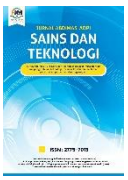
Jurnal Abdimas ADPI Sains dan Teknologi
e-ISSN: 2775-7013
Volume 5 | Nomor 2 | Juni 2024; Hal 19-28
DOI: 10.47841/saintek.v5i2.384
https://publikasi-adpiindonesia.id/ejournal/index.php/saintek
Penerbit: Asosiasi Dosen PkM Indonesia



Studi Pembuatan *Prototype* Alat Produksi Asap Cair Menggunakan Bahan Baku Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas

Rifky Umar Bachtiar[1)], Prantasi Harmi Tjahjanti[2)], Ahmad Rivaldi[3)]
[1,3] Mahasiswa, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia.
[2] Dosen, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia.
Email korespodensi: rifkyumarb@gmail.com

Submit : 21/06/2014 | **Accept :** 22/06/2024 | **Publish :** 30/06/2024

ABSTRACT

Making use of natural trash is crucial. Examples of such garbage include maize cobs, worn wood, and tree trunks. As part of this community service project, used wood and tree trunk waste will be used as raw materials to create prototype tools for producing liquid smoke. The process starts with tool design and ends with tool construction. A conical tube-shaped pyriolysis device is part of the liquid smoke production apparatus, and it is linked to a connecting pipe through which it is connected. The installation of an ionometer, storage container, gas exhaust hose, and bierate fraction sedimentation tube follows. The effective capacity of the apparatus, the temperature increase rate test during the pyrolysis process, the yield test, the charcoal weight test from the combustion residue, and the temperature increase rate test during the distillation process were among the equipment performance tests that were conducted. The findings showed that: (1) this pyrolysis device's average effective capacity was 0.5 L/hour; (2) the yield was 35.34%; and (3) experiment 3 produced the maximum output of liquid smoke, at 1.9 L, while experiment 2 produced the lowest yield, at 1.65 L. (5) The computation yielded a density value of 1.01 kg/L for liquid smoke; (6) Three attempts of pyrolysis combustion with a pyrolysis tool produced 4.3 kg of residue (carbon) or charcoal. (7) From 1000 mL of liquid smoke to be distilled, 400 mL of liquid smoke was obtained after 80 minutes of distillation.

Keywords: *Apparatus for Producing Liquid Smoke, Used Wood Waste, Tree Trunk Waste, Pyrolysis, Distillation*

ABSTRAK

Memanfaatkan limbah-limbah natural sangat penting seperti limbah batang pohon, limbah kayu bekas, bonggol jagung dan lainnya. Pengabdian Masyarakat ini dengan memanfaatkan limbah batang pohon, dan limbah kayu bekas untuk digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat prototipe produksi asap cair. Metode diawali dengan desan alat tersebut dilanjutkan dengan pembuatannya. Komponen alat produksi asap cair terdiri dari reaktor pirolisis berupa tabung kerucut, dihubungkan dengan pipa penghubung yang menghubungkan kondensator dan pipa pirolisis. Selanjutnya dipasang tabung endapan fraksi berat, kondensor, wadah penampung, dan selang pembuangan gas. Dilakukan pengujian performa alat meliputi kapasitas efektif alat, uji laju kenaikan suhu pada saat proses pirolisis, uji pembakaran dengan proses pirolisis, uji rendemen, uji berat arang dari sisa pembakaran, uji laju kenaikan suhu pada saat proses destilasi. Diperoleh hasil (1) Kapasitas efektif rata-rata pada alat pirolisis ini adalah 0,5 L/jam, (2) Rendemen yang diperoleh sebesar 35,34%, (3) Hasil asap cair terbanyak diperoleh pada percobaan 3 yaitu sebesar 1,9 L, sedangkan hasil terendah diperoleh pada percobaan 2 yaitu sebesar 1,65 L, (5) Nilai massa jenis asap cair yang diperoleh dari perhitungan

adalah sebesar 1,01 kg/L, (6) Pada sisa pembakaran pirolisis dengan menggunakan alat pirolisis menghasilkan residu (karbon) atau arang total sebanyak 4,3 kg dari 3 kali percobaan, (7) Hasil asap cair yang terdestilasi sebanyak 400mL selama 80 menit dari 1000mL asap cair yang akan didestilasikan.

Kata Kunci: Alat Produksi Asap Cair, Limbah Batang Pohon, Limbah Kayu Bekas, Pirolisis, Destilasi.

PENDAHULUAN

Limbah industri furnitur dan hutan biasanya tidak dikelola dengan baik. 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 (Albaki et al. 2021). 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. 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 (Budiaman and Rahmat 2009). Menururt (Nurhayati, Pasaribu, and Mulyadi 2006) 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. Tujuan penelitian ini adalah untuk memastikan bagaimana wujud dan keadaan fisik limbah kayu mempengaruhi jumlah dan kondisi asap cair.

Menurut (Abbas and Tjiroso 2021) Asap cair adalah produk dari kondensasi atau pendinginan dari uap yang dihasilkan dari proses pengarangan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dari bahan-bahan yang mencakup kandungan lignin, selulosa, hemiselulosa, serta senyawa karbon lainnya. Bahan utama yang digunakan untuk menghasilkan asap cair meliputi berbagai jenis kayu, bonggol jagung, bongkol kelapa sawit, tempurung kelapa, cangkang kemiri, sekam padi, ampas tebu, serbuk gergaji kayu, dan sejenisnya (Biomassa and Hasil 2022). Proses pembakaran dan kondensasi ini menghasilkan asap cair yang kemudian dapat digunakan dalam berbagai aplikasi industri seperti makanan, farmasi, dan kimia (Pradhana, Trivana, and Palma 2018).

Asap cair hasil dari proses karbonisasi atau pembakaran bahan yang mengandung lignoselulosa dengan udara terbatas, yang dikenal sebagai pirolisis. Proses pirolisis adalah 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 (Afrah et al. 2020). 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 (Haryanti et al. 2014). Proses ini digunakan dalam industri untuk menghasilkan asap cair yang dapat memiliki berbagai aplikasi, tergantung pada komposisi dan sifatnya. Asap cair bermanfaat sebagai pestisida penyemprotan buah dan sayuran, bahan pengawet alami pangan seperti ikan segar, daging, mie basah, bakso, tahu, tempe, serta penghilang bau busuk pada kadang dan pemanfaatan karet (Lukmana, Alexander, and Iswahyudi 2022).

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 (Asfiyah 2020).

METODE KEGIATAN

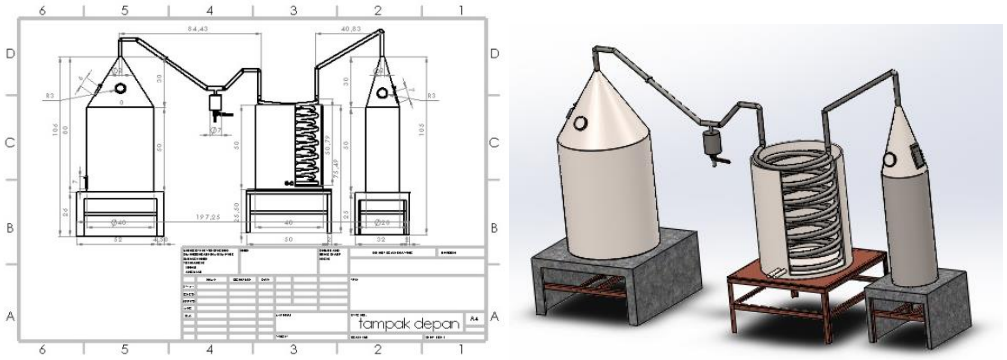
Secara umum, rencana kegiatan pengabdian masyarakat ini adalah sebagai berikut:

1. Tempat Dan Waktu Kegiatan

   Dalam kegiatan ini dilakukan pengujian di desa Cangkringmalang Pasuruan Jawa Timur
2. 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
3. Desain Alat

   Pada 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 1. Desain 2D dan Hasil 3D

4. 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.
5. Prosedur Pengujian Alat

   Dimasukkan bahan baku ke dalam reaktor pirolisis 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. Dilakukan pembakaran dengan cara pirolisis terhadap bahan yang terdapat dalam reaktor pirolisis. Dilakukan pembakaran hingga mencapai suhu 400°C. Ditampung hasil

pengembunan asap cair pada wadah penampung atau gelas ukur. Dilakukan pengendapan asap cair agar fraksi berat yang tercampur dapat terpisah dengan asap cair. Dilakukan pengukuran volume asap cair yang dihasilkan tiap satuan berat bahan yang dimasukkan kedalam wadah bahan. Dilakukan pengamatan parameter

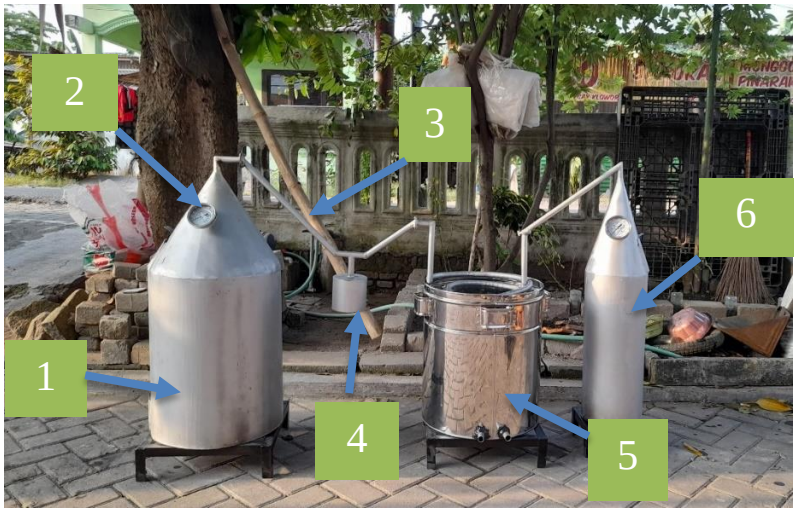
6. Analisa Hasil Pengujian

   Hasil pengujian diatas meliputi uji kapasitas efektif alat dan perhitungan rendemen dimana dilakukan uji kapasitas efektif alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pembuatan *Prototype* Alat Produksi Asap Cair

   Berikut adalah komponen dari *prototype* alat produksi asap cair



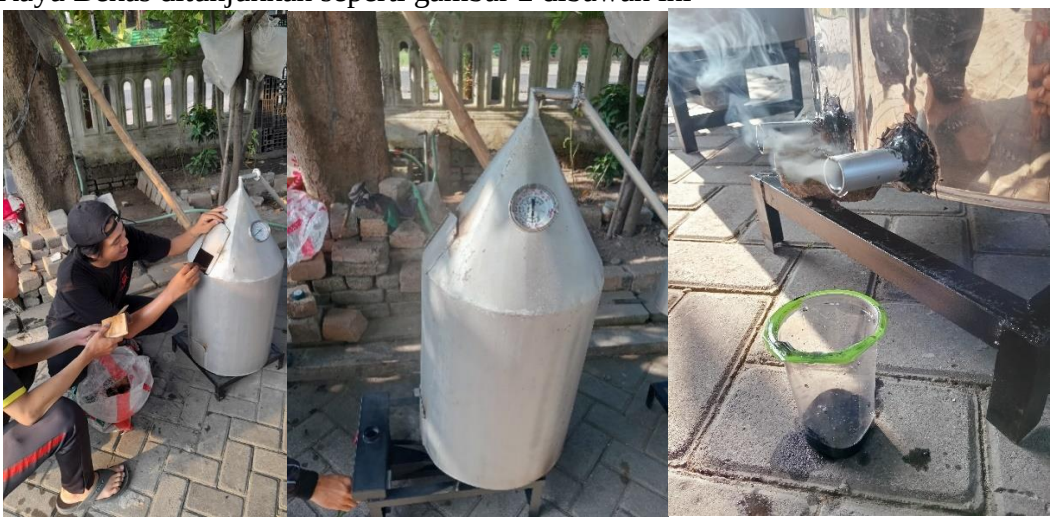
Gambar 2. Hasil Pembuatan *prototype* alat produksi asap cair

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 menanpung 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 menanpung hasil asap cair dari pembakaran pirolisis kemudian di uapkan lagi menjadi asap cair murni bebas tar.

2. Cara Kerja Alat

Mekanisme kerja *Prototype* Alat Produksi Asap Cair dari Limbah Batang Pohon dan Kayu Bekas ditunjukkan seperti gambar 2 dibawah ini



Gambar 3. 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. Selanjutanya 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 mununjukan batas derajat yang diinginkan, matikan kompor biarkan cairan keluar pada pipa keluaran tampaung diwadah sementara dan tunggu hingga tetesan cairan sampai berhenti keluar.

3. Hasil Pengujian Alat

Gambar 4. 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 5. Hasil pemurnian destilasi

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

Gambar 6. Sisa hasil pembakaran

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

4. 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 alat dan rendemen.

- Kapasitas efektif alat

Uji kapasitas efektif alat produksi asap cair ini dilakukan pengukuran dengan mambagi banyaknya volume asap cair yang dihasilkan dari alat pirolisis terhadap waktu yang dibutuhkan selama pengoperasian alat

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 kita dapat mengetahui laju kenaikan suhu pada saat proses pirolisis berlangsung Dari data di atas dapat kita lihat bahwa pada proses pirolisis diperlukan waktu rata-rata selama 180,3 menit untuk

mencapai suhu 400°C. Pada proses pirolisis ini, asap cair pertama sekali 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 dengan menggunakan alat pirolisis pada penelitian ini memakan waktu selama 3 jam. Asap cair tidak langsung dihasilkan pada menit pertama pembakaran karena memerlukan waktu untuk menghasilkan asap pada saat pembakaran. Cairan kondensat asap cair akan berangsur-angsur keluar melalui kondensor secara perlahan setelah mengalami proses kondensasi. Proses pirolisis dinyatakan selesai apabila asap cair tidak lagi dihasilkan pada proses pirolisis tersebut. Pada penelitian yang telah dilakukan diperoleh asap cair dengan menggunakan alat pirolisis 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.

Kapasitas efektif suatu alat menunjukkan produktifitas alat selama pengoperasian tiap satuan waktu. Dalam hal ini kapasitas efektif alat diukur dengan mambagi banyaknya volume asap cair yang dihasilkan dari alat pirolisis terhadap waktu yang dibutuhkan selama pengoperasian alat. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Tabel 2. diperoleh kapasitas efektif alat pirolisis ini sebesar 0,5 L/jam dari perhitungan berikut ini

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

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

KA = 0,5 L/jam

Sedangkan pada alat pirolisis yang ada dipasaran tidak disebutkan berapa nilai kapasitas efektif alatnya, sehingga tidak dapat dibandingkan dengan alat pirolisis ini.

- Rendemen

Perhitungan rendemen dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rendemen yang dihasilkan oleh suatu alat dalam 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

Dari data di atas, diperoleh rendemen sebesar 35,34 %, yaitu dengan membagi berat rataan asap cair sebesar 1,767 Kg dengan berat bahan yang digunakan yakni sebesar 5 Kg kemudian dikali 100%.

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

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

$$Rend = 35{,}34\%$$

Sedangkan arang atau residu (karbon) yang dihasilkan dari sisa pembakaran pada percobaan ini dapat dilihat pada Table 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 dilakukan dengan memasukkan cairan asap cair sebanyak 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
1000mL	3	7	10	16	23	30	45	73	-	-

Selama proses destilasi berlangsung kita dapat mengetahui laju kenaikan suhu pada saat 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-senyawa atau unsur-unsur yang terkandung didalam asap cair telah menguap terlebih dahulu, proses destilasi menghasilkan total 400mL. Rendemen yang dihasilkan 40% yaitu dengan membagi asap cair yang dihasilkan dengan asap cair yang dimasukkan ke dalam tabung destilasi kemudian dikali 100%.

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

$$Rend = 40\%$$

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

SIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

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 pirolisis ini adalah 0,5 L/jam.
2. Rendemen yang diperoleh pada penelitian ini sebesar 35,34%.
3. Hasil asap cair terbanyak diperoleh pada percobaan 3 yaitu sebesar 1,9 L, sedangkan hasil terendah diperoleh pada percobaan 2 yaitu sebesar 1,65 L.
4. Nilai massa jenis asap cair yang diperoleh dari perhitungan adalah sebesar 1,01 Kg/L.

5. Pada sisa pembakaran pirolisis dengan menggunakan 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

2. Saran

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 seperti berikut :

1. Perlu dilakukan 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 kuliatas dan kinerja alat dalam kondisi yang bagus dan tahan lama .

UCAPAN TERIMAKASIH

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.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, Said Hi, and Bambang Tjiroso. 2021. “Desain Dan Pembuatan Alat Destilasi Asap Cair (Liquid Smoke).” *Patria Artha Technological Journal* 5(1): 41–44.

Afrah, Bazlina D. et al. 2020. “Rancang Bangun Alat Produksi Asap Cair Dengan Metode Pirolisis Menggunakan Software Fusion 360.” *Jurnal Teknik Kimia* 26(3): 113–21.

Albaki, Alaik Z H et al. 2021. “Potensi Produksi Asap Cair, Arang Dan Tar Dari Limbah Industri Pengolahan Kayu.” *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian* 10(2): 100–105.

Asfiyah, Siti. 2020. “Modifikasi Deanstark Upaya Efisiensi Proses Distilasi Uap Minyak Biji Pala Dalam Praktikum Kimia Organik.” *Indonesian Journal of Laboratory* 2(1): 10.

Biomassa, Pirolis, and D A N Hasil. 2022. “Pirolis Biomassa Dan Hasil.” (January).

Budiaman, Ahmad, and Rahmat. 2009. “Pengeluaran Limbah Penebangan Hutan Tanaman Industri Dengan Sistem Pemikulan Manual (Penilaian Performansi Kualitatif).” *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)* 15(3): 117–22.

Haryanti, Andi, Norsamsi Norsamsi, Putri Suci Fanny Sholiha, and Novy Pralisa Putri. 2014. “Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit.” *Konversi* 3(2): 20.

Lukmana, Mila, Baimy Alexander, and Herry Iswahyudi. 2022. “Perancangan Alat Pirolisis Portable Untuk Pembuatan Asap Cair Dari Limbah Pelepah Kelapa Sawit.” *EnviroScienteae* 18(1): 13.

Nurhayati, Tjutju, Ridwan Ahmad Pasaribu, and Dida Mulyadi. 2006. “Production and Utilization of Charcoal and Wood Vinegar of Mixture Wood Sawdust.” *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 24: 395–411.

Pradhana, Adhitya Yudha, Linda Trivana, and Balit Palma. 2018. “Proses Pembuatan Asap Cair Tempurung Kelapa Dan Pemanfaatannya.” *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri* 24(3): 21–25. http://eprints.ums.ac.id/62044/14/2. Naskah Publikasi Ilmiah 2.pdf.