

Study of Prototype Making of Liquid Smoke Production Equipment From Tree Trunk Waste and Used Wood

[Studi Pembuatan Prototype Alat Produksi Asap Cair Dari Limbah Batang Pohon Dan Kayu Bekas]

Rifky Umar Bachtiar¹⁾, Prantasi Harmitjahjanti^{*2)}

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: prantasiharmitjahjanti@umsida.ac.id

Abstract. *The use of natural waste such as tree trunks, used wood and corn cobs is very important in reducing waste and supporting sustainability. This community service activity uses waste tree trunks and used wood as raw materials to make a prototype liquid smoke production tool. The process begins with tool design, followed by manufacturing components such as the pyrolysis reactor, connecting pipes, condenser, storage container, and gas exhaust hose. Equipment testing includes effective capacity, temperature rise rate, combustion test, yield test, weight of residual charcoal from combustion, and temperature rise rate during distillation. The results show that the average effective capacity of the tool is 0.5 L/hour, with a yield of 35.34%. The highest liquid smoke yield was 1.9 L in the third experiment, and the lowest was 1.65 L in the second experiment. The density of liquid smoke is 1.01 Kg/L. This tool produces a total of 4.3 Kg of charcoal residue from three trials, and 400 mL of distilled liquid smoke from 1000 mL in 80 minutes.*

Keywords - Apparatus for Producing Liquid Smoke; Used Wood Waste; Tree Trunk Waste; Pyrolysis; Distillation

Abstrak. *Penggunaan limbah alam seperti batang pohon, kayu bekas, dan bonggol jagung sangat penting dalam mengurangi limbah dan mendukung keberlanjutan. Kegiatan pengabdian masyarakat ini memanfaatkan limbah batang pohon dan kayu bekas sebagai bahan baku untuk membuat alat prototipe produksi asap cair. Proses dimulai dengan desain alat, diikuti oleh pembuatan komponen seperti reaktor pirolisis, pipa penghubung, kondensor, wadah penampung, dan selang pembuangan gas. Pengujian alat meliputi kapasitas efektif, laju kenaikan suhu, uji pembakaran, uji rendemen, berat arang sisa pembakaran, dan laju kenaikan suhu saat destilasi. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas efektif rata-rata alat adalah 0,5 L/jam, dengan rendemen 35,34%. Hasil asap cair tertinggi adalah 1,9 L pada percobaan ketiga, dan terendah 1,65 L pada percobaan kedua. Massa jenis asap cair adalah 1,01 Kg/L. Alat ini menghasilkan residu arang total sebanyak 4,3 Kg dari tiga kali percobaan, dan asap cair terdestilasi sebanyak 400 mL dari 1000 mL dalam 80 menit.*

Kata Kunci - Alat Produksi Asap Cair; Limbah Batang Pohon; Limbah Kayu Bekas; Pirolisis; Destilasi

I. PENDAHULUAN

Limbah industri furnitur dan hutan biasanya tidak dikelola dengan baik[1]. Misalnya, limbah kayu dari sektor furnitur kerajinan hanya berakhir di tempat penumpukan jika tidak dibakar, mereka diangkut oleh truk sampah kota dan dikumpulkan di tempat pemusnahan sampah tujuan[2]. [3]Persyaratan industri yang berkelanjutan dan metode produksi yang bersih dan ramah lingkungan tidak terpenuhi oleh metode pembakaran dan penyimpanan limbah kayu (lignoselulosis).

Pembakaran limbah lignoselulosis telah mengakibatkan emisi CO₂ yang lebih tinggi, yang memperburuk pemanasan global[4]. [5]Sampah kayu dapat diubah menjadi bioenergi menggunakan teknologi pyrolysis. Suhu dan durasi proses pirolisis, kandungan air bahan, dan komposisi hasil yang bervariasi dari berbagai jenis limbah kayu semuanya memberi pengaruh produk bioenergi yang dicapai[6]. [7]Untuk memaksimalkan produksi produk dan menghilangkan residu reaksi, suhu dan durasi pirolisis harus ditentukan dengan tepat. Tingkat air yang tinggi mengubah suhu yang ideal untuk pemecahan limbah kayu, dan prosesnya akan memakan waktu lebih lama jika material memiliki kandungan air tinggi. Tingkat air yang kecil peluang terbakar lebih mudah dan lebih cepat daripada air yang tinggi[8]. [9]Tujuan penelitian ini adalah untuk memastikan bagaimana wujud dan keadaan fisik limbah kayu mempengaruhi jumlah dan kondisi asap cair.

[10]Asap cair adalah produk dari kondensasi atau pendinginan dari uap yang dihasilkan dari proses pengarangan, yang terjadi secara langsung maupun tidak langsung, dari material yang mencakup kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa, dan juga senyawa karbon lainnya. Material utama yang digunakan untuk menghasilkan asap cair diantaranya berbagai jenis kayu, bonggol jagung, bongkol kelapa sawit, tempurung kelapa, cangkang kemiri, sekam

padi, ampas tebu, serbuk gergaji kayu, dan sejenisnya[11]. Proses pembakaran dan kondensasi ini menghasilkan asap cair yang kemudian dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti makanan, farmasi, dan kimia[12].

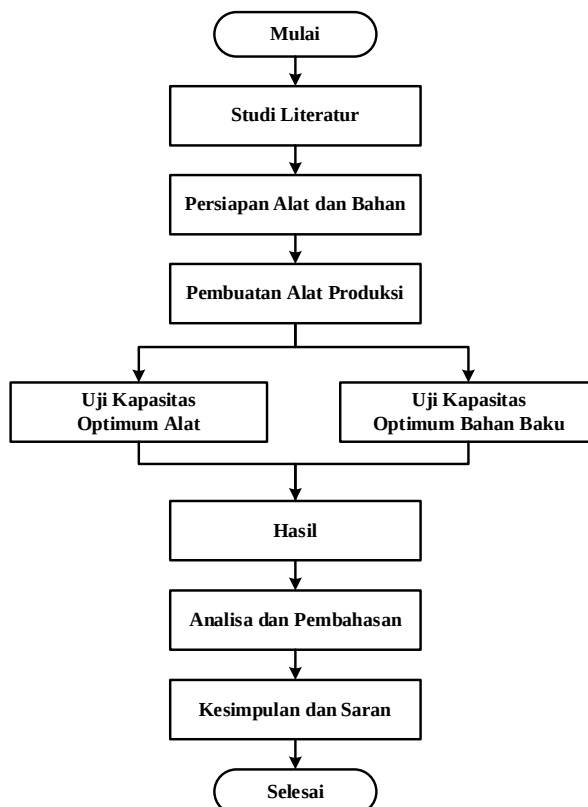
Asap cair hasil dari proses karbonisasi atau pembakaran bahan yang mengandung lignoselulosa dengan udara terbatas, yang dikenal sebagai pirolisis[13]. Proses pirolisis merupakan proses terjadinya pemanasan bahan baku didalam reaktor yang menyebabkan terbentuknya asap dan melewati media pendingin sehingga berubah fase menjadi cair atau disebut sebagai asap cair[14]. Selama proses pirolisis, bahan tersebut dikenai panas yang menyebabkan berbagai reaksi, termasuk dekomposisi bahan-bahan organik, polimerisasi, dan kondensasi asap yang dihasilkan. Akibatnya, asap tersebut berubah menjadi bentuk cairan yang dikenal sebagai asap cair[15]. [16]Proses ini digunakan dalam industri untuk menghasilkan asap cair yang dapat memiliki berbagai aplikasi, tergantung pada komposisi dan sifatnya. [17]Asap cair bermanfaat sebagai pestisida penyemprotan buah dan sayuran, [18]bahan pengawet alami pangan seperti ikan segar, daging, mie basah, bakso, tahu, tempe, serta penghilang bau busuk pada kadang dan pemanfaatan karet[19].

Mengingat hal-hal di atas, penulis memutuskan untuk mengambil inisiatif membuat inovasi suatu alat untuk menciptakan asap cair dari limbah batang pohon dan kayu bekas mebel yang sudah tidak terpakai. Konstruksi cukup ringkas dengan demikian pengguna pemula tidak memerlukan pengetahuan atau pelatihan khusus. Perangkat ini, yang dikenal sebagai perangkat pirolisis, menggabungkan bahan pada suhu tinggi dan oksigen minimal dalam proses yang disebut pembakaran pirolisis. Hasil dari pembakaran pirolisis akan berbentuk asap yang dikondensasi melalui kondensator menjadi cairan, cairan akan dipanaskan lagi sampai titik didih tinggi menggunakan alat destilasi sehingga keluar cairan asap cair yang bisa dimanfaatkan sebagai pengawet makanan[20].

II. METODE

A. Flowchart Penelitian

Diagram alur ini dibuat guna penelitian ini sesuai tahapan serta menghindari kerancuan pada saat melakukan penelitian. Oleh karenanya dibuat sebuah diagram alur pada penelitian “Studi Pembuatan *Prototype* Alat Produksi Asap Cair Dari Limbah Batang Pohon Dan Kayu Bekas”. Berikut *Flowchart* yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

B. Studi Literatur

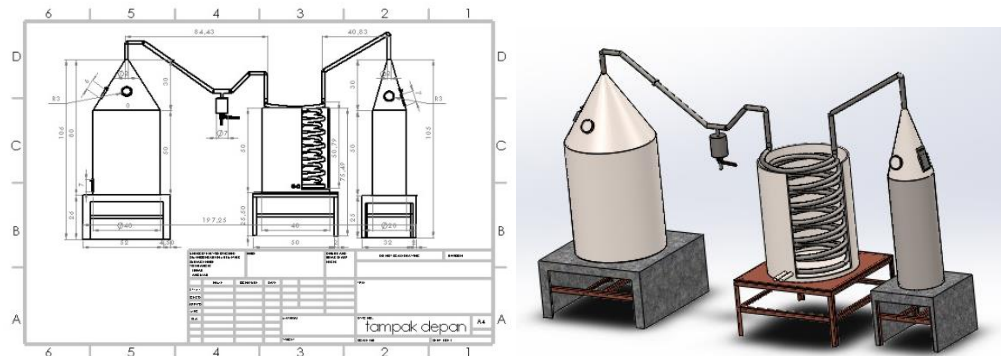
Proses pemahaman referensi mengenai materi-materi yang bersangkutan dengan perancangan alat produksi asap cair dan limbah batang pohon dan kayu bekas mebel sebagai upaya dalam mengumpulkan informasi atau data melalui sumber informasi seperti jurnal dan buku yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

C. Persiapan Alat Dan Bahan

Dalam hal ini bahan yang digunakan adalah air, ranting pohon kering, potongan kayu sisa mebel dan serbuk gergaji, perkakas baja, plat besi, gelas ukur, burner, pipa stainless, termometer, selang, pipa besi, botol plastik, es batu balok, baut, mur. Selanjutnya alat yang dipergunakan dalam pengujian ini adalah alat tulis, gergaji besi, kunci pas, gerinda, palu, mesin las, dan mesin bor.

D. Desain Alat

Pada saat proses pembuatan alat diperlukan desain untuk konsep benda kerja dengan tujuan agar perancangan alat dapat membuat alat dengan mudah untuk menjalankan pekerjaan yang dilakukan perancang.



Gambar 2. Desain Alat 2D dan Hasil Alat 3D

E. Komponen Alat

Berikut komponen utama alat sebagai berikut

- Tabung Pirolisis.
- Thermometer Analog.
- Pipa Penghubung.
- Tabung Endapan.
- Kondensor yang didalamnya pipa spiral dan pipa keluaran asap.
- Tabung Destilasi.

F. Prosedur Pengujian Alat

Bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, material berupa ranting pohon kering dan potongan kayu sisa mebel/serbuk gergaji sebanyak per 5 kg dengan perbandingan 50:50. Dialirkan air kedalam drum kondensor dengan menggunakan pompa sentrifugal sebanyak 150 L. Dihidupkan burner atau kompor gas. Pembakaran dilakukan dengan cara pirolisis terhadap bahan yang terdapat dalam reaktor pirolisis. Dilakukan proses pembakaran sampai suhu 400°C. Kemudian hasil dari proses pengembunan asap cair ditampung pada wadah penampung. Pengendapan asap cair dilakukan agar fraksi berat yang tercampur dapat terpisah dari asap cair. Dilakukan pengukuran volume asap cair yang dihasilkan per satuan berat bahan yang dimasukkan kedalam reaktor. Dilakukan pengamatan parameter.

G. Analisa Dan Pembahasan

Hasil pengujian diatas meliputi uji kapasitas efektif alat dan perhitungan rendemen dimana uji kapasitas efektif alat dilakukan dengan cara menghitung banyaknya asap cair yang didapatkan (liter) per satuan waktu yang dibutuhkan selama proses pembakaran (jam).

$$KA = \frac{Vol}{T}$$

dimana :

KA = Kapasitas efektif alat (Liter/jam)

Vol = Volume asap cair yang dihasilkan (Liter)

T = Waktu proses pembakaran (jam)

Dan perhitungan rendemen ialah persentase dari jumlah asap cair yang didapatkan pada proses pirolisis yang didapatkan dengan cara membandingkan hasil akhir produk (asap cair) yang diperoleh per berat bahan baku

$$\frac{BN}{BB} \times 100\%$$

dimana :

BN = Berat asap cair yang dihasilkan tiap satuan berat bahan yang diolah (kg)

BB = Berat bahan olahan (kg)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan Prototype Alat Produksi Asap Cair

Kajian pembuatan dan pengujian *prototype* alat produksi asap cair dari limbah batang pohon dan kayu bekas dilakukan untuk mencari nilai kapasitas efektif alat dalam memproduksi asap cair tersebut.



Gambar 3. Hasil Pembuatan prototype alat produksi asap cair

Berikut adalah komponen dan sistem kerjanya yang ada pada *prototype* alat produksi asap cair.

1. Tabung Pirolisis sebagai tempat pembakaran bahan baku berupa batang pohon dan kayu bekas.
2. Thermometer Analog untuk mengetahui suhu pembakaran yang terjadi di dalam pirolisis.
3. Pipa Penghubung berfungsi sebagai tempat aliran uap asap pembakaran.
4. Tabung Endapan untuk menampung fraksi berat seperti tar, abu, pasir yang terbawa pada saat pembakaran melalui pipa penghubung.
5. Kondensor ini berfungsi sebagai pendinginan uap asap yang didalamnya terdapat pipa spiral dan pipa keluaran asap yang telah mencair.
6. Tabung Destilasi berfungsi untuk menampung hasil asap cair dari pembakaran pirolisis kemudian di uapkan lagi menjadi asap cair murni bebas tar.

B. Cara Kerja Alat

Mekanisme kerja *Prototype* Alat Produksi Asap Cair Dari Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas ditunjukkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. Mekanisme Kerja Alat

Pertama siapkan bahan baku kayu dan ranting pohon yang sudah dikeringkan kemudian timbang dulu bahan baku yang akan dibakar. Setelah itu masukan bahan baku kedalam tabung pirolisis. Pasang kompor pada bagian bawah pirolisis kemudian hidupkan dan mulai pembakaran bahan baku. Selanjutnya isi air pada tabung kondensor untuk mendinginkan uap asap di dalam pipa spiral. Kemudian tunggu hingga asap mengalami proses kondensasi keluar bersama tetesan cairan dan amati thermometer pada tabung pirolisis. Setelah thermometer mununjukkan batas derajat

yang diinginkan, matikan kompor biarkan cairan keluar pada pipa keluaran tampaung diwadah sementara dan tunggu hingga tetesan cairan sampai berhenti keluar.

C. Hasil Pengujian Alat



Gambar 5. Hasil Pembakaran Pirolisis

Dari gambar diatas diperoleh asap cair hasil dari pembakaran pirolisis bahan baku masing-masing 5 Kg dan hasil yang didapat rata-rata 1,75 Liter dalam waktu 3 jam



Gambar 6. Hasil Pemurnian Destilasi

Dari proses destilasi meghasilkan asap cair yang terdestilasi sebesar 400mL selama 80menit dari 1000mL yang dimasukkan kedalam tabung destilasi



Gambar 7. Sisa Hasil Pembakaran

Sisa pembakaran pirolisis dengan menggunakan alat pirolisis menghasilkan residu (karbon) atau arang total sebanyak 4,3 Kg dari 3 kali percobaan.

D. Hasil Pengujian Performa Alat

Pengujian peforma dilakukan untuk mengetahui peforma dari alat produksi asap cair yang sudah dibuat. Pengujian peforma dari alat produksi asap cair ini meliputi uji kapasitas efektif dari alat dan rendemen

- Kapasitas efektif alat

Uji kapasitas efektif alat produksi asap cair ini dilakukan pengukuran dengan cara membagi jumlah volume asap cair yang dihasilkan alat pirolisis terhadap waktu selama proses pengoperasian alat. Berikut adalah data laju kenaikan suhu pada saat proses pirolisis

Tabel 1. Data Laju Kenaikan Suhu Pada Saat Proses Pirolisis

Suhu (°C)	Waktu Kenaikan Suhu (menit)								
	30°C	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C
5 Kg	8	12	23	33	58	93	155	173	182
5 Kg	8	13	22	35	57	93	160	175	181
5 Kg	8	12	20	32	57	90	155	168	178
Rataan	8	12,3	21,6	33,3	57,3	92	156,6	172	180,3

Selama proses pirolisis berlangsung dapat kita ketahui laju kenaikan dari suhu saat proses pirolisis terjadi. Dari data di atas bisa dilihat bahwa proses pirolisis memerlukan waktu rata-rata 180,3 menit untuk mencapai suhu 400°C. Pada proses ini, asap cair pertama dihasilkan pada suhu 110°C dengan waktu pemanasan 26 menit.

Tabel 2. Data Hasil Pembakaran dengan Proses Pirolisis

Percobaan (Kg)	5	5	5	Rataan
Volume (L)	1,7	1,65	1,9	1,75
Lama Pembakaran (jam)	3	3	3	3

Proses pembakaran bahan baku menggunakan alat pirolisis pada penelitian ini dilakukan selama 3 jam. Asap cair tidak dihasilkan pada menit pertama pembakaran, hal ini dikarenakan memerlukan waktu untuk menghasilkan asap pada saat proses pembakaran. Cairan kondensat asap cair akan mulai keluar melalui kondensator secara perlahan setelah terjadi proses kondensasi. Proses pirolisis dikatakan selesai jika asap cair tidak dihasilkan pada proses pirolisis. Pada penelitian yang telah dilakukan ini diperoleh asap cair dengan 3 kali proses percobaan : pada percobaan 1 sebanyak 1,7 liter, percobaan 2 sebanyak 1,65 liter, dan percobaan 3 sebanyak 1,9 liter. Sehingga diperoleh volume rata-rata asap cair yang dihasilkan sebanyak 1,75 liter dengan lama pembakaran selama 3 jam bisa dilihat pada **Tabel 2**.

Kapasitas efektif suatu alat ditunjukkan dengan produktifitas alat selama proses pengoperasian per satuan waktu. Dalam hal ini kapasitas efektif alat diukur dengan membagi jumlah volume asap cair yang dihasilkan terhadap waktu yang dibutuhkan selama proses pengoperasian alat. Berdasarkan **Tabel 2**, diperoleh kapasitas efektif alat pirolisis ini sebesar 0,5 L/jam dari perhitungan berikut ini.

$$KA = \frac{\text{Volume Asap Cair (L)}}{\text{waktu (jam)}}$$

$$KA = \frac{1,75 \text{ L}}{3 \text{ jam}}$$

$$KA = 0,5 \text{ L/jam}$$

Sedangkan alat pirolisis yang ada dipasaran tidak menyebutkan nilai kapasitas efektif alatnya, sehingga tidak dapat menjadi pembanding dengan alat pirolisis kali ini.

- Rendemen

Perhitungan ini dilakukan guna mengetahui seberapa besar rendemen yang dihasilkan oleh alat ini pada saat memproduksi asap cair tiap satuan banyak bahan yang diolah.

Tabel 3. Data Berat Asap Cair yang dihasilkan

Percobaan (Kg)	Berat Asap Cair yang dihasilkan (Kg)
5	1,717
5	1,665
5	1,919
Rataan	1,767

Berdasarkan data di atas, didapat rendemen sebanyak 35,34 %, yakni dengan membagi berat rata-rata asap cair sebesar 1,767 Kg dengan berat bahan baku yakni sebesar 5 Kg dikalikan dengan 100%.

$$Rend = \frac{\text{Berat Asap Cair yang Dihasilkan}}{\text{Berat Bahan yang Digunakan}} \times 100\%$$

$$Rend = \frac{1,767 \text{ Kg}}{5 \text{ Kg}} \times 100\%$$

$$Rend = 35,34\%$$

Sedangkan arang residu (karbon) yang didapat dari sisa pembakaran pada percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Data Berat Arang dari Sisa Pembakaran

Percobaan (Kg)	Berat Arang yang dihasilkan (Kg)
5	1,4
5	1,6
5	1,3
Rataan	1,43

Hasil kondensasi berupa asap cair dari limbah batang pohon dan kayu bekas ditampung, diendapkan, disaring kemudian didestilasi. Pengujian proses destilasi dimulai dengan memasukkan cairan asap cair dengan jumlah 1000mL, dididihkan sampai dengan batas 120°C, kemudian amati laju suhu pada tabung destilasi.

Tabel 5. Data Laju Kenaikan Suhu Pada Saat Proses Destilasi

Suhu (°C)	Waktu Kenaikan Suhu (menit)									
	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C
1000 mL	3	7	10	16	23	30	45	73	-	-

Selama proses ini berlangsung dapat diketahui laju kenaikan suhu pada proses destilasi berlangsung. Berdasarkan hasil pengamatan laju suhu pada proses destilasi tidak mencapai suhu 120°C, hanya mencapai suhu 105°C dengan waktu 80 menit hal ini dimana senyawa atau unsur yang terkandung pada asap cair menguap terlebih dahulu, proses destilasi menghasilkan total 400mL. Rendemen yang dihasilkan 40% yaitu dengan membagi asap cair yang didapat dengan asap cair yang dimasukkan ke dalam tabung destilasi kemudian dikali 100%.

$$Rend = \frac{400 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \times 100\%$$

$$Rend = 40\%$$

Sehingga, jumlah asap cair yang tidak terdestilasi adalah sebanyak $100\% - 40\% = 60\%$.

E. Biaya Pembuatan Alat

Sebelum membuat *Prototype* Alat Produksi Asap Cair Menggunakan Bahan Baku Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas, juga perlu menghitung biaya pembuatan alat tersebut. Adapun biaya pembuatan alat dapat dilihat pada tabel seperti berikut.

Tabel 6. Biaya Pembuatan Alat

No	Nama Material	Harga Satuan	Banyaknya	Harga Total
1.	Besi siku 3x3	Rp 115.000	1 batang	Rp 115.000
2.	Plat Galvanis 1.5 mm 120 x 240 cm	Rp 850.000	1 lembar	Rp 850.000
3.	Pipa Galvanis 1inch 6meter	Rp 114.000	3 lonjor	Rp 342.000
4.	Dandang stainless diameter 40 cm	Rp 160.000	1 biji	Rp 160.000
5.	Thermometer 600°C	Rp 185.000	2 biji	Rp 370.000
6.	Cat	Rp 90.000	2 kg	Rp 180.000
7.	Thiner	Rp 18.000	5 liter	Rp 90.000
8.	Elektroda las	Rp 110.000	1 pcs	Rp 110.000
Jumlah				Rp 2.217.000

IV. SIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian tentang Studi Pembuatan *Prototype* Alat Produksi Asap Cair Dari Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas efektif rata-rata pada alat ini adalah 0,5 L/jam.
2. Rendemen yang didapat pada penelitian ini sebesar 35,34%.
3. Hasil asap cair paling banyak diperoleh pada percobaan 3 yaitu sebesar 1,9 L, dan hasil terendah diperoleh pada percobaan 2 yaitu sebesar 1,65 L.
4. Nilai massa jenis asap cair yang diperoleh dari perhitungan sebesar 1,01 Kg/L.
5. Pada sisa pembakaran pirolisis dengan alat pirolisis menghasilkan residu (karbon) atau arang total sebanyak 4,3 Kg dari 3 kali percobaan.
6. Hasil asap cair yang terdestilasi sebanyak 400mL selama 80 menit dari 1000mL asap cair yang akan didestilasikan.

Setelah dilakukan penelitian tentang Studi Pembuatan *Prototype* Alat Produksi Asap Cair Dari Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas ini maka akhir dari laporan ini penulis ingin memberikan saran :

1. Perlu pengembangan lebih lanjut dari Studi Pembuatan *Prototype* Alat Produksi Asap Cair dari Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas yang sudah dibuat dalam penelitian ini. Dimana proses pembakaran dari pirolisis bisa diberikan inovasi lagi, sehingga dalam proses 1 pengujian atau pembakaran bisa sekaligus keluar 2 jenis asap cair bebas tar atau murni.
2. Untuk penelitian lebih lanjut, panjang dan diameter pipa penghubung perlu dilakukan penelitian lanjutan karena diduga ada pengaruh panjang dan diameter pipa penghubung terhadap jumlah hasil produksi asap cair.
3. Menggunakan material sesuai standart karena untuk menjaga kualitas dan kinerja alat dalam kondisi yang bagus dan tahan lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberi pengetahuan dan wawasan baru yang berhubungan dengan teknik mesin. Saya ucapkan terima kasih juga pada teman-teman dan rekan-rekan aslab yang telah mensupport saya hingga saya bisa menyelesaikan artikel ini.

REFERENSI

- [1] R. N. Yanti, "Pemanfaatan Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Din. Lingkungan. Indones.*, vol. 10, no. 1, p. 7, 2023, doi: 10.31258/dli.10.1.p.7-11.
- [2] A. Z. H. Albaki, A. S. Purnama, F. Yulianto, B. Rahmat, and V. Meylani, "Potensi Produksi Asap Cair, Arang dan Tar dari Limbah Industri Pengolahan Kayu," *AGRITEKNO J. Teknol. Pertan.*, vol. 10, no. 2, pp. 100–105, 2021, doi: 10.30598/jagritekno.2021.10.2.100.
- [3] M. Fathussalam *et al.*, "Rancang Bangun Mesin Produksi Asap Cair Dari Tempurung Kelapa Berbasis Teknologi Cyclone-Redistillation," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 7, no. 2, pp. 148–156, 2019, doi: 10.29303/jrpb.v7i2.113.
- [4] S. Soenarno, D. Dulsalam, and Y. Yuniawati, "Produktivitas Dan Biaya Pengeluaran Limbah Pemanenan Kayu Pada Hutan Alam Pegunungan: Studi Kasus Di Pt. Jati Dharma Indah Kabupaten Nabire, Papua," *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 38, no. 3, pp. 173–188, 2020, doi: 10.20886/jphh.2020.38.3.173-188.
- [5] J. Jenita, A. S. P. Anggraini, and S. Yuniningsih, "Pembuatan Asap Cair dari Tempurung Kelapa, Tongkol Jagung, Dan Bambu Menggunakan Proses Slow Pyrolysis," *eUREKA J. Penelit. Mhs. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 3, no. 1, pp. 42–49, 2019.
- [6] A. Budiaman and Rahmat, "Pengeluaran limbah penebangan hutan tanaman industri dengan sistem pemikulan manual (Penilaian performansi kualitatif)," *J. Manaj. Hutan Trop. (Journal Trop. For. Manag.*, vol. 15, no. 3, pp. 117–122, 2009.
- [7] Y. Yusnaini and A. Dedy, "Kualitas Kimia Asap Cair Ranting Cengkeh," *ETHOS (Jurnal Penelit. dan Pengabdian)*, p. 275, 2016, doi: 10.29313/ethos.v0i0.1972.
- [8] M. Kadir, J. Junaedi, S. Thamrin, M. Muminah, and H. Harsani, "Pengolahan Limbah Pertanian-Perkebunan pada Kelompok Tani Hutan Kemasyarakatan di Kabupaten Barru," *J. Pustaka Mitra (Pusat Akses Kaji. Mengabdikan Terhadap Masyarakat)*, vol. 3, no. 1, pp. 47–50, 2023, doi: 10.55382/jurnalpustakamitra.v3i1.380.
- [9] R. P. Sahrum, A. Z. Syaiful, P. Teknik, K. Universitas, and B. Makassar, "Uji Kualitas Asap Cair Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji Kayu Metode Pirolisis," *Saintis*, vol. 2, no. 2, pp. 73–78, 2021.
- [10] S. H. Abbas and B. Tjiroso, "Desain Dan Pembuatan Alat Destilasi Asap Cair (Liquid Smoke)," *Patria Artha Technol. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 41–44, 2021, doi: 10.33857/patj.v5i1.397.
- [11] P. Biomassa and D. A. N. Hasil, "Pirolis biomassa dan hasil," no. January, 2022.
- [12] A. Y. Pradhana, L. Trivana, and B. Palma, "Proses pembuatan asap cair tempurung kelapa dan pemanfaatannya," *War. Penelit. dan Pengemb. Tanam. Ind.*, vol. 24, no. 3, pp. 21–25, 2018, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/62044/14/2>. Naskah Publikasi Ilmiah 2.pdf
- [13] E. Maulana, B. N. Fajri, and D. Mahardika, "Perancangan Proses Pembuatan Reaktor Pirolisis Model Horizontal Kapasitas 75 Kg/Jam," *Pros. Semin. Nas. Penelit. LPPM UMJ*, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit/article/view/7428>
- [14] B. D. Afrah, M. I. Riady, L. Cundari, M. A. Rizan, and A. D. Aryansyah, "Rancang bangun alat produksi asap cair dengan metode pirolisis menggunakan software fusion 360," *J. Tek. Kim.*, vol. 26, no. 3, pp. 113–121, 2020, doi: 10.36706/jtk.v26i3.103.
- [15] A. Haryanti, N. Norsamsi, P. S. Fanny Sholiha, and N. P. Putri, "Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit," *Konversi*, vol. 3, no. 2, p. 20, 2014, doi: 10.20527/k.v3i2.161.
- [16] F. D. Saputro, I. Syafa'at, and T. Priangkoso, "Studi Rambatan Panas Pada Pemodelan Pirolisator Kapasitas 20 Liter Menggunakan Computational Fluid Dynamics," *J. Ilm. Momentum*, vol. 15, no. 2, 2019, doi: 10.36499/jim.v15i2.3083.
- [17] K. Kaidi, T. Dwi Sukmayoga, and Y. Yuliatiningsih, "Rancang Bangun Alat Produksi Asap Cair Grade 3 sebagai Pestisida Organik," *J. Pengemb. Potensi Lab.*, vol. 1, no. 2, pp. 86–90, 2022, doi: 10.25047/plp.v1i2.3103.
- [18] P. Tepat, G. Kesehatan, and M. Inti, "Pembuatan asap cair dari sampah organik sebagai bahan pengawet makanan," pp. 1–14.
- [19] M. Lukmana, B. Alexander, and H. Iswahyudi, "Perancangan Alat Pirolisis Portable Untuk Pembuatan Asap Cair Dari Limbah Pelepah Kelapa Sawit," *EnviroScientiae*, vol. 18, no. 1, p. 13, 2022, doi: 10.20527/es.v18i1.12974.
- [20] S. Asfiyah, "Modifikasi Deanstark Upaya Efisiensi Proses Distilasi Uap Minyak Biji Pala Dalam Praktikum Kimia Organik," *Indones. J. Lab.*, vol. 2, no. 1, p. 10, 2020, doi: 10.22146/ijl.v2i1.54161.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.