

Konsumsi Energi Pirolisator Kondensor Ganda Untuk Konversi Serbuk Kayu Jati Dan Meranti Menjadi Asap Cair

Ida Febriana¹⁾, Sahrul Effendy¹⁾, Zurohaina¹⁾, Venny Krysthin^{1*)}, Nova Fenoldi¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

*Corresponding email :v.krysthin@gmail.com

Abstrak

Biomassa merupakan salah satu dari sekian banyak jenis sampah yang ramah lingkungan karena dapat didaur ulang menjadi barang yang bermanfaat jika dikelola dengan baik. Terdapat suatu metode yang cukup efektif untuk mengolah biomassa menjadi bernilai ekonomis yaitu dengan menggunakan metode pirolisis guna menghasilkan asap cair. Dilakukannya penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah konsumsi energi, total rendemen dan kualitas asap cair yang dihasilkan sesuai standar ASTM D7544. Proses pirolisis yang dilakukan ini memiliki variabel tetap berupa variabel bahan baku yaitu limbah serbuk kayu jati dan limbah serbuk kayu meranti dengan ukuran sampel yaitu 20-60 mesh sedangkan untuk variabel kendali, percobaan dilakukan dengan suhu 325°C. Dari hasil penelitian yang dilakukan, nilai konsumsi energi terendah diperoleh dari serbuk kayu meranti 60 mesh sebesar 9,08 kWh/l pada konsumsi daya 5,28 kWh dan total produk 0,581 liter, rendemen tertinggi sebesar 16% dari serbuk kayu jati 60 mesh, dan semua kondensat 1 asap cair dari masing-masing bahan baku sudah memenuhi standar fisik dari ASTM D7544 (densitas 1,1-1,3 gr/ml dan pH 2-3), serta standar kimia dari jurnal Maulina (2018) yaitu kadar asam 2,8-9,5% dan kadar fenol 0,2-2,9%.

Kata Kunci : Asap Cair, Pirolisis, Kondensor Ganda

PENDAHULUAN

Di Indonesia saat ini, energi dan sampah termasuk hal yang sangat penting bagi kota-kota besar. Pada beberapa kota, penumpukan jumlah sampah yang tidak kecil disebabkan oleh kepadatan penduduk. Sementara itu, kebutuhan akan energi untuk mendukung kehidupan yang meningkat secara eksponensial (Wijayanti, 2013). Mengingat energi yang terbatas dengan ketergantungan pada bahan bakar fosil, maka perlu dicari cara alternatif agar dapat menggantikan bahan bakar fosil. Upaya yang telah dilakukan hingga saat ini untuk menanggulangi banyaknya sampah yang ada yaitu dengan cara daur ulang dan pembuatan bank sampah. Biomassa merupakan salah satu dari sekian banyak jenis sampah yang ramah lingkungan karena dapat didaur ulang menjadi barang yang bermanfaat jika dikelola dengan baik. Terdapat suatu metode yang cukup efektif untuk mengolah biomassa menjadi bernilai ekonomis yaitu dengan metode pirolisis untuk menghasilkan asap cair. Karena banyaknya tumpukan serbuk kayu bekas tidak terpakai yang terdapat di panglong kayu, maka peneliti memanfaatkan limbah tersebut untuk dikelola agar menjadi suatu yang bermanfaat melalui proses pirolisis. Biomassa kayu memiliki banyak keuntungan dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan (Rizal, dkk. 2020). Total produksi kayu hasil gergajian di Indonesia mencapai 2,58 jutameter kubik per tahunnya (Badan Pusat Statistik, 2020). Serbuk gergaji kayu adalah produk sampingan dari pabrik pengolahan kayu atau industri mebel, dari tahap pembuatan hingga pemotongan, penyeragaman ukuran, rata-rata tepi kayu dan pemangkasan kayu serta finishing. Umumnya, dalam proses pengergajian kayu menggunakan mesin gergaji sebanyak 100 kg dapat menghasilkan serbuk gergaji kayu sebanyak 12 – 25 kg (Varma et al.,

2019). Pirolisis adalah proses dekomposisi acak bahan organik yang disebabkan oleh pemanasan tanpa adanya kontak dengan udara luar. Proses dekomposisi tersebut dapat menghasilkan produk dalam bentuk padat, cair, dan gas (Nuryati, 2015). Pembakaran tidak sempurna pada biomassa padat (campuran limbah serbuk kayu) dapat mencegah senyawa karbon kompleks teroksidasi menjadi karbon dioksida. Fenomena ini dikenal dengan dekomposisi termal. Dalam proses pirolisis, energi panas mendorong reaksi oksidasi dan memecah molekul karbon yang kompleks, sebagian besar menjadi arang. Nuryati (2015) menyatakan bahwa hal tersebut dapat mencegah senyawa karbon kompleks teroksidasi menjadi karbon dioksida. Fenomena ini dikenal dengan dekomposisi termal. Dalam proses pirolisis, energi panas mendorong oksidasi dan memecah molekul karbon kompleks yang sebagian besar menjadi karbon atau arang.

Asap cair adalah larutan campuran yang terdispersi secara koloid uap dari asap pembakaran kayu dalam cairan yang berasal dari pirolisis kayu atau dibuat dari campuran senyawa murni. Pada praktiknya, hingga 75% berat biomassa (berbasis kering) akan terkonversi menjadi asap cair dan sisanya menjadi biochar (Widyawati, 2019). Selain itu, asap cair yang mengandung banyak senyawa berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan pengawet, antioksidan, desinfektan, dan biopestisida. Dalam penelitian yang dilakukan Andy (2018), asap cair yang dihasilkan ditangkap dan kemudian dikondensasikan. Proses kondensasi ini sangat bermanfaat dalam perlindungan pencemaran udara yang disebabkan oleh metode pirolisis. Produksi uap asap cair yang meningkat juga harus diimbangi dengan kapasitas kondensor agar semua uap asapterkondensasi menjadi cairan penuh. (Ridhuan, 2021). Berdasarkan dari penelitian sebelumnya yang menggunakan single kondenser menghasilkan volume yang lebih sedikit dengan konsumsi energi yang cukup banyak, oleh karena itu peneliti membuat reaktor pirolisis menggunakan kondenser ganda agar volume yang dihasilkan semakim banyak dan konsumsi energi yang sedikit sehingga kinerja reaktor menjadi lebih optimal.

METODOLOGI PENELITIAN

Preparasi Sampel (Suryaningsih dkk, 2018)

Membersihkan limbah serbuk kayu jati dan meranti. Mengeringkan sampel dibawah sinar matahari selama 1 hari (9 jam). Menimbang sampel untuk sampel yang akan digunakan. Menghaluskan semua sampel yang telah disiapkan menjadi ukuran 20 dan 60 mesh

Kadar air (SNI 01-2891-1992)

Memanaskan cawan pada suhu 105°C dan mendinginkannya di dalam desikator dan menimbang bobotnya (W₁). Memasukkan sampel sebanyak 2 gr kedalam cawan dan memanaskan sampel kedalam oven 105°C dalam waktu satu jam. Selanjutnya mendinginkan cawan di dalam desikator dan menimbanginya (W₂). Mengulangi pemanasan dan pendinginan sampai diperoleh bobot yang konstan. Menghitung kadar air dapat digunakan cara:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{(W_1 - W_2) \text{ gr}}{\text{Berat sampel (gr)}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Kadar abu (SNI 01-2891-1992)

Memanaskan cawan dengan suhu 95°C ke dalam oven, mendinginkan kedalam desikator dan menimbang sampel tersebut. Memasukkan sampel sebanyak 2 gr kedalam cawan dan sampel dipanaskan didalam tanur pada suhu 575°C selama 3-4 jam sehingga diperoleh abu. Kemudian menyimpan sampel ke dalam desikator dan menimbang sampel tersebut. Menghitung kadar abu berdasarkan bobot kering (bk) dengan rumus:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{massa abu (gr)}}{\text{massa awal sampel (gr)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Pembuatan Asap cair (Darmansyah, 2021)

Menimbang sampel limbah biomassa yang telah dihaluskan menjadi butiran-butiran. Memasukkan bahan tersebut kedalam reaktor sambil dipadatkan Menutup flang reaktor dan memastikan bahwa flang

telah tertutup rapat Mengukur suhu operasi awal sebelum reaksi Menyalakan pemanas listrik hingga suhu awal mencapai 200°C. Mencatat waktu proses, temperatur, dan volume asap cair yang dihasilkan selama percobaan. Mematikan pemanas dankontrol panel.

Analisa pH dengan pH-meter digital (SNI 06-6989.11-2004)

Mengeringkan pH-meter digital dengan tisu dan membilas elektroda dengan air suling. Kemudian membilas elektroda pada sampel yang akan dianalisa. Kemudian mulailah pengujian dengan merendam elektroda pada sampel yang akan diuji sampai pH-meter menampilkan pembacaan yang stabil. Setelah itu mencatat skala yang terbaca pada pH-meter.

Analisa densitas dengan Piknometer (SNI 01-2891-1992)

Membersihkan piknometer dan membilasnya menggunakan aseton dan dietileter. Mengeringkan piknometer lalu menimbanginya (W1). Memasukkan sampel kedalam piknometer sampai tanda yang tertera. Kemudian menutup dan memasukkan kedalam penangas yang suhunya telah diatur. Isi dalam piknometer diusahakan terendam dalam air. Selanjutnya mendiampkannya selama 30 menit. Membuka piknometer dan membersihkan leher piknometer dengan kertas saring. Mengangkat piknometer. Mendiampkan pada suhu kamar, mengeringkan dan menimbang (W2). Mengulangi langkah diatas dengan blanko air.

$$\text{Densitas } \left(\frac{\text{gr}}{\text{ml}} \right) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W - W_1)} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- W = berat piknometer dan blanko/air (gr)
- W1 = berat piknometer kosong (gr)
- W2 = berat piknometer dan sampel (gr)

Analisa Kandungan Bilangan Asam/Derajat Asam (SNI 01-2891-1992)

Menimbang sampel sebanyak 2-5 gram. Kemudian memasukkan sampel kedalam Erlenmeyer 250 ml. Selanjutnya menambahkan etanol 95% netral sebanyak 50 ml. Setelah itu menghomonenkan larutan kemudian menambahkan indikator PP sebanyak 3-5 tetes. Lalu menitrasi dengan larutan standar 0,1 N hingga berubah warna menjadi merah muda tetap (tidak berubah selama 15 detik). Mengulangi percobaan pada blanko.

$$\text{Bilangan asam} = \frac{V \times T \times \text{BM}}{G} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

- V = Volume NaOH untuk titrasi (ml)
- T = Konsentrasi NaOH (ek/ml)
- BM = Berat molekul NaOH (ek/mol)
- G = Berat sampel (gr)

Analisa Kandungan Fenol (Hapsari, 2018)

Pengukuran kandungan total fenolik asap cair dilakukan dengan metode Folin- Ciocalteau. Sebanyak 0,005 g sampel asap cair dilarutkan dalam 10 mL metanol. Menghomogenkan campuran menggunakan vortex dan menempatkan sampel diruang minim cahaya pada suhu ruang selama 5 menit. Setelah itu, menambahkan 1,5mL Na₂CO₃ 20%, 7,9 mL H₂O demineralisata, dan 0,5 mL reagen Folin-Ciocalteau ke dalam 0,1 mL larutan sampel. Menghomogenkan larutan yang dicampur menggunakan vortex dan menginkubasi pada suhu ruang selama 20 menit dalam ruangan yang gelap. Mengukur absorbansi pada panjang gelombang 765 nm dengan alat spektrofotometer sinar nampak. Mengulangi percobaan pada larutan standar dan blanko. Asam galat yang digunakan pada standar yaitu 20, 40, 60, 80, 100, dan 500 ppm.

$$\text{Fenol total} = X \cdot \frac{V}{m} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- X = Konsentrasi (mg/mL)
- V = Volume sampel (mL)
- m = Massa sampel (gr)

HASIL DAN PEMBAHASAN

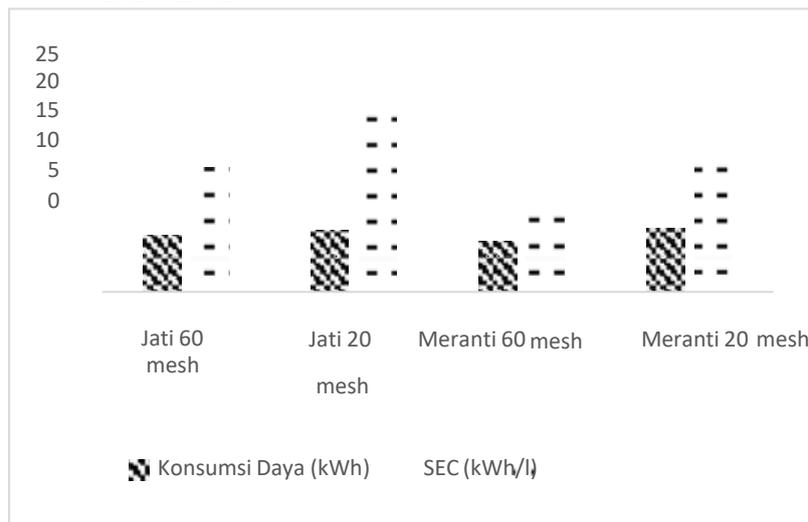
Hasil penelitian pada analisa asap cair dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana kinerja alat pirolisator kondensor ganda untuk menghasilkan asap cair yang memiliki kualitas yang berbeda, konsumsi energi yang digunakan, dan karakteristik serta komposisi asap cair yang dihasilkan sesuai dengan standar yang digunakan.

a. Analisa Konsumsi Energi

Tabel 1. Konsumsi Energi

Jenis Sampel	Lolos Ukuran Sampel (mesh)	Total Produk (liter)	Waktu Proses (jam)	Daya (watt)		Pompa	Total Daya (Watt)	Konsumsi Daya (kWh)	SEC
				Ceramic Heater	Band Heater				(kWh/l)
Kayu Jati	60	0,455	4,53	495	795	22	1312	5,94	13,08
	20	0,325	4,92	493	794	22	1309	6,44	19,85
Kayu Meranti	60	0,581	4,02	495	796	22	1313	5,28	9,08
	20	0,451	5,10	492	793	22	1307	6,67	14,78

Pada bahan baku serbuk jati 20 mesh dan 60 mesh memiliki total konsumsi daya 6,44 kWh dan 5,94 kWh, konsumsi energi yang dihasilkan sebesar 19,85 kWh/l dan 13,08 kWh/l. Kemudian pada bahan baku serbuk meranti 20 mesh dan 60 mesh total konsumsi daya yang digunakan 6,67 kWh dan 5,28 kWh, sehingga konsumsi energi yang diperlukan sebesar 14,78 kWh/l dan 9,08 kWh/l.



Gambar 1. Grafik Konsumsi Energi

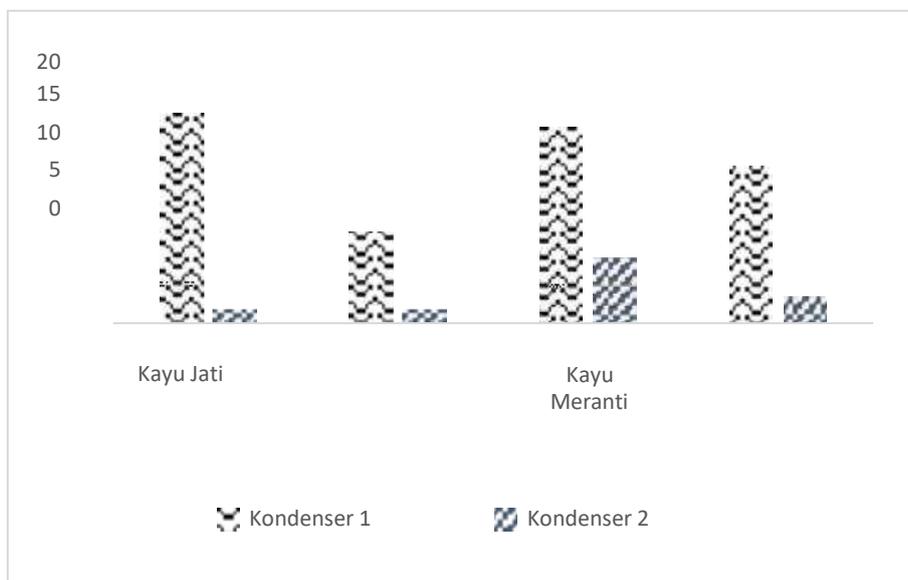
Dari gambar 1 diatas dapat dilihat bahwa penggunaan daya yang optimal berada pada bahan baku meranti 60 mesh dengan total konsumsi daya 5,28 kWh dan nilai konsumsi energi yang dihasilkan 9,08 kWh/l dan menghasilkan produk yang paling banyak diantara produk dengan bahan baku yang lain yaitu 0,581 liter dengan waktu proses selama 4,02 jam. Untuk mencapai keadaan yang optimal menurut rumus dari Lawrence (2019) menyatakan bahwa konsumsi energi yang baik dipengaruhi oleh waktu yang mana semakin lama waktu proses maka semakin banyak energi yang dibutuhkan. Hal ini dikarenakan semakin kecil konsumsi daya yang digunakan dan menghasilkan produk yang semakin besar maka nilai konsumsi energi semakin kecil (Lawrence, 2019). Menurut Pranolo (2019) yang mengatakan bahwa rasiojumlah energi yang dikonsumsi untuk menghasilkan satu unit produk disebut energi spesifik. Proses yang hemat energi adalah proses dengan energi spesifik rendah dan sebaliknya proses boros adalah proses dengan energi spesifik yang tinggi. Dengan rendahnya nilai total konsumsidaya dan konsumsi energi ini menunjukkan bahwa kinerja reaktor pirolisis kondensor ganda masih

bekerja dengan baik selama proses pengamatan berlangsung.

b. Analisa Rendemen Produk

Tabel 2. Rendemen Produk

Jenis Sampel	Lolos Ukuran Sampel (mesh)	Massa Awal (gr)	Massa (gr)		% Rendemen	
			Kondenser 1	Kondenser 2	Kondenser 1	Kondenser 2
Kayu Jati	60	1500	240,96	22,35	16	1
	20	1500	99,90	19,95	7	1
Kayu Meranti	60	1500	221,80	78,20	15	5
	20	1500	176,25	34,04	12	2



Gambar 2. Grafik Rendemen Asap Cair

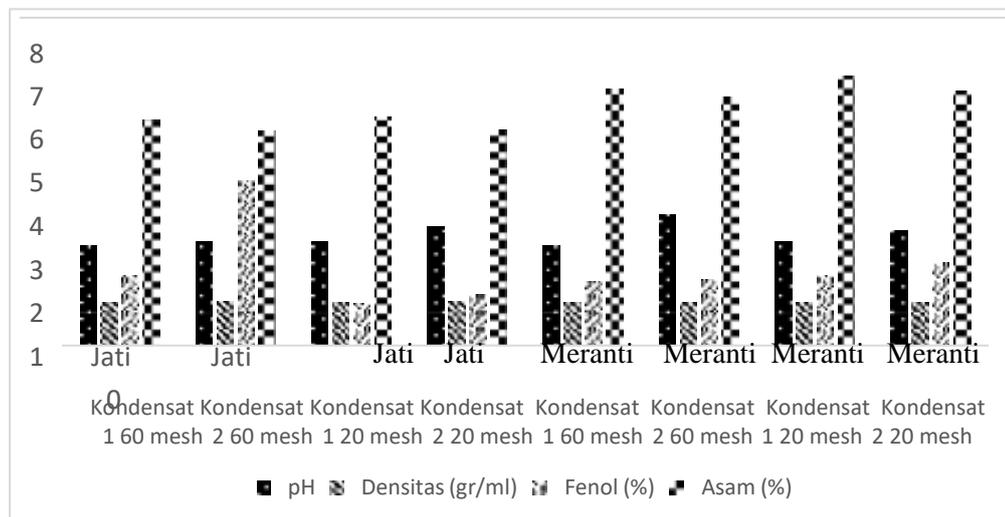
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa % rendemen asap cair memiliki nilai yang bervariasi berdasarkan jenis dan ukuran bahan baku. Hal ini menurut Kan dkk (2015), salah satu parameter yang memengaruhi proses pirolisis biomassa adalah bahan baku (ukuran partikel, jenis biomassa yang digunakan dan *pretreatment* bahan baku). Dari hasil penelitian yang dilakukan, serbuk kayu jati kondenser 1 untuk ukuran 20 dan 60 mesh menghasilkan % rendemen 7% dan 16%. Lalu untuk kondenser 2, %rendemennya masing-masing bernilai 1% Sedangkan, serbuk kayu meranti kondenser 1 untuk ukuran 20 dan 60 mesh menghasilkan rendemen 12% dan 15%. Lalu untuk kondenser 2, %rendemennya 2% dan 5%. Pada suhu pemanasan 325°C, terjadi peleburan selulosa pada suhu 100-250°C dan hemiselulosa pada suhu 250-350°C (Bardalaidkk, 2018). Rendemen asap cair yang paling tinggi dihasilkan oleh kayu jati 60 mesh pada kondenser 1 dibandingkan dengan bahan baku yang lainnya yaitu 16%. Hal ini dikarenakan serbuk kayu jati mengandung lebih banyak hemiselulosa dan kandungan selulosa yang cukup tinggi. Menurut dari penelitian Gupta dkk (2019) dimana %rendemen asap cair akan menurun seiring dengan meningkatnya ukuran sampel. Peningkatan asap cair ini dikarenakan semakin kecil ukuran bahan baku, luas permukaan bahan per satuan massa maka akan mempercepat perambatan panas keseluruhan umpan yang akan menghasilkan tingginya %rendemen produk cair (Arumsari dkk, 2021).

c. Analisa Sifat Fisik dan Kimia Asap Cair

Tabel 3. Sifat Fisik dan Kimia Asap Cair

Jenis Sampel	Lolos Ukuran (mesh)	Kondensat	pH	Densitas (gr/ml)	Fenol (%)	Asam (%)	Keterangan
Jati	60	1	2,6	1,127	1,82	5,86	MS
		2	2,7	1,146	4,28	5,58	Fenol AS
	20	1	2,7	1,110	1,09	5,95	MS
		2	3,1	1,140	1,34	5,61	pH AS
Meranti	60	1	2,6	1,109	1,66	6,67	MS
		2	3,4	1,114	1,70	6,46	pH AS
	20	1	2,7	1,112	1,82	7,02	MS
		2	3	1,116	2,17	6,63	MS

Keterangan : AS : Diatas Standar, BS : Dibawah Standar, MS : Memenuhi Standar



Gambar 3. Grafik Sifat Fisik dan Kimia Asap Cair

Nilai pH dapat dijadikan salah satu parameter kunci yang menentukan kualitas cairan dari asap yang dihasilkan pada proses pirolisis. Mengukur nilai pH asap cair dimaksudkan untuk mengetahui tingkat keasaman asap cair hasil proses pirolisis. Dapat dilihat grafik pada Gambar 3 diatas bahwa nilai pH asap cair yang didapat berbeda-beda sesuai dengan jenis bahan baku yang digunakan. Nilai pH diukur dengan pH meter digital. Menurut Fagemas (1995), asap cair bersifat asam memiliki pH yang rendah dengan rentang 2,6 sampai 3,4. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat grafik pada Gambar 3 diatas bahwa nilai pH yang apabila disandingkan dengan karakteristik pH asap cair pada ASTM D7544 maka semua nilai pH memenuhstandar yaitu sebesar 2-3. Nilai pH asap cair yang rendah menunjukkan bahwa asap cair memiliki kualitas yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan menjadi pengawet yang dapat memiliki daya simpan produk yang tinggi (Suryani, 2020).

Densitas adalah salah satu sifat fisik pengujian terhadap kestabilan dari asap cair. Densitas merupakan pengukuran rasio antara berat suatu sampel setiap satuan volume. Pada tabel 3 menunjukkan bahwa nilai densitas yang dihasilkan memenuhi Standar Sifat Fisik ASTM D7544 yang memiliki nilai rentang 1,1-1,3 gr/ml yang ditunjukkan dari grafik pada Gambar 3.

Nilai bobot jenis atau densitas ini dipengaruhi oleh kadar air pada umpan, yaitu serbuk gergaji kayu (Arumsari, 2021). Karena sifat asap, kepadatan tidak berhubungan langsung dengan kualitas asap. Namun, ini menunjukkan jumlah komponen asap cair. (Handayani, 2022). Apabila dilihat dari grafik pada Gambar 3 maka nilai densitas fasa 1 lebih rendah daripada fasa 2 pada semua bahan baku. Hal ini dikarenakan, seiring lamanya waktu maka ikatan rantai hidrokarbon yang semakin mengecil, sehingga membuat densitas akan semakin menurun (Arumsari, 2021).

Fenol adalah salah satu senyawa organik utama yang ditemukan dalam asap cair, bersamadengan dua senyawa utama lainnya: asam dan karbonil. Dari hasil penelitian yang dilakukan, berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 3 kadar fenol terbanyak dihasilkan oleh serbuk kayu jati 60 mesh pada kondensor 2 yaitu 4,28%. Hal ini dikarenakan biomassa serbuk kayu jati memiliki kandungan seperti lignin yang terdekomposisi akan menghasilkan senyawa-senyawa fenolik (Sahrum dkk, 2021). Dari hasil penelitian yang telah dilakukan apabila disandingkan dengan jurnal Maulina (2018) maka sebagian besar nilai kadar fenol yang didapatkan memenuhi nilai yang telah diteliti yaitu 0,2- 2,9%. Namun, terdapat nilai yang diatas rentang yaitu jati 60 mesh dengan 4,28%. Hal ini karena kandungan lignin yang terkandung lebih banyak salah satunya dipengaruhi semakin tinggi temperatur dan lama waktu pirolisis maka fenol yang terkandung akan semakin meningkat (Aziz, 2011).

Keasaman merupakan sifat kimia yang dapat menentukan bagaimana kualitas asap yang dihasilkan. Asam asetat merupakan salah satu asam organik yang berperan penting dalam pemanfaatan asap. Asam asetat yang dihasilkan terbentuk dari lignin dan komponen karbohidrat selulosa (Sutin, 2008). Dari hasil penelitian yang dilakukan, berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada gambar 3 kadar asam terbanyak dihasilkan oleh serbuk meranti 20 mesh pada kondensor 1 yaitu 7,02%. Hal ini disebabkan karena serbuk meranti memiliki kandungan seperti hemiselulosa dan kandungan selulosa yang akan menghasilkan beberapa senyawa asam organik dari proses dekomposisi (Sahrum dkk, 2021). Dari penelitian yang telah dilakukan ini dapat dilihat hasilnya apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Maulina (2018) maka semua nilai asam yang didapatkan memenuhi standar yaitu sebesar 2,8 – 9,5%. Perbedaan keasaman ini disebabkan oleh kandungan asam organik yang dihasilkan oleh kandungan hemiselulosa dan selulosa yang terdekomposisi dan mengalami proses pirolisis pada suhu pembakaran di bawah 300°C (Ridhuan, 2019).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa konsumsi energi yang dihasilkan menunjukkan bahwa kinerja pirolisator kondensor ganda selama proses pengamatan berlangsung memiliki nilai yang paling optimal pada bahan baku meranti 60 mesh sebesar 9,08 kWh/l yang memiliki total konsumsi daya rendah dan menghasilkan produk yang paling banyak yaitu 581 ml. Rendemen yang dihasilkan dari proses pirolisis dengan pirolisator kondensor ganda ini memiliki rentang nilai 1-16% yang mana hasil ini lebih besar dari penelitian sebelumnya dilakukan oleh Ridhuan, dkk (2019) yaitu proses pirolisis dengan reaktor pirolisis *single* kondenser yang menghasilkan rendemen dengan rentang nilai 3-6%. Berdasarkan analisa didapatkan kualitas produk asap cair dari masing-masing bahan baku yang memiliki kualitas uji memenuhi standar ASTM D7544 semuanya berada pada hasil kondenser 1.

DAFTAR PUSTAKA

Andy, Yusuf K. 2018. Simulasi Suhu Output Dan Kalor Aliran Fluida Pirolisator Tempurung Kelapa Dengan Variasi Debit Air Pendingin Kondensor Menggunakan Computational Fluid Dynamics. Skripsi thesis : Universitas Wahid Hasyim Semarang.

- Arumsari, A., & Sa'diyah, K. (2021). Pengaruh Jenis Kayu Terhadap Kualitas Asap Cair. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 104–111.
- ASTM D 7544-12. (2015). Standard Specification for Pyrolysis Liquid Biofuel. ASTM Standards.
- Aziz, T., dkk. (2011). Pemanfaatan Tempurung Kelapa dan Tempurung Sawit untuk Pembuatan Asap Cair sebagai Penghilang Bau pada Lateks dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(8), 41–48.
- Bardalai, M., & Mahanta, D. K. (2018). *Characterisation of pyrolysis oil derived from teak tree saw dust and rice husk. Journal of Engineering Science and Technology*, 13(1), 242–253.
- Darmansyah., dkk. (2021). Pengaruh Ukuran Serbuk dan Kekerasan Kayu Terhadap Kualitas Syngas dari Pirolisis Biomasa. *Jurnal Syntax Admiration* 2(4),
- Fagemas, L. (1995). *Chemical and physical characterisation of biomass-based pyrolysis oils*.
- Gupta, G. K., & Mondal, M. K. (2019). *Experimental process parameters optimization and in-depth product characterizations for teak sawdust pyrolysis. Waste Management*, 87,499–511.
- Handayani, I., Sa'diyah Jurusan, K., Kimia, T., Malang, N., Soekarno, J., & No, H. (2022). Pengaruh Waktu Pirolisis Serbuk Gergaji Kayu Terhadap Hasil Asap Cair. *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 28–35.
- Hapsari, A. M., dkk (2018). Pengujian Kandungan Total Fenol Ekstrak Etanol Tempuyung (*Shoncus arvensis* L.). *Talenta Conference Series: Tropical Medicine (TM)*, 1(1), 284–290.
- Kan, T., Strezov, V. and Evans, T.J. (2015). *Lignocellulosic Biomass Pyrolysis: A Review and Effects of Pyrolysis Parameters. Renewable and Sustainable Review*, 57: 1126-1140
- Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M., & Karlsson, M. (2019). *Specific energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences. Energies*, 12(2)
- Maulina, S., Nurthara, Fakhradila. 2018. *Pirolisis Pelelepah Kelapa Sawit Untuk Menghasilkan Fenol Pada Asap Cair*. *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol.7, No.2
- Nuryati, Jaka, D. J., dan Meldayanoor., 2015. Perancangan dan Aplikasi Alat Pirolisis Untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, Vol. 2, No. 1
- Pranolo, S. H., Muzayanha, S. U., Yudha, C. S., Hasanah, L. M., & Shohih, E. N. (2018). *Kajian Konsumsi Energi Spesifik Sektor Industri Kimia Di Indonesia Sebagai Acuan Efisiensi Energi*.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., & Firmansyah, F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(1), 18–27.
- Rizal, W. A., Ria, S., Satriyo, K. W., dkk., Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Campuran: Parameter Proses dan Analisis Produk Asap Cair. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. Vol.14, No. 2
- Sahrurn, R. P. dkk (2021). "Uji Kualitas Asap Cair Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji Kayu Metode Pirolisis". *SAINTIS*, Vol. 2. No. 2.
- SNI 01-2891. (1992). Cara Uji Makanan dan Minuman. Standar Nasional Indonesia.
- SNI 06.6989. (2004). Air dan Air Limbah-Cara Uji Derajat Keasaman (pH) dengan Menggunakan Alat pH Meter. Standar Nasional Indonesia.
- Suryani, R. dkk (2022). "Karakteristik dan Aktivitas Antibakteri Asap Cair dari Biomassa Kayu Putih (*Melaleuca Leucadendra*) dan Kayu Jati (*Tectona Grandis*)". *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 21 No. 2 hal.106-117.

- Suryaningsih, S. (2018). Pengaruh Ukuran Butir Briket Campuran Sekam Padi dengan Serbuk Kayu Jati terhadap Emisi Karbon Monoksida (CO) dan Laju Pembakaran. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(1), 15–21.
- Sutin. (2008). “Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Dan Sabut Kelapa Secara Pirolisis Serta Fraksinasinya Dengan Ekstraksi”. Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Varma, A. K., L. S. Thakur, R. Shankar, and P. Mondal. 2019. Pyrolysis of wood sawdust: Effects of process parameters on products yield and characterization of products’, *Waste Management* (89):224–235
- Wijayanti W., Mega, N. S., Christia, M., dan Yulianti, L., 2013. Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Perkotaan Sebagai Penghasil Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(2), 85-92.