



Potensi Pemanfaatan Asap Cair (*Liquid Smoke*) Menjadi Bio-Disinfectant dari Limbah Kayu Karet dan Kayu Akasia

Bazlina Dawami Afrah^{1*}, Muhammad Ihsan Riady², Lia Cundari³, Fadhilah Rizki⁴, Rizky Vasya Ramadhanty⁵, Eva Oktarinasari⁶ 

^{1,3,4,5} Prodi Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

² Prodi Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

⁶ Prodi Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received August 03, 2023

Accepted March 15, 2024

Available online April 25, 2024

Kata Kunci:

Asap cair, Bio-disinfectant, Pirolisis, Biomassa.

Keywords:

Liquid smoke, Bio-disinfectant, Pyrolysis. Biomass.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2024 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Bio-disinfectant dari asap cair adalah alternatif untuk menggantikan maraknya penggunaan disinfektan kimia yang menyebabkan efek terhadap kesehatan karena meninggalkan residu berbahaya. Asap cair dengan dua variasi bahan baku biomassa, yaitu limbah kayu karet dan kayu akasia merupakan subjek penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis potensi asap cair dari variasi jenis biomassa sebagai bio-disinfectant secara eksperimental melalui pendekatan analisis karakteristik serta komposisi dari bio-disinfectant yang dihasilkan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Pengumpulan data dilakukan pada setiap alur tahapan penelitian, meliputi proses pirolisis, distilasi, dan adsorpsi dengan variasi bahan baku dan grade asap cair sebagai variabel penelitian. Analisis karakteristik yang dilakukan meliputi pH, viskositas, densitas, kadar asam, dan fenol. Hasil analisis karakteristik menunjukkan asap cair kayu karet grade 1 memenuhi standar asap cair Jepang dengan pH terendah 2,41 dan nilai asam tertinggi 0,19. Berdasarkan hasil uji karakteristik dan komposisi secara keseluruhan diketahui bahwa sampel asap cair berbahan baku kayu akasia grade 1 merupakan asap cair dengan kualitas terbaik yang berpotensi menjadi bio-disinfectant. Kayu akasia grade 1 memiliki pH 3,26, nilai asam 0,11, serta nilai viskositas kinematik sebesar 4,3248 cSt. Uji fenol dengan metode spektrofotometri menunjukkan bahwa asap cair kayu akasia merupakan sampel dengan nilai fenol tertinggi yaitu 2527,6 ppm. Komposisi komponen kimia pada asap cair kayu akasia grade 1 berdasarkan hasil uji GC-MS meliputi senyawa fenol, fosponic acid, dan carbamic acid yang berguna dalam proses disinfeksi mikroorganisme patogen.

ABSTRACT

Bio-disinfectant from liquid smoke is an alternative to replace the rampant use of chemical disinfectants that cause health effects because they leave harmful residues. Liquid smoke with two variations of biomass raw materials, namely rubber wood waste and acacia wood, is the subject of this research. The purpose of this research is to analyze the potential of liquid smoke from various types of biomass as a bio-disinfectant experimentally through the approach of analyzing the characteristics and composition of the bio-disinfectant produced. This research is an experimental research. Data collection was carried out at each stage of the research flow, including pyrolysis, distillation, and adsorption processes with variations in raw materials and liquid smoke grade as research variables. Characteristic analysis carried out includes pH, viscosity, density, acid content, and phenol. The results of the characteristic analysis showed that grade 1 rubberwood liquid smoke met the Japanese liquid smoke standard with the lowest pH of 2.41 and the highest acid value of 0.19. Based on the overall characteristics and composition test results, it is known that the liquid smoke sample made from grade 1 acacia wood is the best quality liquid smoke that has the potential to become a bio-disinfectant. Acacia wood grade 1 has a pH of 3.26, an acid value of 0.11, and a kinematic viscosity value of 4.3248 cSt. The phenol test using the spectrophotometric method shows that acacia wood liquid smoke is the sample with the highest phenol value of 2527.6 ppm. The composition of chemical components in grade 1 acacia wood liquid smoke based on GC-MS test results includes phenol compounds, phosponic acid, and carbamic acid which are useful in the disinfection process of pathogenic microorganisms.

1. PENDAHULUAN

Pandemi COVID-19 saat ini telah meningkatkan kesadaran masyarakat akan kesehatan tubuh dan kebersihan lingkungan. Praktik kesehatan yang diterapkan seperti menjaga jarak sosial, memakai masker dan mencuci tangan hanya cukup untuk memenuhi persyaratan kebersihan dan kesehatan pribadi, tetapi tidak untuk tempat tinggal atau lingkungan Anda. Salah satu cara agar area tetap sehat dan bersih adalah dengan menggunakan produk berupa desinfektan. Disinfektan dapat membunuh mikroorganisme patogen

*Corresponding author.

E-mail addresses: bazlina.afrah@ftunsri.ac.id (Bazlina Dawami Afrah)

dan mensterilkan rumah atau lingkungan sekitarnya (Musafira et al., 2020). Ikatan hidrogen dalam senyawa fenol memiliki karakteristik yang mampu berikatan dengan protein bakteri sehingga struktur protein bakteri menjadi rusak (Agustina, 2020; Erlytasari et al., 2019). Membersihkan dan mendisinfeksi permukaan ini secara teratur dapat membantu meminimalkan risiko infeksi, terutama di rumah tangga dengan anggota keluarga yang harus pergi bekerja atau sekolah. Disinfektan membantu menghilangkan patogen yang mungkin masuk dari sumber eksternal, sehingga menciptakan lingkungan yang lebih aman dan higienis. Selain itu, penggunaan disinfektan yang benar juga meningkatkan kesadaran dan disiplin kebersihan di antara anggota keluarga, yang merupakan langkah penting dalam mencegah penyebaran penyakit selama pandemic (Ricke et al., 2020; Sari et al., 2019). Permasalahan yang muncul saat ini yaitu maraknya penggunaan disinfektan kiwiawi dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan observasi yang dilakukan diperoleh informasi bahwa masih banyak masyarakat yang menggunakan disinfektan kiwiawi. Penggunaan disinfektan jenis ini mungkin berguna untuk membunuh kuman dan menjaga kebersihan selama pandemi, tetapi mereka juga dapat memiliki dampak negatif terhadap kesehatan dengan meninggalkan residu yang berbahaya (Erlytasari et al., 2019; Shufyani et al., 2018). Kontak yang terlalu lama dengan residu disinfektan dapat menyebabkan iritasi kulit, mata, dan saluran pernapasan, serta memperparah gejala pada orang yang memiliki masalah pernapasan seperti asma. Selain itu, sisa-sisa bahan kimia pada permukaan di dalam rumah dapat terhirup atau terserap melalui kulit, sehingga meningkatkan kemungkinan keracunan bahan kimia, terutama bagi anak-anak dan hewan peliharaan yang rentan (Erlytasari et al., 2019; Fauziati et al., 2018).

Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan solusi dengan menjadi alternative pengganti dari penggunaan disinfektan kimiawi. Disinfektan sendiri berdasarkan sumber bahan bakunya dapat dibedakan menjadi disinfektan kimiawi dan disinfektan alami (*bio-disinfektant*). Penggunaan disinfektan alami (*bio-disinfektant*) dapat menjadi solusi dalam permasalahan ini. *Bio-disinfektant* merupakan cairan yang mengandung senyawa antibakteri dan antijamur, salah satunya terdapat pada asap cair. Asap cair mengandung berbagai konsentrasi fenol, karbonil, dan asam (Fauziati et al., 2018; Xin et al., 2021). Kandungan fenol, asam, dan karbonil bertindak sebagai *antioxidant* dan *antimicrobial* (Afrah, et al., 2023). Asap cair dapat dihasilkan dari biomassa yang mengandung lignin, selulosa, dan hemiselulosa dengan proses pirolisis (Musafira et al., 2020; Suryani et al., 2020).

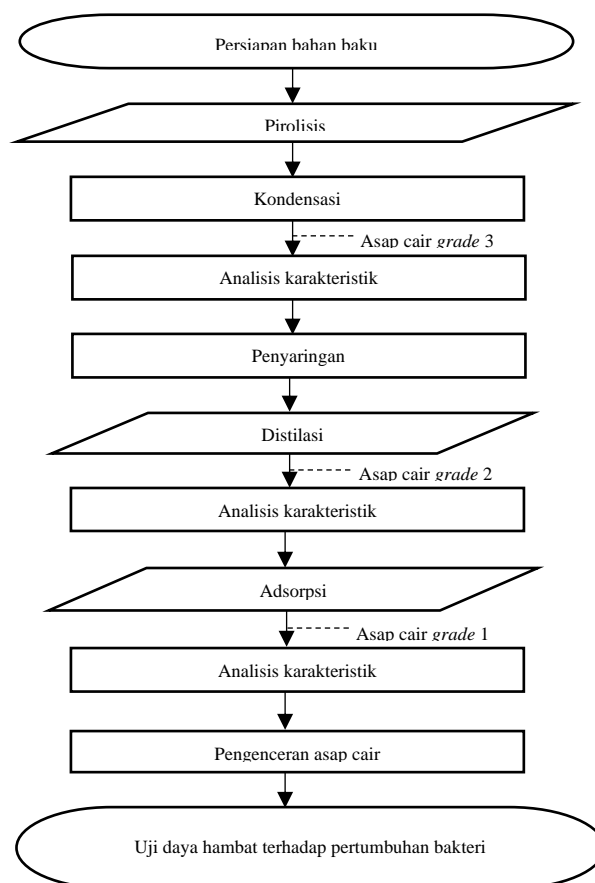
Kualitas asap cair dipengaruhi oleh jenis bahan baku biomassa yang digunakan, yang dapat diperoleh dari limbah tanah Indonesia seperti kayu karet dan kayu akasia yang dianggap sebagai tanaman berdaya hasil tinggi. Produksi tanaman karet meningkat pada tahun 2021 mencapai 3.121.300 ton seiring dengan pertambahan luas area perkebunannya. Sumatera Selatan merupakan provinsi yang mempunyai total luas area perkebunan karet terbesar di Indonesia pada tahun 2020 (Diatmika et al., 2019; Statistik, 2020). Data tersebut menunjukkan potensi pemanfaatan dari pohon karet sangat besar termasuk bagian kayunya. Limbah ini dapat dikurangi dengan upaya penelitian terkait pemanfaatannya yang sekaligus dapat meningkatkan nilainya. Salah satu upaya tersebut adalah melalui proses pirolisis menghasilkan asap cair untuk diolah menjadi *bio-disinfektant*. Pembuatan asap cair juga dapat diproduksi dari kayu akasia, dimana BPS menyatakan bahwa produksi kayu akasia meningkat menjadi 46.487.679 m³ pada tahun 2020 (Agustina, 2020; Statistik, 2020). Penelitian pemanfaatan asap cair kayu akasia masih jarang jika dibandingkan biomassa lain. Produksi akasia paling tinggi dibanding tanaman pokok lainnya. Asap cair dari kayu akasia memiliki aktivitas antijamur yang telah diuji terhadap *Aspergillus flavus* (Afrah, Riady, P., et al., 2023; Oramahi, 2020). Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal biomassa dengan kandungan oksigen yang sedikit. Oksigen dari udara diminimalkan hingga maksimal 2% pada proses pirolisis sehingga terjadi pemecahan ikatan rantai panjang molekul hidrokarbon menjadi ikatan molekul yang lebih sederhana berupa *char* (padat), tar (cair), dan gas (Mujyanto et al., 2021; Wijayanti, 2019). Asap cair yang masih berwarna hitam-hitaman dapat dilanjutkan dengan dua tahapan proses pemurnian yaitu tahap distilasi dan tahap penyaringan dengan menggunakan adsorben (Karelius et al., 2020; Yulia et al., 2020). Komposisi yang dimiliki oleh asap cair ditentukan oleh berbagai faktor, diantaranya yaitu adalah jenis kayu yang dipakai, kadar air kayu yang terkandung, dan temperatur pirolisis yang dimanfaatkan (Girard, n.d.; Sarwendah et al., 2020). Volume asap cair mencapai pada titik optimum dengan suhu 300-350°C (Afrah, Riady, P., et al., 2023; Yulia et al., 2020).

Penelitian ini didukung oleh penelitian relevan sebelumnya. Terdapat penelitian yang menyatakan bahwa asap cair efektif digunakan sebagai disinfektan pada peralatan klinik gigi, koagulan lateks, dan pestisida organik (Sari et al., 2019; Sarwendah et al., 2020). Selain itu terdapat penelitian yang mengemukakan bahwa hasil pirolisis limbah cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai campuran diesel (Agustina, 2020; Nugroho, 2019). Asap cair, diketahui terbukti bisa menghambat *Escherichia coli*, jamur *Ganoderma boninense*, *Staphylococcus aureus* (Agustina, 2020; Wahab, 2020). Selain itu, asap cair telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri gram negatif seperti *Salmonella* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Afrah, Riady, P., et al., 2023; Oramahi, 2020). Berdasarkan penelitian terdahulu, asap cair yang

dimanfaatkan sebagai *bio-disinfectant* berasal dari bahan baku batok kelapa (Musafira et al., 2020; Shufyani et al., 2018). Urgensi kebersihan lingkungan masyarakat serta alternatif disinfektan kimia yang memberikan efek samping terhadap kesehatan maka perlu adanya penelitian mengenai limbah biomassa lain yang berpotensi untuk dijadikan sebagai *bio-disinfectant* seperti kayu karet dan kayu akasia. Pemanfaatan bahan baku biomassa berupa limbah kayu karet dan kayu akasia sebagai bahan baku pada proses pirolisis yang dilakukan untuk menghasilkan asap cair diharapkan dapat mengurangi limbah sektor perkebunan dan kehutanan di Indonesia yang cukup banyak dihasilkan dari produksi tanaman-tanaman tersebut (Sari et al., 2019; Sarwendah et al., 2020). Berdasarkan hal tersebut penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan menganalisis potensi asap cair dari variasi jenis biomassa sebagai *bio-disinfectant* secara eksperimental melalui pendekatan analisis karakteristik serta komposisi dari *bio-disinfectant* yang dihasilkan, Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif untuk menggantikan penggunaan disinfektan kimia yang memiliki dampak buruk terhadap kesehatan ketika digunakan dalam jangka waktu yang panjang.

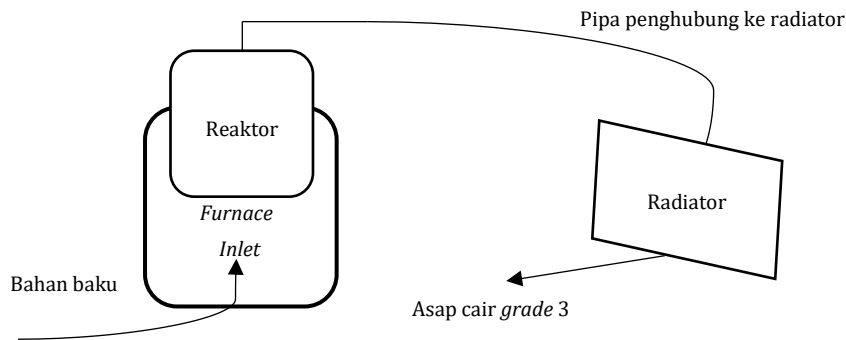
2. METODE

Jenis penelitian dilakukan secara eksperimental. Tahapan penelitian ini terdiri dari tiga proses utama, di mana bagian pertama penelitian meliputi persiapan bahan baku, pirolisis lambat, dan proses kondensasi sehingga dihasilkan asap cair *grade 3*. Tahapan pada bagian kedua merupakan proses pemurnian asap cair *grade 3* dengan metode distilasi yang menghasilkan distilat berupa asap cair *grade 2* dan residu berupa tar. Tahapan proses terakhir berupa pemurnian lebih lanjut dengan metode adsorpsi menggunakan zeolite yang teraktivasi sehingga dihasilkan asap cair *grade 1*. Ketiga proses tersebut dilakukan untuk mendapatkan asap cair dengan tingkat kemurnian tinggi. Pendekatan yang digunakan yaitu dengan menganalisis karakteristik dan komposisi sampel asap cair *grade 1*, *grade 2*, dan *grade 3* dari setiap variasi bahan baku dan dibandingkan dengan standar asap cair Jepang untuk mengetahui potensinya sebagai *bio-disinfectant*. Tahapan penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok Diagram Tahapan Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah berupa kayu akasia, dan kayu karet. Bahan baku dibersihkan dari kotoran yang masih menempel sebelum kemudian dipotong kecil-kecil. Kayu akasia dan kayu karet dikeringkan di udara terbuka di bawah sinar matahari. Bahan baku ditimbang masing-masing sebanyak 10 kg untuk dilanjutkan ke proses pirolisis. Proses pirolisis dilakukan selama 3-4 jam. *Raw liquid smoke* kemudian dimurnikan dengan metode distilasi pada suhu 100°C, lalu diikuti dengan pemurnian menggunakan metode adsorpsi yang memanfaatkan zeolit sebagai adsorben (Afrah et al., 2020). Rangkaian alat pirolisis disajikan pada [Gambar 2](#).



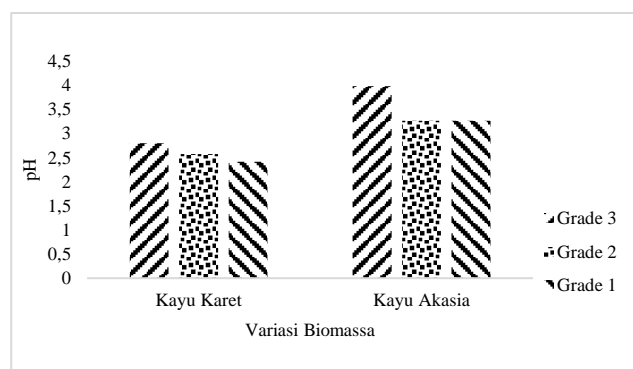
Gambar 2. Rangkaian Alat Pirolisis

Pengumpulan data dilakukan pada setiap alur tahapan penelitian, dimulai dari proses pirolisis hingga kondensasi, di mana pada setiap sampel asap cair dengan variasi bahan baku kayu karet dan kayu akasia yang didapatkan pada tahapan tersebut berupa asap cair *grade 3* hasil pirolisis, asap cair *grade 2* hasil kondensasi, dan asap cair *grade 1* hasil adsorpsi dilakukan analisis karakteristik yang meliputi analisis nilai pH, densitas, viskositas, asam, dan fenol. Analisis fenol menggunakan spektrofotometri UV-VIS dengan panjang gelombang 750-760nm. Analisis komposisi menggunakan *Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) juga dilakukan pada sampel asap cair *grade 1* untuk menunjukkan potensinya sebagai *bio-disinfectant*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

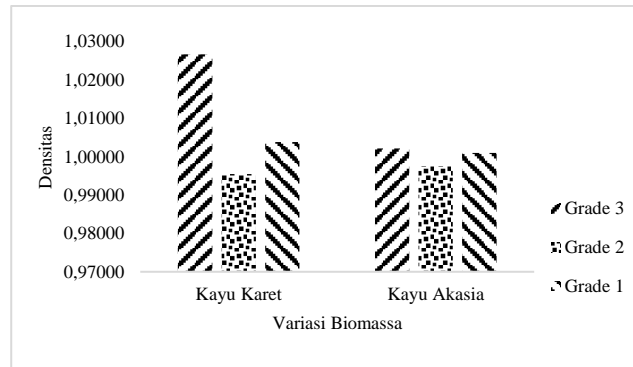
Hasil uji nilai pH menunjukkan bahwa nilai pH asap cair kayu karet secara rata-rata lebih rendah dibandingkan kayu akasia baik itu untuk *grade 3*, *grade 2*, dan juga *grade 1*. Asap cair kayu karet *grade 3* memiliki pH sebesar 2,8, diikuti dengan *grade 2* sebesar 2,57, dan *grade 1* sebesar 2,41. Asap cair kayu akasia terjadi penurunan pH dari 3,98 untuk *grade 3* menjadi 3,26 untuk *grade 2* dan tidak terjadi perubahan untuk nilai pH *grade 1*. Data uji nilai pH asap cair kayu akasia dan kayu karet disajikan pada [Gambar 3](#)



Gambar 3. Hasil Analisis pH Asap Cair

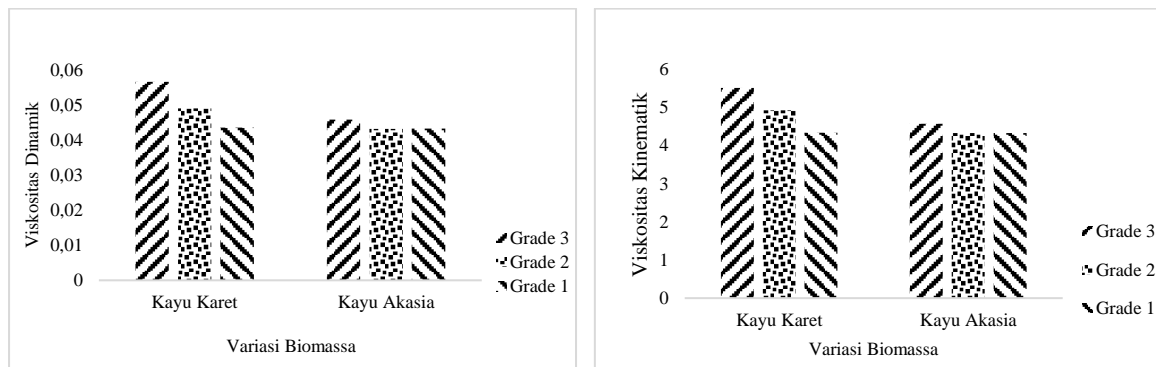
Densitas asap cair kayu karet *grade 3* ke *grade 2* menurun dari 1,00216 gr/mL menjadi 0,99756 gr/mL dan kembali meningkat dari *grade 2* ke *grade 1* menjadi 1,00094 gr/mL. Data uji menunjukkan bahwa asap cair kayu karet *grade 3* memiliki densitas tertinggi, sedangkan asap cair kayu karet *grade 2* memiliki densitas terendah. Densitas asap cair kayu karet dari *grade 3* ke *grade 2* menurun dari 1,02669

gr/mL menjadi 0,99544 gr/mL sedangkan dari *grade 2* ke *grade 1* kembali meningkat menjadi 1,00384 gr/mL. Hasil uji densitas asap cair kayu akasia dan kayu karet disajikan pada [Gambar 4](#).



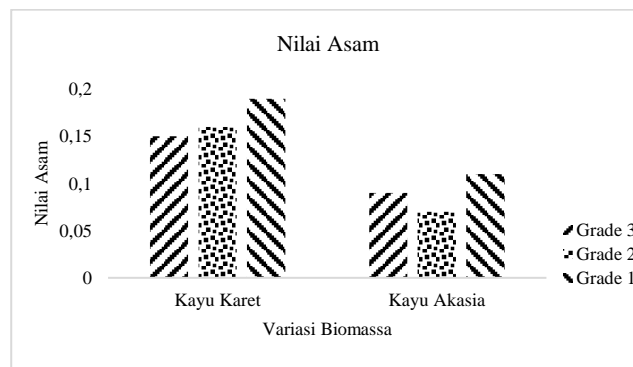
Gambar 4. Hasil Analisis Densitas Asap Cair dengan Variasi Biomassa dan *Grade*

Data penelitian untuk perhitungan viskositas kinematik menunjukkan bahwa asap cair *grade 3* pada seluruh variasi bahan baku memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan *grade 2* dan *grade 1*, di mana viskositas asap cair kayu karet *grade 3* sebesar 5,50898 cSt, sedangkan untuk asap cair kayu akasia *grade 3* sebesar 4,57195 cSt. Adapun viskositas asap cair kayu karet dan kayu akasia *grade 2* masing-masing bernilai 4,92413 cSt dan 4,33113 cSt serta untuk *grade 1* masing-masing sebesar 4,33294 cSt dan 4,3248 cSt. Hasil uji viskositas asap cair kayu akasia dan kayu karet disajikan pada [Gambar 5](#).



Gambar 5. Nilai Viskositas Dinamik dan Kinematik dengan Variasi Biomassa dan *Grade*

Data penelitian menunjukkan bahwa nilai asam untuk asap cair kayu karet *grade 3*, *grade 2*, dan *grade 1* secara berturut adalah 0,15, 0,16, dan 0,1, sedangkan nilai asam untuk asap cair kayu akasia cukup fluktuatif, yaitu 0,09, 0,07 dan 0,11. Hasil uji nilai asam asap cair kayu akasia dan kayu karet disajikan pada [Gambar 6](#)



Gambar 6. Nilai Asam dengan Variasi Biomassa dan *Grade*

Pengujian Fenol yang dilakukan terhadap kualitas asap cair hasil pirolisis (*grade 3*) dan hasil distilasi (*grade 2*) dan hasil adsorpsi (*grade 1*) bagi seluruh variasi biomassa menggunakan metode Spektrofotometri UV-VIS dengan data hasil uji yang disajikan pada [Tabel 1](#).

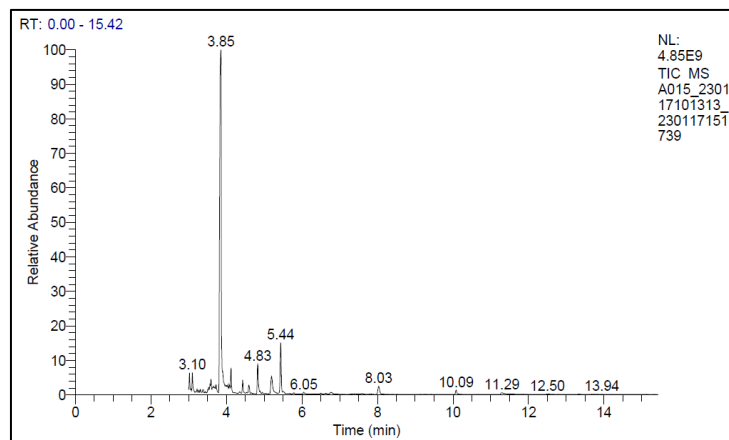
Tabel 1. Hasil Spektrofotometri Kandungan Fenol Berdasarkan Variasi Bahan Baku dan Kualitas Asap Cair (*Grade*)

Bahan Baku	Kualitas Asap Cair	Fenol (ppm)
Kayu Karet	<i>Grade 3</i>	542,46
	<i>Grade 2</i>	913,21
	<i>Grade 1</i>	1915,63
Kayu Akasia	<i>Grade 3</i>	220,00
	<i>Grade 2</i>	480,00
	<i>Grade 1</i>	2527,60

Hasil analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk melihat potensi asap cair *grade 1* sebagai produk akhir yang akan dijadikan sebagai *bio-disinfectant* disajikan pada [Tabel 2](#), dilengkapi dengan grafik pada [Gambar 7](#). Komposisi yang terbaca diambil berdasarkan nilai waktu dengan *nilai relative abundance* tertinggi, yaitu pada menit ke-3,85. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asap cair kayu akasia *grade 1* mengandung beberapa senyawa meliputi senyawa fenol, asam fosfat, dan asam karbamat.

Tabel 2. Kandungan Asap Cair Kayu Akasia *Grade 1* Berdasarkan Hasil Uji GC-MS

Rate Time (menit)	Nama Kandungan	Area (%)
3,85	<i>Phenol</i>	542,46
3,85	<i>Phosponic Acid, (p-hydroxyphenyl)-</i>	913,21
3,85	<i>Carbamic acid, phenyl ester</i>	1915,63



Gambar 7. Grafik Hasil Uji GC-MS Asap Cair Kayu Akasia *Grade 1*

Pembahasan

Nilai pH asap cair merupakan salah satu parameter yang turut andil dalam mendefinisikan kualitas dari produk tersebut. Berdasarkan hasil uji pH yang disajikan pada [Gambar 3](#), dapat dikatakan bahwa asap cair kayu karet menempati posisi pertama asap cair dengan pH terendah, diiringi dengan asap cair kayu akasia. Nilai pH asap cair memiliki kecenderungan untuk terus menurun dari *grade 3* ke *grade 2*, dimana hal tersebut dipicu oleh adanya proses pemurnian yang dilakukan, yaitu dengan distilasi yang menghilangkan zat pengotor. Hal ini disebabkan karena adanya perolehan zat ekstraktif yang cukup tinggi selama proses distilasi berlangsung, seperti alkohol, resin, lilin, dan asam lemak, di mana apabila zat tersebut berada dalam jumlah yang banyak maka dapat meningkatkan keasaman dari asap cair ([Jannah et al., 2020](#); [Yatagai, 2002](#)). Nilai pH mengalami penurunan dari *grade 2* ke *grade 1* setelah dimurnikan kembali menggunakan zeolit teraktivasi. Proses adsorpsi ini memengaruhi peningkatan nilai fenol sehingga mengakibatkan asap cair *grade 1* yang didapatkan menjadi lebih asam. Standar pH asap cair berdasarkan baku mutu asap cair Jepang berkisar antara 1,50-3,70 ([Suryani et al., 2020](#); [Yatagai, 2002](#)). Semua sampel asap cair telah memenuhi standar tersebut kecuali asap cair kayu akasia *grade 3*

dengan pH sebesar 3,98. Namun, hal tersebut masih digolongkan wajar karena asap cair kualitas *grade 3* sendiri merupakan *raw liquid smoke* dari proses pirolisis tanpa adanya proses pemurnian lebih lanjut. Potensi asap cair sebagai *bio-disinfectant* juga dipengaruhi oleh densitas (massa jenis) yang memiliki definisi berupa pengukuran massa pada setiap satuan volume benda. Semakin besar massa setiap volume, itu berarti jenis suatu bendanya semakin tinggi. Rata-rata massa jenis setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya (Diatmika et al., 2019; Erlytasari et al., 2019). Densitas yang memenuhi standar mutu dari asap cair spesifikasi Jepang dengan berat jenis >1,001 gr/mL (Yatagai, 2002). Gambar 4. menunjukkan nilai densitas dari kedua variasi bahan baku dan kualitas asap cair menunjukkan bahwasanya pada asap cair *grade 3* hasil pirolisis yang tidak memenuhi standar densitas dengan memiliki densitas >1,005 gr/mL adalah asap cair dari kayu akasia yaitu sebesar 1,00216 gr/mL. Besarnya nilai densitas menunjukkan kandungan asap cair banyak senyawa seperti asam, fenol, karbonil, serta produk samping yang berupa senyawa tar. Senyawa tar merupakan fraksi tak larut tersusun atas turunan lignin yang terbentuk pada suhu tinggi dan produk samping asap cair yang tidak diinginkan (Fauziati et al., 2018; Izza et al., 2022).

Densitas semua asap cair kembali meningkat setelah melalui tahapan adsorpsi dengan menggunakan adsorben berupa Zeolite. Asap cair dari bahan baku kayu karet memiliki densitas >1,001 gr/mL sedangkan kayu akasia tidak memenuhi standar. Asap cair hasil purifikasi dengan metode distilasi (*grade 2*) memiliki warna yang jernih dibanding dengan asap cair *grade 3* karena asap cair *grade 3* memiliki pengotor. Zat pengotor pada asap cair *grade 3* berisikan kandungan-kandungan yang berpotensi untuk membuat densitasnya tinggi seperti senyawa tar yang mempunyai berat molekul tinggi, warna hitam pekat, sifat beracun (Diatmika et al., 2019; Izza et al., 2022). Pengotor lain yang terdapat pada asap cair *grade 3* diantaranya apa kandungannya ada partikel debu dari sisa pembakaran dan senyawa karbonil yang juga berwarna hitam sehingga densitas asap cair *grade 3* lebih tinggi dibandingkan dengan asap cair *grade 2* dan asap cair *grade 1*. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa kecenderungan densitas asap cair *grade 3* setiap variasi bahan baku sejalan dengan teori yang ada, dimana asap cair *grade 3* memiliki densitas yang paling besar (Afrah et al., 2020; Agustina, 2020). Komponen yang terdekomposisi berbeda di setiap suhunya. Tahapan proses dekomposisi termal biomassa terjadi dalam tiga tahapan dengan suhu optimum tersendiri tiap tahapnya. Tahap pertama adalah tahap dekomposisi hemiselulosa pada suhu 227°C lalu diikuti tahap selanjutnya, yaitu dekomposisi selulosa pada suhu 320,2°C. Tahap terakhir terjadi dalam kondisi suhu 349,7°C saat terjadi proses dekomposisi lignin. Perbedaan umur kayu mempengaruhi komposisi kimiawi kayu. Kelarutan dan kadar selulosa, lignin, alkohol-benzena dan air menunjukkan kecenderungan yang menurun seiring bertambahnya usia kayu, sedangkan kandungan pentosan cenderung meningkat. Komponen kimia kayu berbeda untuk kayu yang berbeda dan faktor yang mempengaruhi perbedaan tersebut. Faktor internal yaitu letak pohon dalam batang dan faktor luar seperti iklim, tempat tumbuh, umur, letak pohon (Karelius et al., 2020; Lukmandaru et al., 2018). Parameter lainnya berupa uji viskositas yang menunjukkan tingkat kekentalan dari fluida tersebut. Viskositas tinggi menunjukkan asap cair memiliki tingkat kekentalan lebih tinggi akibat banyaknya kandungan air dan pengotor (tar) dalam asap cair (Diatmika et al., 2019; Erlytasari et al., 2019). Viskositas asap cair *grade 3* dipengaruhi oleh kondisi operasi pada saat pirolisis berlangsung serta dari kondisi bahan baku yang digunakan. Proses pirolisis yang terjadi untuk sampel kayu karet berjalan dengan baik, di mana seluruh bahan baku kayu karet yang digunakan terbakar sepenuhnya yang sehingga kandungan pengotor dalam asap cair dalam asap cair juga ikut meningkat. Hal ini menyebabkan viskositas yang dimiliki oleh asap cair kayu karet *grade 3* memiliki viskositas tertinggi dibandingkan sampel lainnya. Tingginya viskositas asap cair kayu karet *grade 3* dapat disebabkan karena kadar airnya yang lebih tinggi dibandingkan sampel lain, di mana hal ini dipengaruhi oleh proses pengeringan pada tahapan *pretreatment* bahan baku. Kayu karet sendiri semulanya memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan kayu akasia sehingga viskositas asap cair kayu karet juga lebih tinggi dibandingkan viskositas asap cair kayu akasia (Afrah, Riady, P., et al., 2023; Jannah et al., 2020).

Hasil uji viskositas pada Gambar 5. memperlihatkan viskositas asap cair *grade 2* untuk semua bahan baku mengalami penurunan dari nilai viskositas *grade 3* sebelumnya. Proses pemurnian dengan metode distilasi sehingga kandungan tar dalam asap cair berkurang drastis, ditandai dengan adanya perubahan warna asap cair yang semula berwarna hitam kemerahan menjadi kuning. Penurunan nilai viskositas asap cair *grade 2* terjadi akibat ikatan antar molekul senyawa yang terkandung dalam asap cair melemah atau berjauhan karena temperatur distilasi yang cukup tinggi sehingga kekentalan asap cair menurun. Kadar air yang sebelumnya cukup banyak berkurang karena penguapan akibat suhu distilasi yang tinggi. Tingginya kadar air dalam asap cair dapat menurunkan kualitas dari asap cair karena mengurangi kadar senyawa fenolik dan asam meski dengan kadar air yang tinggi maka kuantitas asap cair yang dihasilkan meningkat (Diatmika et al., 2019; Erlytasari et al., 2019). Viskositas menurun menyebabkan sampel asap cair *grade 2* menjadi lebih pekat dibandingkan asap cair *grade 3* karena tidak

banyak zat lain yang dapat menurunkan kadar senyawa fenolik dan asam. Sampel asap cair menjadi lebih pekat setelah proses adsorpsi yang menghilangkan kandungan air serta kandungan senyawa lain yang tidak diperlukan selain senyawa fenolik dan asam yang mendukung antimikroba. Kepekatan asap cair hasil adsorpsi menandakan bahwa persentase senyawa antimikroba yang terkandung dalam asap cair meningkat sehingga asap cair tersebut memiliki kualitas yang baik (Tjakra et al., 2022; Wahab, 2020).

Nilai asam asap cair diuji menggunakan metode titrasi secara umum untuk menghitung kadar asam asetat pada sampel. Gambar 6. memperlihatkan variasi bahan baku kayu karet memperlihatkan adanya pola peningkatan, di mana semakin meningkat seiring dengan tingginya kualitas asap cair (*grade*). Variasi bahan baku dengan hasil nilai asam terendah dimiliki oleh kayu akasia jika dibandingkan dengan nilai asam kayu karet. Nilai asam yang diperhitungkan pada uji analisis asap cair semua variasi biomassa dan variasi *grade 3, grade 2, grade 1* merupakan senyawa asam asetat. Senyawa utama yang berperan sebagai antimikroba ialah antara lain senyawa fenol dan asam asetat, peranannya akan bekerja dengan baik apabila kedua senyawa ada secara bersamaan (Diatmika et al., 2019; Ricke et al., 2020). Nilai total asam tertitrasi dan kadar fenol saling berkaitan satu dengan yang lainnya karena adanya pengaruh dari pH asap cair. Kandungan selulosa dan hemiselulosa yang terdekomposisi selama pemanasan tanpa oksigen dalam reaktor pirolisis memberikan adanya sebuah perbedaan nilai asam pada setiap asap cair dari variasi jenis biomassa. Semakin tinggi nilai total asam dari asap cair yang dihasilkan maka akan semakin rendah juga nilai pH yang terdapat pada asap cair. Begitu pun sebaliknya, semakin rendah total nilai asam dari asap cair yang dihasilkan maka akan semakin tinggi nilai pH (Afrah, Riady, Cundari, et al., 2023; Diatmika et al., 2019). Sesuai dengan kandungan asap cair yang memiliki kandungan fenol dengan contoh bahan baku berupa batok kelapa disamping itu masih banyak bahan baku lain yang belum dimanfaatkan seperti karet dan kayu akasia.

Pengujian kandungan fenol pada asap cair setiap variasi bahan baku biomassa dan kualitas asap cair (*grade*) menggunakan metode spektrofotometri UV-VIS yang bertujuan untuk mendeteksi senyawa dengan memanfaatkan panjang gelombang UV-VIS dan *Visible* yang berguna sebagai daerah serapan yang akan terkonversi dalam nilai satuan ppm (Eftekharivah et al., 2019; Handoyo Sahumena et al., 2020). Spektrofotometri UV-VIS dengan reagen *Folin-Ciocalteu 50%* pada penelitian ini digunakan untuk menentukan kandungan total fenolik untuk setiap sampel variasi biomassa dan kualitas asap cair (*grade*). Serapan warna biru yang dihasilkan pada suasana basa dari reaksi oksidasi senyawa fenol memiliki panjang gelombang 750-760 nm (Flamm et al., 2019; Tjakra et al., 2022). Berdasarkan hasil yang diperlihatkan pada Tabel 1. terjadi peningkatan kandungan fenol dari *grade 3* ke *grade 1* bagi semua variasi biomassa secara keseluruhan. Tabel tersebut menunjukkan hasil dari uji spektrofotometri memperlihatkan bahwasanya setiap variasi bahan baku biomassa dan kualitas asap cair mengalami peningkatan seiring meningkatnya kualitas asap cair (*grade*). Satuan yang digunakan dalam pengukuran senyawa fenol adalah *part per million* (ppm). Berdasarkan pengolahan data yang ditunjukkan oleh Gambar terlihat bahwasanya nilai fenol terendah dimiliki oleh asap cair *grade 3* hasil pirolisis yang dikarenakan masih memiliki zat pengotor. Kandungan fenol meningkat pada seluruh sampel asap cair *grade 2* yang menandakan bahwasanya proses purifikasi yang dilakukan dengan metode distilasi berhasil sehingga kadar fenol meningkat (Izza et al., 2022; Pelczar, 1988).

Peningkatan kandungan senyawa fenol pada asap cair *grade 1* hasil proses adsorpsi terjadi karena adanya proses penyerapan zat-zat pengotor dalam sejumlah volume yang sama. Penyerapan zat-zat kotor ini memperbesar *yield* senyawa fenol dalam asap cair dengan sejumlah volume asap cair tetap. Penyerapan zat pengotor dan penambahan *yield* kandungan fenol ini menghasilkan *yield* asam asetat yang terkandung meningkat dan densitas dari asap cair juga meningkat. Penghilangan zat-zat pengotor yang dilakukan pada proses distilasi dan adsorpsi bertujuan untuk menghilangkan sifat toksisitas pada *bio-disinfectant*. Pernyataan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana disinfektan hendaknya mempunyai sifat yang stabil, tidak menyebabkan karat dan warna, tidak bersifat *toxic* pada manusia, mampu menghilangkan bau, dan ketersediaan yang melimpah dengan harga yang ekonomis (Oramahi, 2020; Shufyani et al., 2018). Adanya perbedaan jenis dan jumlah dari turunan senyawa fenol disebabkan oleh adanya perbedaan dari kandungan lignin, hemiselulosa, dan selulosa yang terkandung di dalam variasi biomassa bahan baku asap cair (Mujyanto et al., 2021; Musafira et al., 2020). Adapun jenis-jenis senyawa turunan fenol yang umumnya terdapat dalam produk asap cair adalah siringol dan guaiakol. Pada umumnya senyawa fenol yang terdapat di dalam asap cair ialah hidrokarbon aromatik yang disusun dari cincin benzene dengan sejumlah gugus hidroksil yang terikat. Apabila semakin tinggi kandungan fenol pada bahan yang diasap memiliki bau pungent (tajam) dan seperti bau terbakar (Diatmika et al., 2019; Maga, n.d.). Asap cair *grade 1* yang terbaik diketahui adalah asap cair kayu akasia dari berdasarkan metode spektrofotometri UV-VIS sehingga dilakukan analisis *Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) dilakukan untuk melihat potensinya sebagai produk akhir yang akan dijadikan sebagai *bio-disinfectant*.

Berdasarkan hasil analisis dari *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) yang disajikan pada Tabel 2 diketahui pada asap cair *grade 1* kayu akasia memiliki senyawa asam berupa *phosponic acid*, dan *formic acid*. Proses desinfeksi yang ditujukan pada patogen tertentu harus dilakukan pemilihan agen sebagai disinfektan yang dikenal sebagai bakterisida efektif terhadap organisme patogen tersebut (Pelczar, 1988; Shufyani et al., 2018). Senyawa *phosponic acid* atau biasa disebut sebagai fisfomycin pada *bio-disinfectant* berperan sebagai agen antimikroba yang dapat membunuh mikroba seperti *Escherichia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa*. Senyawa *Phosponic acid* akan menghambat mekanisme dengan cara menyerang dinding sel bakteri terlebih dahulu. Senyawa *formic acid* memiliki peran sebagai antimikroba bagi patogen *Campylobacter*, *Clostridium perfringens*, dan *Escherichia coli* (Flamm et al., 2019; Ricke et al., 2020). Grafik hasil pengujian asap cair *grade 1* dapat dilihat pada Gambar 7. Senyawa asam lain pada asap cair *grade 1* pada kayu akasia adalah *carbamic acid*. Senyawa *carbamic acid* diketahui memiliki aktivitas antibakteri melawan *Mycobacterium tuberculosis* dan *Helicobacter pylori* yang menyebabkan berbagai penyakit padakulit, mata, hidung, tenggorokan, dan lain sebagainya (Agustina, 2020; Eftekharivah et al., 2019). Kadar senyawa *carbamic acid* tertinggi dimiliki oleh asap cair *grade 1* kayu akasia. Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian relevan sebelumnya. Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa asap cair efektif digunakan sebagai disinfektan pada peralatan klinik gigi, koagulan lateks, dan pestisida organik (Sari et al., 2019; Sarwendah et al., 2020). Selain itu terdapat penelitian yang mengemukakan bahwa hasil pirolisis limbah cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai campuran diesel (Agustina, 2020; Nugroho, 2019). Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan penggunaan asap cair terbukti bisa menghambat *Escherichia coli*, jamur *Ganoderma boninense*, *Staphylococcus aureus* (Agustina, 2020; Wahab, 2020). Selain itu, asap cair telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri gram negatif seperti *Salmonella* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Afrah, Riady, P., et al., 2023; Oramahi, 2020). Penelitian ini memiliki kelebihannya karena penggunaan asap cair sebagai bio-disinfektan dapat menjadi solusi inovatif dan ramah lingkungan, memanfaatkan limbah kayu yang melimpah dan sering kali terbuang, sehingga mendukung prinsip keberlanjutan dan pengurangan limbah (Erlytasari et al., 2019; Shufyani et al., 2018). Implikasinya, asap cair dapat menjadi alternatif disinfektan kimiawi yang lebih aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan, sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintetis. Namun, tentunya penelitian ini masih memiliki kekurangan, meliputi perlunya studi lebih lanjut untuk memastikan efektivitas dan keamanan asap cair dalam berbagai kondisi dan aplikasinya, serta potensi masalah teknis dalam produksi dan penyimpanan asap cair. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan uji coba yang lebih luas dan mendalam untuk mengukur efektivitas bio-disinfektan ini terhadap berbagai patogen. Hendaknya penelitian ini dijadikan acuan atau bahan rujukan untuk penelitian sejenis.

4. SIMPULAN

Hasil dari penelitian ini yang berbasis eksperimental dengan pendekatan mengetahui karakteristik dari variasi bahan baku sebagai bahan baku asap cair untuk dijadikan produk *bio-disinfectant*. Berdasarkan data hasil tersebut didapatkan karakteristik asap cair terbaik baik dari kayu karet dan kayu akasia untuk semua *grade* adalah asap cair dari kayu akasia *grade 1*, dimana semua nilai untuk uji viskositas, densitas, pH, nilai asam, dan fenol memenuhi standar asap cair jepang. Hasil temuan pada penelitian menunjukkan bahwasanya limbah biomassa seperti kayu karet dan kayu akasia memiliki potensi untuk dapat dikomersialkan seperti asap cair bahan baku berupa batok kelapa pada penelitian terdahulu menggantikan disinfektan kimia yang memiliki efek samping terhadap kesehatan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sriwijaya, Laboratorium Rekayasa Proses, Produk Industri Kimia Fakultas Teknik serta Laboratorium Kimia Analisa dan Instrumentasi Pengujian Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya untuk fasilitas penelitian dan analisa yang disediakan sehingga penelitian dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian/publikasi artikel ini dibiayai oleh Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2023. SP DIPA-023.17.2.677515/2023, tanggal 30 November 2022, Sesuai dengan SK Rektor 0189/UN9.3.1/SK/2023 tanggal 18 April 2023.

6. DAFTAR PUSTAKA

Afrah, B. D., Riady, M. I., Cundari, L., & Aryansyah, A. D. (2020). Rancang Bangun Alat Produksi Asap Cair dengan Metode Pirolisis Menggunakan Software Fusion 360. *Jurnal Teknik Kimia*, 29(2), 113–117.

- <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i3.103>.
- Afrah, B. D., Riady, M. I., Cundari, L., Rizan, M. A., Utami, J., Pratiwi, S. I., & Pratama, M. Y. (2023). Optimization of Liquid Smoke Products Made from Rubberwood with Pyrolysis Method. *Science and Technology Indonesia*, 8(3), 353–360. <https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.3.353-360>.
- Afrah, B. D., Riady, M. I., P., A. J., Rimadhina, R., & Oktarinasari, E. (2023). Perancangan Pirolisis Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Tempurung Kelapa (*Cocus nucifera*) Menggunakan Rancangan Alat Berbasis Electric Furnace. *Jurnal Teknik Kimia*, 29(2), 72–79. <https://doi.org/10.36706/jtk.v29i1.1496>.
- Agustina, N. A. (2020). Efektivitas Daya Hambat Asap Cair Tempurung Kelapa (*Cocus nucifera*) terhadap Pertumbuhan Jamur *Ganoderma boninense*. *Agro Prima Technology*, 3(2), 79–84. <https://doi.org/10.34012/agroprimatech.v3i2.914>.
- Diatmika, I. G. N. A. Y. A., Kencana, P. K. D., & Arda, G. (2019). Karakteristik Asap Cair Batang Bambu Tabah (*Gigantochloa nigrociliata* BUSE-KURZ) yang Dipirolisis pada Suhu yang Berbeda. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 7(2), 271. <https://doi.org/10.24843/JBETA.2019.v07.i02.p07>.
- Eftekharivah, L., Hamedi, J., Zarrini, G., & Bakhtiari, R. (2019). Acidophilic and Acid Tolerant Actinobacteria as New Sources of Antimicrobial Agents against *Helicobacter Pylori*. *Archives of Razi Institute (ARI) Journal*, 76(2), 261–272. <https://doi.org/10.22092/ari.2019.128039.1401>.
- Erlytasari, D. N., Wibisono, G., & Hapsari, R. (2019). Efektivitas Asap Cair Berbagai Konsentrasi Sebagai Disinfektan Alat Klinik Gigi. *Jurnal Kedokteran Diponegoro*, 8(4), 1114–1123. <https://doi.org/10.14710/dmj.v8i4.25323>.
- Fauziati, F., Priatni, A., & Adiningsih, Y. (2018). Pengaruh Berbagai Suhu Pirolisis Asap Cair dari Cangkang Sawit sebagai Bahan Pengumpul Lateks. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 12(2), 139–149. <https://doi.org/10.26578/jrti.v12i2.4248>.
- Flamm, R. K., Rhomberg, P. R., Lindley, J. M., Sweeney, K., Ellis-Grosse, E. J., & Shortridge, D. (2019). Evaluation of the Bactericidal Activity of Fosfomycin in Combination with Selected Antimicrobial Comparison Agents Tested against Gram-Negative Bacterial Strains by Using Time-Kill Curves. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 63(5), 02549–18. <https://doi.org/10.1128/AAC.02549-18>.
- Girard, J. P. (n.d.). *Technology of Meat and Meat Product Smoking*. Ellis Harwood.
- Handoyo Sahumena, M., Ruslin, R., Asriyanti, A., & Nurrohwinata Djuwarno, E. (2020). Identifikasi Jamu Yang Beredar di Kota Kendari Menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, 2(2), 65–72. <https://doi.org/10.37311/jsscr.v2i2.6977>.
- Izza, N., Putra, A., & Amalia, Z. (2022). Pembuatan Asap Cair (Liquid Smoke) dari Limbah Serbuk Kayu Jati dan Kayu Pinus secara Pirolisis sebagai Pengawet Alami. *Jurnal Teknologi*, 22(2), 104–112. <https://doi.org/10.30811/teknologi.v22i2.3130>.
- 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>.
- Karelius, R., L., T., N., A., & Dirgantara, M. (2020). Pemurnian Asap Cair Hasil Torefaksi Cangkang Sawit dengan Cara Destilasi dan Filtrasi dengan Arang Aktif. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 2(2), 62–65. <https://doi.org/10.36873/jjms.2020.v2.i2.407>.
- Lukmandaru, G., Susanti, D., & Widyorini, R. (2018). Sifat Kimia Kayu Mahoni Yang Dimodifikasi dengan Perlakuan Panas. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 7(1), 37–46. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2018.vol7iss1pp37-46>.
- Maga, J. A. (n.d.). *Smoke in Food Processing*. CRC Press, Inc.
- Mujyanto, N., Wildan, M. A., Elian, N. A., & Kurrniasih, R. A. (2021). Aplikasi Asap Cair Untuk Mengurangi Kadar Logam Berat dan Total Bakteri Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*). *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(3), 557–566. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.003.05.8>.
- Musafira, M., Fardinah, F., Qadrini, L., Fatimah, M. F., Ardiputra, S., & Asrirawan, A. (2020). Edukasi Pembuatan dan Penyemprotan Disinfektan pada Masyarakat di Desa Suruang Kecamatan Campalagian Kabupaten Polewali Mandar. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 416–421. <https://doi.org/10.31004/cdj.v1i3.1110>.
- Nugroho, A. S. (2019). Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa Sawit Sebagai Campuran Bahan Bakar Diesel. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi SNST*, 24. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36499/psnst.v1i1.2806>
- Oramahi, H. A. (2020). *Produk Asap Cair dan Potensi Sebagai Bahan Antijamur*.
- Pelczar, M. (1988). *Dasar-dasar Mikrobiologi 1* McGraw-Hill Book Company. Penerbit Universitas Indonesia.
- Ricke, S. C., Dittoe, D. K., & Richardson, K. E. (2020). Formic Acid as an Antimicrobial for Poultry

- Production: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 7(563), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00563>.
- Sari, T. I., Afrah, B. D., Ali, F., Hadiyah, F., Novia, I., A., D. L., & Yusuf, R. (2019). Pelatihan dan Pendampingan Pengolahan Kayu Karet Menjadi Asap Cair Pengganti Pestisida di Desa Burai Kecamatan Tanjung Batu Kabupaten Ogan Ilir. *Jurnal Pengabdian*, 1(1), 33–38. <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/community/article/view/663>
- Sarwendah, M., Feriadi, W., T., & Arisanti, T. N. (2020). Pemanfaatan Limbah Komoditas Perkebunan Untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Littri*, 21(2), 106–117. <https://doi.org/http://124.81.126.59/handle/123456789/8135>.
- Shufyani, F., Pratiwi, A., & Siringoringo, W. P. (2018). Koefisien Fenol Produk Disinfektan yang Beredar di Salah Satu Supermarket Kota Lubuk Pakam. *Jurnal Penelitian Farmasi & Herbal*, 1(1), 11–16. <https://doi.org/10.36656/jpvh.v1i1.58>.
- Statistik, B. P. (2020). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2020*. Badan Pusat Statistik.
- Suryani, R., Rizal, W. A., Pratiwi, D., & Prasetyo, D. J. (2020). Karakteristik Asap Cair Batang Bambu Tabah (*Gigantochloa nigrociliata* BUSE-KURZ) Hasil Destilasi pada Suhu yang Berbeda. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(2), 106–117. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2020.021.02.4>.
- Tjakra, G. M., Suryanto, E., & Aritonang, H. F. (2022). Analisis GC-MS dan Aktivitas Antioksidan Asap Cair Limbah Cangkang Biji Pala. *Jurnal Chem Prog*, 15(2), 93–99. <https://doi.org/10.35799/cp.15.2.2022.44528>.
- Wahab, M. N. (2020). Uji Daya Hambat Asap Cair (Liquid Smoke) Hasil Pirolisis Residu Kopi Arabika Terhadap Bakteri *Staphylococcus Aureus* pada Abses Odontogenik. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/24858>.
- Wijayanti, W. (2019). Identifikasi Komposisi Kimia Tar Kayu Mahoni untuk biofuel pada berbagai temperatur pirolisis. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 183–190. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.5>.
- Xin, X., Dell, K., Udugama, I. A., Young, B. R., & Baroutian, S. (2021). Transforming Biomass Pyrolysis Technologies to Produce Liquid Smoke Food Flavouring. *Journal of Cleaner Production*, 294, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125368>.
- Yatagai. (2002). *Utilization of charcoal and wood vinegar in Japan*. Graduate School of Agricultural and Life Sciences. The University of Tokyo.
- Yulia, R., Lamona, A., Makmur, T., & Yuslinaini, Y. (2020). Karakteristik Asap Cair Dari Limbah Kulit Buah Pinang (*Areca Catechu*) Dengan Berbagai Variasi Suhu Pirolisis Dan Waktu Pirolisis. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 7(1), 32–46. <https://doi.org/10.34128/jtai.v7i1.113>.