

**PENGARUH KADAR PEREKAT DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS  
TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU  
KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)**

**(Skripsi)**

Oleh

**Rahmi Adi Bazenet  
NPM 1714151024**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

## **ABSTRAK**

### **PENGARUH KADAR PEREKAT DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)**

**Oleh**

**Rahmi Adi Bazenet**

Biomassa limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) memiliki potensi yang besar di Indonesia. Limbah ini dapat ditingkatkan nilai tambahnya menjadi energi alternatif seperti briket arang, melalui teknologi pirolisis dan pembriketan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar perekat dan tipe tungku pirolisis terhadap karakteristik fisik dan energi briket arang limbah kayu karet. Briket dibuat dengan mencampurkan dua bahan utama, yaitu serbuk arang dan perekat tapioka. Arang kayu karet diproduksi menggunakan tungku pirolisis *double drum retort kiln* dan tungku kubah. Kadar perekat yang digunakan sebesar 5%, 10%, dan 15%. Campuran briket dicetak menggunakan alat pres hidrolik dengan target kerapatan  $0,8 \text{ g/cm}^3$ . Briket biomassa (kontrol) juga diproduksi sebagai pembanding dengan mencampurkan serbuk kayu karet dan kadar perekat yang sama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar perekat dan tipe tungku pirolisis mempengaruhi karakteristik briket. Karakteristik briket arang lebih baik dibanding briket biomassa. Kualitas briket meningkat seiring dengan rendahnya kadar perekat. Briket arang produksi *double drum retort kiln* berperekat 5% memiliki karakteristik lebih baik. Briket tersebut memiliki rata-rata kerapatan  $0,54 \text{ g/cm}^3$ , daya serap air 0,223%, kandungan C 84,41%, kandungan H 3,28%, kandungan N 0,74%, dan nilai kalor 32,86 MJ/kg serta memiliki gugus fungsi C≡H,C=C, dan C=O.

Kata kunci: Limbah kayu karet, kadar perekat, pirolisis, tepung tapioka, briket arang.

## **ABSTRACT**

### **THE EFFECT OF TAPIOCA ADHESIVE CONTENT AND TYPES OF PYROLYSIS KILN ON THE CHARACTERISTICS OF RUBBER WOOD (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) CHARCOAL BRIQUETTES**

**By**

**Rahmi Adi Bazenet**

Rubber wood (*Hevea brasiliensi* Muell. Arg) waste biomass has a big potential in Indonesia. The biomass waste could be utilized as the source for alternative energy to increase its added value such as by converting into charcoal briquette. This study aimed to determine the effect of adhesive content and type of pyrolysis kiln on physical and energy characteristics of rubber wood waste charcoal briquettes. Briquettes were produced by mixing two main ingredients, that is charcoal powder and tapioca adhesive. Rubber wood charcoal was produced using pyrolysis kiln double drum retort kiln and dome kiln. The adhesive content used are 5%, 10%, and 15%. The charcoal-adhesive mix was pressed using a hydraulic press machine with a target density of 0,8g/cm<sup>3</sup>. Biomass briquettes (control) were also produced as a comparison by mixing rubber wood powder and the same adhesive content. The results indicated that adhesive content and type of kiln affects the properties of charcoal briquettes. Characteristics of charcoal briquettes were better than biomass briquettes. The quality of the briquettes increases with the lower the adhesive content. Charcoal briquettes produced by double drum retort kiln with 5% adhesive have better characteristics. The briquette has an average density of 0,54 g/cm<sup>3</sup>, moisture adsorption of 0,223%, fraction C 84,41%, fraction H 3,28%, fraction N 0,74%, and has functional group C≡H,C=C, and C=O.

**Keywords:** Rubber wood waste, adhesive content, pyrolysis, tapioca starch, charcoal briquette.

**PENGARUH KADAR PEREKAT DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS  
TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU  
KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)**

Oleh

*RAHMADI BAZENET*

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA KEHUTANAN**

pada

**Jurusan Kehutanan  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2021**

Judul Penelitian

: PENGARUH KADAR PEREKAT TERHADAP  
KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH  
KAYU KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)

Nama

: RAHMI ADI BAZENET

NPM

: 1714151024

Jurusan

: Kehutanan

Fakultas

: Pertanian



MENGETAHUI

2. Ketua Jurusan Kehutanan

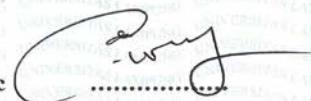
Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si.  
NIP 197402222003121001

**MENGESAHKAN**

1. Tim Pengaji

Ketua:

**Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc**



Pengaji

Bukan Pembimbing: **Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si**



Pengaji

Bukan Pembimbing: **Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**  
NIP 196110201986031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **13 Agustus 2021**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmi Adi Bazenet  
NPM : 1714151024

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguh-sungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul:

**“PENGARUH KADAR PEREKAT DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS TERHADAP KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)”**

Adalah benar karya saya sendiri yang saya susun dengan mengikuti norma dan etika akademik yang berlaku. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan apabila sebagian atau seluruh data pada skripsi ini digunakan oleh dosen dan/atau program studi untuk kepentingan publikasi. Jika di kemudian hari terbukti pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar sarjana maupun tuntutan hukum.

Bandar Lampung, 13 Agustus 2021  
Yang menyatakan



**Rahmi Adi Bazenet**  
**NPM. 1714151024**

## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 10 Juni 1999. Dilahirkan sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Drs. Achmad Bastian dan Ibu Zednaumi. Pendidikan formal pertama penulis diawali pada tahun 2005 di TK Kartika II-6 Bandar Lampung dan dilanjutkan ke SD Kartika II-5 Bandar Lampung tahun 2006-2011, Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 23 Bandar tahun 2011-2014, lalu melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas Negeri 10 Bandar Lampung tahun 2014-2017. Tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Silvikultur, Pengelolaan Hasil Hutan Bukan Kayu, Pemanenan Hasil Hutan, Struktur dan Sifat Kayu, serta Dasar Dasar Kayu Komposit.

Penulis juga aktif di Organisasi Himpunan Mahasiswa Kehutanan (Himasylva) sebagai anggota umum dan tergabung dalam Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) tingkat Fakultas Pertanian. Penulis telah melakukan Praktik Umum (PU) dan magang di PT Kendi Arindo pada tahun 2020. Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Hargomulyo Kecamatan Sekampung Kabupaten Lampung Timur.pada bulan Januari hingga Februari 2020. Tahun 2021, penulis mempublikasikan artikel pada Jurnal Teknik Pertanian Lampung (JTEP-L) Volume 10, Nomor 3, berjudul “Pengaruh Kadar Perekat Tapioka terhadap Karakteristik Briket Arang Limbah Kayu Karet (*Hevea brasiliensi* Muell. Arg)”.

*Bismillahirrahmanirrahim*

**Teruntuk kedua orang tuaku tercinta  
Drs. Achmad Bastian dan Zednaumi**

**Motto**

*“Whatever you are, be a good one”*  
**(Abraham Lincoln)**

## **SANWACANA**

*Assalamu 'alaikum Warrohmatullahi Wabarakatuh.*

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul “Pengaruh Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis Terhadap Karakteristik Briket Arang Limbah Kayu Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Universitas Lampung. Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan pembahas, atas semua dukungan, kritik dan saran, serta nasihat yang telah diberikan kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Indra Gumay Febryano, S.Hut., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Wahyu Hidayat, S.Hut., M.Sc., selaku pembimbing tunggal dan pembimbing akademik. Terimakasih atas kesediaanya untuk memberikan bimbingan, dukungan, ilmu, gagasan, kritik dan saran, serta banyak motivasi dengan penuh kesabaran selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung hingga proses skripsi ini terselesaikan.
4. Ibu Dr. Melya Riniarti, S.P., M.Si. selaku pembahas, atas semua dukungan, kritik dan saran, serta nasihat yang telah diberikan kepada penulis untuk kesempurnaan skripsi ini.

5. Bapak dan Ibu Dosen serta tenaga kependidikan Jurusan Kehutanan yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan membantu penulis selama menuntut ilmu dan menyelesaikan proses administrasi di Universitas Lampung.
6. Kedua orang tua tercinta, Papi Drs. Achmad Bastian dan Mami Zednaumi, yang tidak pernah berhenti memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan dengan penuh kesabaran yang tiada henti hingga penulis bisa melangkah sejauh ini.
7. Kakak dan adik tercinta, Rajib Abi Bakri, S.T dan Reski Adi Bazri, atas kasih sayang, semangat, dukungan, doa, dan bantuan yang telah diberikan.
8. Terimakasih kepada Dimas Respati Nugraha, Amd.T atas dukungan, perhatian, dan semangat yang telah diberikan.
9. KOMTI 2017 Adia Pajar Pamungkas dan teman-teman seperjuangan angkatan 2017 (RAPTORS) atas dukungan dan kebersamaan kalian.
10. Tim teknologi hasil hutan (Simut, Bang Seldi, Bang Abdillah, Bang Halim, dan Mbak Vivi) atas segala dukungan dan kebesamaannya.
11. Sahabat dan Tim sukses skripsi (Putri Sri Rahayu, Siti Fauziah. R, Eva Yunita, Merty Fertyana, Maurent Kartika. M, Laila, Chantika, Cici Doria, Falah, dan Redy Agam) atas segala bantuan, semangat, dukungan, dan doa untuk penulis menyelesaikan skripsi.
12. Keluarga besar Himasylva Universitas Lampung.
13. Seluruh pihak yang terlibat dalam proses penelitian dan penyusunan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. *Aamiin*.

Bandar Lampung,      Agustus 2021

*Rahmi Adi Bazenet*

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
<b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	6
1.3 Manfaat Penelitian.....	7
1.4 Kerangka Pemikiran .....	7
1.5 Hipotesis .....	8
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	10
2.1 Biomassa.....	10
2.2 Klasifikasi dan Sifat Kimia Kayu Karet .....	11
2.3 Pirolisis .....	13
2.4 Densifikasi Biomassa .....	15
2.5 Perekat Tapioka .....	16
2.6 Briket Arang .....	17
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	21
3.3 Rancangan Percobaan.....	22
3.4 Tahapan Penelitian .....	23
3.4.1 Pembuatan arang kayu karet dengan tungku kubah (PT Kendi Arindo) dan <i>double drum retort kiln</i> .....	23
3.4.2 Pembuatan briket .....	25
3.4.3 Pengujian briket .....	25
3.4.4 Analisis data.....	27

Halaman

<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>29</b>
4.1 Pengaruh Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Karakteristik Fisik Briket Arang Kayu Karet dan Briket Biomassa Kayu Karet .....	29
4.1.1 Kerapatan .....	29
4.1.2 Daya serap air .....	32
4.2 Pengaruh Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Karakteristik Energi Briket Arang Kayu Karet dan Briket Biomassa Kayu Karet .....	34
4.2.1 Analisis ultimat .....	34
4.2.2 Nilai kalor .....	36
4.2.3 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) .....	38
<b>BAB V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>42</b>
5.1 Simpulan.....	42
5.2 Saran .....	42
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>43</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>58</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Potensi energi terbarukan di Indonesia .....	11
2. Karakteristik kayu karet ( <i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg).....	13
3. Jenis proses pirolisis dan parameter operasinya. ....	15
4. Standar kualitas briket dibeberapa negara. ....	19
5. Interaksi tipe tungku pirolisis dan kadar perekat terhadap daya serap air .....	33
6. Uji ultimat pada briket biomassa dan briket arang ( <i>double drum retort kiln</i> dan tungku kubah).....	34
7. Hasil sidik ragam daya serap air. ....	59
8. Hasil uji interaksi arah horizontal daya serap air pada perlakuan tanpa pirolisis (kontrol) terhadap kadar perekat. ....	59
9. Hasil uji interaksi arah horizontal daya serap air pada perlakuan <i>double drum retort kiln</i> terhadap kadar perekat.....	59
10. Hasil uji interaksi arah horizontal daya serap air pada perlakuan arang tungku kubah terhadap kadar perekat. ....	60
11. Hasil uji interaksi arah vertikal daya serap air pada perlakuan kadar perekat 5% terhadap tipe tungku pirolisis. ....	60
12. Hasil uji interaksi arah vertikal daya serap air pada perlakuan kadar perekat 10% terhadap tipe tungku pirolisis. ....	60
13. Hasil uji interaksi arah vertikal daya serap air pada perlakuan kadar perekat 15% terhadap tipe tungku pirolisis. ....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	8
2. Diagram alir pembuatan briket kayu karet .....	18
3. Tata letak percobaan dalam rancangan acak kelompok lengkap (RAKL). ....	22
4. Skema pirolisis menggunakan tungku kubah. ....	23
5. Skema pirolisis menggunakan <i>double drum retort kiln</i> .....	24
6. Kerapatan kering tanur briket biomassa (kontrol) dan briket arang kayu karet ( ----: SNI 01-6235-2000).....	30
7. Kerapatan kering udara briket biomassa (kontrol) dan briket arang kayu karet (---- : SNI 01-6235-2000).....	30
8. Daya serap air briket biomassa (kontrol) dan briket arang kayu karet. ....	32
9. Nilai kalor briket biomassa dan briket arang limbah kayu karet. ....	37
10. Spektrum FTIR briket biomassa limbah kayu karet (tanpa pirolisis). ....	39
11. Spektrum FTIR briket arang produksi <i>double drum retort kiln</i> .....	40
12. Spektrum FTIR briket arang produksi tungku kubah. ....	41
13. Proses pemotongan kayu karet menjadi ukuran 30-40 cm. ....	61
14. Proses penyusnan dan memasukkan drum kecil ke dalam drum besar....	61
15. Proses produksi arang dengan <i>double drum retort kiln</i> . ....	62
16. Hasil arang limbah kayu karet produksi <i>double drum retort kiln</i> . ....	62
17. Proses penyusunan kayu karet kedalam tungku kubah. ....	63
18. Proses produksi arang menggunakan tungku kubah. ....	63

Gambar	Halaman
19. Proses pengeluaran dan pengayakan arang kayu karet .....	63
20. Hasil arang kayu karet produksi tungku kubah.....	64
21. Proses penimbangan bahan baku .....	64
22. Proses pencetakan briket menggunakan alat pres hidrolik. ....	65
23. Hasil briket arang dan briket biomassa limbah kayu karet. ....	65
24. Proses penimbangan masa briket menggunakan timbangan digital.....	66
25. Proses pengukuran volume briket menggunakan kaliper digital .....	66
26. Penghalusan sampel dengan mortar untuk analisis.....	66

## **BAB I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang dan Masalah**

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan populasi manusia. Peningkatan kebutuhan energi untuk sarana transportasi, aktivitas rumah tangga dan industri mendorong peningkatan konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM). Sebagai negara berkembang, Indonesia masih membutuhkan banyak energi untuk memenuhi berbagai sektor konsumen energi tersebut (Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, 2015). Konsumsi energi (tanpa biomassa) tahun 2018 pada sektor transportasi sebesar 40%, industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing sebesar 6% dan 2% (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2019).

Sumber energi di Indonesia masih bergantung pada pasokan bahan bakar fosil berupa batu bara, minyak bumi, dan gas. Menurut Dewan Energi Nasional (2014), kontribusi energi fosil pada tahun 2013 sebesar 94,3% dari total kebutuhan energi nasional, yaitu sebesar 1,35 juta setara barel minyak (SBM), sisanya 5,7% dipenuhi dari energi baru terbarukan. Berdasarkan jumlah tersebut, minyak bumi memberikan kontribusi 49,7%, gas bumi 20,1%, dan batubara sebesar 24,5%. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dapat menimbulkan masalah serius seperti menipisnya cadangan minyak bumi, harga produksi minyak akan meningkat atau tidak stabil akibat permintaan yang semakin tinggi, dan meningkatnya polusi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil (terutama CO<sub>2</sub>) (Meilani *et al.*, 2010; Kholid, 2015).

Cadangan potensi bahan bakar fosil yang ada saat ini, produksi batubara berkisar 417 juta ton diperkirakan akan habis dalam 68 tahun mendatang. Cadangan minyak bumi sebesar 338 juta barel diperkirakan akan habis dalam 9

tahun mendatang dan cadangan potensi gas bumi diperkirakan akan habis dalam 42 tahun mendatang (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018). Penurunan produksi cadangan bahan bakar fosil menjadi salah satu faktor munculnya pemikiran penganekaragaman energi (diversifikasi energi) dengan melakukan pengembangan sumber energi alternatif (Kholid, 2015). Energi alternatif yang perlu dikembangkan salah satunya berasal dari energi biomassa (Rubiayanti *et al.*, 2019).

Biomassa merupakan material-material organik yang berasal dari tumbuhan, hewan, limbah industri budidaya (pertanian, kehutanan, peternakan, dan perikanan) dan juga komponen organik dari limbah perkotaan dan industri (Department of Energy and Climate Change, 2012). Bahan bakar berasal dari energi biomassa dapat digunakan secara langsung atau dilakukan proses terlebih dahulu menjadi sebuah produk bioenergi (Yudha *et al.*, 2017). Penggunaan energi biomassa dapat berdampak positif bagi lingkungan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan efek rumah kaca sehingga dapat mencegah terjadinya pemanasan global (Sette *et al.*, 2016). Biomassa dari tumbuhan sangat potensial di Indonesia karena terletak di garis katulistiwa yang menjadikannya sebagai negara agraris yang tidak mengenal musim (Suganal dan Hudaya, 2019). Kekayaan vegetasi di Indonesia berasal dari sektor kehutanan, pertanian, dan perkebunan yang menyebabkan sumber energi biomassa melimpah baik dalam bentuk bahan baku ataupun limbah. Jenis biomassa dari sektor kehutanan yang sangat potensial adalah biomassa limbah kayu seperti limbah kayu penebangan dan limbah penggergajian kayu (Adrian *et al.*, 2015; Hidayat *et al.*, 2021a; Agustin *et al.*, 2014). Salah satu jenis biomassa kayu yang memiliki potensi yang cukup besar di Indonesia adalah limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis*).

Indonesia merupakan negara penghasil karet terbesar kedua di dunia setelah Thailand (Nancy *et al.*, 2013). Kontribusi tiga negara terbesar penghasil karet meliputi Thailand, Indonesia, dan Malaysia. Indonesia berkontribusi hampir 40% dari total perkebunan karet di dunia (Woelen *et al.*, 2012). Total area perkebunan karet Indonesia pada tahun 2019 mencapai 3,68 juta ha, yang terdiri dari 3,25 juta ha (88,3%) perkebunan karet rakyat, 437,4 ribu ha (12,7%) perkebunan besar negara (BPS, 2020). Total produksi kayu bulat tanaman karet di Indonesia 176,6

ribu m<sup>3</sup> dari total produksi kayu bulat di Indonesia yang mencapai 55,5 juta m<sup>3</sup> (BPS, 2018). Kayu karet umumnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku perabotan rumah tangga industri mebel, industri kayu penggergajian, papan partikel, pulp dan kertas (Widiyanto, 2011; Admojo dan Setyawan, 2018; Vachlevi, 2019).

Areal perkebunan karet yang besar juga akan menghasilkan limbah kayu penebangan yang besar pula dari adanya kegiatan peremajaan yang dilakukan oleh industri karet. Peremajaan merupakan suatu kegiatan menanam kembali tanaman karet yang bertujuan untuk menggantikan tanaman tua yang sudah tidak produktif lagi (Vachlepi, 2019). Tanaman karet yang sudah tidak produktif atau sudah tidak bisa menghasilkan getah biasanya berumur 25-30 tahun. Batang pohon karet pada umur rata-rata peremajaan menghasilkan kayu berdiameter 15 cm dengan tinggi 15-25 cm. Apabila diasumsikan peremajaan sebesar 5% per tahun (Woelan *et al.*, 2012) dan tiap pohon memiliki volume 0,26 m<sup>3</sup> (diameter 15 cm dan tinggi 15 m) dengan jarak tanam 4 m x 6 m, maka terdapat sekitar 416,6 pohon/ha dengan volume 108,3 m<sup>3</sup>/ha. Sehingga potensi kayu karet yang sudah tidak produktif pada tahun 2019 sebesar 184 ribu ha dengan total pohon sebanyak 76,6 juta pohon dan volume 19,9 juta m<sup>3</sup>.

Limbah penebangan kayu karet dari hasil kegiatan peremajaan dapat berupa limbah daun, cabang, ranting, akar dan tungkul (Matangaran, 2012). Berdasarkan penelitian Sari dan Ariyanto (2018), kegiatan pemanaenan kayu menghasilkan batang utama sebesar (43,43%) dan limbah yang dihasilkan berupa limbah cabang (26,12%), tungkul (13,63%), ranting (11,13%) dan sisa pembagian batang/*bucking* (5,69%). Selain itu, limbah kayu karet juga berasal dari industri kayu karet lainnya seperti industri penggergajian, industri MDF (*Medium Density Fiberboard*), dan industri *veneer* yang masih menghadapi masalah berupa limbah kayu yang dihasilkan. Adrian (2015) mengemukakan bahwa limbah industri penggergajian kayu menghasilkan limbah berupa serbuk gergajian 10,6%, sebetan 25,9% dan potongan 14,3% sehingga total limbah sebesar 50,8% dari bahan baku yang digunakan. Menurut Peraturan Dirjen Bina Produksi Kehutanan No. P.13/VI-BPPHH/2009, rendemen kayu bulat tanaman karet pada industri kayu gergajian sebesar 32-53%, untuk industri MDF 75-90%, sedangkan untuk

*veneer* 56-59%. Persentase dari sisa rendemen kayu tersebut merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan lebih baik agar lebih bernilai guna dan bernilai ekonomis.

Limbah kayu karet yang melimpah dapat ditingkatkan nilai gunanya menjadi salah satu sumber energi alternatif dengan cara menggunakan teknologi pirolisis (Park *et al.*, 2018). Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia organik (biomassa) dengan proses pemanasan tanpa atau sedikit O<sub>2</sub> atau reagen lainnya dengan kisaran suhu 300-1000°C (Qiram *et al.*, 2015; Kwon *et al.*, 2018; Haryanto *et al.*, 2021a). Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis ini berupa produk cair (*bio-oil*), padat (*bio-char/arang*), dan gas (CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan CH<sub>4</sub>) (Anam *et al.*, 2019; Riniarti *et al.*, 2021a). Arang merupakan residu yang terjadi dari hasil penguraian kayu akibat panas yang sebagian besar komponen kimianya adalah karbon (Hidayat *et al.*, 2021b; Salim, 2016).

Arang sebagai bahan bakar padat masih memiliki beberapa kekurangan diantaranya kerapatan (densitas) yang relatif rendah, variasi ukuran dan bentuknya yang menyebabkan kesulitan dalam penanganan dan penyimpanan sehingga tidak ekonomis dalam pengangkutan jarak jauh atau transportasi (Nurkholidah *et al.*, 2020; Rubiyanti *et al.*, 2019; Wibowo *et al.*, 2020). Oleh karena itu, arang kayu karet perlu ditingkatkan kualitasnya menjadi briket arang melalui teknik densifikasi atau pembriketan sehingga penggunaannya lebih praktis. Densifikasi atau pembriketan biomassa merupakan suatu teknik untuk memadatkan biomassa dengan cara pengempaan (penekanan) sehingga rapat massa atau juga kerapatan potensi energinya meningkat (Anderson *et al.*, 2017; Mawardi 2019).

Briket sendiri merupakan bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif dan memiliki bentuk yang beragam. Bentuk briket yang umum dikenal diantaranya, bentuk bantal (*oval*), sarang tawon (*honey comb*), silinder (*cylinder*), telur (*egg*), dan lain-lain (Samsinar, 2014). Kelebihan briket arang dari arang kayu biasa adalah dapat menghasilkan energi panas yang tinggi, asap yang dihasilkan relatif sedikit, memiliki ukuran yang seragam, mengurangi persoalan dalam penyimpanan dan pengangkutan, serta dapat menggantikan fungsi minyak tanah dan kayu bakar sebagai sumber energi bahan bakar untuk

keperluan memasak rumah tangga dan industri skala kecil (Akowuah *et al.*, 2012; Isa *et al.*, 2012; Anderson *et al.*, 2017; Nasrul *et al.*, 2020). Selain itu, dari sisi ekonomi briket arang layak untuk dikembangkan karena penjualan briket arang secara ekspor dapat menghasilkan profit yang cukup besar. Sejalan dengan penelitian Tipayawon *et al.* (2018), biaya produksi untuk 1 kg briket arang sebesar Rp. 5.786. Sedangkan, Negara Korea dan Jepang menawarkan harga jual briket arang sebesar Rp. 7.457 per kg dengan demikian akan menghasilkan keuntungan sebesar 22,4%. Permintaan dari kedua negara tersebut sebanyak 5000 ton pertahun sehingga keuntungan dapat mencapai Rp. 8.356.600.000.

Proses produksi briket membutuhkan dua macam bahan utama, yaitu arang kayu dan perekat. Perekat berfungsi untuk mengikat partikel-partikel arang agar menjadi kompak (Smith dan Idrus, 2017). Menurut Permatasari dan Utami (2015), bahan perekat yang baik dapat menghasilkan briket arang tidak berasap pada saat dibakar dan tahan lama seperti pati, dekstrin dan tepung tapioka. Perekat jenis tepung kanji/ tepung tapioka, sagu, tanah liat, semen, natrium silikat, dan tetes tebu merupakan perekat yang sering digunakan dalam produksi briket. Berdasarkan hasil penelitian Ningsih *et al.* (2014), briket kulit buah bintaro dengan campuran perekat getah karet, arpus, tepung tapioka, dan sagu menunjukkan bahwa jenis perekat tepung tapioka dengan kadar 20% memiliki karakteristik energi paling baik, yaitu nilai kalor 25,12 MJ/kg dengan waktu bakar 72 menit. Penelitian ini dilakukan dengan memproduksi briket arang kayu karet dengan tepung tapioka. Arang kayu karet diproduksi menggunakan *double drum retort kiln* dan tungku kubah dengan kadar perekat sebesar 5%, 10%, dan 15%.

Menurut Elsaprike *et al.* (2018), arang produksi tungku kubah memiliki nilai kalor dan karbon lebih rendah dibandingkan dengan arang produksi tungku *double burner*, karena material tungku kubah terbuat dari batu bata dan tanah liat yang membuat sebaran suhu pada tungku kubah relatif lebih lama. Pemberian perekat juga dapat mempengaruhi kualitas briket, kadar perekat yang tinggi akan menurunkan kualitas briket seperti nilai kalor akan menurun, kadar air meningkat, kadar zat terbang meningkat, kadar abu dan karbon terikat menurun (Faizal *et al.*, 2014). Penelitian serupa telah dilakukan oleh Faizal *et al.* (2014),

dengan menguji kualitas briket arang kayu karet menggunakan tungku pirolisis berbeda, yaitu karbonisasi konvensional ( $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dan non-konvensional (*furnace*) dengan variasi perekat tapioka, yaitu 15%, 20%, 25%, 30%, 35%. Namun, penelitian yang membahas karakteristik briket arang kayu karet dengan kadar perekat yang lebih rendah (5%, 10%, dan 15%) dan tipe tungku (*double drum retort kiln* dan tungku kubah) belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan agar dapat menjadi sumber informasi dimasa mendatang. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisik dan energi briket arang limbah kayu karet dengan kadar perekat dan tungku pirolisis yang berbeda. Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kadar perekat tepung tapioka (5%, 10%, dan 15%) terhadap karakteristik fisik dan energi briket arang kayu karet?
2. Bagaimana pengaruh tipe tungku pirolisis (*double drum retort kiln* dan tungku kubah) terhadap karakteristik fisik dan energi briket arang kayu karet?
3. Bagaimana pengaruh interaksi kadar perekat dan tipe tungku pirolisis terhadap karakteristik fisik dan energi briket arang limbah kayu karet?

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh pemberian variasi kadar perekat tapioka (5%, 10%, dan 15%) terhadap karakteristik fisik dan energi briket arang kayu karet.
2. Menganalisis pengaruh tipe tungku pirolisis (*double drum retort kiln* dan tungku kubah) terhadap karakteristik energi briket arang limbah kayu karet.
3. Menganalisis dan mempelajari hasil pengaruh interaksi kadar perekat tapioka dan tipe tungku pirolisis terhadap karakteristik energi briket arang limbah kayu karet.

### 1.3 Manfaat Penelitian

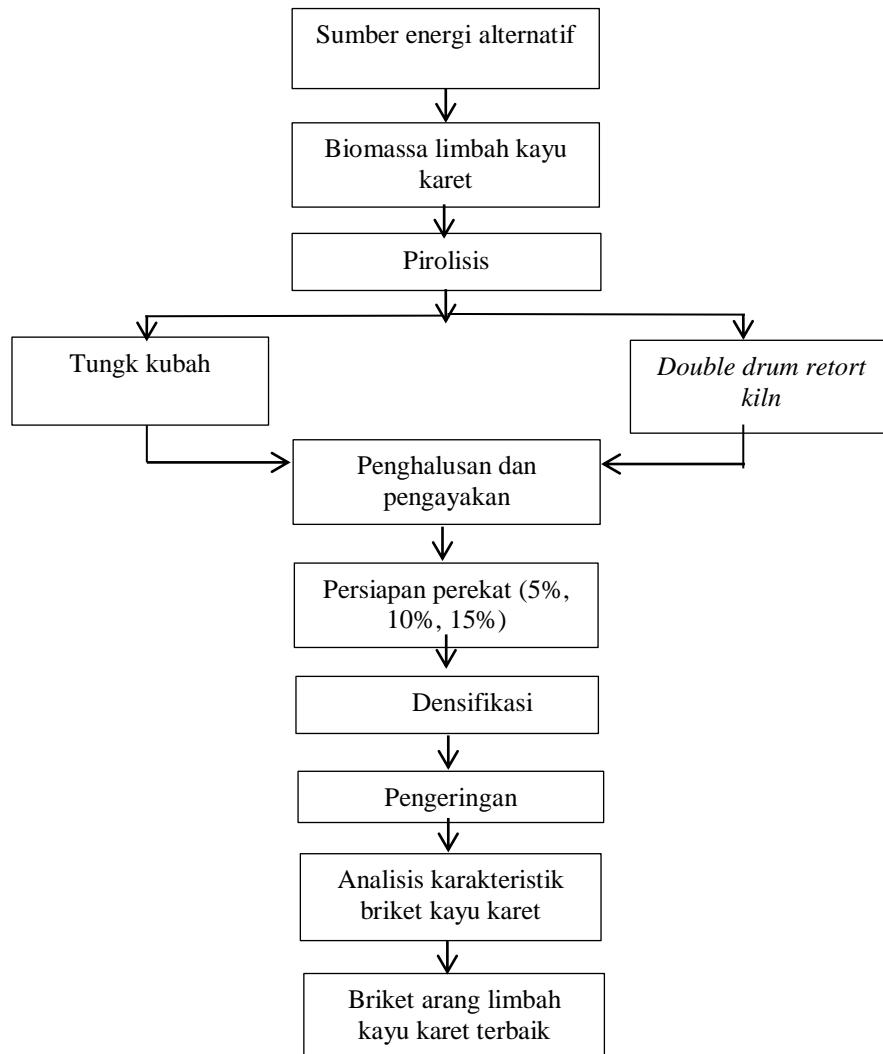
Manfaat pada penelitian ini diharapkan:

1. Menjadi sumber informasi atau referensi penelitian yang akan datang dalam mengembangkan briket arang kayu kayu karet sebagai energi alternatif.
2. Menjadi solusi masyarakat dalam menggunakan briket arang kayu karet sebagai energi alternatif.

### 1.4 Kerangka Pemikiran

Persoalan mengenai tingginya permintaan akan kebutuhan energi harus diatasi agar dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil. Persoalan ini dapat diatasi dengan pemanfaatan energi biomassa sebagai energi alternatif. Energi alternatif dapat menyediakan sumber energi yang berkesinambungan (Rubyanti *et al.*, 2019). Pemanfaatan biomassa yang berasal dari sektor kehutanan salah satunya adalah limbah kayu. Biomassa limbah kayu karet keberadaannya sangat melimpah di Indonesia. Limbah kayu karet yang melimpah perlu dikembangkan pemanfaatannya agar lebih bernilai guna salah satunya menjadi energi alternatif melalui teknologi pirolisis.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia organik (biomassa) oleh panas dengan menggunakan oksigen yang terbatas, proses ini diawali oleh pembakaran dan gasifikasi serta diikuti oksidasi total produk utama (Qiram *et al.*, 2015; Hidayat *et al.*, 2017). Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis adalah produk padat (*bio char/arang*), produk cair (*bio-oil*), dan produk gas. Produk padat atau arang sebagai bahan bakar perlu ditingkatkan kualitasnya menjadi briket arang dengan teknik densifikasi atau pembriketan. Pembriketan dilakukan dengan mencampurkan dua bahan baku utama, yaitu arang kayu karet (*double drum retort kiln* dan tungku kubah) dengan perekat tapioka (5%, 10% dan 15%). Kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

### 1.5 Hipotesis

Penelitian pengaruh kadar perekat terhadap karakteristik briket arang limbah kayu karet ini menggunakan hipotesis komparatif. Hipotesis komparatif adalah suatu pernyataan yang menunjukkan dugaan nilai dalam suatu variabel atau lebih pada sampel yang berbeda (Sugiyono, 2005). Berdasarkan penjelasan terkait penelitian ini maka diajukan hipotesis sebagai berikut:

1. Briket arang limbah kayu karet berperekat 5% memiliki karakteristik lebih baik dibandingkan briket arang berperekat 10% dan 15%.

2. Briket arang limbah kayu karet produksi *double drum retort kiln* memiliki karakteristik lebih baik dibandingkan dengan briket arang produksi tungku kubah.
3. Interaksi antara kadar perekat 5% dan tipe tungku pirolisis *double drum retort kiln* akan menghasilkan briket arang dengan karakteristik paling baik.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biomassa

Biomassa merupakan seluruh bahan organik yang berasal dari tanaman (termasuk alga, pohon dan tanaman) baik berupa produk maupun buangan (Suganal dan Hudaya, 2019). Sumber daya biomassa tersebut dapat dianggap sebagai material organik, dimana energi sinar matahari disimpan dalam ikatan kimia melalui proses fotosintesis (Papilo *et al.*, 2015; Sofyan *et al.*, 2014). Sumber lain mengatakan, biomassa merupakan segala sesuatu yang berkaitan dengan tanaman yang masih hidup termasuk limbah organik yang berasal dari manusia, tanaman, dan hewan (Fisafarani, 2010). Contoh biomassa terdiri dari tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak (Arhamsyah, 2010).

Material organik hidup umumnya mengandung air sekitar 80-90%. Sedangkan material organik yang sudah kering memiliki kandungan senyawa hidrokarbon yang tinggi (Adistia *et al.*, 2020). Senyawa tersebut sangat penting untuk potensi sumber energi. Biomassa yang dikonversi menjadi energi disebut juga sebagai bioenergi. Biomassa di Indonesia keberadaannya sangat melimpah, yaitu berasal dari limbah pertanian, kehutanan, dan perkebunan sehingga sangat potensial untuk dijadikan energi terbarukan. Diperkirakan potensi biomassa di Indonesia sebesar 146,7 juta ton per tahun yang berasal dari sektor pertanian, kehutanan dan perkebunan serta biomassa yang berasal dari sampah pada tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton (Adistia *et al.*, 2020; Parinduri, 2020). Potensi limbah biomassa kayu di Indonesia tercatat 2,7 juta ton/tahun dengan potensi energi sebesar 49,3 juta GJ/tahun (Kementerian ESDM, 2013). Potensi bioenergi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Potensi energi terbarukan di Indonesia

Jenis Energi	Potensi
Tenaga Air	94,3 GW
Panas Bumi	28,5 GW
Bioenergi	PLT Bio: 32,6 GW dan BBN: 200 Ribu Bph
Surya	207,8 GWp
Angin	60,6 GW
Energi Laut	17,9 GW

Sumber: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2019).

Energi biomassa memiliki kelebihan seperti dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi yang berkelanjutan (*sustainable*) (Arhamsyah, 2010). Selain itu juga dapat membantu mengurangi tingkat emisi gas rumah kaca. Energi yang berasal dari biomassa dapat dimanfaatkan baik dalam bentuk padat, cair dan gas (Syamsiro, 2016). Adapun tiga produk utama yang dapat dihasilkan dari biomassa adalah sebagai berikut (Basu, 2013):

1. Bahan bakar cair meliputi: ethanol, biodiesel, methanol, minyak sayur dan minyak pirolisis
2. Bahan bakar gas meliputi: biogas ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), *producer* gas ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ), syngas ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ) dan gas alam pengganti ( $\text{CH}_4$ ).
3. Bahan bakar padat meliputi: arang, biomassa torefaksi, *biocoke*, *biochar*

Bahan bakar dari biomassa dapat digunakan secara langsung atau diproses terlebih dahulu sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Contohnya, membakar briket arang kayu jauh lebih efisien dari pada membakar kayu bakar. Kadar air briket bisa serendah 4%, sedangkan kayu bakar bisa mencapai 65% (Akintunde *et al.*, 2013).

## 2.2 Klasifikasi dan Sifat Kimia Kayu Karet

Tanaman karet merupakan tanaman yang berasal dari Amerika Latin, khususnya negara Brasil sehingga memiliki nama ilmiah *Hevea brasiliensis*. Tanaman ini dikenal sejak abad ke-18 sebagai tanaman perkebunan (Kasrianti, 2017). Tanaman karet di Indonesia mulai dikenal sejak tahun 1876 oleh Henry A. Wickman yang memasukkan beberapa biji karet ke kebun percobaan petanian di Bogor dan kemudian disusul pemasukkan bibit-bibit karet berikutnya tahun 1890,

1896 dan 1898. Walaupun demikian, diperlukan waktu yang cukup lama untuk membudidayakan tanaman ini (Ardhiyan, 2013).

Tanaman karet merupakan tanaman berkayu yang dapat tumbuh tinggi dan berbatang cukup besar, tinggi pohon dewasa mencapai 15-25 m pohon tegak, kuat, berdaun lebat,dan dapat mencapai umur 100 tahun (Sofiani *et al.*, 2018).

Berikut struktur botani tanaman karet adalah sebagai berikut (Ismu, 2017):

Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Genus	: Hevea
Spesies	: <i>Hevea brasiliensis</i>

Tanaman karet memiliki beberapa spesies *Hevea* yang telah dikenal diantaranya *H. brasiliensis*, *H. benthamiana*, *H. spruceana*, *H. guinensis*, *H. collina*, dari jumlah spesies *Hevea* tersebut, hanya *H. Brasiliensis* yang mempunyai nilai ekonomi sebagai tanaman komersial, karena spesies ini banyak menghasilkan lateks (Daslin, 1988).

Tanaman karet merupakan salah satu tanaman kehutanan yang dapat dimanfaatkan hasil hutan bukan kayu berupa produk getah (Ayu *et al.*, 2015; Kholifah *et al.*, 2017). Tanaman karet memiliki umur ekonomis sekitar 25–30 tahun, sebelum akhirnya diremajakan. Tanaman karet mulai dapat disadap pada umur 8 tahun.Tanaman karet berpotensi menghasilkan kayu pada akhir masa sadapnya, yang merupakan salah satu biomassa potensial dengan kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi (Admojo dan Setyawan, 2018). Kayu karet tergolong kayu yang agak lunak hingga agak keras dengan densitas antara 0,4-0,6 g/cm<sup>3</sup> dan berat jenis rata-rata 0,61 g/cm<sup>3</sup> dengan kisaran 0,55-0,70 g/cm<sup>3</sup> (Setianto, 2013). Kayu karet termasuk dalam kelas kuat II-III dan kelas awet III dan memiliki nilai kalor sebesar 16,29 MJ/kg (Admojo dan Setyawan, 2018). Menurut Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral (2016) potensi energi kayu karet di Indonesia sebesar 3,1 juta ton senilai dengan 2.781 MWe. Adapun karakteristik kayu karet dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)

No.	Komponen Kimia	Satuan	Nilai
1.	Kerapatan kering udara	g/cm <sup>3</sup>	0,60
2.	Hemiselulosa	%	18,3
3.	Selulosa	%	34,6
4.	Lignin	%	25,5
5.	Zat ekstraktif	%	4,58
6.	Nilai kalor	MJ/kg	19,4
7.	Kadar abu	%TS	2,4
8.	Karbon terikat	%TS	16,8
9.	Zat mudah menguap	%TS	74,4
10.	C	%	45,5
11.	H	%	5,8
12.	O	%	39,68
13.	N	%	0,20
14.	S	%	0,02

Sumber: Boerhendry *et al.* (2001); Mazlan *et al.* (2015); Sultan *et al.* (2020).

Kayu karet juga memiliki daya tarik sendiri, yaitu dari warnanya yang cerah dan coraknya seperti kayu ramin. Kayu karet juga merupakan salah satu kayu tropis yang sudah memenuhi *ecolabelling* karena kayu karet dibudidayakan (*renewable*) dengan kegunaan yang cukup luas (Agustina *et al.*, 2013).

Kegunaan kayu karet ini dapat dijadikan sebagai perabot rumah tangga, bahan *veneer*, kayu gergajian, MDF (*Medium Density Fiberboard*), arang aktif, dan bahan bakar di industri (Agustina *et al.*, 2013; Simanjuntak *et al.*, 2019).

### 2.3 Pirolisis

Pirolisis adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan berbagai jenis biomassa untuk produksi *biofuel*. Limbah biomassa secara substansial dapat dikurangi dan dapat meningkatkan nilai tambah dengan teknologi pirolisis ini (Hanif *et al.*, 2016; Haryanto *et al.*, 2021a). Pirolisis merupakan proses dekomposisi kimia menggunakan pemanasan tanpa atau sedikit oksigen dalam pembakarannya (Ridhuan *et al.*, 2019). Menurut Basu (2020), pirolisis biomassa umumnya berlangsung pada rentang temperatur 300 °C sampai dengan 1000 °C. Hasil dan komposisi dari produk pirolisis tergantung pada komposisi bahan baku dan kondisi pirolisis (suhu, waktu tinggal, tekanan dan laju pemanasan) (Duman *et al.*, 2011).

Produk *biofuel* yang dihasilkan dalam proses pirolisis berupa padatan (*charcoal/ arang*), gas (*fuel gas*), dan cairan (*bio-oil*) (Wijayanti, 2013; Hidayat *et al.*, 2020; Riniarti *et al.*, 2021b; Tarigan *et al.*, 2021; Wijaya *et al.*, 2021). Secara umum produk pirolisis dapat diklasifikasi menjadi tiga jenis yaitu:

- Produk padat: berupa residu padat yang kaya kandungan karbon (*char*)
- Produk cair: berupa (tar, hidrokarbon, dan air)
- Produk gas: CO, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, dll.

Pirolisis terdiri dari pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) dan pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) yang merupakan suatu proses termokimia yang melibatkan konversi biomassa menjadi cair dan produk padat. Perbedaan utama antara pirolisis lambat dan cepat adalah laju pemanasan dan suhu reaksi maksimum (Brown *et al.*, 2011). Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*) umumnya digunakan untuk memaksimalkan hasil produk cair (*bio-oil*). Pirolisis cepat menggunakan laju pemanasan cepat (umumnya di atas 100°C/s) dan temperatur reaksi antara 450°C dan 550°C, dengan demikian memaksimalkan hasil cair (*bio-oil*) (Venderbosch dan Prins, 2010).

Pirolisis lambat ditandai dengan laju pemanasan yang lebih rendah (di bawah 80°C/menit) dengan temperatur reaksi berkisaran 350–750°C (Venderbosch dan Prins, 2010). Menurut Brown *et al.* (2011), laju pemanasan *slow pyrolysis* biasanya dibawah 100 K/menit dengan kisaran temperatur reaksi sebesar 300°C. *Slow pyrolysis* lebih maksimalkan hasil produk berupa arang. Sejalan dengan pernyataan Tanoue *et al.* (2010), bahwa pirolisis lambat proses laju pemanasan sangat lambat sehingga gas dan tar yang dihasilkan semakin rendah. Sedangkan proses hasil pengarangannya akan sangat tinggi. Proses dari beberapa parameter berupa suhu reaksi, laju pemanasan, dan waktu tinggal dari pirolisis cepat dan pirolisis lambat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jenis proses pirolisis dan parameter operasinya

Proses	Reaksi Suhu (°C)	Laju Pemanasan (°C/menit)	Waktu tinggal	Hasil Biooil (%)	Hasil Biochar (%)	Hasil Gas (%)
<i>Slow Pyrolysis</i>	300-550	50	5-30 min; 24-35 jam	20-50	25-35	20-50
<i>Fast Pyrolysis</i>	300-1000	10-1000	2 detik	60-75	10-25	10-3

Sumber: Jouhara *et al.* (2017).

## 2.4 Densifikasi Biomassa

Biomassa umumnya memiliki densitas yang cukup rendah dengan kadar air yang tinggi sehingga menghasilkan nilai kalor yang relatif rendah (Magdziarz *et al.*, 2017). Upaya dalam meningkatkan densitas dan nilai kalor biomassa salah satunya adalah dengan dilakukannya densifikasi. Densifikasi biomassa merupakan suatu teknologi untuk konversi biomassa menjadi bahan bakar dengan meningkatkan kerapatan sehingga memiliki ukuran yang teratur (Hasan, 2020). Densifikasi dilakukan untuk memadatkan biomassa dengan cara pengempaan/penekanan sehingga dapat meningkatkan kerapatan dan potensi energinya (Syamsiro, 2016). Menurut Hidayah *et al.* (2014), proses densifikasi pada briket atau disebut sebagai pembriketan merupakan proses pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan pada kondisi tertentu, sehingga diperoleh briket yang mempunyai bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu.

Densifikasi biomassa menjadi briket bertujuan untuk meningkatkan densitas dan mengurangi persoalan penanganan seperti penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum densifikasi biomassa mempunyai beberapa keuntungan antara lain dapat menaikkan nilai kalor per unit volume dan kualitas yang seragam (Surono, 2010). Proses densifikasi dilakukan pada bahan yang memiliki sifat fisik tidak beraturan atau berbentuk curah (Syamsiro, 2016). Selain keuntungan yang ada, proses densifikasi dengan cara penekanan atau pengepresan juga terdapat kekurangan. Apabila tekanan yang diberikan terlalu tinggi dapat mengakibatkan produk yang terlalu keras. Sebaliknya, tekanan yang terlalu rendah akan mengakibatkan produk hancur. Kedua hal tersebut bertolak belakang dengan mutu briket arang yang sesuai dengan syarat SNI (Ansar *et al.*, 2014).

## 2.5 Perekat Tapioka

Poduksi briket memerlukan adanya penambahan bahan perekat yang berfungsi untuk merekatkan partikel-partikel zat dalam bahan baku pada proses pembuatan briket, sehingga dapat menghasilkan briket yang kompak (Fachary *et al.*, 2010). Perekat dalam pembuatan arang sangat berpengaruh terhadap kualitas briket berupa kerapatan, ketahanan tekan, nilai kalor bakar, dan kadar air. Jumlah perekat yang tidak sesuai pada biomassa saat pembuatan briket akan memengaruhi hasil cetakan, ketika dicetak hasil cetakan akan terlalu kering dan mudah hancur. Pencampuran perekat yang tidak merata juga akan menghasilkan cetakan briket patah-patah ketika keluar dari cetakan briket (Muji dan Mulasari, 2014).

Penggunaan jenis dan kadar perekat pada pembuatan briket merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan briket (Akintunde *et al.*, 2013). Perekat dalam pembuatan briket dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu perekat yang berasap (*tar, pitch, clay*, dan molases) dan perekat sedikit berasap (pati, dekstrin, dan tepung beras). Pati jenis tapioka merupakan pati yang berasal dari singkong yang dapat digunakan untuk keperluan industri, makanan, farmasi, perekat, dan lain-lain (Saleh, 2013). Pati tapioka memiliki sifat yang menguntungkan dalam pengolahan pangan, kemurnian larutannya tinggi, kekuatan gel yang baik dan daya rekat yang tinggi sehingga banyak dijadikan sebagai bahan perekat. Berdasarkan sifat kimianya, komposisi tepung tapioka per 100 g terdiri atas kadar air 9,10%, karbohidrat 88,2%, protein 1,1%, lemak 0,5%, fosfor 125 mg, kalsium 84 mg, dan besi 1 mg (Faujiah, 2016).

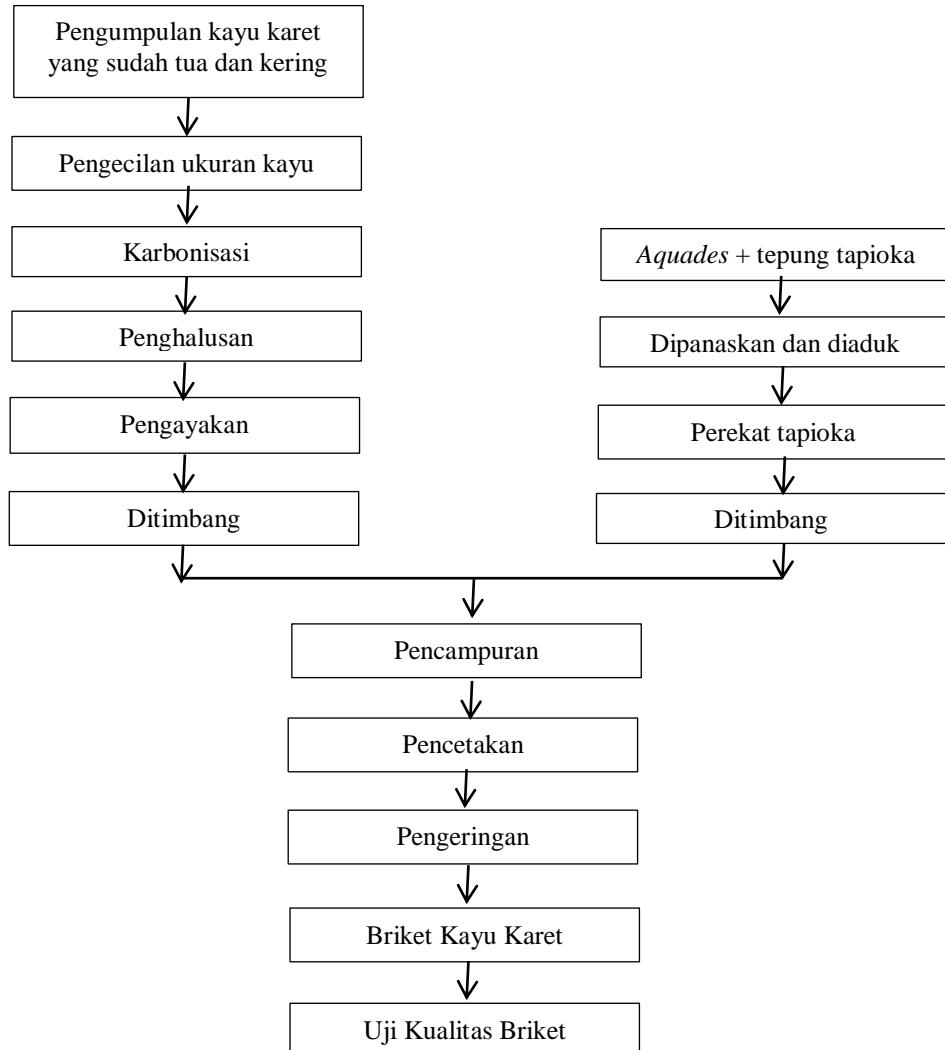
Perekat tepung tapioka dalam bentuk cair menghasilkan *fiberboard* bernilai rendah dalam hal kerapatan, keteguhan tekan, kadar abu dan zat mudah menguap, tetapi akan lebih tinggi kadar air, karbon terikat, dan nilai kalornya dibandingkan dengan perekat molase. Penggunaan perekat ini akan menghasilkan briket yang tidak berasap dan tahan lama (Saleh, 2013). Menurut Hanandito dan Willy (2011), tepung tapioka merupakan salah satu jenis perekat paling baik dibandingkan dengan molasses dan silikat karena memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya, yaitu sebesar 26,51 MJ/kg. Jenis perekat tepung tapioka sering digunakan sebagai bahan perekat karena banyak

terdapat dipasaran dan harga yang relatif murah. Berdasarkan penelitian Lina *et al.* (2013), briket arang tongkol jagung yang menggunakan perekat tapioka dengan kadar 10% menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 22,96 MJ/kg dan mengandung sulfur 1,14% sehingga tidak menyebabkan polusi. Kelemahan dari perekat ini adalah briket arang akan mudah ditumbuhinya jamur saat disimpan karena mudah menyerap uap air di udara. Briket yang ditumbuhinya jamur dapat diatasi dengan menggunakan antifungi pada saat pembuatan perekat (Muzi dan Mulasari, 2014).

## 2.6 Briket Arang

Briket adalah salah satu sumber bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, karena menggunakan bahan yang berasal dari bahan organik dan mudah didapat. Limbah kayu, limbah perkebunan, limbah pertanian, limbah hutan, rumah tangga dan komponen organik dari industri dapat dimanfaatkan sebagai biomassa briket (Arake, 2017). Briket arang merupakan bahan bakar padat dengan menggunakan perekat dan tekanan, mengandung senyawa karbon, mempunyai nilai kalori yang relatif tinggi, dan dapat menyala dalam waktu yang cukup lama (Ansar *et al.*, 2020).

Pembriketan adalah suatu proses pengolahan yang meliputi beberapa kegiatan, yaitu: penggerusan, pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan pada kondisi tertentu, sehingga diperoleh briket yang memiliki bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu. Pembriketan bertujuan untuk meningkatkan mutu bahan baku sebagai bahan bakar, mempermudah penanganan dan transportasi serta mengurangi kehilangan bahan dalam bentuk debu pada proses pengangkutan (Fachary *et al.*, 2010). Proses pembriketan dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Faizal *et al.*(2014).

Gambar 2. Diagram alir pembuatan briket kayu karet

Penggunaan briket sebagai bahan bakar lebih murah 65% jika dibandingkan dari minyak tanah, gas, dan kayu (Rindayatno dan Lewar, 2017). Hal yang sama juga diungkap oleh Patandung (2014) bahwa bahan bakar menjadi murah jika bahan baku yang digunakan banyak tersedia dan melimpah di alam dan teknologi yang digunakan untuk pembuatannya juga sederhana.

Berdasarkan bentuknya, briket memiliki bentuk yang bervariasi tergantung dari bentuk cetakan yang diinginkan. Bentuk briket umumnya berbentuk silinder (pejal/non pejal), kubus, *hexagonal*/segi enam, segi delapan dan lain sebagainya (Erikson, 2011). Briket dapat dikatakan bermutu baik apabila memenuhi standar

mutu agar dapat digunakan sesuai kegunaannya. Sifat-sifat penting yang mempengaruhi kualitas bahan bakar adalah sifat fisik dan kimia seperti berat jenis, suhu karbonisasi, kehalusan partikel arang, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap dan nilai kalor (Maryono *et al.*, 2013). Standar kualitas briket dari beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Standar kualitas briket di beberapa negara

Sifat Briket	ESDM <sup>1</sup>	SNI <sup>2</sup>	Jepang <sup>3</sup>	Inggris <sup>4</sup>	Amerika <sup>5</sup>
Kadar Air (%)	$\leq 15$	$\leq 8$	6-8	3-4	6,2
Kadar Abu (%)	$\leq 10$	$\leq 8$	5-7	8-10	8,3
Kadar Zat Terbang (%)	Sesuai bahan baku	$\leq 15$	15-30	16,4	19-28
Karbon Terikat (%)	Sesuai bahan baku	$\geq 77$	60-80	75	60
Kerapatan g/cm <sup>3</sup>	-	0,447	1,0-1,2	0,46	1
Keteguhan Tekan g/cm <sup>2</sup>	-	-	60-65	12,7	62
Nilai Kalor (MJ/kg)	18,42	$\geq 20,93$	20,93-25,12	24,58	26,08

Sumber: Paisal dan Karyani (2014).

#### Keterangan:

- 1: Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 047 Tahun 2006 tentang Pedoman Pembuatan dan Pemanfaatan Briket Batubara dan Bahan Bakar Padat Berbasis Batubara.
- 2: Standar Nasional Indonesia (2000).
- 3: Japanese Industrial Standards (1993).
- 4: British Standard (1998).
- 5: American Standard Testing and Material (2003).

Briket berkualitas adalah briket yang mempunyai ukuran partikel kecil, kandungan air rendah dan memiliki nilai kalor tinggi (Musabbikhah, 2014). Mutu briket juga dipengaruhi oleh perekat dalam briket baik jumlah maupun jenis perekat serta cara pengujian yang digunakan (Maryono, *et al.*, 2013). Sifat briket arang kayu diantaranya dapat dipengaruhi oleh jenis kayunya (bahan baku). Kayu dengan berat jenis tinggi akan menghasilkan briket arang dengan kadar *fixed carbon* dan nilai kalor yang tinggi pula (Fachary *et al.*, 2010). Selain terdapat beberapa kriteria briket sebagai bahan bakar yang baik, sebagai berikut.

1. Mudah menyala.

2. Tidak mengeluarkan asap.
3. Emisi gas hasil dan pembakaran tidak mengandung racun.
4. Kedap air dan hasil pembakaran tidak berjamur apabila disimpan dalam waktu lama.
5. Menunjukkan upaya laju pembakaran (waktu, laju pembakaran, dan suhu pembakaran) yang baik (Faizal *et al.*, 2014).

## **BAB III. METODE PENELITIAN**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Desember 2020 – Juni 2021. Persiapan bahan dan pirolisis dilakukan di *Workshop Laboratorium Teknologi Hasil Hutan*, UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung dan PT Kendi Arindo. Pembuatan briket arang dan briket biomassa kayu karet di Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian Fakultas Petanian Universitas Lampung. Analisis ultimat dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian. Analisis FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan di Laboratorium Inovasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Perhitungan kerapatan, daya serap air, dan nilai kalor dilakukan di Laboratorium THH, Jurusan Kehutanan, Universitas Lampung.

### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sarung tangan, *stopwatch*, mangkuk, sendok pengaduk, kompor, panci, alat tulis, *tallysheet*, kamera, laptop, tungku kubah, *double drum retort kiln*, *thermocouple*, timbangan digital ketelitian 0,0001 g, alat penggiling sampel (mortar), cetakan briket ukuran 5 cm x 5 cm x 7,5 cm, alat CHN Analyzer tipe CHN 628 (LECO), alat *spectrofotometer* IR tipe varian 2000 FTIR *scimter series*, ayakan 3 mm x 3 mm, oven, alat pres hidrolik, dan kaliper digital ketelitian 0,001. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu arang kayu karet produksi *double drum retort kiln* dan arang produksi tungku kubah, serbuk kayu karet, tepung tapioka, serta air.

### 3.3 Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen.

Metode eksperimen merupakan metode penelitian yang bertujuan untuk meneliti hubungan antara sebab akibat dengan memanipulasikan satu atau lebih variabel pada satu atau lebih kelompok eksperimen dan membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol yang tidak mengalami manipulasi (Rakhmat, 1985).

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok Lengkap (RAKL) secara faktorial. Penelitian menggunakan dua faktor, yaitu kadar perekat tapioka dan tipe tungku pirolisis. Kadar perekat yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15% sedangkan tipe tungku pirolisis yang digunakan adalah tipe tungku pirolisis (tanpa pirolisis (kontrol), *double drum retort kiln*, dan tungku kubah).

Rancangan ini digunakan untuk hasil data karakteristik fisik briket pada uji daya serap air. Setiap perlakuan dilakukan 5 kali pengulangan. Sehingga pada penelitian ini digunakan 45 satuan percobaan. Tata letak percobaan dapat dilihat pada Gambar 3.

Kelompok I	K1P3	K2P1	K1P1	K3P1	K2P3	K3P2	K1P2	K2P2	K3P3
Kelompok II	K3P2	K1P2	K2P1	K3P1	K3P3	K2P3	K2P2	K1P1	K1P3
Kelompok III	K2P2	K3P2	K1P3	K1P1	K2P1	K3P1	K3P3	K2P3	K1P2
Kelompok IV	K1P2	K1P3	K3P1	K3P3	K2P2	K1P1	K2P1	K3P2	K2P3
Kelompok V	K2P1	K3P1	K3P3	K2P3	K1P2	K2P2	K1P1	K1P3	K3P2

Gambar 3. Tata letak percobaan dalam rancangan acak kelompok lengkap (RAKL).

Keterangan:

K1: Briket biomassa (kontrol)

K2: Briket arang *double drum retort kiln* ulangan

K3: Briket arang tungku kubah

P1: Perekat tepung tapioka kadar 5%.

P2: Perekat tepung tapioka kadar 10%.

P3: Perekat tepung tapioka kadar 15%.

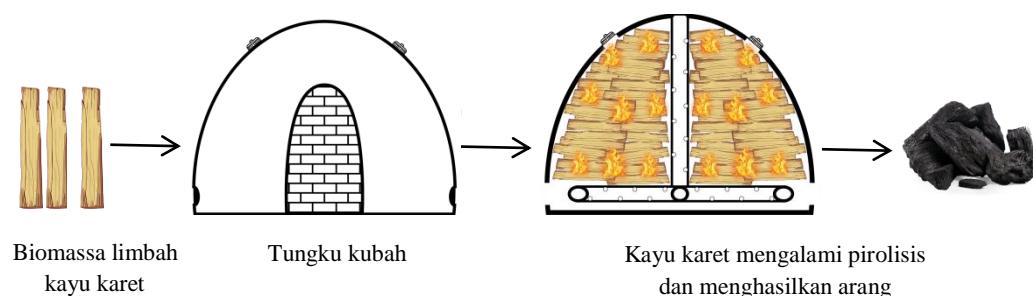
### 3.4 Tahapan Penelitian

#### 3.4.1 Pembuatan arang kayu karet dengan tungku kubah (PT Kendi Arindo) dan *double drum retort kiln*

##### 3.4.1.1 Pembuatan arang tungku kubah (PT Kendi Arindo)

Tungku kubah untuk produksi arang kayu di PT Kendi Arindo memiliki bentuk seperti kubah yang terbuat dari susunan bata, pasir dan tanah liat. Tungku ini memiliki kapasitas volume yang cukup besar, yaitu  $12 \text{ m}^3$ . Proses produksi arang diawali dengan persiapan bahan baku kayu karet, kemudian kayu karet disusun secara horizontal hingga tungku penuh. Setelah itu, pintu tungku ditutup dengan batu bata dan tanah liat serta beri sedikit celah untuk masuknya oksigen.

Api dihidupkan melalui jendela bagian kanan/kiri atas tungku. Biarkan celah-celah udara pada tungku tetap terbuka terlebih dahulu. Biarkan api menyebar dan membakar seluruh bagian tungku hingga merata. Proses pembakaran ini berlangsung hingga 5-7 hari. Pengaturan suhu dapat dilakukan dengan membuka atau menutup celah-celah pada tungku. Apabila asap sudah mulai berkurang, tutup satu persatu celah udara pada tungku. Proses pendinginan berlangsung hingga 7 hari. Setelah itu, arang kayu karet dibongkar dari dalam tungku. Selanjutnya, dilakukan pengayakan. Setelah dilakukan pengayakan, simpan arang kayu karet dalam karung. Skema pirolisis kayu karet menggunakan tungku kubah disajikan pada Gambar 4.

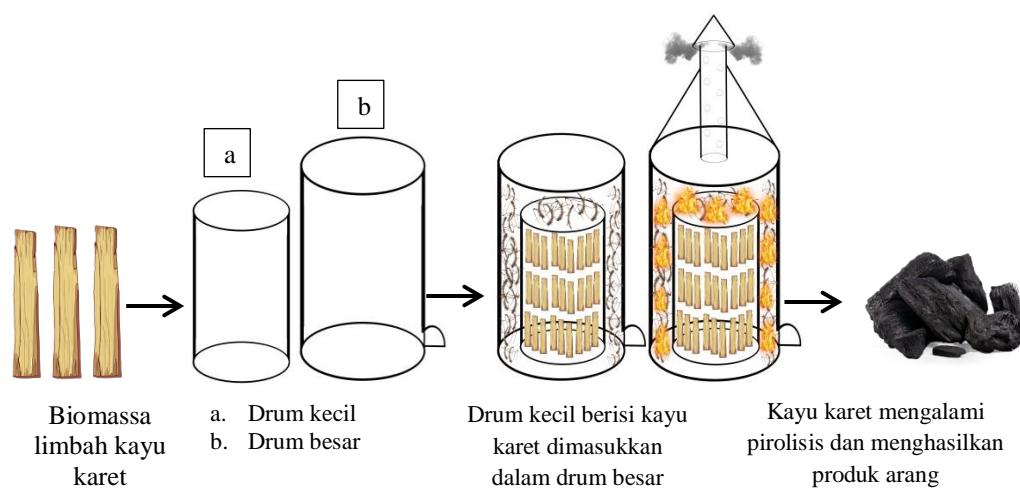


Gambar 4. Skema pirolisis menggunakan tungku kubah.

### 3.4.1.2 Pembuatan arang kayu karet dengan *double drum retort kiln*.

*Double Drum Retort Kiln* memiliki kapasitas volume yang cukup kecil namun pengerjaannya memakan waktu lebih cepat dibandingkan menggunakan tungku kubah. Tungku ini terdiri dari dua macam drum yang berukuran berbeda. *Drum* bagian dalam ukurannya lebih kecil dan *drum* bagian luar ukurannya lebih besar. *Drum* bagian dalam terdapat lima celah udara di bagian bawah. Sedangkan pada *drum* luar dilengkapi dengan cerobong asap dan satu celah udara di bagian bawah.

Proses pembuatan arang kayu karet menggunakan tungku ini diawali dengan persiapan bahan baku kayu karet. Kayu karet dipotong hingga ukuran 30-40 cm. Kemudian, kayu dimasukkan ke dalam tungku *drum* dalam hingga penuh lalu tutup *drum*. Setelah itu, tungku *drum* yang sudah diisi oleh kayu karet, dimasukkan ke dalam tungku *drum* luar yang lebih besar. Setelah itu bahan bakar berupa potongan kayu bakar dimasukkan ke dalam celah antara *drum* besar dengan *drum* kecil. Selanjutnya, api dinyalakan dan tutup tungku *drum* besar. Proses pembakaran berlangsung hingga 5-6 jam. Setelah itu, proses pendinginan berlangsung hingga 4-5 jam dengan memberikan pasir pada bagian tutup atas tungku dan tutup cerobong atas dengan kain basah dan dilapisi tanah agar tidak ada udara yang masuk ataupun keluar. Skema pirolisis kayu karet menggunakan *double drum retort kiln* disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema pirolisis menggunakan *double drum retort kiln*.

### 3.4.2 Pembuatan briket

Pembuatan berikut arang kayu karet diawali dengan membuat serbuk arang kayu karet. Arang kayu karet digiling hingga halus dan diayak dengan ukuran 3mm x 3mm. Campur serbuk arang dengan tepung tapioka kedalam panci dengan variasi komposisi arang kayu karet dan tepung tapioka yang digunakan, yaitu 95%:5%; 90%:10%; 85%:15%. Berat total setiap komposisi arang dan perekat adalah 20 g. Campuran kedua bahan tersebut dipanaskan dengan api sedang sembari diberi air sedikit demi sedikit hingga terbentuk menjadi adonan yang kalis. Kemudian, adonan dimasukan kedalam cetakan briket dan dicetak menggunakan alat pres hidrolik. Target ukuran briket yang dihasilkan sebesar 5 cm x 5 cm x 1 cm dengan target kerapatan 0,8 g/cm<sup>3</sup>. Selanjutnya, briket dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C. Sebagai pembanding, briket biomassa dibuat dengan tahapan serupa briket arang kayu karet. Hanya saja bahan yang digunakan berupa serbuk kayu karet.

### 3.4.3 Pengujian briket

#### 3.4.3.1 Uji Kerapatan

Kerapatan yang dihitung adalah kerapatan berat kering tanur dan kering udara. Kering tanur didapatkan dari berat dan volume briket setelah dimasukan dalam oven pada suhu 100°C selama 24 jam. Sedangkan kerapatan kering udara didapatkan dari berat dan volume briket yang dikerikna selama 30 hari. Standar kerapatan yang diacu adalah SNI 01-6235-2000. Kerapatan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan:

$\rho$  = Kerapatan (g/cm<sup>3</sup>)

m = Massa briket (g)

v = Volume briket (cm<sup>3</sup>)

### 3.4.3.2 Daya serap air

Daya serap air pada penelitian ini dilakukan dengan menimbang briket selama 30 hari atau sampai berat konstan. Berat briket ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,0001 g. Setelah itu persentase kenaikan berat briket setiap harinya dihitung dengan rumus:

$$\text{DSA (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

DSA : Daya Serap Air (%)

W1 : Berat briket hari ke n (g)

W2 : Berat briket hari ke n-1(g)

### 3.4.3.3 Nilai kalor

Nilai kalor didapatkan dengan melakukan perhitungan estimasi dengan menggunakan kandungan karbon, hidrogen, dan nitrogen pada briket. Berikut perhitungan nilai kalor (Nhuchhen dan Afzal, 2017).

$$\text{Nilai Kalor (MJ/kg)} = 32,7934 + 0,0053C^2 - 0,5321C - 2,8769H + 0,0608CH - 0,2401N$$

Keterangan:

C : Nilai kandungan karbon (%)

H : Nilai kandungan hidrogen (%)

N : Nilai kandungan nitrogen (%)

### 3.4.3.4 Analisis ultimat

Analisis ultimat diawali dengan menyiapkan sampel dengan menggerusnya menggunakan mortar kecil. Tabung khusus dimasukkan ke dalam timbangan, lalu diatasnya diletakkan lembaran alumunium sebagai wadah sempel. Selanjutnya, sebanyak 2 mg sampel dimasukan ke dalam alumunium.

Alumunium berisi sampel dibentuk seperti gumpalan dan masukan kedalam alat CHN Analyzer tipe CHN 628 (LECO). Hasil analisis ultimat berupa unsur kimia C, H, dan N akan terlihat pada layar monitor.

#### 3.4.3.5 Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) atau analisis perubahan gugus fungsi ini dilakukan dengan menyiapkan sempel briket yang digerus bersama padatan kalium bromida (KBr) dengan menggunakan mortar. Selanjutnya, sampel dimasukan ke dalam cetakan berbentuk cincin hingga rata yang kemudian ditekan dengan alat penekan hidrolik. Sampel dikeluarkan dari cetakan dan di letakan kedalam alat *spectrofotometer IR* tipe varian 2000 FTIR *scimter series*. Hasil spektrum dicatat pada suhu kamar.

#### 3.4.4 Analisis data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Data hasil penelitian ini diolah menggunakan *Microsoft Word 2010* dan *Microsoft Excel 2010*. Selanjutnya dilakukan uji asumsi menggunakan IMB SPPS 20. Adapun uji asumsi yang dilakukan sebagai berikut:

##### 3.4.4.1 Uji normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui sebaran data kelompok, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Pada analisis data ini menggunakan taraf signifikan 5% dengan tingkat kepercayaan 95%. Uji normalitas ini menggunakan metode *Shapiro Wilk* dengan *software IBM SPSS Statistics 20*. Data yang tersebar normal dapat dilihat dari nilai *P-Value* dibandingkan dengan nilai  $\alpha$ . Data berdistribusi normal apabila nilai *P-Value*  $> \alpha$  (0,05).

##### 3.4.4.2 Uji homogenitas

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui data sampel berasal dari populasi dengan variansi yang sama atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan uji Bartlett menggunakan *software IBM SPSS Statistics 20* dengan taraf signifikan 5% dan tingkat kepercayaan 95%. Data dikatakan memiliki variansi homogen apabila *P-Value*  $> \alpha$  atau  $X^2 < X^2_{tabel}$ .

### 3.4.4.3 Uji aditivitas

Uji aditivitas dilakukan untuk mengetahui apakah data percobaan memenuhi sifat keadiktifan/ pengaruh aditif atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan uji Tukey menggunakan *software IBM SPSS Statistics 20* dengan taraf signifikan 5% dan tingkat kepercayaan 95%. Data percobaan dikatakan memenuhi pengaruh adiktif apabila  $F_{\text{Hitung}} \leq F_{\alpha}$ .

Setelah dilakukan uji asumsi di atas, selanjutnya dilakukan analisis secara statistik dengan analisis ragam untuk menguji hipotesis tentang faktor perlakuan terhadap keragaman data hasil percobaan atau untuk menyelidiki ada tidaknya pengaruh perlakuan terhadap keragaman data hasil penelitian. Lalu, dilakukan uji lanjutan dengan uji *Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)* pada taraf uji 5%.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- $Y_{ijk}$  : pengamatan pada satuan percobaan ke-i yang memperoleh kombinasi perlakuan taraf ke-j.
- $\mu$  : mean populasi
- $\rho_k$  : pengaruh taraf ke-k dari faktor kelompok
- $\alpha_i$  : pengaruh taraf ke-i dari faktor A
- $\beta_j$  : pengaruh taraf ke-j dari faktor B
- $(\alpha\beta)_{ij}$  : pengaruh taraf ke-i dari faktor A dan taraf ke-j dari faktor B
- $\epsilon_{ijk}$  : pengaruh acak dari satuan percobaan ke-k yang memperoleh kombinasi perlakuan ij.

## **BAB V. SIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kadar perekat 5% memberikan pengaruh paling baik terhadap karakteristik fisik pada daya serap air dan karakteristik energi briket arang kayu karet. Namun, nilai kerapatan lebih rendah dibandingkan dengan perekat 10% dan 15%.
2. Arang produksi tungku kubah memberikan pengaruh lebih baik terhadap karakteristik fisik briket arang limbah kayu karet. Namun, tungku kubah dan *double drum retort kiln* memberikan pengaruh yang tidak jauh berbeda terhadap daya serap air briket arang limbah kayu karet.
3. Arang produksi *double drum retort kiln* memberikan pengaruh paling baik terhadap karakteristik energi briket arang limbah kayu karet.
4. Kadar perekat 5% dan arang produksi *double drum retort kiln* menghasilkan briket arang dengan karakteristik fisik pada daya serap air dan karakteristik energi paling baik.

### **5.2 Saran**

Briket arang kayu karet memiliki potensi yang besar untuk dijadikan sebagai salah satu energi alternatif. Sehingga perlu adanya pengembangan lebih lanjut terkait briket arang kayu karet ini, agar biomassa kayu karet yang begitu melimpah dapat dimanfaatkan dengan baik dan lebih bernilai guna. Salah satu pengembangan yang dapat dilakukan, yaitu dengan melakukan penelitian terkait pemberian kadar perekat, jenis pirolisis, dan ukuran partikel arang yang dapat menghasilkan mutu briket arang kayu karet terbaik.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Açıklın, K., Karaca, F., Bolat, E., 2012. Pyrolysis of pistachio shell: Effects of pyrolysis conditions and analysis of products. *Fuel*. 95:169-177.
- Adekunle J, Ibrahim J., Kucha E. 2015 Proximate and ultimate analyses of biocoal briquettes of Nigerian's Ogboyaga and Okaba sub-bituminous coal. *British Journal of Applied Science & Technology*. 7(1): 114-123.
- Adistia, N.A., Nurdiansyah, R.A., Fariko, J., Vincent., Simatupang, J.W. 2020. Potensi energi panas bumi, angin, dan biomassan menjadi energi listrik di Indonesia. *Tesla*. 20(2): 105-116.
- Admojo, L., Setyawan, B. 2018. Potensi pemanfaatan lignoselulosa dari biomassa kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.). *Warta Perkaretan* 37(1): 39-50.
- Adrian, A., Sulaeman, R., Oktorini, Y. 2015. Karakteristik wood pellet dari limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) sebagai alternatif sumber energi terbarukan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Pertanian Universitas Riau*. 2(2): 1-6.
- Agustin, A.D., Riniarti, M., Duryat. 2014. Pemanfaatan limbah serbuk gerajian dan arang sekam padi sebagai media sapih untuk cempaka kuning (*Michelia champaca*). *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 48-58.
- Agustina, D.S., Syarifa, L.F., Nancy, C. 2013. Kajian kelembagaan dan kemitraan pemasaran kayu karet di Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Karet*. 31(1): 54-67.
- Aina, O.M., Adetogun., Lyiola, K.A. 2009. Heat energy from value-added sawdust briquettes of *Albizia zygia*. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*. 2(1): 42-49.
- Ajimotokan, H.A., Ehindero, A.O., Ajao, K.S., Adeleke, A.A., Ikubanni, P.P., Shuaib-Babata, Y.L. 2019. Combustion characteristics of fuel briquettes made from charcoal particles and sawdust agglomerates. *Scientific African* 6. 1-9.

- Akintunde, M.A., Seriki, M.E. 2013. Effect of paper paste on the calorific value of sawdust briquette. *International Journal of Advancements in Research and Technology.* 2(1): 1-11.
- Akowuah, J.O., Kemausor, F., Mitchual, S.J. 2012. Physico-chemical characteristics and market potential of sawdust charcoal briquette. *International Journal of Energy and Environmental Engineering.* 3(1): 1-6.
- Al-Wabel, M.I., Al-Omran, A., El-Naggar, A.H., Nadeem, M., Usman, A.R.A. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from *conocarpus* wastes. *Bioresource Technology.* 131: 374-379.
- Ali, F., Astuti, W.N., Chairani, N. 2015. Pengaruh volume koagulan, waktu kontak dan temperature pada koagulasi lateks dari kayu karet dan kulit kayu karet. *Jurnal Teknik Kimia.* 3(21): 27-35.
- Anam, A.C., Widodo., Widyawati, Y. 2019. Karakterisasi biobriket berbasis serbuk gergaji kayu meranti (*Shorea pinanga*) dengan proses pirolisis. *Prosiding Applicable Innovation of Engineering and Science Research.* 437-443.
- Amin, A.Z. 2017. *Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa.* Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang. 44 hlm.
- Anita, M.F. 2019. *Pembuatan Briket Pelelah Kelapa Sawit (*Elaeis Guenensis* Jacq) Dengan Menggunakan Perekat Biji Durian Sebagai Energi Baru Terbarukan.* Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan. 71 hlm.
- Anderson, J., Helwani, Z., Komalasari. 2017. Proses densifikasi pelelah sawit menggunakan gliserol sebagai filler menjadi bahan bakar padat. *Jom FTEKNIK.* 4(1): 1-4.
- Ansar, Rahardjo, B., Noor, Z., Rochmadi. 2014. Pengaruh gaya pengepresan terhadap perubahan suhu bahan pada pembuatan tablet effervescent buah markisa. *Jurnal Agritech.* 26(1). 44-48.
- Ardhiyan Saputra. 2013. *Analisis Finansial Konversi Tanaman Karet Menjadi Tanaman Sawit dan dampaknya terhadap pendapatan di Kabupaten Muar Jambi.* Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 90 hlm.
- Arhamsyah. 2010. Pemanfaatan biomassa kayu sebagai sumber energi terbarukan. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan.* 2(1): 42-48.

- Ayu, H.Y., Qurniati, R., Hilmanto, R. 2015. Analisis finansial dan komposisi tanaman dalam rangka persiapan pengajuan izin hkm (Studi kasus Desa Margosari Kecamatan Pagelaran Utara Kabupaten Pringsewu). *Jurnal Sylva Lestari*. 3(1): (31-40).
- Ayuningtyas, E., Ardito, M.N. 2019. Studi karakteristik proses pirolisis dan arang dari briket serbuk kayu dengan variasi laju pemanasan menggunakan metode pirolisis single rocket stove. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 19(1):1-14.
- ASTM D 1542-02.2003. *Standart Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures*. Buku. ASTM Internasional. West Conshohocken.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi BPPT. Jakarta. 82 hlm.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Produksi Kehutanan 2018*. Buku. Jakarta. Badan Pusat Statistik. 72 hlm.
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistik Indonesia 2020*. Buku. Badan Pusat Statistik. Jakarta. 748 hlm.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *Briket arang kayu. Standar Nasional Indonesia 01-6235-2000*. Buku. Dewan Standardisasi Nasional. Jakarta. 4 hlm.
- Bani, M., Santjojo, D.H., Masruroh. 2013. Pengaruh suhu reaksi reduksi terhadap permurnian karbon berbahan dasar tempurung kelapa. *Natural B*. 2(2): 159-163.
- Barskov, S., Zappi, M., Buchireddy, P., Dufreche, S., Guillory, D., Hernandez, R., Bajpai, R., Baudier, J., Cooper, R., Sharp, R. 2019. Torrefaction of biomass: A review of production methods for biocoal from cultured and waste lignocellulosic feedstocks. *Renewable Energy*. 142:624-642.
- Basu, P. 2013. *Biomassa Gasification and Pyrolysis Practical Design and Theory*. Buku. Elsevier. New York. 548 hlm.
- Boerhendhy, I., N. Hadjib, R.M. Siagian, A. Gunawan, M. Lasminingsih. 2001. Karakteristik mutu dan sifat kayu karet Klon Anjur dan Harapan. *Prosiding Lokakarya Nasional Pemuliaan Karet*. 1-26.
- Briyartendra, E. I dan Widayat, W. 2019. Pengaruh ukuran partikel dan tekanan kompaksi terhadap karakteristik briket kayu jati. *Jurnal Inovasi Mesin*. 1(2): 14-22.

- Brown, T.R., Wright, M.M., and Brown, R.C. 2011. Estimating profitability of two biochar production scenarios: slow pyrolysis vs fast pyrolysis. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 5: 54-68.
- British Standards.1998. *Method of analysis and testing of coal and coke: Proximate Analysis Section 104*. British Standards Institution. London. UK.
- Chew, J.J., Doshi, V. 2011. Recent advances in biomass pretreatment - Torrefaction fundamentals and technology. *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 15(8): 4212-4222.
- Chaney, J.O. 2010. *Combustion characteristics of biomass briquettes*. Thesis. University of Nottingham. Nottingham. 224 hlm.
- Chen, G.C., X.Q. Shan, Y.S. Wang, Z.G. Pei, X.E. Shen, B. Wen, G. Owens. 2008. Effects of copper, lead, and cadmium on the sorption and desorption of atrazine onto and from carbon nanotubes. *Environ. Sci. Technol.* 42:8297-8302.
- Cuaya, T., Segura, L.P., Bravo, S.M., Garcia, I.G., Medrano, R.V., Torres, E.F. 2014. Characterization of lignocellulosic biomass using five simple steps hector. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*. 4(5): 28-47.
- Daslin, A. 1988. Produktifitas klon karet anjuran dan kesesuaian pada berbagai kendala lingkungan. *Warta Pusat Penelitian*. 2 (24): 9-17.
- Nhuchhen, D.R., Afzal, M.T. 2017. HHV predicting correlations for torrefied biomass using proximate and ultimate analyses. *Bioengineering*. 4(7): 1-15.
- Department Energy and Climate Change. 2012. *UK Bioenergy Strategy*. Laporan. Department Energy and Climate Change. Whitehall Place, London SW1A 2AW. 83 hlm.
- Dewan Energi Nasional. 2014. *Laporan Dewan Energi Nasional Tahun 2014*. Laporan. Dewan Energi Nasional. Jakarta. 111 hlm
- Duman, G., Okutucu, C., Ucar, S., Stahl, R., and Yanika, J. 2011. The slow and fast pyrolysis of cherry seed. *Bioresource Technology*. 102: 1869-1878.
- Elsaprike, J., Yahya, S. P. R., Yuwana. 2018. Pembuatan arang dengan metode tungku pirolisis *double burner* menggunakan limbah kayu dengan metode *manduk* di Kecamatan Tebing Tinggi Kabupaten Empat Lawang. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7(2): 33-40.
- Erikson, S. 2011. *Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mete dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Skripsi. Universitas Hasanuddin Makassar. Makassar. 134 hlm.

- Fachry, A. R., Sari, T.I., Dipura, A.Y., Najamudin, J. 2010. Mencari suhu optimal proses karbonisasi dan pengaruh campuran batubara terhadap kualitas briket enceng gondok. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(7): 55-67.
- Fahlevi, M.R., Aryadi, W., Sunyoto. 2019. Pengaruh variasi komposisi bahan perekat terhadap karakteristik fisik dan mekanik briket limbah organik. *Jurnal Inovasi Mesin*. 1(2): 27-31.
- Faizal, M., Andynapratwi, I., Destriana, P., Putri, A. 2014. Pengaruh komposisi arang dan perekat terhadap kualitas biobriket dari kayu karet. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(20): 36-44.
- Fatmawati, D., Adiwibowo, P.H. 2014. Pembuatan biobriket dari campuran enceng gondok dan tempurung kelapa dengan perekat tetes tebu. *JTM*. 3(2): 315-322.
- Fisafarani, H. 2010. *Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-Pelet di Indonesia*. Skripsi. Universitas Indonesia. Jakarta. 106 hlm.
- Gandhi B, A. 2010. Pengaruh variasi jumlah campuran perekat terhadap karakteristik briket arang tongkol jagung. *Profesional*. 8(1): 1-12.
- Hanandito, L., dan Willy, S. 2011. Pembuatan briket arang tempurung kelapa dari sisa bahan bakar pengasapan ikan kelurahan bandarharjo semarang. *Technical Report*. 1-9.
- Hanif, M.U., Capareda, S.C., Iqbal, H., Arazo, R.O. 2016. Effects of pyrolysis temperature on product yields and energy recovery from co-feeding of cotton gin trash, cow manure, and microalgae: A simulation study. *Journal PONE*. 1-11.
- Hapid, A., Muthmainnah., Ahmad. 2018. Karakteristik briket arang dari campuran tempurung kelapa dan serbuk gergaji kayu palapi (*Heritiera* sp). *Jurnal Forest Sains*. 15(2): 47-57
- Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D.A., Kim, S., Lee, S., Yoo, J. 2021a. Valorization of indonesian wood wastes through pyrolysis: a review. *Energies*. 14(5): 1407.
- Haryanto, H., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Telaumbanua, M., Triyono, S., Hidayat, W. 2021b. Biomass fuel from oil palm empty fruit bunch pellet: potential and challenges. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*. 8(1): 33-42.

- Hao, F., Zhao, X., Ouyang, W., Lin, C., Chen, S., Shan, Y., and Lai, X., 2013. Molecular structure of corncob-derived biochars and the mechanism of atrazine sorption. *Agron. J.* 105(3):773-782.
- Hasan, A.A. 2020. *Efek Penekanan dan Pemanasan pada Proses Pembriketan Biomassa Hasil Torefaksi Terhadap Kualitas Briket*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 59 hlm.
- Hidayah, N., Astarinugrahini, I., Maknunah, L. 2014. "Briket cattapa" alternatif briket bioarang terbarukan berbahan buah ketapang (*Terminalia cattapa*) yang ramah lingkungan. *Jurnal PELITA*. 9(1): 81-89.
- Hidayat, W., Jang, J.H., Park, S.H., Qi, Y., Febrianto, F., Lee, S.H, Kim, N.H. 2015. Effect of temperature and clamping during heat treatment on physical and mechanical properties of okan (*Cylcodiscus gabunensis* [Taub.] Harms) Wood. *BioResources*. 10(4): 6961-6974.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H, Kim, N.H. 2016. Effect of treatment duration and clamping on the properties of heat-treated okan wood. *BioResources*. 11(4): 10070-10086
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H., Chae, H.M., Kondo, T., Kim, N.H. 2017. Carbonization characteristics of juvenile woods from some tropical trees planted in Indonesia. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*. 62(1): 145-152.
- Hidayat, W., Rani, I.T., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Lee, S., Kim, S., Yoo, J., Haryanto, A. 2020. Peningkatan kualitas pelet tandan kosong kelapa sawit melalui torefaksi menggunakan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Rekayasa Proses*. 14(2):169-181.
- Hidayat, W., Rubiyanti, T., Sulistio, Y., Iryani, D. A., Haryanto, A., Amrul, Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hasanudin, U. 2021a. Effects of torrefaction using comb dryer/pyrolizer on the properties of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) and jabon (*Anthocephalus cadamba*) pellets. *Advances in Engineering Research*. 202: 209-213.
- Hidayat, W., Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, N., Hasanudin, U., Banuwa, I. S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021b. Characteristics of biochar produced from the harvesting wastes of meranti (*Shorea sp.*) and oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012040
- Hirniah, F.E. 2020. *Analisis Energi dalam Pembuatan Briket Arang dari Kulit Singkong dengan Tepung Tapioka Sebagai Perekat*. Skripsi. Universitas Jember. Jember. 56 hlm.

- Irawan, A., Riadz, T., Nurmala. 2015. Proses torefaksi tandan kosong kelapa sawit untuk kandungan hemiselulosa dan uji kemampuan penyerapan air. *Reaktor.* 15(3): 190-195
- Iryani, D. A., Haryanto, A., Hidayat, W., Amrul, Telaumbanua, M., Hasanudin, U., Lee, S. H. 2019. Torrefaction upgrading of palm oil empty fruit bunches biomass pellets for gasification feedstock by using COMB (*Counter Flow Multi-Baffle*) Reactor. *7th TAE (Trend in Agricultural Engineering).* 212-217.
- Ismu, R. R., Siswani, E.D. 2017. Pemanfaatan minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai bahan baku biodiesel pada variasi suhu transesterifikasi dan rasio (metanol/minyak) pada waktu 120 menit. *Jurnal Kimia Dasar.* 6(4): 127-133.
- Japanese Industrial Standard JIS K 2151. 1993. *Methods for Testing of Coke.* Buku. Japanese Standards Association. Japan.
- Jouhara, H., Ahmad, D., Boogaert, I.V.D., Katsou, E., Simons, S., Spencer, N. 2017. Pyrolysis of domestic based feedstock at temperatures up to 300°C. *Thermal Science and Engineering Progress.* 1-63.
- Kahariyadi, A., Setyawati, D., Nurhaida., Diba, F., Roslinda, E. 2015. Kualitas arang briket berdasarkan persentase arang batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) dan arang kayu laban (*Vitex pubescens* Vahl). *Jurnal Hutan Lestari.* 3(4): 561-568.
- Kasrianti. 2017. *Potensi Pemanfaatan Limbah Biji Karet Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Biokerosin.* Skripsi. UIN Alauddin Makassar. Makasar. 62 hlm.
- Kasrun, W., Anggono, W., Sutrisno, T. 2016. Karakteristik pembakaran briket dari limbah daun pohon bintaro. *Jurnal Teknik Mesin.* 16(2): 64-70.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). 2016. *Pedoman Investasi Biomassa Indonesia. Direktorat Bioenergi Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi.* Laporan. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta. 89 hlm.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2015. *Renstra Kementerian ESDM Tahun 2015-2019.* Laporan. Kementerian ESDM. Jakarta. 107 hlm.
- Kholifah, U.N., Wulandari, C., Santoso, T., Kaskoyo, H. (2017). Kontribusi agroforestri terhadap pendapatan petani di Kelurahan Sumber Agung Kecamatan Kemiling Kota Bandar Lampung. *Jurnal Sylva Lestari.* 5(3). 39-47.

- Kholid, I. 2015. Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM. *Jurnal IPTEK.* 9(2): 75-91.
- Kimutai, S.K., Kimutai, I.K. 2019. Investigation of physical and combustion properties of briquettes from cashew nut shell and cassava binder. *International Journal of Education and Research.* 7(1): 15-26.
- Kwon, G. J., Kim, A. R., Lee, H. S., Lee, S. H., Hidayat, W., Febrianto, F., Kim, N. H. 2018. Characteristics of white charcoal produced from the charcoal kiln for thermotherapy. *Journal of the Korean Wood Science and Technology.* 46(5): 527-540.
- Lina, L., Aripin, Yanti, Zainudin, Sukmawati, Marliani. 2010. Analisis kualitas briket arang tongkol jagung yang menggunakan bahan perekat sagu dan kanji. *Jurnal Aplikasi Fisika.* 6(2): 93-96.
- Lukmuang, R., Dasaard, C., Chantawong., Ngamrungroj, D. 2019. Material ratio analysis of charcoal briquettes from dendrocalamus asper backer bamboo. *The International Conference on Materials Research and Innovation.* 526: 1-4.
- Ma'ruf, S. D., Bakri, S., Febryano, I. G., Setiawan, A., Haryanto, A., Suri, I. F., Kim, N. H., Hidayat, W. 2021. Effects of eco-friendly hot oil treatment on the wood properties of *Gmelina arborea* and *Cocos nucifera*. *Advances in Engineering Research.* 202: 190-194.
- Magdziarz, A., Wilk, M., Straka, R. 2017. Combustion process of torrefied wood biomass. *Journal of Thermal Analysis Calorimeter.* 127: 1339–1349.
- Maryono., Sudding., Rahmawati. 2013. Pembuatan dan analisis mutu briket arang tempurung kelapa ditinjau dari kadar kanji. *Jurnal Chemica.* 14(1): 74-83.
- Matangaran, J. R., Anggoro, R. 2012. Limbah pemanenan jati di Banyuwangi Jawa Timur. *Jurnal Perennial.* 8(2): 88-92.
- Mawardi, I., Nurdin., Ariefin., Usman, R., Abdel. 2019. Peningkatan Karakteristik biopellet kayu kelapa sawit sebagai energi alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe.* (1): A230-A234
- Mazlan, M.A.F., Uemura, Y., Osman, N.B., and Yusup, S. 2015. Fast pyrolysis of hardwood residues using a fixed bed drop-type pyrolyzer. *Energy Convers. Manag.* 98: 208-214.
- Meilani, H., Wuryandani, D. 2010. Potensi panas bumi sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil pembangkit tenaga listrik di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik.* 1(1): 47-74.

- Meliza, I., Abednego, F., Sibarani., Irvan. 2016. Pengaruh perbandingan massa eceng gondok dan tempurung kelapa serta kadar perekat tapioka terhadap karakteristik briket. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 5(1): 20-26
- Mentari, V.A., Maulina, S. 2018. Perbandingan gugus fungsi dan morfologi permukaan karbon aktif dari pelepas kelapa sawit menggunakan aktivator asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) dan asam nitrat ( $HNO_3$ ). *ST Conference*. 1:194-208
- Muliawan, A., Subhan. 2018. Karakteristik hasil pembakaran briket janjang sawit dengan variasi ukuran. *SNITT- Politeknik Negeri Balikpapan 2018*. 360-363.
- Musabbikhah., Saptoadi, H., Subarmono., Wibisono, A. 2014. Optimasi proses pembuatan briket biomassa menggunakan metode taguchi guna memenuhi kebutuhan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 22(1): 121-128.
- Muzi, I., Mulasari, S.A. 2014. Perbedaan konsentrasi perekat antara briket bioarang tandan kosong sawit dengan briket bioarang tempurung kelapa terhadap waktu didih air. *KESMAS*. 1(8): 1-10.
- Nancy, C., Agustina, D.S., Syarifa, L.F. 2013. Potensi kayu hasil peremajaan karet rakyat untuk memasok industri kayu karet. *Jurnal Penelitian Karet*. 31(1): 68-78.
- Nasution, Z.A dan Rambe, S.M. 2013. Karakteristik dan identifikasi gugus fungsi dari karbon cangkang kelapa sawit dengan metode methano-pyrolysis. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 24(2):108-113.
- Ningsih, E., Mirzayanti, Y.W., Himawan, H.S., Indriani, M. 2016. Pengaruh jenis perekat pada briket dari kulit buah bintaro terhadap waktu bakar. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta*. 1-8.
- Nurkholidah, V., Rinarti, M., Prasetia, H., Hasanudin, U., Niswati, A., Hidayat, W. 2020. Karakteristik arang dari limbah kayu karet (*Hevea brasiliensis*) dan tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). *Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*. 235-240.
- Pah, J.M., Suryanegara, L., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D.A., Wulandari, C., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hidayat, W. 2021. Product characteristics from the torrefaction of bamboo pellets in oxidative atmosphere. *Advances in Engineering Research*. 202: 185-189.

- Paisal., Karyani, M.S. 2014. Analisa kualitas briket arang kulit durian dengan campuran kulit pisang pada berbagai komposisi sebagai bahan bakar alternatif. *Bimafika*. 5: 600-606.
- Pandey, K.K., Pitman, A.J. 2004. Examination of the lignin content in a softwood and a hardwood decayed by a brown-rot fungus with the acetyl bromide method and fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 42(10): 2340-2346.
- Pane, J.P., Junary, E., Herlina, N. 2015. Pengaruh konsentrasi perekat tepung tapioka dan penambahan kapur pembuatan briket arang berbahan baku pelpah aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*. 4(2): 32-38.
- Pangau, J.R., Sanglan, H.F., Lumi, B.M. 2017. Karakteristik bahan selulosa dengan iradiasi pretreatment gelombang mikro terhadap serbuk kayu cempaka wasian (*Elmerillia ovalis*) di Sulawesi Utara. *Jurnal MIPA Unsrat Online*. 6(1): 53-58.
- Papilo, P., Kunaifi., Hambali, E., Nurmiati., Paris, R.F. 2015. Penilaian potensi biomassa sebagai alternatif energi kelistrikan. *Jurnal PASTI*. 9(2): 164-176.
- Parinduri, L., Parinduri, T. 2020. Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *Journal of Electrical Technology*. 5(2): 88-92.
- Park, S.H., Jang, J.H., Qi, Y., Hidayat, W., Hwang, W.J., Febrianto, F., Kim, N.H. 2018. Anatomical and physical properties of Indonesian bamboos carbonized at different temperatures. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 46(6): 9-18.
- Park, S., Lee, M., Febrianto, F., Wistara,N.J. 2021. Effects on morphology and chemical properties of Indonesian bamboo by carbonization. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(2): (190-201).
- Patandung, P. 2014. Pengaruh jumlah tepung kanji pada pembuatan briket tempurung pala. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 6(2): 95-102.
- Priyanto, A., Hantarum., Sudarno. 2018. Pengaruh variasi ukuran partikel briket terhadap kerapatan, kadar air, dan lanjut pembakaran pada briket kayu sengon. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI 2018 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*. 541-546.
- Permatasari, I.Y., Utami, B. 2015. Pembuatan dan karakteristik briket arang dari limbah tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) dengan menggunakan variasi jenis bahan perekat dan jumlah bahan perekat. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*. 59-69.

- Qi, Y., Jang, J.H., Hidayat, W., Lee, A.H., Lee, S.H., Chae, H.M., Kim, N.H. 2016. Carbonization of reaction wood from *Paulownia tomentosa* and *Pinus densiflora* branch woods. *Wood Science and Technology*. 50(5): 973–987.
- Qiram, I., Widhiyanuriyawan., Wijayanti, W. 2015. Pengaruh variasi temperatur terhadap massa dan energi yang dihasilkan pirolisis serbuk kayu mahoni (*Swietenia macrophylla*) pada rotary kiln. *Jurnal ROTOR*. 8(2): 1-7.
- Rakhmat, J. 1985. *Metode Penelitian Komunikasi*. Bandung. Buku Remaja Rosda Karya. Bandung. 167 hlm.
- Rani, I.T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Iryani, D.A., dan Haryanto, A., Hasanudin, U. 2020. Pengaruh torefaksi terhadap sifat kimia pelet tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 9(1): 63-70.
- Raju. C.A.I., Praveena, U., Satya, M., Ramya, J.K., Rao, S 2014. Studies on development of fuel briquettes using biodegradable waste materials. *J. Int. Bioprocessing and Chemical Engineering*. 2(1): 2348-3768
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., Firmansyah, F. 2019. Pengaruh jenis biomassa pada pembakaran pirolisis terhadap karakteristik dan efisiensi bioarang-asap cair yang dihasilkan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 20(1): 18-27.
- Ridjayanti, S.M., Bazenet, R.A., Hidayat, W., Banuwa, I.S., Riniarti, M. 2021. Pengaruh variasi perekat tapioka terhadap karakteristik briket arang limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*). *Jurnal Perennial*. 17(1): 5-10.
- Rindayatno, R., Lewar, D. O. 2017. Kualitas briket arang berdasarkan komposisi campuran arang kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri* Teijsm & Binn) dan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Jurnal Hutan Tropis*. 1(1): 39-48.
- Riniarti, M., Hidayat, W., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021a. Using two dosages of biochar from shorea to improve the growth of *Paraserianthes falcataria* seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 749: 1-7
- Riniarti, M., Prasetia, H., Niswati, A., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Loka, A.A., Yoo, J.H., Kim, S. D., Lee, S.H., Hidayat, W. 2021b. Effects of meranti biochar addition on the root growth of *Falcataria moluccana* Seedlings. *Advances in Engineering Research* 202: 181-184.

- Rubyanti, T., Hidayat, W., Febryano, I. G., Bakri, S. 2019. Karakterisasi pelet kayu karet (*Hevea brasiliensis*) hasil torefaksi dengan menggunakan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB). *Jurnal Sylva Lestari* 7(3): 321–331.
- Ryemshak, A., Jauro, A. 2013. Proximate analysis, rheological properties and technological applications of some nigerian coals solomon. *International Journal of Industrial Chemistry*.4-7.
- Saleh, A. 2013. Efisiensi konsentrasi perekat tepung tapioka terhadap nilai kalor pembakaran pada biobriket batang jagung (*Zea mays L*). *Jurnal Teknosains*. 7(1): 78-89.
- Salim, R. 2016. Karakteristik dan mutu arang kayu jati (*Tectona grandis*) dengan sistem pengarangan campuran pada metode tungku drum. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*.8(2): 53-64.
- Samsinar. 2014. *Penentuan Nilai Kalor Briket Dengan Memvariasikan Berbagai Bahan Baku*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar. Makassar. 83 hlm.
- Sari, D.R., Ariyanto. 2018. The potential of woody biomass from the logging activity at the natural forest of berau district, East Kalimantan. *International Conference on Tropical Studies and its Application (ICTROPS)*. 1-7
- Setianto, F. 2013. *Analisis Distorsi Volume Dan Analisis Kekuatan Sambungan Bahan Kayu Karet dan Bengkrai*. Tesis. Universitas Diponegoro, Semarang. 92 hlm.
- Sette JR, C.R., Freitas, D. C.E., Freitas, V.P., Yamaji, F.M., Almeida, R.D.A. 2016. Production and characterization of bamboo pellets. *Bioscience Journal*.32(4): 922-930.
- Shobar, S., Sribudiani, E., Somadona, S. 2020. Karakteristik briket arang dari limbah kulit buah pinang dengan berbagai komposisi jenis perekat. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(2): 189-196.
- Siahaan,S., Hutapea, M., Hasibuan, R. 2013. Penentuan kondisi optimum suhu dan waktu karbonisasi pada pembuatan arang dari sekam padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 1(2): 26-30.
- Siadari, T.P., Hilmanto, R., Hidayat, W. 2013. Potensi kayu rakyat dan strategi pengembangannya (Studi kasus) di hutan rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 1(1):75-84.

- Simanjuntak, J.P., Lisyanto., Daryanto, E., Tambunan, B.H. 2018. Producer gas production of Indonesian biomass in fixed-bed downdraft gasifier as an alternative fuel for internal combustion engines. *Journal of Physics: Conf. Ser.* 970, 012019. 1-8.
- Smith, H., Idrus, S. 2017. Pengaruh penggunaan perekat sagu dan tapioka terhadap karakteristik briket dari biomassa limbah penyulingan minyak kayu putih di Maluku. *Majalah Biam.* 13(2): 21-32.
- Sofiani, I.H., Ulfiah, K., Fitriyanie, L. 2018. Budidaya tanaman karet (*hevea brasiliensis*) di Indonesia dan kajian ekonominya. *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)*. 1-23.
- Sofyan, S.E., Riniarti, M., Duryat. 2014. Pemanfaatan limbah teh, sekam padi, dan arang sekam sebagai media tumbuh bibit trembesi (*Samanea saman*). *Jurnal Sylva Lestari*. 2(2): 61-70.
- Solihat, N.N., Sari, F.P., Falah, F., Ismayati, M., Lubis, M.A.R., Fatriasari, W., Santoso, E.B., Syafii, W. 2021. Lignin as an actie biomaterial: a review. *Jurnal Sylva Lestari*. 9(1): 1-22
- Suganal, S., Hudaya, G.K. 2019. Bahan bakar co-firing dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk briket (Skala laboratorium). *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 15(1): 31-48.
- Sugiyono. 2005. *Memahami Penelitian Kualitatif*. Buku. Alfabet. Bandung. 234 hlm.
- Sukarman., Anwar, C., Rahdiana, N., Khoirudin., Ramadhan, A.I. 2020. Analisis pengaruh radius dies terhadap springback logam lembaran stainless steel pada proses bending hidrolik v-die. *Jurnal Teknologi*. 12(2): 123-132.
- Sulistio, Y., Febryano, I.G., Hasanudin, U., Yoo, J., Kim, S., Lee, S., Hidayat, W. 2020. Pengaruh torefaksi dengan reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB) dan electric furnace terhadap pelet kayu jalon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 65-76.
- Sultan, S.H., Palamanit, A., Techato, K., Amin, M., Ahmed, K., Asadullah, A. 2020. Syngas production from rubberwood biomass in downdraft gasifier combined with wet scrubbing: Investigation of tar and solid residue. *JSM*. 49: 1729–1743.
- Suri, I. F., Purusatama, B. D., Lee, S. H., Kim, N. H., Hidayat, W., Ma'ruf, S. D., Febrianto, F. 2021a. Characteristic features of the oil-heat treated woods from tropical fast growing wood species. *Wood Research* 66(3): 365-378.

- Suri, I. F., Kim, J. H., Purusatama, B. D., Yang, G. U., Prasetia, D., Lee, S. H., Hidayat, W., Febrianto, F., Park, B. H., Kim, N. H. 2021b. Comparison of the color and weight change in *Paulownia tomentosa* and *Pinus koraiensis* wood heat-treated in hot oil and hot air. *Bioresources*. 16(3): 5574-5585.
- Surono, U.B. 2010. Peningkatan kualitas pembakaran biomassa limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif dengan proses karbonisasi dan pembriketan. *Jurnal Rekayasa Proses*. 4(1): 13-18.
- Suryani, E., Farid, M., Mayub, A. 2019. Implementasi karakteristik nilai kalor briket campuran limbah kulit durian dan tempurung kelapa pada pembelajaran suhu dan kalor. *PENDIPA Journal of Science Education*. 3(3): 146-153.
- Susanto, A., Yanto, T. 2013. Pembuatan briket bioarang dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 6(2): 68-81.
- Suyuti, M.A., Nur, R., Irwar, M. 2019. Pengaruh geometri punch terhadap springback pada proses air bending untuk material baja karbon rendah. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019*. 21-25 hlm
- Syarif, R. dan Halid, H. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Buku. Arcan. Jakarta. 347 hlm.
- Syamsiro, M. 2016. Peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa dengan proses densifikasi dan torefaksi. *Jurnal Mekanik Sistem Termal*. 1(1): 7-13.
- Tanoue, K., Widya, W., Yamasaki, K., Kawanaka, T., Yoshida, A., Nishimura, T., Taniguchi, M., Sasauchi, K. 2010. Numerical simulation of the thermal conduction of packed bed of woody biomass particles accompanying volume reduction induced by pyrolysis. *Journal Jpn. Inst. Energy*. 89 (10): 948
- Tarigan, A.A.L.B., Riniarti, M., Prasetia, H., Hidayat, W., Niswati, N., Banuwa, I.S., Hasanudin, U. 2021. Pengaruh biochar pada simbiosis rhizobium dan akar sengon laut (*Paraserianthes falcataria*) dalam media tanam. *Journal of People, Forest and Environment*. 1(1): 11-20.
- Tippayawong, K.Y., Santiteerakul, S., Ramingwong, S., Tippayawong. 2019. Cost analysis of community scale smokeless charcoal briquette production from agricultural and forest residues. *Energy Procedia*. 310-316.
- Tumuluru, J.S., Sokhansanj, S., Hess, J.R., Wright, C.T., Boardman, R.D. 2011. A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications. *Ind. Biotechnol.* 7 (5): 384-401.

- Vachlepi, A. 2019. Prospek pemanfaatan kayu karet sebagai bahan baku pembuatan pulp. *Warta Perkaretan*. 38(1): 47-60.
- Venderbosch, R., Prins, W. 2010. Fast pyrolysis technology development. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 4(2): 178-208.
- Vis, M.W., Berg, V.D. 2010. *Harmonization Of Biomass Resource Assessments, Volume I: Best Practices and Methods Handbook*. Buku. Biomass Energy Europe. Freiburg. 220 hlm.
- Wibowo, T.I.R., Riniarti, M., Prasetya, H., Hasanudin, U., Niswati, A., Hidayat, W. 2020. Karakterisasi arang hayati dari limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*) dan Meranti (*Shorea sp.*). *Seminar Nasional Konservasi 21 April 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*. 560-563.
- Widiyanto, A. 2011. Kulitas papan partikel kayu karet (*Hevea brasiliensi* Muell. Arg) dan bambu tali (*Gigantocodia apus* Kurz) dengan perekat likuida kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 29(4): 301-311.
- Wijaya, B. A., Riniarti, M., Prasetia, H., Hidayat, W., Niswati, A., Hasanudin, u., Banuwa, I. S. 2021. Interaksi perlakuan dosis dan suhu pirolisis pembuatan biochar kayu meranti (*Shorea spp.*) mempengaruhi kecepatan tumbuh sengon (*Paraserianthes moluccana*). *ULIN: Jurnal Hutan Tropis* 5(2): 78-89.
- Wijayanti, W., Sasongko, M.N., Meidianab, C., Yuliati, L. 2013. Metode pirolisis untuk penanganan sampah perkotaan sebagai penghasil bahan bakar alternatif. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 4(2): 85-92.
- Woelan, S., Siagian, N., Sayurandi. Pasaribu, S.A. 2012. Potensi kayu karet hasil peremajaan di tingkat perusahaan perkebunan. *Warta Perkaretan*. 31(2): 75-84.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., Zheng, C. 2007. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel* 86. 1781-1788.
- Yudha, R.S., Komalasari., Helwani, Z. 2017. Proses densifikasi pelepas sawit menggunakan crude gliserol sebagai filler menjadi bahan bakar padat. *Jom FTEKNIK*. 4(1): 1-4.
- Yulianto, T., Febryano, I. G., Iryani, D.A., Haryanto, A., Hasanudin, U., Hidayat, W. 2020. Perubahan sifat fisis pelet tandan kosong kelapa sawit hasil torefaksi. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 9(2): 104-111.
- Zhang, J., Guo, Y. 2014. Physical properties of solid fuel briquettes made from *Caragana korshinskii* Kom. *Powder Technology*. 256: 293-299.