunjukkan bahwa persentase mortalitas hama pada seluruh variabel perlakuan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu. Apabila dibandingkan dengan perlakuan kontrol, seluruh perlakuan variasi konsentrasi menunjukkan persentase mortalitas yang lebih tinggi. Nilai persentase mortalitas tertinggi yakni pada perlakuan dengan konsentrasi 2,5% mampu menyebabkan peningkatan mortalitas hama PBKo tertinggi sejak pengamatan pertama.

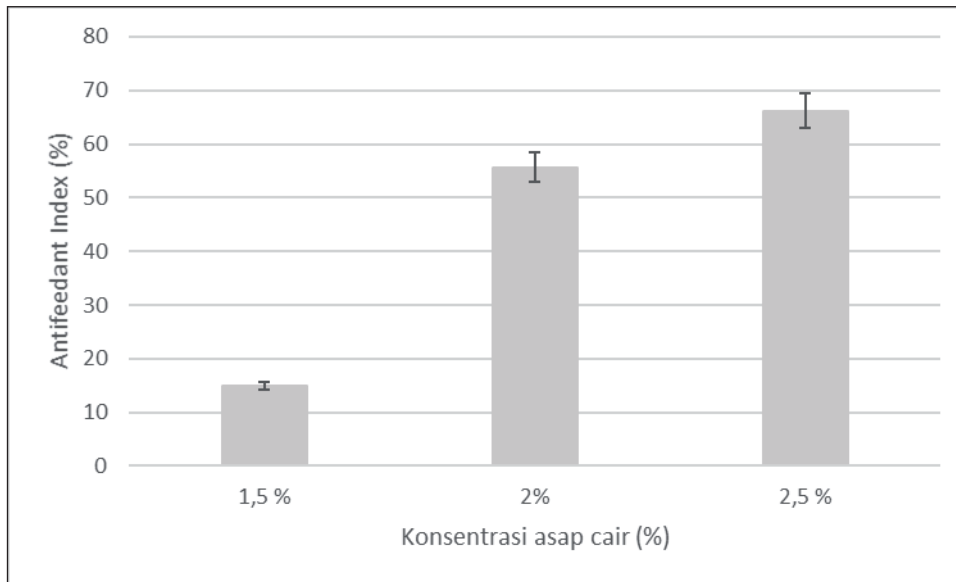
Hasil analisis statistika uji ANOVA memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan antar perlakuan pada tingkat kepercayaan 5% dari signifikansi ( $P \leq 0,05$ ) yang dilanjutkan dengan uji DMRT. Hasil uji DMRT pada tingkat kepercayaan 5% dari signifikansi ( $P \leq 0,05$ ) menunjukkan bahwa perlakuan asap cair pinus 2,5% berbeda nyata bila dibandingkan dengan perlakuan lainnya terhadap mortalitas hama PBKo sejak titik pengamatan 3 JSP hingga 96 JSP. Pada pengamatan 7 JSP, perlakuan asap cair kayu pinus dengan konsentrasi 2% juga memberikan perbedaan signifikan apabila dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini disebabkan oleh tingginya komponen senyawa fenol pada



**Gambar 2.** Hasil pengujian persentase kematian hama PBKo akibat perlakuan asap cair kayu pinus

Keterangan (Remarks): AP1= Asap cair pinus (*Pine liquid smoke*)1,5%  
AP2 = Asap cair pinus (*Pine liquid smoke*) 2%  
AP3 = Asap cair pinus (*Pine liquid smoke*) 2,5%





**Gambar 3.** Hasil pengujian *antifeedant index* hama PBK<sub>o</sub> terhadap asap cair

jenis kayu pinus. Senyawa fenol berperan sebagai racun kontak yang merusak protoplasma, menembus dinding dan mengendapkan sel, sehingga terjadi kerusakan sel, denaturasi protein, penginaktifan enzim, dan terjadi kebocoran sel yang berakibat pada kematian organ sel serangga (Ramadhan *et al.* 2022).

Berdasarkan data pada Tabel 2, asap cair limbah penggergajian kayu pinus mengandung sejumlah kelompok senyawa seperti keton, asam asetat, fenol, alkohol, furan, sikloalkana, alkena, eugenol, sikloheksana, guaisil aseton, dan asam stearat yang dinilai toksik terhadap hama (Wang *et al.* 2020; Vachon *et al.* 2020; Kaushik *et al.* 2020). Senyawa aktif asap cair yang masuk ke dalam tubuh serangga, akan berdifusi ke dalam pori-pori (spirakel) pada permukaan tubuh serangga yang akan mengakibatkan terganggunya sistem respirasi, sehingga mempengaruhi pembentukan energi di dalam sel. Apabila sel mengalami kekurangan energi, maka semakin mudah dan cepat terjadinya kerusakan jaringan, keracunan, dan kematian serangga (Indriati dan Samsudin 2018). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Malvini dan Nurjasmi (2019), semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi pula persentase kematian hama. Hal ini memperlihatkan bahwa peningkatan persentase mortalitas hama seiring dengan tingginya konsentrasi asap cair yang dipengaruhi oleh kadar

senyawa aktif asap cair, dimana jumlah racun yang mengalami kontak dengan tubuh serangga semakin banyak, sehingga kematian serangga juga akan lebih tinggi (Malvini dan Nurjasmi 2019).

### Uji preferensi makan

Hasil pengamatan terhadap persentase daya tolak makan serangga hama PBK<sub>o</sub> pada buah kopi setelah perlakuan asap cair (Gambar 2) menunjukkan perlakuan terbaik diperoleh pada perlakuan asap cair kayu pinus konsentrasi tertinggi yakni 2,5%. Menurut Gama *et al.* (2021), senyawa aktif pada asap cair memiliki fungsi sebagai penolak makan (*antifeedant*), penolak kehadiran serangga (*repellent*), menghambat perkembangbiakan serangga serta dapat menghancurkan sistem reproduksi serangga. Senyawa aktif yang terdapat dalam asap cair memiliki cara kerja sebagai racun kontak dan racun perut. Hama PBK<sub>o</sub> (*Hypothenemus hampei*) yang terpengaruh oleh asap cair, memiliki gejala mortalitas yang diawali dengan menurunnya keinginan makan, dan lama-kelamaan tubuh serangga tidak dapat bergerak hingga akhirnya mati (Malvini dan Nurjasmi 2019). Hal ini sejalan dengan penelitian Sari dan Samharinto (2018) yang menunjukkan bahwa senyawa propanon pada asap cair mampu menurunkan intensitas serangan hama, meningkatkan persentase

mortalitas hama, dan meningkatkan *antifeedant index* pada hama terhadap daun sawi.

Analisis statistika menunjukkan bahwa konsentrasi asap cair limbah penggergajian kayu pinus memberikan pengaruh nyata terhadap preferensi makan PBKo pada tingkat kepercayaan 5% dengan signifikansi ( $P \leq 0,05$ ). Sedangkan penyemprotan asap cair limbah penggergajian kayu pinus dengan konsentrasi 1,5% tidak berbeda signifikan dengan kontrol. Hal tersebut diduga terkait dengan kandungan senyawa fitokimia pada kayu yang sebagian besar berupa senyawa volatil sehingga bersifat lebih mudah menguap. Hal ini dapat mempengaruhi tingkat efektivitas asap cair, sehingga dibutuhkan aplikasi dosis yang lebih tinggi agar dapat mencapai tingkat efektivitas yang maksimal (Indriati dan Samsudin 2018).

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Asap cair limbah gergaji kayu pinus memiliki total fenol sebesar 7248,01 mg GAE/100g. Hasil analisis GC-MS menunjukkan beberapa senyawa dalam asap cair limbah gergaji kayu pinus berpotensi sebagai senyawa insektisidal yang bersifat toksik terhadap hama, yaitu keton, asam asetat, alkohol, furan, fenol/eugenol, dan *guaiacyl acetone*. Konsentrasi asap cair terbaik adalah 2,5% yang mampu menurunkan persentase serangan hama PBKo terhadap buah kopi, meningkatkan nilai mortalitas hama PBKo, dan menunjukkan nilai *antifeedant index* tertinggi.

### Saran

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk melihat efektivitas biopestisida asap cair limbah penggergajian kayu pinus terhadap pengendalian hama lain maupun permasalahan pada jenis tanaman yang lain.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Institut Teknologi Bandung selaku pemberi dana hibah pada penelitian ini dengan nomor kontrak 016/IT1.CII/SK-TA/2022, sehingga penelitian dapat diselesaikan.

## KONTRIBUSI PENULIS

Ide, desain percobaan, dan pembimbingan utama dilakukan oleh AH, TK, AR; percobaan, perlakuan pengujian, pengumpulan data dilakukan oleh AN, GP, SD; penulisan manuskrip oleh AN, AH, TK; perbaikan dan finalisasi manuskrip dilakukan oleh AR.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, F.U., Rahmadi, A., Mahdie. 2019. Studi potensi limbah pengolahan kayu gergajian di Kecamatan Banjarmasin Utara dan Banjarmasin Barat Kota Banjarmasin Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 2(5), 854–864. doi: <https://doi.org/10.20527/jss.v2i5.1868>.
- Ahmed, M., Peiwen, Q., Gu, Z. 2020. Insecticidal activity and biochemical composition of *Citrus colocythis*, *Cannabis indica* and *Artemisia argyi* extracts against cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). *Sci Rep*, 10, 522. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57092-5>
- Alfiyanti, A., Sitaswi, A.J., Mardiaty, S.M. 2019. Pengaruh pemberian ekstrak etanol daun Mimba (*Azadirachta indica* A. Juss) terhadap berat uterus dan tebal endometrium Mencit (*Mus musculus* L.). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 4(1), 82–89. doi: <https://doi.org/10.14710/baf.4.1.2019.82-89>.
- Al-Harbi, N.A., Al Attar, N.M., Hikal, D.M., Mohamed, S.E., Latef, A.A.H.A., Ibrahim, A.A., and Abdein, M.A. 2021. Evaluation of Insecticidal Effects of Plants Essential Oils Extracted from Basil, Black Seeds and Lavender against *Sitophilus oryzae*. *Plants*, 10(5), 829. doi: <https://doi.org/10.3390/plants10050829>.
- Angraini, S.P.A., Gani, M.O., Noviadi, T. 2018. Pemanfaatan limbah bambu menjadi asap cair sebagai pengawet alami pada struktur kayu. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 3(2), 73–79. doi: <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v3i2.964>.
- Budiyani, N.K., Sukasana, I.W. 2020. Pengendalian serangan hama lalat buah pada intensitas kerusakan buah cabai rawit (*Capsicum frutescens* L) dengan bahan petrogenol. *Agrica*, 13(1), 15–27. doi: <https://doi.org/10.37478/agr.v13i1.279>.
- Coelho, J.R.A., Vieira, T.F., Pereira, R.B., Pereira, D.M., Castanheira, E.M.S., Fortes, A.G., Sousa, S.F., Fernandes, M.J.G., Gonçalves, M.S.T. 2022. Synthesis, Insecticidal Activity

- and Computational Studies of Eugenol-Based Insecticides. *Chemistry Proceedings*, 12(1), 46. <https://doi.org/10.3390/ecsoc-26-13649>.
- Gama, Z.P., Purnama, R.M.A., Melani, D. 2021. High potential of liquid smoke from coconut shell (*Cocos nucifera*) for biological control of rice bug (*Leptocorisa oratorius* F.). *Journal of Tropical Life Science*, 11(1), 85–91. doi: <https://doi.org/10.11594/jtls.11.01.11>.
- Girsang, W., Purba, R., Rudiyanono, R. 2020. Intensitas serangan hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferr.) pada tingkat umur tanaman yang berbeda dan upaya pengendalian memanfaatkan atraktan. *Journal Tabaro Agriculture Science*, 4(1), 27–34. doi: <http://dx.doi.org/10.35914/tabaro.v4i1.358>.
- Hasibuan, S. 2020. Respon berbagai jenis ekstrak bagian tanaman (feromon) dalam mengendalikan hama tanaman padi (*Oryza sativa* L.) sebagai teknik pengendalian hama terpadu. *Jurnal Agrium*, 17(2), 127–136. <https://doi.org/10.29103/agrium.v17i2.2857>.
- Hastuti, D., Islamy, M.F., Rusmana. 2019. The effectiveness of acetic acid solution againsts brown planthopper pest (*Nilaparvata lugens* Stal.) of ciherang rice (*Oryza sativa* L). The 1<sup>st</sup> International Conference on Agriculture and Rural Development. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 383, 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/383/1/012014>.
- Hendry, M.N., Daud, I.D., Agus, N. 2016. Efektivitas *Beauveria bassiana* dan *Penicillium* sp. dalam pengendalian *Hypothenemus hampei* ferr. pada tanaman kopi. *J. Sains & Teknologi*, 16(1), 81–86.
- Hernani, Yuliani, S., Rahmini. 2021. Natural biopesticide from liquid rice hull smoke to control brown planthopper. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733, 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012067>.
- Hong, T., Perumalsamy, H., Jang, K., Na, E., Ahn, Y. 2018. Ovicidal and larvicidal activity and possible mode of action of phenylpropanoids and ketone identified in *Syzygium aromaticum* bud against *Bradysia procera*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 145, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.01.003>.
- Indriati, G., Samsudin. 2018. Potensi asap cair sebagai insektisida nabati pengendali penggerek buah kopi *Hypothenemus hampei*. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 5(3), 123–134. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v5n3.2018.p123-134>.
- Jannah, M., Arryati, H., & Satriadi, T. 2020. Analisis sifat fisik asap cair kayu akasia daun kecil (*Acacia auriculiformis*) berdasarkan masa simpan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 3(5), 899–905. <https://doi.org/10.20527/jss.v3i5.2551>.
- Kaushik, N., Diaz, C.E., Chhipa, H., Fernando, J.L., Fe Andrés, M., González-Coloma, A. 2020. Chemical composition of an aphid antifeedant extract from an endophytic fungus, *Trichoderma* sp. Efi671. *Microorganisms*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030420>.
- Kheirkhah, M., Ghasemi, V., Yazdi, A.K., Rahban, S. 2015. Chemical composition and insecticidal activity of essential oil from *Ziziphora clinopodioides* Lam. used against the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller. *Journal of Plant Protection Research*, 55(3), 260–265. <https://doi.org/10.1515/jppr-2015-0037>.
- Komarayati, S., Gusmailina, G., Efiyanti, L. 2018. Karakteristik dan potensi pemanfaatan asap cair kayu trema, nani, merbau, matoa, dan kayu malas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36(3), 219–238. <https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.3.219-238>.
- Lubis, A.M., Hidayat. 2020. Pengolahan cangkang kelapa sawit di Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi. *Jurnal Literasiologi*, 3(1), 1–20. <https://doi.org/10.47783/literasiologi.v3i1.54>.
- Malvini, I.K.D., Nurjasmii, R. 2019. Pengaruh perlakuan asap cair terhadap *Plutella xylostella* L. pada tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica rapa* L.). *Jurnal Ilmiah Respati*, 10(2), 104–114. <https://doi.org/10.52643/jir.v10i2.652>.
- Masriany, M., Sari, A., Armita, D. 2020. Diversitas Senyawa Volatil dari Berbagai Jenis Tanaman dan Potensinya Sebagai Pengendali Hama yang Ramah Lingkungan. Prosiding Seminar nasional Biologi di Era Pandemi COVID-19.
- Megasari, R. 2020. Analisa kandungan kimia asap cair dari tempurung dan sabut kelapa dengan metode destilasi. *Journal of Agritech Science*, 40(2), 61–68. <https://doi.org/10.30869/jasc.v4i2.577>
- Morimoto, M., Urakawa, M., Komai, K. 2017. Electrochemical synthesis of dihydrobenzofurans and evaluation of their insect antifeedant activities. *Journal of Oleo Science*, 66(8), 857–862. <https://doi.org/10.5650/jos.ess17022>.
- Mumba, A.S., Rante, C.S. 2020. Pest control of aphids (*Aphis gossypii*) on pepper plants (*Capsicum annum* L.) using an extract of citronella (*Cymbopogon nardus* L.). *Jurnal*

- Agroekoteknologi Terapan*, 1(2), 35–38. <https://doi.org/10.35791/jat.v1i2.34069>.
- Nurfadhila, S., Hambali, E. 2022. Liquid smoke from coconut shell pyrolysis process on palm surfactant based liquid hand soap. *International Journal of Oil Palm*, 5(2), 50–57. <https://doi.org/10.35876/ijop.v5i2.71>.
- Oramahi, H., Rusmiyanto, E., Kustiati, K. 2021. Penggunaan asap cair dari tandan kosong kelapa sawit untuk pengendalian jamur *Phytophthora citrophthora* secara invitro. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*. 38(1): 34–38.
- Park, S.H., Staples, S.K., Gostin, E.L., Smith, J.P., Vigil, J.J., Seifried, D., Kinney, C., Pauli, C.S., Heuvel, B.D.V. 2019. Contrasting Roles of Cannabidiol as an Insecticide and Rescuing Agent for Ethanol-induced Death in the Tobacco Hornworm *Manduca sexta*. *Sci Rep*, 9, 10481. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47017-7>.
- Purba, R.P., Bakti, D., Sitepu, S.F. 2015. Hubungan persentase serangan dengan estimasi kehilangan hasil akibat serangan hama penggerek buah kopi *Hypothenemus hampei* Ferr. (*Coleoptera: Scolytidae*) di Kabupaten Simalungun. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, 3(2), 790–799. <https://doi.org/10.32734/jaet.v3i2.10368>.
- Rahmawati, E., Hadiyah, I., Kurniati, F., Indriati, G. 2019. Efikasi pestisida nabati minyak kemiri sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) untuk mengendalikan hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferrari). *Media Pertanian*, 4(2), 81–87. <https://doi.org/10.37058/mp.v4i2.1360>.
- Ramadhan, R., Hasballah, K., Suryawati, S., Mulia, V.D. 2022. Daya hambat madu seulawah terhadap methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). *Jurnal Bioleuser*, 6(3), 1–4. <https://doi.org/10.24815/j.%20bioleuser.v6i3.30484>.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Inthifawzi, R. 2019. Proses pembakaran pirolisis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78. <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>.
- Rustam, R., Fauzana, H., Andika, R. 2018. Uji konsentrasi ekstrak murni rimpang jahe merah (*Zingiber officianale* Rubrum) terhadap tingkat mortalitas ulat grayak (*Spodoptera litura* F.) pada tanaman kedelai (*Glicyne max* (L.) Merrill). *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 7(1), 42–49.
- Saputra, N.A., Komarayati, S., Gusmailina. 2021. Komponen kimia organik lima jenis asap cair. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 39(1), 39 – 54. <https://doi.org/10.20886/jpjh.2021.39.1.39-54>.
- Sari, Y.P., Samharinto, L.B.F. 2018. Penggunaan asap cair tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai pestisida nabati untuk mengendalikan hama perusak daun tanaman sawi (*Brassica juncea*. L). *Enviro Scienteeae*, 14(3), 272–284. <http://dx.doi.org/10.20527/es.v14i3.5699>.
- Sarwendah, M., Feriadi, F., Wahyuni, T., Arisanti, T.N. 2019. Pemanfaatan limbah komoditas perkebunan untuk pembuatan asap cair. *Jurnal Penelitian Tanaman Industri*, 25(1), 22–30. <https://doi.org/10.21082/litri.v25n1.2019>.
- Shilaluke, K.C., Moteetee, A.N. 2022. Insecticidal Activities and GC-MS Analysis of the Selected Family Members of Meliaceae Used Traditionally as Insecticides. *Plants*, 11, 3046. <https://doi.org/10.3390/plants11223046>.
- Singh, K.D., Koijam, A.S., Bharali, R., and Rajashekar, Y. 2023. Insecticidal and biochemical effects of *Dillenia indica* L. leaves against three major stored grain insect pests. *Front. Plant Sci*, 14, 1135946. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1135946>.
- Soelistijono, R., Daryanti, Suprapti, E., Aziez, A.F. Asto, N 2020. Pengaruh dosis pupuk kandang sapi dan macam pupuk hayati terhadap pertumbuhan kedelai varietas Devon I. *Jurnal Ilmiah Agrineca*, 20(2), 125-134. <https://doi.org/10.36728/afp.v20i2.1082>.
- Souto, A.L., Sylvestre, M., Tolke, E.D., Tavares, J.F., Barbosa-Filho, J.M., Cebrian-Torres, G. 2021. Plant-Derived Pesticides as an Alternative to Pest Management and Sustainable Agricultural Production: Prospects, Applications and Challenges.

- Molecules*, 26(16), 4835. [https:// doi: 10.3390/molecules26164835](https://doi.org/10.3390/molecules26164835).
- Vachon, J., Assad-Alkhatib, D., Baumberger, S., van Haveren, J., Gosselink, R.J.A., Monedero, M., Bermudez, J.M. 2020. Use of lignin as additive in polyethylene for food protection: Insect repelling effect of an ethyl acetate phenolic extract. *Compos Part C: Open Access*, 2: 100044. [https:// doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100044](https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100044).
- Wang, W., Ezell, M.J., Lakey, P.S.J., Aregahegn, K.Z., Shiraiwa, M., Finlayson-Pitts, B.J. 2020. Unexpected formation of oxygen-free products and nitrous acid from the ozonolysis of the neonicotinoid nitenpyram. *Proc Natl Acad Sci USA*, 117(21), 11321–11327. <https://doi.org/10.1073/pnas.2002397117>.
- Zavala-Gómez, C.E., Zamora-Avella, D., Rodríguez-Chávez, J.L., Zavala-Sánchez, M.A., Campos-Guillén, J., Bah, M.M., García-Serrano, L.A., Cárdenas-Ortega, N.C., Sosa-Domínguez, A., Ramos-López, M.A. 2021. Bioactivity of 1,8-Cineole and Essential Oil of *Salvia keerlii* (Lamiaceae) Against *Spodoptera frugiperda*. *Southwestern Entomologist*, 46(2), 385–396. [https:// doi.org/10.3958/059.046.0209](https://doi.org/10.3958/059.046.0209).
- Zhang, H.J., Zheng, L.H., Zhao, K., Chen, Y., and Yi, Z. 2017. Insecticidal activities of constituents of *Litsea cubeba* fruit extracts effective against the maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Insect Science*, 17(5), 1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex079>.
- Zhang, Z.D., Yang, Y.J., Liu, X.W., Qin, Z., Li, S.H., Li, J.Y. 2020. The protective effect of aspirin eugenol ester on paraquat-induced acute liver injury rats. *Fron. Med*, 7, 589011. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.589011>.



Pemanfaatan Asap Cair Kayu Pinus Sebagai Biopestisida dalam Menghambat Serangan Hama Penggerek (*Hypothenemus hampei* Ferr.) Buah Kopi

