

PENGARUH BERBAGAI JENIS BIOMASSA TERHADAP HASIL ASAP CAIR PADA PROSES PIROLISIS

Nu'ainir Rosyidah, Khalimatus Sa'diyah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, 65141, Indonesia
rosyidah.ainir@gmail.com; [khalimatus22@gmail.com]

ABSTRAK

Biomassa di Indonesia sangat melimpah, salah satunya berasal dari limbah pertanian. Jumlah limbah pertanian di Indonesia sebesar 51.546.297,3 ton. Kandungan pada biomassa dapat menghasilkan asap cair melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap kualitas asap cair hasil pirolisis. Jenis biomassa yang digunakan diantaranya tongkol jagung, sekam padi, dan ampas tebu. Biomassa dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian dilakukan pengecilan ukuran. Biomassa sekam padi diperkecil hingga berukuran 0,3 cm; tongkol jagung 3 cm; dan ampas tebu berukuran 5 cm. Biomassa dipanaskan dalam reaktor pirolisis dengan sedikit atau tanpa oksigen yang sudah terhubung dengan kondensor. Pemanasan dilakukan pada suhu pirolisis 400°C dalam waktu 30 menit dengan massa 1 kg. Produk asap yang keluar dari reaktor akan melewati kondensor tingkat atas dan kondensor tingkat bawah, kemudian hasil kondensasi ditampung sebagai produk asap cair. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perbedaan jenis biomassa akan mempengaruhi kualitas asap cair hasil pirolisis berdasarkan nilai pH, densitas, dan rendemen. Pada analisa produk asap cair yang dihasilkan, tongkol jagung memberikan kualitas asap cair terbaik sesuai dengan standar mutu asap cair Jepang dengan nilai pH 3; densitas 1,0070 g/mL; dan rendemen 14,5%. Produk asap cair dari penelitian ini tergolong asap cair dengan *grade* paling rendah yaitu *grade* 3.

Kata kunci: Asap cair, Biomassa, Pirolisis

ABSTRACT

Biomass in Indonesia is very abundant, one of which comes from agricultural waste. The amount of agricultural waste in Indonesia is 51,546,297.3 tons. The content in the biomass can produce liquid smoke through the pyrolysis process. This study aims to determine the effect of various types of biomass on the quality of liquid smoke resulting from pyrolysis. Types of biomass used include corn cobs, rice husks, and bagasse. The biomass is dried in the sun and then reduced in size. Rice husk biomass was reduced to 0.3 cm, corn cobs 3 cm, and bagasse 5 cm. The biomass is heated in a pyrolysis reactor with little or no oxygen already connected to the condenser. Heating was carried out at a pyrolysis temperature of 400°C within 30 minutes with a mass of 1 kg. The smoke products that come out of the reactor will pass through the upper level condenser and the lower level condenser, then the condensation results are accommodated as liquid smoke products. The results of this study indicate that different types of biomass will affect the quality of liquid smoke resulting from pyrolysis based on the value of pH, density, and yield. In the analysis of the resulting liquid smoke product, corn cobs provide the best quality liquid smoke according to the Japanese liquid smoke quality standard with a pH value of 3, a density of 1.0070 g/mL and a yield of 14.5%. The liquid smoke product from this research is classified as liquid smoke with the lowest grade, namely grade 3.

Keywords: Liquid smoke, Biomass, Pyrolysis

1. PENDAHULUAN

Biomassa adalah material organik yang berasal dari tumbuhan, hewan, dan mikro-organisme yang dapat diuraikan oleh bakteri dan organisme hidup lain [1]. Biomassa dapat berasal dari beberapa jenis limbah, diantaranya limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah kayu, dan komponen organik yang berasal dari industri maupun rumah tangga [2]. Beberapa jenis biomassa dari limbah pertanian seperti sekam padi, tongkol jagung, dan ampas tebu yang dikelola dengan baik dapat mengurangi penumpukan limbah yang ada.

Biomassa dapat dikelola salah satunya sebagai asap cair. Produk asap cair dihasilkan dari proses pirolisis yaitu proses pemanasan suatu zat dengan sedikit oksigen atau tanpa oksigen hingga terjadi penguraian komponen-komponen penyusunnya [3]. Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan asap cair mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya [4]. Pirolisis dikategorikan menjadi 4 tipe, salah satunya pirolisis cepat. Pirolisis cepat dilakukan pada suhu pemanasan 400-600°C [4]. Proses pirolisis mampu menghasilkan produk utama berupa arang (*char*), asap cair (*bio-oil*), dan gas. Arang yang dihasilkan dapat digunakan sebagai karbon aktif karena memiliki nilai kalor yang tinggi. Gas yang terbentuk dapat dibakar secara langsung. Gas yang dihasilkan dari proses pirolisis dibedakan menjadi gas yang terkondensasi (*tar*) dan tidak dapat dikondensasi (CO, CO₂, CH₄, dan lain-lain). Minyak akan terjadi pada proses kondensasi menghasilkan asap cair.

Kualitas asap cair yang dihasilkan tergantung dari suhu, waktu, laju pemanasan, ukuran partikel, jenis, dan komposisi dari biomassa [5]. Meskipun pada suhu pirolisis yang sama bisa mempengaruhi volume asap cair yang dihasilkan. Sifat dari asap cair dipengaruhi oleh komponen utama yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang proporsinya bervariasi tergantung pada jenis bahan yang akan di pirolisis [4]. Pada jenis biomassa tongkol jagung mengandung 41% selulosa, 36% hemiselulosa, dan 16% lignin [6]. Sekam padi mengandung 31,12% selulosa, 22,34% hemiselulosa, dan 22,48% lignin [7]. Sedangkan pada ampas tebu mengandung 40% selulosa, 29% hemiselulosa, dan 13% lignin [8].

Dalam kehidupan sehari-hari, pembuatan asap cair memiliki manfaat yang luas. Pada industri makanan, asap cair memiliki fungsi sebagai antioksidan dan antimikroba [9]. Pada industri karet, asap cair digunakan sebagai bahan koagulan yang menghasilkan karet berkualitas [10]. Selain itu, asap cair dapat digunakan sebagai disinfektan, pengusir hama, dan penyubur tanah. Dari manfaat tersebut, banyak sekali manfaat asap cair hasil pirolisis biomassa yang dapat dikembangkan untuk kepentingan masa depan.

Studi terkait dengan pembuatan asap cair melalui proses pirolisis telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan berbagai jenis biomassa. Sebagai contoh, Muallim dan Mahyati (2019) melakukan penelitian mengenai pembuatan asap cair dari tongkol jagung dilakukan melalui proses pirolisis. Suhu pada proses pembuatan asap cair yaitu pada suhu 400°C dengan waktu operasi 60 menit. Nilai rendemen pada tongkol jagung yaitu 45,5%, densitas 1,03 gr/mL, dan pH 1,8 [11]. Pada penelitian Effendi (2021), tempurung kelapa, kayu sengon, dan tongkol jagung divariasikan sebagai bahan baku pembuatan asap cair. Hasil penelitian menunjukkan setiap jenis biomassa memiliki nilai karakteristik asap cair yang berbeda. Nilai pH asap cair hasil pirolisis dari jenis biomassa tongkol jagung sebesar 3,53, tempurung kelapa 3,63, dan kayu sengon 4,42 [12]. Hal ini berarti bahwa setiap jenis biomassa memiliki komposisi zat penyusun berbeda yang dapat mempengaruhi kualitas asap cair yang dihasilkan [13].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap kualitas asap cair hasil pirolisis dengan menentukan nilai pH, rendemen, dan densitas. Biomassa yang digunakan berupa sekam padi, tongkol jagung, dan ampas tebu. Pemilihan bahan ini berdasarkan banyaknya potensi biomassa di Indonesia, sehingga 3 bahan tersebut digunakan pada penelitian ini. Pembuatan asap cair dilakukan melalui proses pirolisis dengan massa bahan baku 1 kg pada suhu 400°C selama 30 menit. Pemilihan suhu 400°C berdasarkan fase pirolisis yang terletak antara suhu 200-500°C [4].

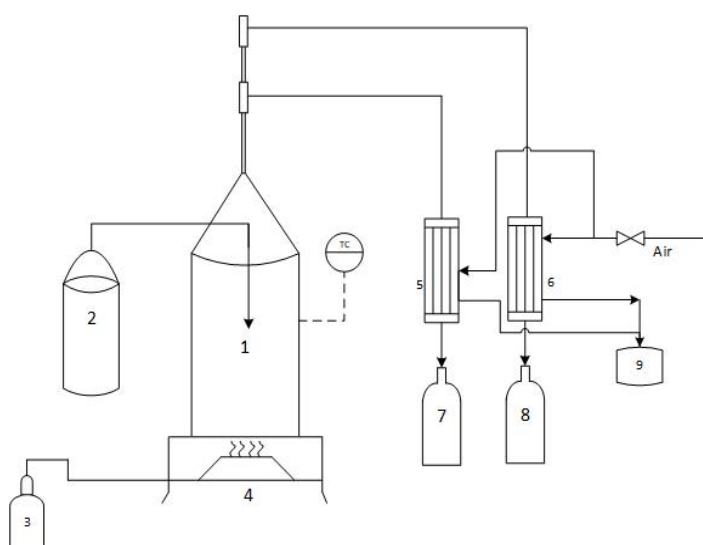
2. METODOLOGI PENELITIAN

Pembuatan produk asap cair dilakukan melalui proses pirolisis dengan menggunakan berbagai jenis biomassa. Pada penelitian ini dilaksanakan secara eksperimen untuk mengetahui pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap kualitas asap cair. Proses pembuatan asap cair pada penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu persiapan bahan baku, kemudian dilakukan proses pirolisis, dan terakhir dilakukan proses kondensasi yang menghasilkan produk asap cair. Hasil asap cair kemudian dilakukan analisa produk.

2.1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk penelitian ini antara lain : sekam padi, tongkol jagung, dan ampas tebu. Biomassa sekam padi diperoleh dari penggilingan padi daerah Surabaya, Jawa Timur. Kemudian untuk biomassa tongkol jagung diperoleh dari pasar daerah Surabaya dan Gresik, Jawa Timur. Sedangkan biomassa ampas tebu diperoleh dari gilingan tebu daerah Malang, Jawa Timur. Berbagai jenis biomassa tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari. Proses pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam biomassa. Biomassa yang sudah kering kemudian dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil. Biomassa sekam padi diperkecil hingga berukuran 0,3 cm; tongkol jagung 3 cm; dan ampas tebu berukuran 5 cm. Pengecilan ukuran bertujuan untuk mempermudah proses pirolisis pada reaktor. Jumlah tiap biomassa yang digunakan sebanyak 1 kg.

2.2. Pirolisis



Keterangan:

1. Reaktor pirolisis
2. Bahan baku Biomassa
3. Tabung LPG
4. Kompor Pemanas
5. Kondensor 1
6. Kondensor 2
7. Botol produk asap cair 1
8. Botol produk asap cair 2
9. Bak penampung air pendingin

Gambar 1. Desain Alat Pirolisis

Gambar 1 merupakan desain alat pirolisis yang digunakan pada pembuatan asap cair. Pembuatan asap cair dilakukan dengan proses pirolisis menggunakan reaktor pirolisis. Biomassa dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Variabel umpan terdiri dari sekam padi, tongkol jagung, dan ampas tebu. Proses pemanasan dengan reaktor pirolisis dilakukan selama 30 menit dengan suhu pirolisis 400°C. Reaktor pirolisis pada penelitian ini memiliki 2 keluaran yaitu kondensor atas dan kondensor bawah.

2.3. Kondensasi

Uap hasil dari proses pirolisis menuju ke dalam kondensor. Dalam kondensor tersebut, uap dikondensasi menjadi asap cair dengan memanfaatkan air dingin yang disirkulasi sebagai fluida pendingin. Produk berupa asap cair ditampung pada botol penampung melalui ujung kondensor. Gas yang tidak terkondensasi akan dilepaskan ke lingkungan. Produk yang dihasilkan yaitu berupa asap cair ditimbang dan diukur volume yang didapatkan. Kemudian dilakukan analisa berupa pH, densitas, dan rendemen.

2.4. Analisa Produk

Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis atau disebut asap cair dilakukan analisa berupa pH, densitas, dan rendemen.

a. Analisa pH

Analisa pH bertujuan untuk mengetahui nilai pH produk asap cair yang dihasilkan. Nilai pH dapat ditentukan dengan menggunakan indikator pH, dengan mencelupkan indikator pH kemudian warna yang terlihat pada indikator dicocokkan dengan nilai pH yang sesuai [13].

b. Analisa densitas

Pada analisa densitas dilakukan perhitungan berupa perbandingan massa asap cair (gr) terhadap volume asap cair (ml) yang dihasilkan. Penentuan nilai densitas asap cair yang diperoleh dihitung dengan persamaan 1 [14].

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

c. Analisa Rendemen

Rendemen asap cair yang diperoleh dihitung dengan Persamaan 2 secara kuantitatif berupa perbandingan berat asap cair terhadap berat bahan baku (%b/%b). Penentuan rendemen digunakan untuk mengetahui tingkatan dalam persen terhadap produk asap cair yang dihasilkan [15].

$$\text{rendemen} = \frac{\text{berat asap cair}}{\text{berat bahan baku}} \times 100 \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Asap cair merupakan suatu campuran larutan dan dispersi koloid dari uap asap kayu dalam air yang diperoleh dari hasil pirolisis atau dibuat dari campuran senyawa murni [16]. Asap cair dikatakan sebagai hasil kondensasi dari uap pembakaran secara langsung maupun tidak langsung yang berasal dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa melalui proses pirolisis [17]. Kandungan bahan biomassa tersebut akan terdekomposisi menjadi gas dan arang yang mudah terbakar [18].

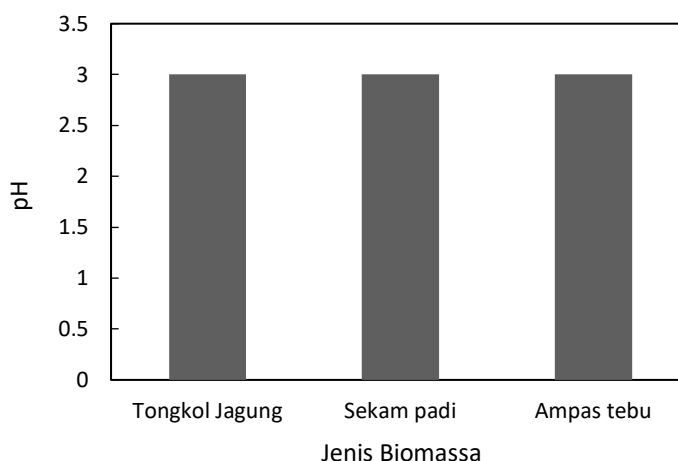
Hasil penelitian dari berbagai jenis biomassa menjadi asap cair dapat dilihat pada tabel 1. Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah tongkol jagung, sekam padi, dan ampas tebu. Produk asap cair dibuat melalui proses pirolisis. Untuk mengetahui kualitas asap cair maka dilakukan analisa meliputi densitas, pH, dan rendemen.

Tabel 1. Hasil pirolisis asap cair dengan dari berbagai jenis biomassa

No	Jenis Biomassa	Volume Asap Cair (mL)	Massa Asap Cair (gr)	Densitas (g/mL)	pH	Rendemen (%)
1	Tongkol Jagung	143,5	144,5	1,0070	3	14,5
2	Sekam padi	109,3	112	1,0247	3	11,2
3	Ampas tebu	61,35	63	1,0269	3	6,3

3.1. Pengaruh Berbagai Jenis Biomassa terhadap pH Asap Cair

Asap cair terbentuk dari proses kondensasi melalui proses pirolisis konstituen kayu yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin [19]. Nilai pH 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. Nilai pH cuka kayu yang rendah mengindikasikan kualitas yang sangat tinggi karena mempengaruhi daya awet dan massa simpan produk cuka kayu [20].



Gambar 2. Pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap pH asap cair

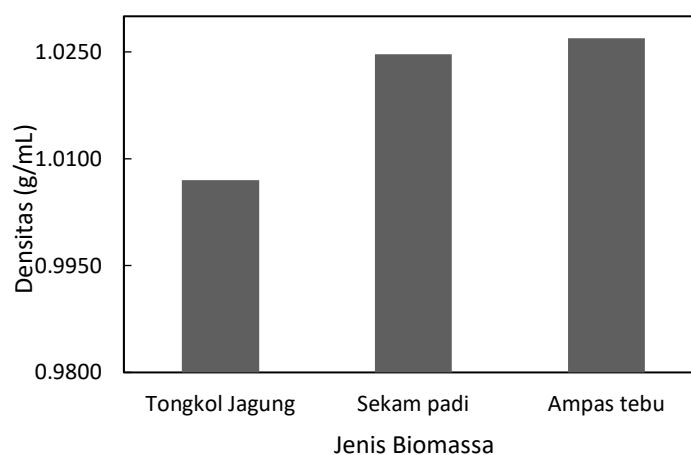
Hasil gambar 2 menunjukkan bahwa pH asap cair dari berbagai jenis biomassa memiliki nilai pH sebesar 3. Pengukuran nilai pH merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kualitas asap cair yang dihasilkan. Nilai pH asap cair yang rendah disebabkan oleh asam organik hasil dari proses kondensasi [21]. Nilai pH 3 ini menunjukkan bahwa asap cair yang dihasilkan memiliki banyak kandungan asam-asam organik. Harga pH tersebut menyimpulkan bahwa produk asap cair tersebut bersifat asam [22]. Nilai pH berkisar 3-3,6 terjadi dekomposisi hemiselulosa dan selulosa menjadi asam [16].

Nilai pH asap cair yang didapatkan sesuai dengan standar mutu asap cair Jepang berada pada rentang nilai 1,5-3,7 [23]. Nilai pH yang didapatkan pada penelitian ini tidak berbeda jauh dengan nilai pH yang didapatkan Ari Setya dan Khalimatus yaitu rentang pH asap cair 3-4 [13]. Asap cair ini tergolong pada *grade* 3 sebagai asap cair dengan kualitas

yang paling rendah. Asap cair dikategorikan *grade 3* karena mengandung senyawa tar dan air yang cukup banyak. Hal ini terjadi karena tidak dilakukan proses pemurnian lebih lanjut pada produk asap cair [24]. pH asap cair dengan *grade 3* maka diperoleh hubungan kadar fenol yang mempengaruhi nilai pH dari asap cair [25]. Produk asap cair yang memiliki pH rendah atau 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 [20].

3.2. Pengaruh Berbagai Jenis Biomassa terhadap Densitas Asap Cair

Densitas asap cair dihitung dengan membandingkan massa asap cair dan volume asap cair. Semakin besar nilai massa dan volume asap cair, maka densitas asap cair akan semakin tinggi. Hasil perhitungan densitas asap cair dari berbagai jenis biomassa dapat dilihat pada Gambar 3.

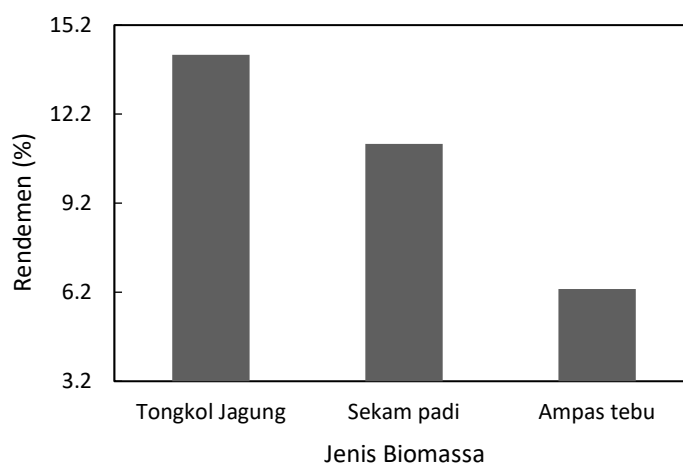


Gambar 3. Pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap densitas asap cair

Hasil gambar 3 menunjukkan bahwa densitas asap cair tertinggi adalah biomassa ampas tebu dengan densitas 1,0269 g/mL. Sedangkan pada biomassa tongkol jagung dan sekam padi memiliki densitas sebesar 1,0070 g/mL dan 1,0247 g/mL. Kualitas asap cair yang didapatkan dibandingkan dengan standar mutu asap cair jepang yaitu >1,005 g/mL [19]. Densitas asap cair yang kurang dari standar menunjukkan kualitas asap cair yang rendah karena nilai densitas mengindikasikan bahwa asap cair mengandung senyawa tar [23]. Hal itu disebabkan karena berat jenis senyawa tar lebih tinggi dibandingkan dengan asap cair [17]. Sehingga menunjukkan bahwa perbedaan berbagai jenis biomassa mempengaruhi kualitas asap cair yang dihasilkan. Pada penelitian ini nilai densitas asap cair yang diperoleh lebih besar dari penelitian Ari Setya dan Khalimatus dengan bahan baku tandon kosong kelapa sawit sebesar 0,915 g/mL [13].

3.3. Pengaruh berbagai jenis Biomassa terhadap rendemen Asap Cair

Hasil analisa nilai rendemen asap cair dari berbagai jenis biomassa dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, nilai rendemen tertinggi berasal dari jenis biomassa tongkol jagung yaitu 14,5%. Kemudian sekam padi dengan nilai 11,2% dan yang paling kecil yaitu ampas tebu sebesar 6,3%.



Gambar 4. Pengaruh berbagai jenis biomassa terhadap rendemen asap cair

Tabel 2. Perbandingan komposisi penyusun biomassa

No	Jenis Biomassa	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)	Referensi
1	Tongkol Jagung	41	36	16	[6]
2	Sekam padi	31,12	22,34	22,48	[7]
3	Ampas tebu	40	29	13	[8]

Ditinjau dari komposisi penyusun biomassa pada Tabel 2, kadar selulosa dan hemiselulosa pada tongkol jagung paling tinggi dibanding dengan biomassa yang lain, bisa terlihat dari massa asap cair tongkol jagung melalui proses pirolisis relatif lebih besar dibanding dengan massa asap cair biomassa dari sekam padi dan ampas tebu. Senyawa selulosa pada proses pirolisis akan menghasilkan asam asetat dan fenol [26]. Pada hemiselulosa juga menghasilkan asam asetat [27]. Sedangkan pada lignin akan menghasilkan aroma yang berperan dalam pengawetan [26].

Berdasarkan nilai rendemen dari berbagai jenis biomassa pada Gambar 4 yang memiliki nilai terbaik yaitu jenis biomassa tongkol jagung. Hal ini sesuai dengan Tabel 2 yang menunjukkan bahwa kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada tongkol jagung memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan jenis biomassa sekam padi dan ampas tebu. Hasil rendemen asap cair yang besar disebabkan banyaknya jumlah air yang tercampur dalam produk asap cair [28]. Air yang terkandung dalam asap cair berasal dari biomassa yang memiliki kandungan air yang tinggi. Selama proses pirolisis berlangsung air teruapkan kemudian terkondensasi kembali bersama dengan produk asap cair [29]. Hasil rendemen asap cair setiap jenis biomassa akan berbeda tergantung pada komposisi penyusun biomasanya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa setiap jenis biomassa mempengaruhi kualitas asap cair. Pengaruh kualitas asap cair dapat ditinjau dari nilai pH, densitas, dan rendemen. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada jenis biomassa yang memiliki kualitas asap cair yang paling baik adalah jenis biomassa tongkol jagung dengan pH

3; densitas 1,0070 g/mL; dan rendemen 14,5%. Kualitas yang baik ini sesuai dengan standar mutu asap cair Jepang. Asap cair ini merupakan asap cair *grade* 3 yang memiliki kualitas rendah akibat adanya senyawa tar dan kandungan air pada biomassa.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu asap cair dilakukan proses pemurnian lebih lanjut secara distilasi agar kualitas asap cair semakin meningkat hingga dikategorikan menjadi *grade* 1. Selain itu perlu melakukan analisis komposisi bahan baku dan senyawa pada produk asap cair yang dihasilkan. Untuk mengetahui senyawa pada produk asap cair maka dilakukan pengembangan lebih lanjut bisa melalui analisa GCMS.

REFERENSI

- [1] V. Yansen, "Bio-oil dari proses pirolisis lambat dengan bahan baku biomassa dari tandan kosong kelapa sawit," Universitas Sumatera Utara, 2020.
- [2] K. Ridhuan, D. Irawan, Y. Zanaria, dan F. Firmansyah, "Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 20, no. 1, hal. 18–27, 2019.
- [3] Yusnaini dan I. Rodianawati, "Produksi dan Kualitas Asap Cair dari Berbagai Jenis Bahan Baku," *Pros. SNaPP Sains, Teknol. dan Kesehat.*, hal. 253–260, 1996.
- [4] K. Ridhuan, D. Irawan, dan R. Inthifawzi, "Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan," *Turbo*, vol. 8, no. 1, hal. 69–78, 2019.
- [5] Ratnawati dan S. Hartanto, "Pengaruh Suhu Pirolisis Cangkang Sawit Terhadap Kuantitas dan Kualitas Asap Cair," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 12, no. 1, hal. 7–11, 2010.
- [6] A. R. Fachry, P. Astuti, dan T. G. Puspitasari, "Pembuatan Bioetanol dari Limbah Tongkol Jagung dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida dan Waktu Fermentasi," *J. Tek. Kim.*, vol. 19, no. 1, hal. 60–69, 2013.
- [7] P. Senthil Kumar, K. Ramakrishnan, S. Dinesh Kirupha, dan S. Sivanesan, "Thermodynamic and kinetic studies of cadmium adsorption from aqueous solution onto rice husk," *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 27, no. 2, hal. 347–355, 2010.
- [8] A. M. Saputra, "Kandungan Fraksi Serat Wafer Berbahan Ampas Tebu dan Indigofera Zollingeriana dengan Komposisi yang Berbeda," Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2021.
- [9] J. M. Lingbeck, P. Cordero, C. A. O'Bryan, M. G. Johnson, S. C. Ricke, dan P. G. Crandall, "Functionality of liquid smoke as an all-natural antimicrobial in food preservation," *Meat Sci.*, vol. 97, no. 2, hal. 197–206, 2014.
- [10] A. Vachlepi dan D. Suwardin, "Characterization of Iron Metal Corrosion in Liquid Smoke Coagulant," *Procedia Chem.*, vol. 16, hal. 420–426, 2015.
- [11] M. Syahrir dan Mahyati, "Pengolahan Limbah Tongkol Jagung Menjadi Asap Cair dengan Metode Pirolisis Lambat," *INTEK J. Penelit.*, vol. 6, no. 1, hal. 69–74, 2019.
- [12] A. K. Effendi, "Karakterisasi Produk Redistilasi Asap Cair Dari Berbagai Sumber Biomassa," Universitas Jember, 2021.
- [13] A. Setya dan K. Sa'diyah, "Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Asap Cair Melalui Metode Pirolisis," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 9, hal. 36–44, 2022.
- [14] I. L. Ichsanti, "Pembuatan Asap Cair (Liquid Smoke) Dari Limbah Kulit Kelapa Muda dan

- Serbuk Gergaji Secara Pirolisis,” Universitas Brawijaya, 2016.
- [15] S. Maulana dan S. P. Feni, “Pengaruh Suhu , Waktu , dan Kadar Air Bahan Baku Terhadap Pirolisis Serbuk Pelepah Kelapa Sawit,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 2, hal. 35–40, 2017.
- [16] K. Sa'diyah, P. H. Suharti, N. Hendrawati, I. Nugraha, dan N. A. Febrianto, “Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa dengan Metode Pirolisis,” *Pros. Semin. Nas. Rekayasa Proses Ind. Kim.*, vol. 1, hal. 1–7, 2017.
- [17] S. M. Rusydi, “Prinsip Dasar Teknologi Pirolisa Biomassa,” *Unimal Press*, vol. 12, hal. 19–20, 2019.
- [18] D. Ratna dan Ariani, “Pengolahan Tempurung Kelapa Menjadi Arang dan Asap Cair dengan Metode Semi-Batch Pirolisis,” *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 9, hal. 367–372, 2021.
- [19] S. Yuniningsih, “Utilization of Various Types of Agricultural Waste Became Liquid Smoke using Pyrolysis Process,” *Chem. Process Eng. Res.*, vol. 28, hal. 60–66, 2014.
- [20] A. V. Bridgwater, “Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass,” *Chem. Eng. J.*, vol. 91, no. 2–3, hal. 87–102, 2003.
- [21] Jayanudin, E. Suhendi, J. Uyun, dan A. H. Supriatna, “Pengaruh Suhu Pirolisis dan Ukuran Tempurung Kelapa terhadap Rendemen dan Karakteristik Asap Cair Sebagai Pengawet Alami,” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 9, no. 1, hal. 46–55, 2012.
- [22] I. Handayani dan K. Sa'diyah, “Pengaruh Waktu Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu Terhadap Hasil Asap Cair,” *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 9, hal. 28–35, 2022.
- [23] M. Yatagai, M. Nishimoto, K. Hori, T. Ohira, dan A. Shibata, “Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues,” *J. Wood Sci.*, vol. 48, no. 4, hal. 338–342, 2002.
- [24] Fauzan dan M. Ikhwanus, “Pemurnian Asap Cair Tempurung Kelapa Melalui Distilasi dan Filtrasi Menggunakan Zeolit dan Arang Aktif,” *Pros. Semnastek*, no. 016, hal. 1–5, 2017.
- [25] A. J. L. Rasi dan Y. P. Seda, “Potensi Teknologi Asap Cair Tempurung Kelapa terhadap Keamanan Pangan,” *Publ. Univ. Tribhuwana Tunggaladewi*, vol. 3, no. 2, hal. 1–10, 2014.
- [26] Fauziati dan Haspiadi, “Asap Cair dari Cangkang Sawit sebagai Bahan Baku Industri,” *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 9, no. 2, hal. 177–186, 2016.
- [27] F. Kasim, A. N. Fitrah, dan E. Hambali, “Aplikasi Asap Cair pada Lateks,” *Pasti*, vol. IX, no. 1, hal. 28–34, 2015.
- [28] T. Satriadi, “Randemen dan Kualitas Cuka Kayu dari Kulit Tiga Jenis Meranti (*Shorea spp.*),” *EnviroScientae*, vol. 8, hal. 102–107, 2012.
- [29] E. Noor, C. Luditama, dan G. Pari, “Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung dan Sabut Kelapa secara Pirolisis dan Distilasi,” *Pros. Konf. Nas. Kelapa VIII*, hal. 93–102, 2006.