

PENGARUH JENIS BIOMASSA TERHADAP KARAKTERISTIK ASAP CAIR MELALUI METODE PIROLISIS

Ari Setya Cahya Pratama dan Khalimatus Sa'diyah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
arisetyacahya@gmail.com, [khalimatus22@gmail.com]

ABSTRAK

Salah satu komoditas unggulan perkebunan di Indonesia adalah kelapa sawit dan kelapa. Namun peningkatan proses produksi dan pengolahan komoditas perkebunan menimbulkan masalah pencemaran baru terutama limbah padat biomassa. Limbah biomassa perkebunan tersebut berupa cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan sabut kelapa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis biomassa terhadap karakteristik asap cair yang dihasilkan dengan memanfaatkan limbah perkebunan sebagai bahan baku pembuatan asap cair. Bahan baku biomassa terdiri dari cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan sabut kelapa. Biomassa tersebut dipanaskan selama 90 menit dalam reaktor pirolisis yang terhubung dengan kondensor melalui pipa tembaga. Uap yang terbentuk pada reaktor mengalir melalui pipa tembaga akan dikondensasikan menjadi produk asap cair. Hasil penelitian menunjukkan asap cair dari biomassa tandan kosong kelapa sawit memiliki karakteristik terbaik dengan densitas sebesar 0,915 g/mL dan pH 4. Rendemen tertinggi diperoleh pada asap cair dari biomassa cangkang kelapa sawit sebesar 28%^b/_b. Produk asap cair dari variasi biomassa diperoleh tanpa proses pemurnian lebih lanjut sehingga tergolong pada asap cair *grade* paling rendah (*grade* 3).

Kata kunci: Kelapa Sawit, Asap Cair, Pirolisis.

ABSTRACT

One of the leading plantation commodities in Indonesia is oil palm and coconut. However, increasing the production and processing of plantation commodities raises new pollution problems, mainly solid biomass waste. The plantation biomass waste is including oil palm shells, oil palm empty fruit bunches, and coconut husk. This study aims to determine the effect of variations in the type of biomass on the characteristics of liquid smoke produced by utilizing plantation waste as raw material for liquid smoke. Biomass raw materials consist of oil palm shells, empty fruit bunches of oil palm, and coconut husk as much as 100 g. The biomass is heated for 90 minutes in a pyrolysis reactor connected to a condenser through a copper pipe. The steam formed in the reactor flowed through copper pipes which will condense into liquid smoke products. The results of the study show liquid smoke from empty oil palm biomass had the best characteristics with a density of 0.915 g/mL and pH 4. The highest yield was obtained by liquid smoke from oil palm shell biomass of 28%^w/_w. The liquid smoke product from the variation biomass was achieved without further purification process so that it is was the lowest grade liquid smoke (grade 3).

Keywords: Oil palm, Liquid smoke, Pyrolysis.

1. PENDAHULUAN

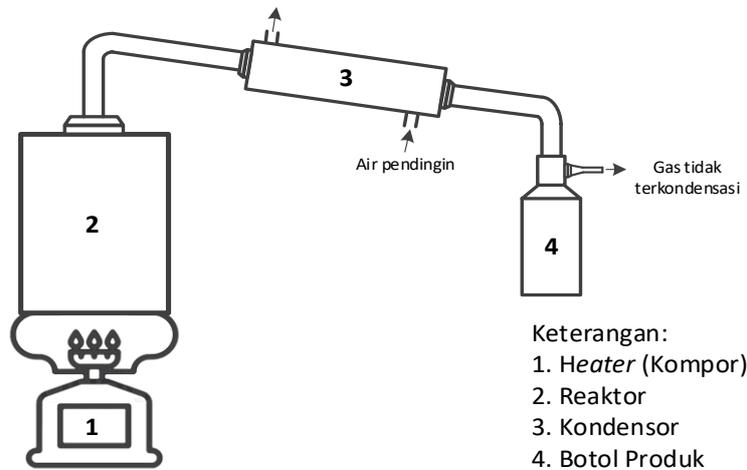
Komoditas unggulan perkebunan di Indonesia adalah kelapa sawit dan kelapa. Indonesia memiliki perkebunan kelapa sawit terbesar dengan produksi *crude palm oil* (CPO) 48,23 juta ton pada tahun 2020 [1]. Masalah pencemaran lingkungan cenderung meningkat

seiring dengan berkembangnya industri perkebunan di Indonesia. Proses pengolahan hasil perkebunan kelapa sawit menjadi produk CPO dan PKO pada industri menghasilkan limbah padatan. Limbah padatan proses pengolahan kelapa sawit berupa tandan kosong buah, cangkang kelapa sawit dan serat mesokarp kelapa sawit. Limbah perkebunan memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi. Jika dibuang ke lingkungan berdampak pada menurunnya kualitas tanah dan air meliputi pH, BOD, COD, amoniak dan kandungan logam timbal [2]. Upaya untuk mengatasi limbah padat perkebunan dilakukan dengan mengolahnya menjadi produk asap cair dengan nilai ekonomi tinggi melalui proses pirolisis [3]. Kelebihan proses pirolisis berada *yield* produk fase cair dapat mencapai 75% ^b/_b dibandingkan metode *thermal conversion* lain yaitu gasifikasi dan torefaksi [4].

Proses pirolisis adalah proses dekomposisi termal senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana pada kondisi tanpa udara atau adanya udara dalam jumlah yang terbatas. Produk cair dari proses pirolisis disebut sebagai asap cair (*liquid smoke*) [5]. Asap cair adalah produk proses kondensasi atau pengembunan uap hasil pembakaran secara langsung atau tidak langsung dari biomassa yang mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa. Pemanfaatan asap cair dalam kehidupan sehari-hari sangat luas. Dalam industri makanan, asap cair memiliki potensi sebagai *smoke flavour* [6]. Hal itu karena asap cair memiliki fungsi sebagai antioksidan dan anti mikroba [7]. Selain itu pada industri karet, asap cair dapat digunakan sebagai bahan koagulan yang menghasilkan karet berkualitas [8]. Pada tahun 2017, penelitian mengenai pembuatan asap cair dari tempurung kelapa menghasilkan asap cair dengan rendemen sebanyak 46,1582% melalui proses pirolisis dilakukan pada suhu 250°C selama 60 menit [9]. Pada tahun 2018, sabut dan tempurung kelapa divariasikan sebagai bahan baku pembuatan asap cair. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi suhu proses pirolisis maka semakin banyak jumlah asap cair yang terbentuk dengan *yield* terbesar 45,2%, diperoleh pada asap cair dari biomassa tempurung kelapa [10].

Studi terkait dengan pembuatan asap cair melalui proses pirolisis telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan berbagai jenis biomassa. Setiap jenis biomassa memiliki komposisi zat penyusun berbeda yang dapat mempengaruhi kualitas asap cair yang dihasilkan. Berdasarkan pernyataan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis biomassa terhadap karakteristik asap cair yang dihasilkan dengan memanfaatkan limbah perkebunan sebagai bahan baku pembuatan asap cair. Biomassa tersebut merupakan limbah padat perkebunan berupa cangkang kelapa sawit, tandan kosong buah kelapa sawit dan sabut kelapa. Pembuatan asap cair dilakukan dengan metode pirolisis untuk memperoleh rendemen produk dalam fase cair yang tinggi. Kualitas produk asap cair ditentukan melalui beberapa tahap analisis meliputi analisis pH, densitas dan rendemen.

2. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Desain alat pirolisis

Kegiatan utama selama penelitian adalah pembuatan asap cair melalui proses pirolisis dan analisis produk asap cair. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi jenis biomassa terhadap karakteristik asap cair yang dihasilkan melalui proses pirolisis, biomassa yang digunakan merupakan limbah padat perkebunan. Variasi jenis biomassa yang digunakan berupa cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan sabut kelapa. Biomassa limbah padat kelapa sawit diperoleh dari perkebunan kelapa sawit daerah Kutai Timur, Kalimantan Timur sedangkan sabut kelapa diperoleh dari limbah padat penjual kelapa lokal Singosari, Malang Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan:

- Tahap persiapan bahan baku
 Biomassa dikeringkan selama dua hari pada kondisi terik matahari hingga berat biomassa konstan. Proses pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam biomassa. Jumlah tiap biomassa yang digunakan sebanyak 100 g.
- Tahap proses pirolisis
 Proses pirolisis dilakukan pada reaktor berupa silinder besi tertutup yang terhubung dengan kondenser dan botol penampung produk melalui pipa tembaga. Reaktor pirolisis dilengkapi dengan pemanas berupa kompor gas pada bagian bawah silinder. Proses pirolisis dilakukan dengan kondisi terbatas pada pemanasan tanpa adanya suhu yang terkontrol. Biomassa pada reaktor dipanaskan selama 90 menit. Uap hasil proses pirolisis mengalir melalui bagian atas reaktor menuju ke pipa tembaga yang terhubung dengan kondensor.
- Tahap kondensasi
 Uap hasil proses pirolisis menuju kondensor melalui pipa tembaga. Dalam kondensor, uap pirolisis dikondensasikan menjadi asap cair dengan memanfaatkan air dingin yang disirkulasi sebagai fluida pendingin. Asap cair yang terbentuk akan ditampung pada botol penampung melalui ujung pipa tembaga. Gas yang tidak dapat terkondensasi akan dilepaskan ke lingkungan.

- Tahap analisis
Asap cair yang terbentuk dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya meliputi analisis pH, densitas dan rendemen.

a. Analisis pH

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui nilai pH produk asap cair yang dihasilkan. Nilai pH ditentukan dengan menggunakan indikator pH universal. Indikator pH dicelupkan kemudian warna pada indikator yang telah berubah dicocokkan pada nilai pH yang sesuai.

b. Analisis densitas

Dalam penelitian ini densitas didefinisikan sebagai perbandingan antara massa dengan volume asap cair yang dihasilkan. Densitas ditentukan dengan persamaan berikut [11]:

$$\text{Berat sampel asap cair} = (\text{Berat pikometer} + \text{asap cair}) - (\text{Berat pikometer kosong}) \quad (1)$$

Dengan semua berat dihitung dalam satuan massa (g).

$$\text{Densitas (massa jenis)} = \frac{\text{Berat sampel asap cair}}{\text{Volume piknometer}} \quad (2)$$

c. Analisis rendemen

Rendemen merupakan perbandingan antara jumlah produk yang dihasilkan (asap cair) dan bahan baku biomassa yang digunakan. Rendemen ditentukan melalui persamaan berikut [12]:

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{massa asap cair (g)}}{\text{massa bahan baku (g)}} \times 100\% \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

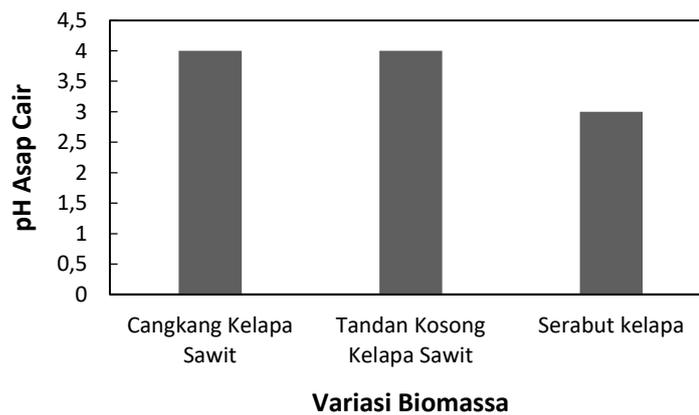
Asap cair merupakan produk hasil kondensasi uap pembakaran langsung atau tidak langsung dari biomassa yang mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa [3]. Dalam penelitian ini biomassa yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan sabut kelapa. Produk asap cair dibuat dengan menggunakan proses pirolisis. Untuk mengetahui kualitas produk asap cair maka dilakukan analisis meliputi analisis pH, densitas dan rendemen.

Tabel 1. Data pengamatan analisis produk asap cair

No	Jenis Biomassa	pH	Massa (g)	Volume (mL)	Densitas (g/mL)	rendemen (% ^b / _b)
1	Cangkang Kelapa Sawit	4	28	28	1	28
2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	4	18,3	20	0,915	18,3
3	Sabut Kelapa	3	25,2	20	1,26	25,2

3.1. Pengaruh Variasi Jenis Biomassa terhadap pH Asap Cair

Asap cair mengandung berbagai macam senyawa kimia organik meliputi senyawa aldehid, keton, alcohol, asam organik, ester, fenolik, turunan furan dan hidrokarbon lain [5]. Nilai pH dalam asap cair dipengaruhi oleh senyawa-senyawa kimia yang terkandung didalamnya. Selain itu, nilai pH menunjukkan tingkat penguraian komponen kimia kayu menjadi asam organik pada produk cuka kayu (*wood vinegar*). Nilai pH cuka kayu yang rendah mengindikasikan kualitas cuka kayu tersebut sangat tinggi karena mempengaruhi daya awet dan masa simpan produk cuka kayu [13].



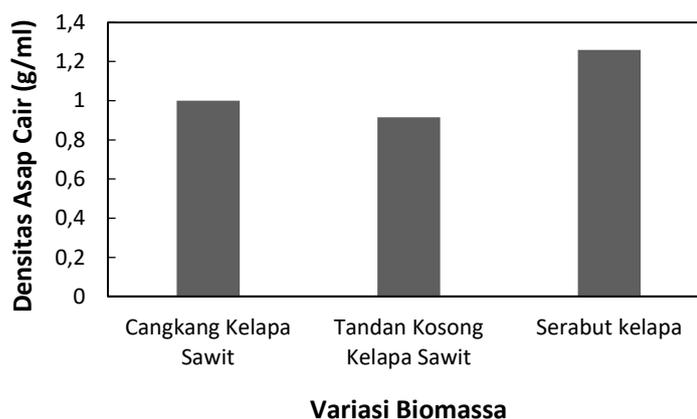
Gambar 2. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap pH asap cair

Gambar 2 menunjukkan diagram batang nilai pH asap cair terhadap variasi jenis biomassa. Nilai pH asap cair tergolong asam berada pada rentang 3-4. Hal ini menunjukkan bahwa asap cair yang dihasilkan memiliki banyak kandungan asam-asam organik. Asam-asam organik terbentuk dari komponen biomassa berupa selulosa dan hemiselulosa. Selulosa dan hemiselulosa terdekomposisi menghasilkan senyawa tar, gas dan senyawa teroksigenasi (*oxygenated species*) termasuk senyawa asam asetat [4].

Jika mengacu pada standar mutu asap cair spesifikasi Jepang yang dinyatakan oleh Yatagai, nilai pH asap cair standar berada pada rentang 1,5-3,7 [14]. Berdasarkan pernyataan tersebut nilai pH asap cair dari biomassa sabut kelapa memenuhi standar mutu asap cair. Hal tersebut disebabkan kadar senyawa asam organik dan fenol yang cukup tinggi pada asap cair [4]. Asap cair dalam penelitian ini tergolong pada *grade 3* sebagai asap cair dengan kualitas paling rendah. Asap cair dikategorikan *grade 3* karena mengandung senyawa tar dan air yang cukup banyak. Hal itu terjadi akibat tidak dilakukan pemurnian lebih lanjut pada produk asap cair [15]. Kandungan air pada asap cair yang tinggi dapat menurunkan tingkat keasaman atau nilai pH. Tingkat keasaman yang rendah juga menunjukkan kadar asam organik dan fenol yang rendah [16]. Asap cair *grade 3* mengandung air yang cukup banyak akibat tidak dilakukan pemurnian secara distilasi sehingga mengurangi tingkat keasaman. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, asap cair hasil proses pemurnian distilasi ($150 < T \leq 200$) memiliki tingkat keasaman yang lebih tinggi dengan rentang nilai pH 1,76-2,07 [16]. Produk asap cair yang memiliki pH rendah/tingkat keasaman yang tinggi cenderung memiliki kualitas yang baik karena daya simpan yang lebih lama. Nilai tingkat keasaman yang tinggi menunjukkan bahwa asap cair memiliki kemampuan sebagai bahan antimikroba dan sterilisasi [4].

3.2. Pengaruh Variasi Jenis Biomassa terhadap Densitas Asap Cair

Hubungan densitas asap cair terhadap variasi jenis biomassa disajikan dalam bentuk diagram batang pada gambar 3. Hasil analisis menunjukkan nilai densitas asap cair yang bervariasi berada pada rentang 0,915-1,26 g/mL.

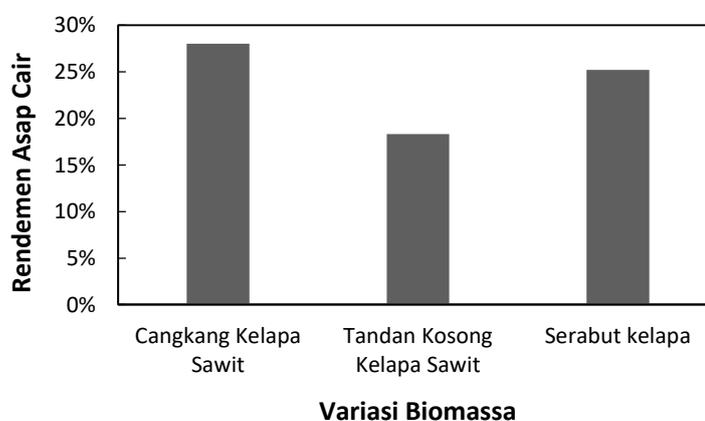


Gambar 3. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap densitas asap cair

Nilai densitas asap cair dari tandan kosong memiliki nilai yang paling tinggi yaitu 1,26 g/mL. Kualitas asap cair dapat dibandingkan dengan standar kualitas cuka kayu (*wood vinegar*) yang dinyatakan oleh Yatagai, nilai densitas asap cair sesuai standar adalah kurang dari 1,005 g/mL [12]. Berdasarkan standar tersebut, densitas asap cair dari biomassa tandan kosong kelapa sawit memiliki nilai terbaik. Densitas asap cair yang lebih dari standar (>1,005 g/mL) menunjukkan kualitas asap cair yang rendah sebab nilai densitas mengindikasikan bahwa asap cair tersebut mengandung senyawa tar [14]. Hal itu disebabkan berat jenis senyawa tar lebih tinggi dari asap cair [3]. Senyawa tar merupakan fraksi tak larut tersusun atas turunan lignin yang terbentuk pada suhu tinggi dan produk samping dari proses pirolisis yang tidak dikehendaki. Semakin lama waktu proses pirolisis menyebabkan senyawa tar terbentuk dalam jumlah banyak sehingga menurunkan kualitas asap cair yang dihasilkan [18].

3.3. Pengaruh Variasi Jenis Biomassa terhadap Rendemen Asap Cair

Hasil analisa nilai rendemen produk asap cair terhadap variasi jenis biomassa disajikan dalam bentuk diagram batang pada gambar 4. Berdasarkan gambar 4, jumlah produk asap cair paling banyak diperoleh dari biomassa cangkang kelapa sawit dengan rendemen sebesar 28%^b/_b.



Gambar 4. Pengaruh variasi jenis biomassa terhadap rendemen asap cair

Tabel 2. Perbandingan komposisi penyusun biomassa

No	Jenis Biomassa	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Referensi
1	Cangkang Kelapa Sawit	37,76	18,80	34,99	[3]
2	Tandan Kosong Kelapa Sawit	37,3-46,5	25,3-33,8	27,6-32,5	[18]
3	Sabut Kelapa	32,18	27,81	25,02	[19]

Ditinjau dari segi komposisi penyusun biomassa pada tabel 2, kadar selulosa dan hemiselulosa pada tandan kosong kelapa sawit relatif lebih rendah dari biomassa lain sehingga rendemen asap cair cenderung lebih rendah. Penelitian lain yang telah dilakukan menunjukkan hasil yang sama. Massa asap cair dari tempurung kelapa melalui proses pirolisis relatif lebih besar karena kandungan selulosa dan hemiselulosa pada tempurung kelapa lebih tinggi dibandingkan pada sabut kelapa [10]. Senyawa selulosa dan hemiselulosa terkonversi menjadi senyawa organik teroksigenasi (*oxigenated species*) [4]. Banyaknya senyawa teroksigenasi pada asap cair menunjukkan tingginya kadar selulosa dan hemiselulosa. Selulosa dan hemiselulosa juga terdekomposisi menjadi senyawa yang lebih sederhana pada suhu yang relatif lebih rendah (200-320 °C) daripada lignin (400°C)[20].

Produk asap cair yang dihasilkan dalam penelitian ini tergolong asap cair *grade* 3 atau *grade* paling rendah karena tidak dilakukan proses distilasi yang berdampak pada nilai rendemen yang relatif cukup besar. Asap cair *grade* 3 mengandung air dalam jumlah yang banyak karena tidak dilakukan permunian lebih lanjut secara distilasi [15]. Rendemen asap cair yang besar diakibatkan oleh banyaknya jumlah air yang tercampur dalam produk asap cair [12]. Air tersebut berasal dari biomassa yang memiliki kandungan air yang tinggi. Selama proses pirolisis berlangsung air teruapkan dan terkondensasi kembali bersama dengan produk asap cair. Kandungan air dalam asap cair menyebabkan kepekatan dan kualitas dari asap cair menurun [16].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian ini asap cair dari biomassa tandan kosong kelapa sawit memiliki karakteristik terbaik dengan densitas sebesar 0,915 g/mL, pH 4 sedangkan rendemen terbesar diperoleh pada asap cair dari biomassa cangkang kelapa sawit sebesar 28%^b/_b. Asap cair yang dihasilkan tergolong pada asap cair dengan *grade* paling rendah (*grade* 3). Asap cair *grade* 3 merupakan asap cair dengan kualitas rendah dengan karakteristik densitas yang tinggi melebihi standar (>1,005 g/mL) akibat adanya senyawa tar. Asap cair *grade* 3 juga memiliki tingkat keasaman rendah yang berpengaruh pada kurangnya daya awet dan masa simpan produk asap cair.

Proses pemurnian lebih lanjut secara distilasi perlu dilakukan agar kualitas asap cair sesuai dengan standar. Untuk memperoleh hasil yang lebih baik maka perlu dilakukan pengembangan terkait dengan penentuan kondisi proses dan metode yang digunakan agar proses berjalan pada kondisi optimum. Selain itu perlu melakukan analisis komposisi bahan baku dan senyawa pada produk asap cair yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] Direktorat Jenderal Pertanian, 2019, *Produksi Kelapa Sawit Menurut Provinsi di Indonesia 2015-2019*.
- [2] Susilawati, S., dan Supijanto, S., 2015, *Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit Riau*, Bul. Agrohorti 3, Vol. 2, No. 1, 203–212.
- [3] Rusydi, S. M., 2019, *Pyrotechnology 4 in 1 : Prinsip Dasar Teknologi Pirolisa Biomassa*, First Edition, Vol. 12, Unimal Press, Lhokseumawe.
- [4] Bridgwater, A. V., 2003, *Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass*, Chemical Engineering Journal, Vol. 91, No. 2–3, 87–102.
- [5] Souza, J. B. G., Ré-Poppi, N., dan Raposo, J. L., 2012, *Characterization of pyrolygineous acid used in agriculture by gas chromatography-mass spectrometry*, Journal of the Brazilian Chemical Society, Vol. 23, No. 4, 610–617.
- [6] Soazo, M., Pérez, L. M., Piccirilli, G. N., Delorenzi, N. J., dan Verdini, R. A., 2016, *Antimicrobial and physicochemical characterization of whey protein concentrate edible films incorporated with liquid smoke*, LWT - Food Science and Technology, Vol. 72, 285–291.
- [7] Lingbeck, J. M., Cordero, P., O'Bryan, C. A., Johnson, M. G., Ricke, S. C., dan Crandall, P. G., 2014, *Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation*, Meat Science, Vol. 97, No. 2, 197–206.
- [8] Vachlepi, A., dan Suwardin, D., 2015, *Characterization of Iron Metal Corrosion in Liquid Smoke Coagulant*, Procedia Chemistry, Vol. 16, 420–426.
- [9] Sa'diyah, K., Suharti, P. H., Hendrawati, N., Nugraha, I., dan Febrianto, N. A., 2017, *Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa dengan Metode Pirolisis*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia, Vol. 1, 1–7.
- [10] Sa'diyah, K., Rohman, F., Harsanti, W., Nugraha, I., dan Febrianto, N. A., 2018, *Pyrolysis of Coconut Coir and Shell as Alternative Energy Source*, Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol. 7, No. 2, 115–120.
- [11] Mustafiah, M., 2017, *Pemanfaatan Asap Cair Dari Blending Limbah Biomassa Cangkang Sawit Dan Tempurung Kelapa Dalam Secara Pirolisis Menjadi Insektisida Organik*, Journal Of Chemical Process Engineering, Vol. 2, No. 1, 36–45.
- [12] Satriadi, T., 2012, *Rendemen dan Kualitas Cuka Kayu dari Kulit Tiga Jenis Meranti (Shorea spp.)*, EnviroScientae, Vol. 8, 102–107..
- [13] Wijaya, M., Noor, E., Irawadi, T. T., dan Pari, G., 2008, *Karakterisasi komponen kimia asap cair dan pemanfaatannya sebagai biopestisida*, Jurnal Bionature, Vol. 9, No. 1, 34–40..
- [14] Yatagai, M., Nishimoto, M., Hori, K., Ohira, T., dan Shibata, A., 2002, *Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues*, Journal of Wood Science, Vol. 48, No. 4, 338–342.
- [15] Fauzan, F. dan Ikhwanus, M., 2017, *Pemurnian Asap Cair Tempurung Kelapa Melalui Distilasi dan Filtrasi Menggunakan Zeolit dan Arang Aktif*, Prosiding Semnastek, Vol. 16, 1–5.
- [16] Noor, E., Luditama, C., dan Pari, G., 2003, *Isolasi dan pemurnian asap cair berbahan dasar tempurung dan sabut kelapa secara pirolisis dan distilasi*, Prosiding Konferensi Nasional Kelapa VIII, 93–102.
- [17] Ridhuan, K., Irawan, D., dan Inthifawzi, R., 2019, *Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan*, Turbo : Jurnal Program

- Studi Teknik Mesin, Vol. 8, No. 1, 69–78.
- [18] Sudiyani, Y., Styarini, D., Triwahyuni, E., Sudiyarmanto, Sembiring, K. C., Aristiawan, Y., Abimanyu, H., dan Han, M. H., 2013, *Utilization of biomass waste empty fruit bunch fiber of palm oil for bioethanol production using pilot - Scale unit*, Energy Procedia, Vol. 32, 31–38.
- [19] Gonçalves, F. A., Ruiz, H. A., dos Santos, E. S., Teixeira, J. A., dan de Macedo, G. R., 2019, *Valorization, Comparison and Characterization of Coconuts Waste and Cactus in a Biorefinery Context Using NaClO₂-C₂H₄O₂ and Sequential NaClO₂-C₂H₄O₂/Autohydrolysis Pretreatment*, Waste and Biomass Valorization, Vol. 10, No. 8, 2249–2262.
- [20] Gangolli, S., 1990, *Smoke in food processing*, Food and Chemical Toxicology, Vol. 28, No. 2, 133.