

Perancangan pirolisis kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dan tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) menggunakan rancangan alat berbasis *electric furnace*

Design of pyrolysis of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) and coconut shell (*Cocos nucifera*) using electric furnace-based tool design

Bazlina D. Afrah¹, Muhammad I. Riady^{2*}, Juliet P. Arsadha¹, R. Rimadhina¹, dan E. Oktarinasari³

¹ Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang – Indonesia

² Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang – Indonesia

³ Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang – Indonesia

Email: mihsanriady@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Proses pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia bahan organik melalui pemanasan tanpa atau dengan oksigen dari bahan-bahan yang mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Produk dari proses pirolisis antara lain *bio-oil* dan *bio-char*, dimana *bio-oil* merupakan cairan yang dihasilkan setelah melalui proses kondensasi sedangkan *bio-char* merupakan padatan sisa pembakaran. Tujuan dari penelitian ini adalah mengontrol suhu dalam proses pirolisis, sehingga dibutuhkan rangkaian alat pirolisis agar menghasilkan produk pada masing-masing *range* suhu yang diinginkan. Alat pirolisis ini terdiri dari komponen utama yaitu *electric furnace* dan reaktor, serta komponen-komponen pendukungnya yaitu *thermocouple*, *solid state relay*, *temperature controller*, *coil*, *terminal block*, dan *miniature circuit breaker* (MCB). Perakitan alat pirolisis selanjutnya disambungkan dengan pipa menuju kondensator untuk terjadinya proses kondensasi. *Electric furnace* memiliki diameter 40 cm dan tinggi 50 cm. Setelah rangkaian selesai, diperlukan pengujian alat untuk memastikan rangkaian sudah bisa digunakan dan dapat mencapai target suhu. Bahan baku digunakan dengan basis 5 kg yaitu dengan variasi 60% kayu karet dan 40% tempurung kelapa. Hasil yang diperoleh pada proses pirolisis dengan tiga *range* suhu antara lain >100°C, >200°C, dan 300-350°C, adalah 140 mL, 1390 mL, 530 mL yang dilakukan selama 1 jam 44 menit. Produk *bio-char* sebanyak 1,4 kg didapatkan dari pirolisis 5 kg bahan baku. Uji bakar pada *bio-char* didapatkan adalah massa awal sebanyak 60 g, massa akhir sebanyak 6 g dengan waktu 23 menit serta laju pembakaran 2,3478 g/menit.

Kata Kunci: Perancangan alat pirolisis, *electric furnace*, proses pirolisis, *bio-oil*, *bio-char*

Abstract

The pyrolysis process is a thermochemical decomposition process of organic matter through heating without or with oxygen from materials containing lignin, cellulose, hemicellulose and other carbon compounds. The products of the pyrolysis process include *bio-oil* and *bio-char*, where *bio-oil* is a liquid produced after going through a condensation process, while *bio-char* is a solid residue from combustion. The purpose of this research is to control temperature of pyrolysis, so pyrolysis device is needed to achieve good quality products in the temperature range. The design of the pyrolysis device consists of the main components, namely the electric furnace and reactor, as well as its supporting components, namely *thermocouple*, *solid state relay*, *temperature controller*, *coil*, *terminal block*, and *miniature circuit breaker* (MCB). The pyrolysis device design assembly was then connected to a pipe to the condenser for the condensation process to occur. The electric furnace is 40 cm in diameter and 50 cm in length. After the circuit was complete, it was necessary to test the equipment to ensure

the circuit could be used and reach the target temperature. Raw materials were used on a 5 kg basis, with variations of 60% rubber wood and 40% coconut shell. The results obtained in the pyrolysis process with three temperature ranges among other $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $>200\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $300\text{-}350\text{ }^{\circ}\text{C}$, were 140 mL, 1390 mL, 530 mL carried out for 1 hour 44 minutes. 1.4 kg of the bio-char product was obtained from the pyrolysis of 5 kg of raw materials. Burn test on bio-char obtained is an initial mass of 60 g, a final mass of 6 g with a time of 23 minutes and a burning rate of 2.3478 g/minute.

Keywords: Pyrolysis device design, electric furnace, pyrolysis process, bio-oil, bio-char

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak (BBM) saat ini merupakan kebutuhan yang penting di Indonesia apalagi saat ini harganya yang terus meningkat. Kebutuhan bahan bakar minyak mengalami peningkatan sejak tahun 2022. Pada tahun 2020, total konsumsi BBM di Indonesia adalah 401,64 juta barel, tahun 2021 meningkat menjadi 430 juta barel kemudian meningkat lagi pada tahun 2022 menjadi 546,046 juta barel (Kementerian ESDM, 2021). Padahal sebelumnya pada tahun 2019-2020, konsumsi BBM mengalami penurunan dari total 453.86 juta barel yang dikarenakan adanya pandemi COVID-19. Pemakaian BBM yang semakin mahal dan meningkat serta dengan sifatnya yang tidak dapat diperbarui membuat masyarakat ingin melakukan *green energy* dengan menggunakan bahan bakar yang *eco-friendly*, salah satunya adalah energi biomassa (Wibowo, 2013).

Biomassa mengandung unsur utama yaitu karbon (C), oksigen (O), dan hidrogen (H) yang menjadikan unsur tersebut sebagai komponen dasar kimia dari penyusun biomassa antara lain lignin, selulosa, hemiselulosa ((Nawawi et al., 2018). Biomassa dapat dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai ekonomis dan dapat mengurangi pemakaian energi fosil. Biomassa terbentuk dari hasil transformasi energi matahari dan energi kimia oleh tumbuhan yang menghasilkan CO_2 yang sama jumlahnya dengan yang terserap oleh proses fotosintesis. Biomassa memiliki energi rata-rata sebesar 3000-4500 kg/gr (Suhartoyo & Kristiawan, 2020). Potensi biomassa di Indonesia sangat melimpah sehingga menimbulkan limbah biomassa yang tidak sedikit.

Limbah biomassa yang dapat dijadikan *bio-oil* sebagai contoh adalah limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dan tempurung kelapa (*Cocos nucifera*). Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan pada tahun 2019 luas area perkebunan karet sebesar 3.676.035 ha dengan produksi tanaman karet sebesar 3.301.405 ton/tahun. Sedangkan potensi kelapa di Indonesia menurut Ditjenbun pada tahun 2019, luas area perkebunan kelapa sebesar 3.401.893 ha dengan produksi tanaman kelapa sebesar 2.839.852 ton/tahun.

Karet umumnya dimanfaatkan sebagai koagulan lateks yang diperoleh dari proses penyedapan pohon karet. Penggunaan kayu karet hanya digunakan sebagai bahan bakar konvensional

(kayu bakar) tanpa terkendali yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Manfaat kelapa sebagai kebutuhan pangan sehari-hari selain itu bagian kelapa lain dapat dimanfaatkan seperti batok kelapa sebagai kerajinan. Hasil dari tanaman kelapa yang memiliki manfaat yang besar dan mempunyai nilai guna serta ekonomi yang tinggi adalah tempurung kelapa. Tempurung kelapa termasuk kayu keras yang memiliki 27,31% selulosa dan 33,3% lignin (Purnawati et al., 2017).

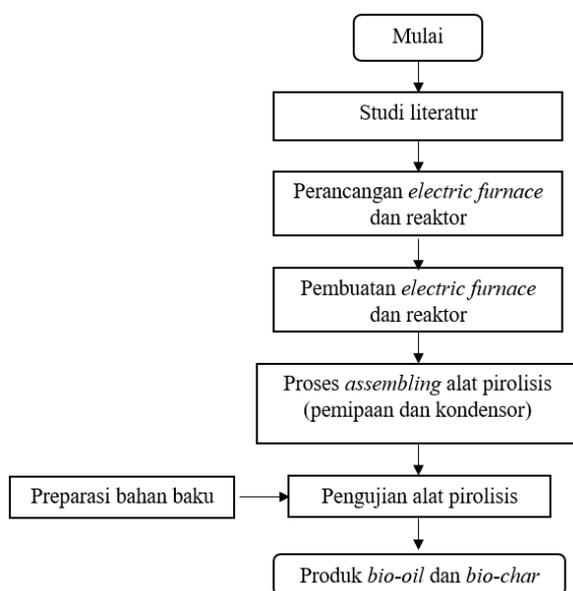
Pemanfaatan limbah kayu karet dan tempurung kelapa menjadi *bio-oil* dengan melalui proses pirolisis. Proses pirolisis merupakan dekomposisi termokimia bahan organik melalui pemanasan tanpa atau dengan oksigen dari bahan-bahan yang mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Material mentah akan mengalami proses pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Bahan baku proses pirolisis berupa limbah organik akan terdekomposisi menghasilkan tiga jenis produk yaitu uap organik (*syngas*), arang, dan *bio-oil*. Hasil uap organik umumnya mengandung gas yang disebut *light gases* antara lain hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, metana, dan tar) (Fardhyanti & Damayanti, 2017). Uap organik kemudian dikondensasikan sehingga berubah fase menjadi cair. Cairan hasil kondensasi pirolisis ini disebut dengan *bio-oil* sedangkan hasil padatan proses pirolisis disebut *bio-char*.

Bio-char merupakan arang aktif yang dihasilkan dari sisa pemabakaran bahan baku di dalam reaktor. *Bio-char* mengandung karbon yang tinggi yang biasa digunakan untuk limbah pertanian dan kehutanan (Tarigan dkk., 2021). Sedangkan *bio-oil* merupakan bahan bakar alternatif dengan karakteristik berbentuk *liquid*, berwarna gelap, dan berbau seperti asap. Senyawa yang terkandung dalam *bio-oil* merupakan senyawa oksigenat organik yang berbeda dan tidak seperti bahan bakar minyak bumi pada umumnya. *Bio-oil* mengandung karbon, hidrogen, dan oksigen dengan sedikit nitrogen dan sulfur (Fardhyanti & Damayanti, 2017). *Bio-oil* memiliki nilai kalori yang lebih rendah dari *bio-diesel* dan bahan bakar minyak ringan lainnya (Hidayat & Qomaruddin, 2015). Peningkatan nilai kalor *bio-oil* dapat dilakukan pencampuran dengan senyawa lain (Omar et al., 2019).

Produk *bio-oil* dengan kualitas yang bagus dihasilkan dari rangkaian alat pirolisis yang mendukung hasil produksinya. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Afrah dkk., 2020), memodifikasi perancangan alat pirolisis dengan menggunakan *software Fusion 360* untuk memaksimalkan hasil proses pirolisis. Rangkaian reaktor pirolisis serta komponen pendukungnya harus didesain dengan sedemikian rupa untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dan sesuai standar. Perancangan alat pirolisis pada umumnya masih menggunakan kompor sebagai sumber panas seperti penelitian yang dilakukan (Nuryati et al., 2015), sehingga perlu adanya pembaruan dan modifikasi. Modifikasi pada penelitian ini adalah suatu *electric furnace* yang memanfaatkan arus listrik sebagai sumber panasnya. Oleh karena itu, diperlukan perancangan alat pirolisis yang harus diperbarui untuk fabrikasi produksi *bio-oil* sehingga proses tersebut diperoleh secara maksimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan antara lain studi literatur, perancangan *electric furnace*, pembuatan *electric furnace* dan reaktor, proses *assembling* alat pirolisis, pengujian alat pirolisis yang diikuti dengan preparasi bahan baku, serta produk *bio-oil* dan *bio-char* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan perancangan alat pirolisis

2.1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu dimana kegiatan pengumpulan informasi mengenai komponen-komponen rangkaian alat pirolisis yang akan dibuat

serta mencari referensi jurnal terkait dengan proses pirolisis.

2.2. Perancangan *Electric Furnace* dan Reaktor

Perancangan alat pirolisis untuk pengolahan limbah kayu karet dan tempurung kelapa menjadi *bio-oil* dan *bio-char* dirancang dengan komponen-komponen yang sesuai dengan spesifikasi alat. Komponen utama alat pirolisis *electric furnace* terdiri dari *electric furnace* dan reaktor. Terdapat juga komponen pendukungnya yang saling berkaitan antara lain *thermocouple tipe K*, *solid state relay 60DA*, *temperature controller TCN4S-24R AUTONICS*, *coil*, *terminal block 30A*, dan *miniature circuit breaker (MCB) 60A*. Reaktor didesain dengan bentuk silinder dengan kapasitas 5 kg. Dimensi dari reaktor adalah diameter 40 cm dan tinggi 50 cm.

2.3. Pembuatan *Electric Furnace* dan Reaktor

Tahap selanjutnya merupakan perakitan komponen-komponen yang dibutuhkan sesuai spesifikasi berdasarkan penempatan dan penggunaannya masing-masing. Tahapan ini dibutuhkan ketelitian dalam pemasangan dan penyambungan disetiap komponennya.

2.4. Proses *Asembling* Alat Pirolisis

Kondensasi merupakan tahapan proses pirolisis setelah bahan baku dibakar dalam *electric furnace* dan reaktor. *Furnace* pirolisis dihubungkan ke kondensor melalui pipa untuk terjadinya proses kondensasi. Setelah melalui proses kondensasi, produk keluar melalui pipa. Kondensor yang digunakan adalah radiator.

2.5. Pengujian Alat Pirolisis

Alat pirolisis diuji terlebih dahulu dengan pemanasan tanpa dimasukkan bahan baku. Hal ini bertujuan untuk memastikan apakah komponen-komponen di dalam rangkaian ini sudah sesuai dan tahan terhadap suhu yang ingin dicapai, sehingga diharapkan tidak ada kebocoran maupun gangguan kelistrikan. Setelah rangkaian siap digunakan, bahan baku dimasukkan ke dalam reaktor.

Bahan baku digunakan dengan basis 5 kg yaitu dengan variasi 60% kayu karet dan 40% tempurung kelapa. Pemilihan komposisi ini didasari pada penelitian sebelumnya dimana peneliti telah melakukan pirolisis kayu karet dan tempurung kelapa dan keduanya memiliki hasil yang baik. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini dilakukan kombinasi antara kedua bahan baku tersebut. Perlu adanya *pre-treatment* bahan baku sebelum diproses. Kayu karet terlebih dahulu

dipotong-potong dengan ukuran sekitar ± 20 cm guna mempermudah masuk ke dalam reaktor dan tempurung kelapa dicacah menjadi ukuran kecil sekitar ± 5 cm. Selanjutnya kedua bahan baku dilakukan proses pengeringan di dalam oven selama mencapai suhu yang diinginkan.

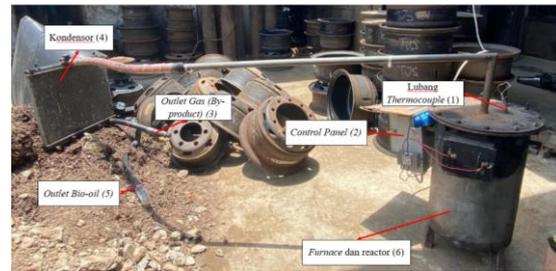
2.6. Produk *Bio-Oil* dan *Bio-Char*

Produk yang dihasilkan adalah *bio-oil* dan *bio-char*. Produk *bio-oil* diambil pada tiga kondisi suhu, yaitu pada suhu $>100^{\circ}\text{C}$, $>200^{\circ}\text{C}$, dan $300-350^{\circ}\text{C}$. Pengujian *bio-oil* dilakukan dengan mengamati kuantitas serta karakteristik secara fisik dari *bio-oil*. Pengujian kuantitas dilakukan dengan pengukuran volume. Pengujian pada produk *bio-char* dilakukan dengan uji bakar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit pirolisator pada umumnya terdiri dari ruang bakar (*furnace*), reaktor, dan kondensor. Pada penelitian sebelumnya dirancang ruang bakar dengan sistem terbuka yang menggunakan kayu bakar sebagai sumber panas (Afrah et al., 2020). Penggunaan ruang bakar dengan sistem tersebut dirasa kurang efektif dalam proses penelitian dikarenakan tidak dapat dilakukan pengontrolan suhu pirolisis. Tidak terkontrolnya suhu mengakibatkan hubungan antaranya dengan hasil dan waktu pirolisis tidak dapat dianalisa. Sedangkan penelitian kali ini ditujukan untuk menjadikan suhu pirolisis sebagai variabel bebas sehingga dapat dianalisa karakteristik hasil pirolisis pada berbagai *range* suhu.

Modifikasi dilakukan pada penelitian kali ini dengan membuat suatu *electric furnace* atau ruang bakar elektrik yang memanfaatkan arus listrik sebagai sumber panasnya. Jenis pirolisis pada penelitian ini berupa *slow pyrolysis* dengan suhu $100-350^{\circ}\text{C}$. Menurut (Novita et al., 2021) *slow pyrolysis* atau pirolisis lambat terjadi pada suhu $<400^{\circ}\text{C}$ dengan waktu yang lama. Proses pirolisis terbagi menjadi 3 fase yaitu fase pengeringan, pirolisis, dan evolusi gas. Fase pirolisis terjadi mulai dari suhu 200°C hingga 500°C (Ridhuan et al., 2019). Gambar 2 merupakan tampak luar dan keseluruhan dari rangkaian alat pirolisis pada penelitian ini. Gambar ini menjelaskan bahwa rangkaian alat pirolisis dilengkapi dengan *thermocouple* (1) dan *control panel* (2) untuk pengendalian proses serta *outlet gas* (3) dan *outlet bio-oil* (4).



Gambar 2. Tampak keseluruhan alat pirolisis

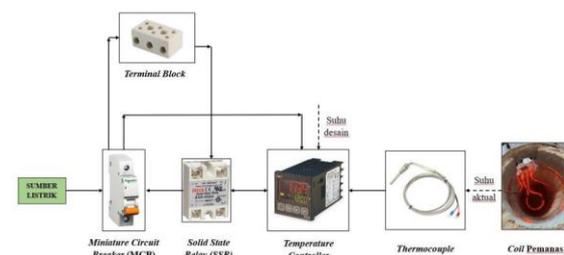
3.1. Peralatan *Electric Furnace*

Ruang bakar memiliki bentuk silinder dengan diameter luar 40 cm dan tinggi 60 cm. Sistem insulasi ditambahkan pada ruang bakar dengan melapisi dindingnya menggunakan semen dan batu api sehingga dapat meminimalisasi *heat loss*. Tutup ruang bakar dilengkapi dengan 12 mur pengencang dan sebuah lobang *thermocouple* yang ditujukan untuk pengukuran suhu. Gasket berbahan grafit juga digunakan untuk mencegah terjadinya bocor. Gambar 3 menunjukkan bagian dalam ruang bakar yang dilengkapi dengan selongsong tempat *coil* pemanas diletakan.



Gambar 3. Tampak dalam ruang bakar elektrik

Ruang bakar elektrik dirancang dengan serangkaian pengendalian proses yang membutuhkan beberapa komponen diantaranya dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Pengendalian Proses Kontrol Suhu

(a) *Coil Pemanas*

Jumlah *coil* yang digunakan adalah tiga, yaitu dua pada badan dan satu pada alas ruang bakar. Material *coil* berupa kanthal yang dililit berbentuk

spiral dengan diameter 5 mm. Kanthal merupakan suatu campuran besi, krom, dan aluminium (FeCrAl) yang dapat diaplikasikan hingga suhu 1250° C. Alasan pemilihan kanthal sebagai coil pemanas karena dapat membentuk lapisan pelindung yang baik ketika beroperasi pada suhu tinggi seperti di ruang bakar. Kanthal memiliki umur pakai lebih panjang dibandingkan nikrom karena memiliki ketahanan oksidasi yang besar.

Ruang bakar elektrik penelitian ini membutuhkan total daya listrik 5500Watt yang didapatkan dari serangkaian perhitungan. Kuat arus coil didapatkan dengan pengujian menggunakan *multitester* dan diperoleh rata-rata 25 Ampere pada tiap coil. Dengan tegangan listrik 220 Volt maka dapat dihitung hambatan listrik pada tiap coil dengan menggunakan rumus $R = V/I$. Hambatan listrik yang dihasilkan adalah 8,8 Ω . Diketuinya tegangan dan hambatan listrik dapat didapatkan daya listrik ruang bakar elektrik dengan rumus $P = V^2/R$.

(b) *Temperature Controller*

Pengendali suhu (*temperature controller*) merupakan perangkat elektronik yang berfungsi sebagai regulator suhu. Cara kerjanya adalah membandingkan sinyal dari suhu aktual yang terbaca dengan suhu referensi atau desain lalu melakukan perhitungan deviasi diantaranya (Tadeus & Setiono, 2018). Oleh karena itu diperlukan *thermocouple* yang menghubungkan kondisi di dalam reaktor dengan *temperature controller*. *Thermocouple* dimasukkan ke dalam reaktor melalui bagian atas tutup.

(c) *Solid State Relay (SSR)*

SSR sering diaplikasikan pada proses pengendalian suhu (Verma et al., 2015). SSR dihubungkan dengan coil pemanas, *temperature controller*, dan *Miniature Circuit Breaker (MCB)* untuk mengatur tegangan sehingga panas yang dihasilkan dapat dikontrol.

(e) *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

MCB berfungsi sebagai proteksi arus yang berlebihan pada sistem (Jamaaluddin et al., 2021). MCB berperan sebagai pemutus yang membatasi arus listrik dan pengamanan jika ada beban berlebih yang bekerja secara otomatis ketika arus yang lewat melebihi arus nominalnya.

3.2. Reaktor Alat Pirolisis

Reaktor didesain semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan bahan baku yaitu 5kg. Reaktor diletakan menggantung di tengah ruang bakar, oleh karena itu diameter luar reaktor sama dengan ruang bakar yaitu 40 cm. Diameter dalam reaktor sebesar 30 cm dan memiliki tinggi 50 cm. Ukuran ini digunakan untuk reaktor berkapasitas 5 kg dengan perkiraan dan *trial and error* pada pembuatannya. Reaktor dibuat menggunakan

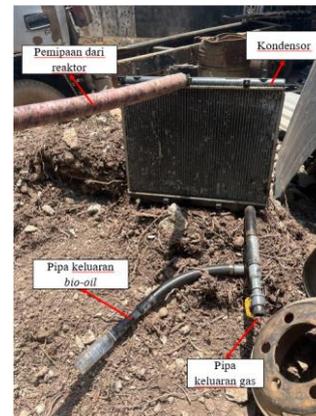
material *stainless steel* karena memiliki titik lebur yang tinggi yaitu 1454°C. Gambar 5 menunjukan desain rancangan reaktor pada penelitian ini.



Gambar 5. Desain perancangan reaktor

3.3. Pemipaan dan Kondensor

Kondensor yang digunakan berupa radiator, menurut (Afrah et al., 2020) penggunaan radiator sebagai kondensor berfungsi dengan baik yang ditandai dengan kuantitas dan kualitas *bio-oil* yang dihasilkan. Pemipaan dilakukan untuk menghubungkan asap yang keluar dari reaktor menuju ke kondensor untuk dikondensasi. Selain itu juga dibutuhkan pemipaan untuk produk keluaran kondensor yaitu *bio-oil* dan gas sisa. Gambar 6 menunjukan kondensor dan sistem pemipaan.



Gambar 6. Kondensor dan sistem pemipaan

3.4. Hasil Pengujian Alat Pirolisis (Produksi *Bio-Oil* dan *Bio-Char*)

Bahan baku yang digunakan pada pengujian alat pirolisis berbasis 5 kg dan merupakan kombinasi antara limbah kayu karet dan tempurung kelapa dengan proporsi masing-masing 60% dan 40%. Proporsi ini didasari pada penelitian sebelumnya yang menghasilkan asap cair dari kayu karet kering yang memenuhi seluruh variabel standar asap cair di Jepang (Afrah et al., 2020). Oleh karena itu digunakan proporsi kayu karet yang lebih besar dibandingkan tempurung kelapa. Tempurung kelapa juga telah dimanfaatkan dalam produksi asap cair sebagai disinfektan pada penelitian sebelumnya. Tempurung kelapa juga

telah dimanfaatkan dalam produksi asap cair sebagai disinfektan pada penelitian sebelumnya (Afrah et al., 2021).

Penelitian dilakukan pada 3 range suhu yaitu >100°C, >200°C, dan 300-350°C. Suhu tersebut dipilih berdasarkan proses dekomposisi senyawa di dalam bahan baku, dimana pada suhu 200-250°C terjadi dekomposisi hemiselulosa, 280-320°C dekomposisi selulosa, dan dekomposisi lignin pada 400°C (Diatmika et al., 2019).

Proses pirolisis berjalan secara kontinu untuk ketiga range suhu hingga bahan baku habis terdekomposisi yang dimana ditandai dengan kondensor yang tidak lagi mengeluarkan *bio-oil* dan gas sisa. Hasil yang didapatkan dari pengujian alat pirolisis adalah *bio-oil* dan *bio-char* yang merupakan sisa bahan baku yang tertinggal di dalam reaktor setelah proses pirolisis selesai. Hasil pengujian alat pirolisis terdapat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil pengujian alat pirolisis (*bio-oil*)

| Suhu | Waktu (menit) | <i>Bio-oil</i> | |
|-----------|---------------|----------------|------------------|
| | | Volume | Warna |
| >100°C | 34 | 140 mL | Coklat Kehitaman |
| >200°C | 35 | 1390 mL | Hitam |
| 300-350°C | 35 | 530 mL | Hitam |

Tabel 2. Hasil pengujian alat pirolisis (*bio-char*)

| Keterangan | <i>Bio-Char</i> |
|----------------------------|-----------------|
| Massa <i>bio-char</i> awal | 60 g |
| Massa <i>bio-char</i> sisa | 6 g |
| Waktu pembakaran | 23 menit |
| Laju pembakaran | 2,3478 g/menit |

Hasil pengujian pirolisis menandakan bahwa suhu pirolisis akan meningkatkan volume *bio-oil* yang dihasilkan hingga titik optimum. Suhu optimum pada penelitian ini berada pada suhu 200-300°C yang menghasilkan *bio-oil* sebanyak 1390 mL. Pada suhu 300-350°C, volume *bio-oil* yang dihasilkan menurun karena habis terurainya bahan baku di dalam reaktor. Warna hitam kecoklatan dari *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis dengan suhu >100°C tidak sepekat kedua sampel lainnya. Hal tersebut dikarenakan pada suhu <200°C senyawa kimia bahan baku belum terurai seperti hemiselulosa. Senyawa bahan baku yang pertama kali terurai adalah hemiselulosa yaitu pada suhu 200-250°C. Kandungan lignin terdekomposisi menjadi fenol pada suhu hasil pirolisis 300-350°C (Subagyono et al., 2021). Nilai kalor *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis tempurung kelapa adalah 20-23 MJ/kg (Sasikumar et al., 2019), sedangkan nilai kalor *bio-oil* dari pirolisis kayu karet adalah 28,88 MJ/kg (Nguyen et al., 2020). Nilai kalor *bio-oil* hasil pirolisis kedua bahan baku sudah cukup mendekati solar yaitu 10.755 kal/g atau 45,029

MJ/kg. Hasil karakteristik fisik *bio-oil* seperti telah memenuhi karakteristik bahan bakar seperti solar. Oleh karena itu, *bio-oil* dapat diaplikasikan secara langsung sebagai bahan baku dengan melakukan pengolahan lebih lanjut seperti *blending* dengan bahan bakar komersil yang memiliki nilai kalor cukup tinggi.



(a)



(b)

Gambar 7. Hasil pengujian alat pirolisis, 7(a) *bio-oil*; 7(b) *bio-char*



Gambar 8. Warna *bio-oil* hasil pengujian alat pirolisis

Gambar 7 menunjukkan hasil *bio-oil* dan *bio-char* yang dihasilkan dari pengujian alat pirolisis. Sedangkan gambar 8 menunjukkan perbandingan warna *bio-oil* pada ke tiga range suhu.

Bio-char yang merupakan bahan baku sisa pirolisis yang tertinggal di dalam reaktor juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Massa *bio-char* yang dihasilkan adalah 1,4 kg dari pirolisis 5 kg bahan baku. Hasil pengujian laju pembakaran menghasilkan angka 2,378 g/menit. Laju pembakaran memiliki pengaruh terhadap nilai kalor *bio-char*, dimana semakin tinggi nilai kalor maka akan semakin baik nilai laju pembakarannya (Masthura, 2019).

4. KESIMPULAN

Rangkaian alat pirolisis didesain menggunakan *electric furnace* untuk tercapainya pengendalian suhu pirolisis. Proses kontrol suhu dapat dilakukan dengan baik menggunakan *temperature controller* dan komponen lainnya sehingga menghasilkan variabel penelitian yang lebih baik. Alat pirolisis berhasil melewati pengujian proses pirolisis 5 kg bahan baku 60% kayu karet dan 40% tempurung kelapa pada 3 range suhu yang mencapai 350°C selama 1 jam 44 menit. Titik optimum volume *bio-oil* didapatkan pada suhu 200-300°C yaitu 1390 mL. *Bio-char* juga didapatkan dari proses pengujian yaitu bahan baku yang tersisa pada reaktor. *Bio-char* sebanyak 1,4 kg didapatkan dari pirolisis 5 kg bahan baku.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan sebesar-besarnya atas dana yang diberikan oleh PNBP Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya tahun anggaran 2022 dengan nomor SP DIPA 023.17.2.677515/2022 tanggal 17 November 2021, sesuai dengan SK Rektor 0390/UN9.FT/TU.SK/2021 tanggal 13 Mei 2022 sehingga penelitian kami dapat berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

Afrah, B. D., Riady, M. I., Cundari, L., Rizan, M. A., & Aryansyah, A. D. (2020). Rancang bangun alat produksi asap cair dengan metode pirolisis menggunakan software fusion 360. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(3), 113–121. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i3.103>

Afrah, B. D., Riady, M. I., Sari, T. I., Hadijah, F., Novia, Santoso, D., Yanto, J., Nugraha, M. Z., Alwiono, K. R., Arsadha, J. P., Rimadhina, R., Enggar, I. H., Utami, J., Pratiwi, S. I., & Fathan, M. A. A. (2021). Pembinaan Pengolahan Potensi Limbah Tempurung Kelapa Menjadi Asap Cair Sebagai Disinfektan di Desa Sakatiga. *Seminar Nasional AVoER XIII 2021*, 502–508.

Diatmika, I. G. N. A. Y. A., Kencana, P. K. D., & Arda, G. (2019). Karakteristik Asap Cair Batang Bambu Tabah (*Gigantochloa nigrociliata* BUSE-KURZ) yang Dipirolisis pada Suhu yang Berbeda. *Jurnal BETA (Biosistem Dan Teknik Pertanian)*, 7(2), 278–285. <https://doi.org/10.24843/jbeta.2019.v07.i02.p07>

Direktorat Jenderal Perkebunan. 2021. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021. Kementerian Pertanian Republik Indonesia, Indonesia

Fardhyanti, D. S., & Damayanti, A. (2017). Analysis of Bio-Oil Produced by Pyrolysis of Coconut Shell. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 11(9),

651–654.

Hidayat, T., & Qomaruddin. (2015). Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Dan Bahan Biomassa Terhadap Kapasitas Hasil Pada Alat Pembuat Asap Cair. *Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang*, 29–34.

Humas EBTKE. 2021. *Forum Kehumasan Dewan Energi Nasional: Menuju Bauran Energi Nasional Tahun 2025*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/04/09/2838/forum.kehumasan.dewan.energi.nasional.menju.bauran.energi.nasional.tahun.2025> (Diakses pada tanggal 2 Oktober 2022)

Jamaaluddin, J., Anshory, I., & Ayuni, S. D. (2021). Analysis of Overcurrent Safety in Miniature Circuit Breaker with Alternating Current. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 5(2), 68–73.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2021. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta

Masthura, M. (2019). Analisis Fisis dan Laju Pembakaran Briket Bioarang dari Bahan Pelepeh Pisang. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 5(1), 58–66. <https://doi.org/10.22373/ekw.v5i1.3621>

Nawawi, D. S., Carolina, A., Saskia, T., Darmawan, D., Gusvina, S. L., Wistara, N. J., Sari, R. K., & Syafii, W. (2018). Karakteristik Kimia Biomassa untuk Energi. *Ilmu Teknologi Kayu Tropis*, 16(1), 45–51.

Nguyen, H. N., Đúc, B. V., Vu, N. L., Nguyen, H. N., Vu, T. T. H., & Pattiya, A. (2020). Bio-Oil From Rubber Wood: Effects of Upgrading Conditions. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 58(5), 604–612. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/58/5/15023>

Novita, S. A., Santosa, S., Nofialdi, N., Andasuryani, A., & Fudholi, A. (2021). Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, 4(1), 53–67. <https://doi.org/10.32530/agroteknika.v4i1.105>

Omar, S., Alsamaq, S., Yang, Y., & Wang, J. (2019). Production of Renewable Fuels by Blending Bio-Oil with Alcohols and Upgrading Under Supercritical Conditions. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 13(4), 702–717.

Purnawati, E., Ratna, U., Abrina, N. S. P., & Yuniningsih, S. (2017). Optimalisasi Kandungan Asap Cair dari Tempurung Kelapa dan Sabut Kelapa Melalui Proses Pirolisis. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 2(2).

Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo: Jurnal Program Studi*

- Teknik Mesin*, 8(1), 69–78.
<https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>
- Sasikumar, C., Sundaresan, R., Nagaraja, M., Shankar, M. S. S., & Karthikeyan, S. (2019). Bio-Oil from Coconut Shells. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(4), 657–659.
<https://doi.org/10.35940/ijrte.c5898.118419>
- Subagyono, R. R. D. J. N., Qi, Y., Chaffee, A. L., Amirta, R., & Marshall, M. (2021). Pyrolysis-Gc/Ms Analysis of Fast Growing Wood Macaranga Species. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 141–158.
<https://doi.org/10.17509/ijost.v6i1.31917>
- Suhartoyo, & Kristiawan, Y. Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Biomassa Menjadi Sumber Energi Alternatif. *Jurnal CRANKSHAFT*, 3(2), 2623.
- Tadeus, D. Y., & Setiono, I. (2018). Deskripsi Teknis Pengendali Temperatur Industri Sebagai Bagian Dari Sistem Regulasi Temperatur. *Gema Teknologi*, 20(1), 1.
<https://doi.org/10.14710/gt.v20i1.21075>
- Verma, N., Gupta, K., & Mahapatra, S. (2015). Implementation Of Solid State Relays For Power System Protection. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4(6), 65–70.
- Wibowo, S. (2013). Karakteristik Bio-Oil Serbuk Gergaji Sengon Menggunakan Proses Pirolisis Lambat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 31(4), 258–270.