

**KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU SENGON
(*Falcataria moluccana*) DENGAN VARIASI KADAR PEREKAT TAPIOKA
DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS**

(Skripsi)

Oleh

SITI MUTIARA RIDJAYANTI



**UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU SENGON (*Falcataria moluccana*) DENGAN VARIASI KADAR PEREKAT TAPIOKA DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS

Oleh

SITI MUTIARA RIDJAYANTI

Limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*) memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif. Kualitasnya dapat lebih ditingkatkan dengan metode pirolisis dan pembriketan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kadar perekat serta tipe tungku pirolisis terhadap karakteristik fisis dan energi briket arang limbah kayu sengon. Penelitian ini disusun dalam rancangan acak lengkap secara faktorial. Briket dibuat dengan mencampurkan arang produksi tungku kubah dan *double drum retort kiln* dengan tepung tapioka berkadar 5%, 10%, dan 15%. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan dengan target kerapatan $0,5 \text{ g/cm}^3$. Briket biomassa kayu sengon juga diproduksi sebagai pembanding (kontrol). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar perekat dan tipe tungku yang digunakan mempengaruhi karakteristik briket. Briket arang memiliki karakteristik lebih baik dibandingkan dengan briket biomassa. Kadar perekat rendah akan meningkatkan kualitas briket. Komposisi briket arang dengan karakteristik fisis dan energi paling baik adalah tapioka berkadar perekat 5% dan arang produksi *double-drum retort kiln*. Briket tersebut memiliki karakteristik kerapatan $0,23\text{-}0,25 \text{ g/cm}^3$, kadar air 5,47%; dan daya serap air sebesar 0,271%. kadar zat terbang 24,96%; abu 3,16%; karbon terikat 66,40%; nilai kalor 27,35 MJ/kg; kandungan C, N, dan H secara berturut-turut sebesar 93,39%; 3,80%; 0,77%; dan memiliki gugus fungsi C=H, C=C, C=O.

Kata kunci: briket arang, kadar perekat, pirolisis, sengon (*Falcataria moluccana*), tepung tapioka

ABSTRACT

CHARACTERISTICS OF SENGON WOOD (*Falcataria moluccana*) WASTE CHARCOAL BRIQUETTES WITH ADHESIVE CONTENT VARIATION AND DIFFERENT TYPES OF PYROLYSIS KILN

By

SITI MUTIARA RIDJAYANTI

*Sengon (*Falcataria moluccana*) wood wastes have a potential to be used as alternative energy source. The quality of sengon wood waste as fuel can be further improved through pyrolysis and briquetting methods. This study aimed to determine the effect of adhesive content and type of pyrolysis kiln on physical and energy characteristics of sengon wood waste charcoal briquettes. This research was arranged in a completely randomized factorial design. Briquettes were produced by mixing charcoal powder (produced with dome kiln and double drum retort kiln) and tapioca with concentration of 5%, 10%, and 15%. The mixed adhesives and charcoal powders were then put into metal cast and pressed with a target density of 0.5 g/cm³. Biomass briquettes from sengon wood particles were also produced as a control. The results showed that the adhesive content and the type of kiln affected charcoal briquettes properties. Charcoal briquettes have a better characteristics than the biomass briquettes. Lower adhesive content will produce briquettes with good characteristics. The composition of charcoal briquettes with the most excellent physical and energy characteristics was tapioca with 5% adhesive content and charcoal produced using double-drum retort kiln. The briquette has a density of 0,23-0,25 g/cm³, moisture content of 5,47%; and moisture adsorption of 0,271%, volatile matter of 24.96%; ash of 3,16%; fixed carbon of 66,40%; calorific value of 27,35 MJ/kg; C, N, and H fractions respectively were 93,39%; 3,80%; 0,77%; and has a functional group namely C=H, C=C, C=O.*

*Keywords: adhesive content, charcoal briquettes, pyrolysis, sengon (*Falcataria moluccana*); tapioca starch*

**KARAKTERISTIK BRIKET ARANG LIMBAH KAYU SENGON
(*Falcataria moluccana*) DENGAN VARIASI KADAR PEREKAT TAPIOKA
DAN TIPE TUNGKU PIROLISIS**

Oleh

SITI MUTIARA RIDJAYANTI

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Kehutanan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**JURUSAN KEHUTANAN
FAKULTAS PERTANIAN
2021**

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Kerangka Pikiran.....	5
1.6 Hipotesis Penelitian.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Potensi Biomassa.....	8
2.2 Sengon (<i>Falcataria moluccana</i>).....	10
2.3 Pirolisis.....	11
2.4 Briket.....	13
2.4.1 Bahan Baku	15
2.4.2 Bahan Perekat.....	15
2.4.3 Standar Kualitas Briket	17
2.4.4 Briket Arang Sengon.....	18
2.5 Keunggulan Briket	18
BAB III. METODE PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3 Rancangan Penelitian	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1 Produksi Arang di PT Kendi Arindo (Tungku Kubah) dan <i>Double-drum Retort Kiln</i>	23

	Halaman
3.4.2 Pembuatan Briket	24
3.4.3 Pengujian Briket Arang Limbah Kayu Sengon.....	25
3.5 Analisis Data	28
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Pengaruh Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Karakteristik Fisis Briket Arang Kayu Sengon dan Briket Biomassa Sengon	30
4.1.1 Kerapatan	30
4.1.2 Kadar Air dan Daya Serap Air.....	33
4.2 Pengaruh Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Karakteristik Energi Briket Arang Kayu Sengon dan Briket Biomassa Sengon	36
4.2.1 Analisis Proksimat	36
4.2.2 Nilai Kalor	40
4.2.3 Analisis Ultimat	42
4.2.4 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	45
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Simpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Potensi energi terbarukan di indonesia	9
2. Sifat kimia kayu sengon berdasarkan posisi ketinggian batang.....	11
3. Hasil produk dari berbagai proses pirolisis.....	12
4. Nilai kalor beberapa jenis perekat.....	16
5. Komposisi tepung tapioka.....	17
6. Standar kualitas briket di beberapa negara	17
7. Komposisi bahan pembuatan briket.....	25
8. Karakteristik fisis briket biomassa dan arang limbah kayu sengon	33
9. Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Kadar air Briket Biomassa dan Arang Limbah Kayu Sengon	34
10. Hasil analisis proksimat briket biomassa dan arang limbah kayu sengon	36
11. Pengaruh Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Analisis Proksimat Briket Biomassa dan Arang Limbah Kayu Sengon	37
12. Pengaruh Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku Pirolisis terhadap Nilai Kalor Briket Biomassa dan Arang Limbah Kayu Sengon.....	41
13. Hasil analisis ultimat briket biomassa dan arang limbah kayu sengon	43
14. Hasil Analisis Sidik Ragam Kerapatan Kering Tanur	64
15. Hasil Uji Nilai Tengah Kerapatan Kering Tanur untuk Kadar Perekat.....	64

	Halaman
16. Hasil Uji Nilai Tengah Kerapatan Kering Tanur untuk Tipe Tungku .	64
17. Hasil Analisis Sidik Ragam Kerapatan Kering Udara	64
18. Hasil Uji Nilai Tengah Kerapatan Kering Udara untuk Kadar Perekat.....	65
19. Hasil Uji Nilai Tengah Kerapatan Kering Udara untuk Tipe Tungku .	65
20. Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Air	65
21. Hasil Uji Nilai Tengah Kadar Air untuk Kadar Perekat	65
22. Hasil Uji Nilai Tengah Kadar Air untuk Tipe Tungku	66
23. Hasil Uji Pengaruh Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku terhadap Kadar Air Briket.....	66
24. Hasil Analisis Sidik Ragam Daya Serap Air	66
25. Hasil Uji Nilai Tengah Daya Serap Air untuk Kadar Perekat	66
26. Hasil Uji Nilai Tengah Daya Serap Air untuk Tipe Tungku	67
27. Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Zat Terbang	68
28. Hasil Uji Nilai Tengah Kadar Zat Terbang untuk Kadar Perekat.....	68
29. Hasil Uji Nilai Tengah Kadar Zat Terbang untuk Tipe Tungku.....	68
30. Hasil Analisis Sidik Ragam Kadar Abu.....	68
31. Hasil Uji Nilai Tengah Kadar Abu untuk Kadar Perekat.....	69
32. Hasil Uji Nilai Tengah Kadar Abu untuk Tipe Tungku Pirolisis	69
33. Hasil Analisis Sidik Ragam Karbon Terikat.....	69
34. Hasil Uji Nilai Tengah Karbon Terikat untuk Kadar Perekat.....	69
35. Hasil Uji Nilai Tengah Karbon Terikat untuk Tipe Tungku Pirolisis .	69
36. Hasil Uji Pengaruh Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku terhadap Kadar Zat Terbang Briket	70
37. Hasil Uji Pengaruh Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku terhadap Kadar Abu Briket	70
38. Hasil Uji Pengaruh Interaksi Kadar Perekat dan Tipe Tungku terhadap Karbon Terikat Briket	70
39. Hasil Analisis Sidik Ragam Nilai Kalor	71
40. Hasil Uji Nilai Tengah Nilai Kalor untuk Kadar Perekat	71

	Halaman
41. Hasil Uji Nilai Tengah Nilai Kalor untuk Tipe Tungku Pirolisis.....	71
42. Hasil Uji Nilai Tengah Nilai Kalor untuk Tipe Tungku	71
43. Hasil Analisis Sidik Ragam Kandungan C	72
44. Hasil Uji Nilai Tengah Kandungan C untuk Kadar Perekat	72
45. Hasil Uji Nilai Tengah Kandungan C untuk Tipe Tungku	72
46. Hasil Analisis Sidik Ragam Kandungan H	72
47. Hasil Uji Nilai Tengah Kandungan H untuk Kadar Perekat.....	73
48. Hasil Uji Nilai Tengah Kandungan H untuk Tipe Tungku.....	73
49. Hasil Analisis Sidik Ragam Kandungan N.....	73
50. Hasil Uji Nilai Tengah Kandungan N untuk Kadar Perekat.....	73
51. Hasil Uji Nilai Tengah Kandungan N untuk Tipe Tungku.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran.....	6
2. Diagram alir pembuatan briket biomassa.....	14
3. Berbagai bentuk briket arang.....	15
4. Tata letak percobaan.....	22
5. Produksi arang dengan tungku kubah.....	23
6. Produksi arang dengan <i>double-drum retort kiln</i>	24
7. Kerapatan kering tanur briket biomassa dan arang limbah kayu sengon.....	30
8. Kerapatan kering udara briket biomassa dan arang limbah kayu sengon.....	31
9. Nilai kalor briket biomassa dan arang limbah kayu sengon.....	41
10. Spektrum FTIR briket biomassa sengon.....	46
11. Spektrum FTIR briket arang limbah kayu sengon (<i>double-drum retort kiln</i>).....	47
12. Spektrum FTIR briket arang limbah kayu sengon (tungku kubah).....	47
13. Proses penyusunan limbah kayu sengon dalam tungku kubah.....	74
14. Proses produksi arang menggunakan tungku kubah.....	74
15. Proses pengeluaran arang dari tungku, kemudian di ayak.....	75
16. Hasil arang limbah kayu sengon produksi tungku kubah.....	75
17. Proses pengeringan limbah kayu sengon berukuran 30-40 cm.....	76
18. Penyusunan limbah kayu sengon dalam drum.....	76
19. Proses produksi arang dengan <i>double-drum retort kiln</i>	77
20. Hasil arang limbah kayu sengon produksi <i>double-drum retort kiln</i>	77

	Halaman
21. Proses penimbangan bahan baku briket.	78
22. Proses penekanan dan pencetakan briket dengan alat UTM Testometric M500-50AT.	78
23. Proses pengeringan briket dalam oven.	79
24. Hasil briket arang dan briket biomassa sengon.	79
25. Proses penimbangan briket arang dan briket biomassa.	80
26. Pengukuran dimensi briket dengan kaliper digital.	80
27. Penghalusan sampel briket dengan mortar.	81
28. Penimbangan berat sampel briket dengan timbangan digital.	81
29. Sampel briket dalam <i>furnace</i>	82
30. Sampel briket setelah pemanasan untuk analisis kadar zat terbang (kiri) dan kadar abu (kanan).	82

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manusia tidak dapat dipisahkan dari penggunaan energi. Penyediaan energi saat ini merupakan persoalan yang berdampak besar bagi kehidupan manusia dalam berbagai aspek. Persoalan tersebut dipicu dengan meningkatnya populasi, tingginya biaya eksplorasi, sulitnya mencari sumber cadangan minyak, serta banyaknya tuntutan masyarakat dunia mengenai emisi limbah gas karbon (Mahdie *et al.*, 2016). Indonesia sebagai negara dengan kepadatan penduduk mencapai 138 jiwa/km² pada tahun 2018 (Badan Pusat Statistik, 2020), kini mulai berfokus pada penghematan energi dan penggunaan alternatif energi terbarukan. Hal ini terbukti melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menekankan penggunaan batubara dan gas sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM), serta menetapkan sumber daya alternatif pengganti BBM yang dapat diperbaharui seperti bahan bakar nabati.

Sumber daya nabati yang memiliki potensi sangat berlimpah di Indonesia adalah biomassa. Biomassa merupakan istilah untuk semua bahan organik yang berasal dari tanaman (termasuk alga, pohon dan tanaman). Indonesia diperkirakan memiliki potensi sekitar 25% dari spesies tumbuhan berbunga yang ada di dunia, menempati urutan negara terbesar ketujuh dengan jumlah spesies mencapai 20.000 spesies (Kusmana dan Hikmat, 2015). Biomassa diproduksi oleh tanaman hijau yang mengonversi sinar matahari menjadi bahan tanaman melalui proses fotosintesis (Papilo *et al.*, 2015). Biomassa dapat dihasilkan dari berbagai bahan organik atau hasil limbah yang telah diambil produk primernya dan umumnya memiliki nilai ekonomi yang rendah. Energi biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil karena beberapa sifatnya yang menguntungkan. Energi biomassa mampu menyediakan sumber energi secara

berkesinambungan, ramah lingkungan, dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Haryanti *et al.*, 2019; Rani *et al.*, 2020; Rubiyanti *et al.*, 2019; Qistina *et al.*, 2016; Yulianto *et al.*, 2020).

Salah satu sumber energi biomassa adalah limbah kayu sengon. Limbah kayu sengon perlu diolah agar tidak terjadi penumpukkan serta lebih bernilai guna. Ketersediaan limbah kayu sengon yang melimpah dapat menjamin lestariannya sumber energi biomassa. Data Badan Pusat Statistik tahun 2018 menunjukkan total produksi kayu bulat di Indonesia mencapai 55.522.955,25 m³. Produksi kayu bulat sengon sebesar 3.651.479,49 m³ atau setara dengan 6,58% dari total produksi kayu Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2019).

Sengon (*Falcataria moluccana*) banyak ditanam di hutan rakyat dan menjadi spesies prioritas dalam pembangunan hutan tanaman industri (HTI) (Butar *et al.*, 2019; Istikorini *et al.*, 2020; Nadeak *et al.*, 2013; Oktaviyani *et al.*, 2017; Rizki *et al.*, 2016; Siadari *et al.*, 2013). Umumnya digunakan sebagai bahan baku pada industri penggergajian (Hidayat *et al.*, 2017a; Utama *et al.*, 2019), kayu lapis, papan komposit (Febrianto *et al.*, 2010; Hidayat *et al.*, 2017b; Hidayat *et al.*, 2019), serta pulp kertas. Sejalan dengan potensi sumber daya yang melimpah, industri penggergajian kayu sengon menghadapi masalah berupa banyaknya limbah sebetan, potongan kayu (dahan dan ranting) serta serbuk kayu yang dihasilkan (Haryanto *et al.*, 2021a). Uar (2016) mengemukakan, rata-rata rendemen kayu sengon pada industri gergajian sejak tahun 2014-2016 mencapai 55,14%, artinya terdapat sekitar 44,86% potensi limbah kayu sengon yang dapat dimanfaatkan. Peraturan Direktur Jendral Bina Usaha Kehutanan Nomor 12 Tahun 2014 tentang Rendemen Kayu Olahan Industri Primer Hasil Hutan Kayu juga menjelaskan bahwa rendemen kayu gergajian sebesar 60-70%. Oleh karena itu, diperlukan pemanfaatan limbah kayu yang efektif dan efisien. Pemanfaatan limbah yang masih mempunyai nilai ekonomis akan meningkatkan nilai tambah terhadap industri (Uar, 2016).

Serangkaian proses dan perlakuan perlu dilakukan dalam meningkatkan mutu limbah kayu sengon. Upaya peningkatan mutu tersebut dapat dilakukan dengan metode pirolisis (Wibowo *et al.*, 2020). Pirolisis adalah proses dekomposisi termal/pemanasan tanpa udara atau sedikit udara dengan kisaran

suhu 200-600 °C yang menghasilkan *bio-oil*, *syngas*, dan arang (Bauen *et al.*, 2009; Boundy *et al.*, 2011; Ridhuan *et al.*, 2019; Saparudin *et al.*, 2015; Wijayanti, 2013). Melalui proses ini kuantitas limbah kayu akan berkurang akibat penyusutan yang terjadi selama pembakaran. Pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padat, yaitu karbon (arang), cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya (Arhamsyah, 2010). Arang sendiri adalah residu yang terjadi dari hasil penguraian kayu akibat panas yang sebagian besar komponen kimianya adalah karbon (Salim, 2016). Penggunaan arang umumnya sebagai alternatif batu bara, amelioran tanah, serta bahan bakar untuk tanur (The Japan Institute of Energy, 2008). Selain itu, arang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dan media tanam yang ramah lingkungan. Produksi arang juga dapat mengurangi jumlah limbah kayu dan meningkatkan nilai ekonomis kayu (Salim, 2016).

Arang limbah kayu sengon memiliki kerapatan yang rendah serta bentuk dan ukuran yang bervariasi. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknik konversi biomassa yang disebut dengan densifikasi. Densifikasi atau pemadatan bertujuan untuk meningkatkan kerapatan, serta memudahkan dalam penyimpanan dan transportasi. Selain itu, densifikasi dapat menyeragamkan bentuk serta ukuran dari arang limbah kayu sengon. Proses densifikasi ini akan menghasilkan produk berupa briket arang.

Pembriketan adalah metode yang digunakan untuk mengonversi sumber energi biomassa dengan cara dimampatkan sehingga bentuknya menjadi lebih teratur (Arhamsyah, 2010). Briket arang kayu merupakan modifikasi dan inovasi dari arang kayu, dimana arang kayu dipadatkan untuk mendapatkan beberapa keunggulan, yaitu memiliki nilai kalor dan densitas yang tinggi, mudah dalam pengemasan dan distribusi, mempunyai kualitas dan ukuran yang beragam serta mudah dalam pembuatan (Arifin *et al.*, 2018). Pembriketan biomassa memiliki dua komponen utama, yaitu bahan baku dan bahan perekat. Dua bahan tersebut akan mempengaruhi mutu produk briket yang di produksi.

Penelitian ini menggunakan arang limbah kayu sengon sebagai bahan baku briket dengan perekat nabati tapioka. Pemilihan jenis perekat untuk pembriketan didasarkan pada nilai viskositas yang tinggi (Muharyani *et al.*, 2012). Tapioka memiliki viskositas puncak paling tinggi dibandingkan dengan tepung beras, beras

ketan dan terigu (Imanningsih, 2012). Penelitian ini menggunakan kadar perekat sebesar 5%, 10%, dan 15% didasarkan pada pendapat Triono (2006) yang menyebutkan kadar perekat tidak boleh terlalu tinggi karena dapat menyebabkan penurunan mutu briket serta menimbulkan banyak asap. Karakteristik arang kayu sengon telah dikaji dalam penelitian-penelitian sebelumnya (Arifin *et al.*, 2018; Pambudi *et al.*, 2018; Rahmat, 2015; dan Rosyadi, 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket arang sengon dengan kadar perekat 20% (Rosyadi, 2019) memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan briket berkadar perekat 30% (Arifin *et al.*, 2018).

Rahmat (2015) melaporkan bahwa suhu 400 °C pada pirolisis akan menghasilkan arang kayu sengon dengan nilai kalor tinggi dan kadar air rendah. Arang kayu sengon pada penelitian dibuat dengan menggunakan proses pirolisis dengan kisaran suhu yang berbeda. Pirolisis dengan tungku kubah memiliki kisaran suhu 400 °C, sedangkan dengan *double-drum retort kiln* memiliki kisaran suhu 500 °C. Berdasarkan literatur yang telah dibaca oleh peneliti, penelitian yang membahas perbandingan karakteristik briket dengan variasi kadar perekat dan tipe tungku (tungku kubah dan *double-drum retort kiln*) yang berbeda belum pernah dilakukan, sehingga penelitian ini sangat menarik untuk dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode cetak dingin, dimana briket arang dicetak tanpa menggunakan cetakkan yang dilengkapi pemanas. Tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisis dan energi briket arang kayu sengon produksi tungku kubah dan *double-drum retort kiln* dengan tiga variasi bahan perekat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

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

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi kadar perekat tapioka (5%, 10% dan 15%) terhadap karakteristik fisis dan energi briket arang limbah kayu sengon?
2. Mengetahui pengaruh tipe tungku pirolisis (tungku kubah dan *double-drum retort kiln*) terhadap karakteristik energi briket arang limbah kayu sengon?
3. Mengetahui interaksi variasi kadar perekat dan tipe tungku pirolisis terhadap karakteristik energi briket arang limbah kayu sengon?

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

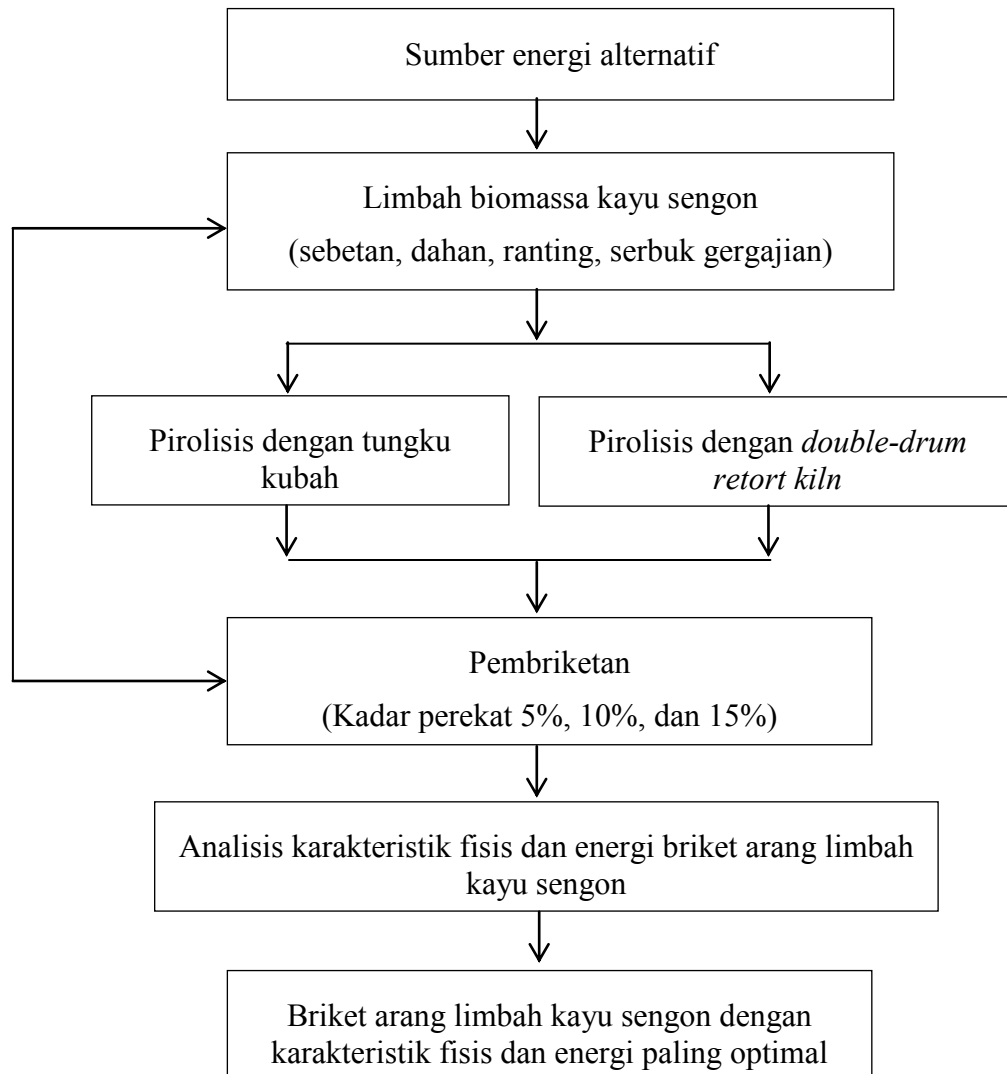
1. Menjadi acuan dalam pengembangan briket arang kayu sebagai alternatif energi terbarukan,
2. Menjadi solusi bagi masyarakat sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, murah, serta mudah dibuat.

1.5 Kerangka Pikiran

Kebutuhan akan energi yang terus bertambah harus diimbangi dengan pemanfaatan sumber energi biomassa yang berlimpah. Potensi sumber energi biomassa di Indonesia salah satunya adalah limbah kayu. Limbah kayu sengon perlu dimodifikasi untuk meningkatkan kualitas serta nilai jualnya. Biomassa bisa dikonversi menjadi energi dengan tiga proses termal, yaitu pembakaran langsung, gasifikasi dan pirolisis. Sedangkan, teknologi yang biasa digunakan untuk konversi biomassa meliputi pembriketan, improvisasi tungku, biogas, arang, karbonisasi, serta gasifikasi (Omer, 2011). Penelitian ini menggunakan dua teknologi konversi biomassa, yaitu pirolisis dan pembriketan.

Penggabungan teknologi pirolisis dan pembriketan dapat meningkatkan mutu produk briket arang limbah kayu sengon. Pirolisis merupakan proses pemanasan biomassa untuk menghilangkan zat mudah terbang hingga hanya tersisa arang (Sriram, 2005). Produk pirolisis meliputi berupa padatan atau arang akan diolah dengan metode pembriketan. Pembriketan adalah teknologi pemadatan biomassa dibawah suhu dan tekanan yang tinggi (Ahmed *et al.*, 2008). Proses pembriketan terdapat bahan perekat yang sangat berpengaruh pada mutu

arang yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan variasi kadar perekat tapioka, sebanyak 5%, 10%, dan 15%. Masing-masing variasi kadar perekat ini dicampur dengan arang hasil produksi dua tungku berbeda, yaitu tungku kubah dan *double-drum retort kiln*. Ada pun kerangka pemikiran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

1.6 Hipotesis Penelitian

Dugaan sementara pada penelitian ini adalah:

1. Briket arang limbah kayu sengon dengan kadar perekat 5% memiliki karakteristik lebih baik dibandingkan briket dengan perekat 10% dan 15%,

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

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Biomassa

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, kebutuhan akan energi juga semakin meningkat setiap tahunnya. Peningkatan penggunaan energi akan berdampak pada ketersediaan minyak bumi sebagai sumber energi utama. Wibowo *et al.* (2016) menyebutkan bahwa cadangan minyak semakin berkurang akan berakibat pada kelangkaan dan meningkatnya harga minyak di pasaran. Selain itu, kualitas lingkungan menurun akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan. Oleh karena itu, perlu dicari sumber energi lain terutama energi terbarukan yang ramah lingkungan. Sumber energi alternatif yang ketersediannya melimpah salah satunya adalah biomassa.

Biomassa disebut sebagai sumber energi terbarukan karena ketersediannya yang tidak terbatas. Biomassa sendiri dapat didefinisikan sebagai semua bahan organik, baik berupa kayu, tanaman, rumput laut, maupun kotoran hewan yang bisa digunakan sebagai sumber daya energi (Fisafarani, 2010; Yulianto *et al.*, 2020). Sumber daya biomassa (baik berupa produk maupun buangan) dianggap sebagai bahan organik karena energi sinar matahari disimpan dalam bentuk ikatan kimia (Papilo *et al.*, 2015) melalui proses fotosintetis (Suganal dan Hudaya, 2019). Biomassa dapat berupa tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak (Arhamsyah, 2010).

Secara umum, karakteristik ideal yang harus dimiliki tanaman sebagai sumber energi adalah memiliki riap yang tinggi (produksi maksimal dari bahan kering/hektar), input energi dan biaya untuk produksi rendah, memiliki komposisi bahan dengan kontaminan paling sedikit dan tidak memerlukan pupuk yang banyak (McKendry, 2002).

Biomassa yang telah dikonversi menjadi energi akan disebut dengan bioenergi. Indonesia memiliki potensi energi biomassa sekitar 30.051,2 MWe dengan kapasitas terpasang 1.626 MWe pada tahun 2016 (Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2016.). Oleh karena itu, biomassa memiliki peranan penting untuk memenuhi kebutuhan energi terbarukan di Indonesia (Hidayat *et al.*, 2020). Potensi bioenergi Indonesia yang cukup menjanjikan 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 merupakan sumber energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui sehingga memiliki peluang yang besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Biomassa dapat menggantikan penggunaan batubara di pembangkit listrik dan mengurangi emisi karbon dan efek rumah kaca (Panwar *et al.*, 2011). Drozyner *et al.* (2013) menyebutkan, penggunaan biomassa sebagai sumber energi tidak hanya dengan baik memperbaiki lingkungan, namun juga dapat meningkatkan aspek ekonomi dan keamanan energi (berupa jaminan pasokan energi).

Secara global, biomassa adalah sumber energi terbarukan terbesar dan ekonomis dalam porsi yang signifikan (biasanya 20-40%) dari total konsumsi energi di negara berkembang (Pratama *et al.*, 2017). Tahun 2030, diperkirakan sekitar 2,7 milyar orang di negara berkembang akan bergantung pada kayu sebagai bahan bakar dan 180 juta di antaranya ada di Indonesia (Sepp, 2014). Kayu sendiri menyumbang 42% dari energi biomassa dalam bentuk kayu bulat, serpihan kayu, kulit, dan serbuk gergajian (National Energy Education Development Project, 2018).

2.2 Sengon (*Falcataria moluccana*)

Sengon (*Falcataria moluccana*) dikelompokkan dalam famili leguminosae dengan subfamili Mimosoidae. Sengon di Indonesia terdapat secara alami di Maluku, Jawa, Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, dan Irian. Sengon umumnya berukuran cukup besar dengan tinggi pohon total mencapai 40 m dan tinggi bebas cabang mencapai 20 m. Pohon sengon dikenal sebagai pohon yang pertumbuhannya tercepat di dunia. Sengon pada umur 1 tahun dapat mencapai tinggi 7 m dan pada umur 12 tahun dapat mencapai tinggi 39 m, dengan diameter 60 cm dan tinggi cabang 10-30 m (Hardiatmi, 2010). Diameter pohon yang sudah tua dapat mencapai 1 m, kadang lebih. Batang tumbuh lurus dan silindris dengan tajuk lebar mendatar.

Sengon adalah jenis kayu serbaguna yang memiliki masa masak tebang relatif pendek, persyaratan tempat tumbuh tidak rumit sehingga pengelolaannya relatif mudah, mampu menyuburkan tanah dan memperbaiki kualitas lahan, serta memiliki nilai jual yang cukup tinggi (Istikorini *et al.*, 2020; Pratama *et al.*, 2015). Sengon tumbuh dengan baik di daerah yang terletak antara 10°LS-30°LU dengan 15 hari hujan dalam 4 bulan terkering. Curah hujan rata-rata tahunan yang cocok untuk tanaman ini adalah 2.000-3.500 mm (Baskorowati, 2014; Fauzan *et al.*, 2019). Suhu optimal untuk pertumbuhan sengon adalah 22-29 °C dengan suhu maksimum 30-34 °C dan suhu minimum 20-24 °C (Soerianegara and Lemmens, 1993). Ketinggian tempat tumbuh sengon ≤ 1.600 m dpl (Fauzan *et al.*, 2019; Indriyanto, 2015). Sengon dapat tumbuh di jenis tanah latosol dan podsolik (Fauzan *et al.*, 2019). Sengon juga dapat tumbuh di jenis tanah yang berdrainase jelek hingga baik dan mulai dari tanah miskin sampai yang banyak mengandung unsur hara (Baskorowati, 2014).

Kayu sengon umumnya ringan, lunak sampai agak lunak. Warna kayu teras adalah putih sampai coklat muda pucat atau kuning muda sampai coklat kemerahan (Soerianegara and Lemmens 1993). Kerapatan kayu berkisar antara 230 dan 500 kg/m³ pada kadar air 12-15% (Krisnawati *et al.*, 2011). Serat kayunya lurus atau saling bertautan dan teksturnya cukup kasar tetapi seragam. Sifat-sifat kimia kayu sengon dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat kimia kayu sengon berdasarkan posisi ketinggian batang

No.	Sifat Kimia	Posisi Ketinggian Batang		
		Pangkal	Tengah	Ujung
1.	Ekstraktif (%)	2,34	3,50	3,83
2.	Lignin (%)	23,77	22,85	16,69
3.	Holoseulosa (%)	76,03	88,33	69,16
4.	Alpha Selulosa (%)	61,55	74,21	57,11

Sumber: Putra *et al.* (2018)

Kayu sengon dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan konstruksi ringan (misalnya langit-langit, panel, interior, perabotan dan kabinet), bahan kemasan ringan (misalnya paket, kotak, kotak cerutu dan rokok, peti kayu, peti teh dan palet), korek api, sepatu kayu, alat musik, mainan, bahan baku industri kertas pulp, kayu lapis, kayu pertukangan (perabotan rumah tangga), kerajinan seni yang bernilai tinggi, serta kayu bakar.

2.3 Pirolisis

Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi termal yang terjadi tanpa adanya oksigen (Boundy *et al.*, 2011; Ridhuan *et al.*, 2019). Proses pirolisis berlangsung pada suhu 500 °C pada lingkungan anaerob yang menghasilkan *bio-oil*, *syngas*, dan arang (Bauen *et al.*, 2009; Wijayanti, 2013). Hasil dan komposisi produk pirolisis bergantung pada kondisi pirolisis (suhu, waktu tinggal, tekanan dan laju pemanasan) serta komposisi bahan baku (Duman *et al.*, 2011). Secara umum produk pirolisis diklasifikasi menjadi:

- a. produk padat: berupa residu padat yang kaya kandungan karbon (*char*);
- b. produk cair: berupa (tar, hidrokarbon, dan air); dan
- c. produk gas: (CO, H₂O, CO₂, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₆H₆, dll).

Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang dapat menjadi solusi bagi permasalahan limbah (Nurkholifa *et al.*, 2020; Ridjayanti *et al.*, 2021). Proses pirolisis akan membuat limbah organik secara substansial berkurang melalui peningkatan keuntungan ekonomi (Hanif *et al.*, 2016). Terdapat dua tipe pirolisis, yaitu *slow pyrolysis* dan *fast pyrolysis*. Perbedaan utama dua proses pirolisis ini adalah laju pemanasan dan suhu reaksi maksimum (Brown *et al.*, 2011) waktu tinggal dalam reaktor pirolisis, dan perbedaan proposi fraksi cair, gas, dan padatan produk yang dihasilkan.

Slow pyrolysis atau karbonisasi menggunakan temperatur yang rendah dengan waktu tinggal yang lama (Boundy *et al.*, 2011). *Slow pyrolysis* memiliki laju pemanasan di bawah 80 °C/menit atau 100 °K/menit dengan kisaran temperatur reaksi sebesar 300 °C (Brown *et al.*, 2011; Venderbosch and Prins, 2010). Hal ini mengakibatkan, persentase hasil produk berupa arang pada proses *slow pyrolysis* tinggi, sehingga produksi gas dan tarinya semakin rendah (Tanoue *et al.*, 2010). Sedangkan, pada *fast pyrolysis* biomassa terdekomposisi dengan cepat untuk menghasilkan uap dan aerosol dengan sedikit arang dan gas (Bridgwater, 2011). *Fast pyrolysis* memiliki laju pemanasan cepat (umumnya di atas 100 °C/s) dan temperatur reaksi antara 450-550 °C (Venderbosch and Prins, 2010). Oleh karena itu, *fast pyrolysis* memiliki waktu tinggal dalam reaktor sangat singkat (Baeun *et al.*, 2009). Perbedaan produk kedua jenis pirolisis tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil produk dari berbagai proses pirolisis

Jenis Pirolisis	Kondisi	Fraksi (%)		
		Cair	Padat	Gas
<i>Fast</i>	500 °C, waktu tinggal uap panas singkat ±1 detik	75	12 (arang)	13
<i>Intermediate</i>	500 °C, waktu tinggal uap panas ±10-30 detik	50 dalam dua fase	25 (arang)	25
Karbonisasi (<i>Slow pyrolysis</i>)	400 °C, waktu tinggal uap panas sepanjang hari	30	35 (arang)	35
Gasifikasi	750-900 °C	5	10 (arang)	85
Torefaksi	290 °C, waktu tinggal padatan 10-60 menit	0 jika kental, lalu naik sampai 5	80	20

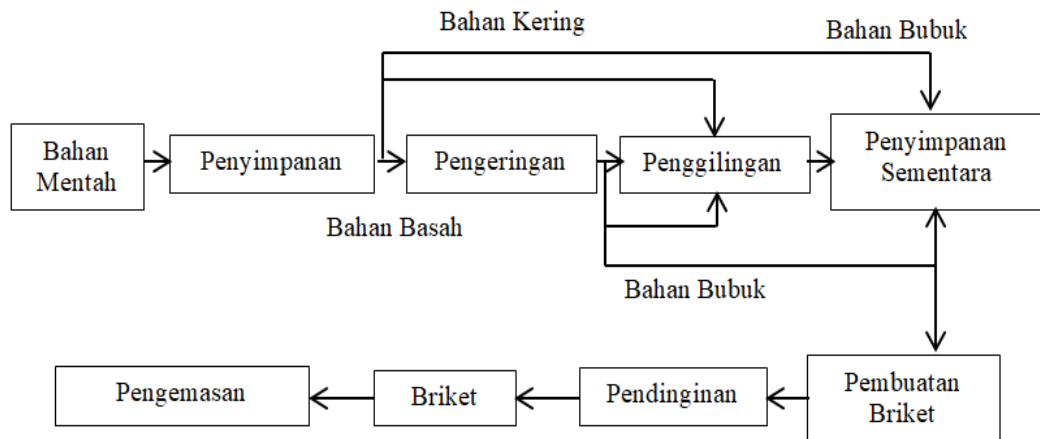
Sumber: Bridgwater (2011).

Arang atau *biochar* adalah produk padatan dari proses pirolisis dengan persentase paling besar diantara produk sampingan yang lain (Hidayat *et al.*, 2021). Arang kayu adalah suatu bahan padat yang berpori-pori dan merupakan hasil pembakaran dari bahan berkayu yang mengandung unsur karbon (C) (Arhamsyah, 2020). Arang umumnya dikenal masyarakat sebagai sumber energi yang murah, mudah didapat, serta ramah lingkungan (Kwon *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2018). Selain itu, arang dapat digunakan sebagai media tanam yang berguna

untuk memperbaiki tanah dan meningkatkan produktivitas tanah. Arang dapat memacu pertumbuhan dengan meningkatkan serapan hara karbon (Hidayat *et al.*, 2017a; Riniarti *et al.*, 2021; Tarigan *et al.*, 2021). Oleh karena itu, penambahan arang akan meningkatkan kesuburan tanah karena dapat menyediakan habitat bagi mikroba tanah serta menyediakan air dan nutrisi (Saputra dan Ardika, 2012). Hal ini selaras dengan pendapat Sukartono dan Utomo (2012) yang mengemukakan pengaplikasian *biochar* dapat meningkatkan keberadaan C-Organik serta berkontribusi terhadap pembenahan sifat fisika-kimia tanah. Selain itu, cara ini lebih ramah lingkungan karena mampu mengurangi emisi dan mengikat gas rumah kaca.

2.4 Briket

Pembriketan adalah pembentukan biomassa menjadi briket dengan cara dikompaksi dengan tujuan untuk meningkatkan sifat bahan baku serta menjadi lebih praktis dalam dimensi (Arifin *et al.*, 2018). Sugumaran and Seshadri (2010) menyebutkan bahwa, pembriketan adalah proses konversi biomassa dengan kepadatan rendah menjadi bahan bakar dengan kepadatan dan nilai energi tinggi dan terkonsentrasi. Pembriketan juga bisa didefinisikan sebagai proses densifikasi atau pemampatan bahan baku yang bertujuan untuk memperbaiki sifat fisik suatu bahan, sehingga memudahkan penanganannya (Abdullah, 2002). Tahapan pembriketan berupa pencampuran bahan baku, pencetakan dan pengeringan pada kondisi tertentu, sehingga diperoleh briket yang mempunyai bentuk, ukuran fisik, dan sifat kimia tertentu (Hidayah *et al.*, 2014). Proses pembriketan secara singkat dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber: Ahmed *et al.* (2008).

Gambar 2. Diagram alir pembuatan briket biomassa

Produk dari pembriketan disebut dengan briket, jika berasal dari bahan organik maka disebut dengan biobriket. Biobriket merupakan bahan bakar padat yang berasal dari sisa bahan organik yang telah mengalami proses pemampatan dengan daya tekan tertentu (Hambali *et al.*, 2008). Contoh biobriket adalah briket arang. Briket merupakan alternatif pengolahan limbah yang dapat dikembangkan sebagai bahan bakar padat (Pujasakti dan Widayat, 2018). Briket adalah pengganti bahan bakar minyak yang murah dan memungkinkan untuk dikembangkan secara massal dalam waktu yang relatif singkat, mengingat teknologi dan peralatan yang digunakan relatif sederhana (Arifin *et al.*, 2018). Briket memiliki bentuk yang bervariasi tergantung dari bentuk cetakan yang diinginkan. Briket umumnya berbentuk silinder (pejal/non pejal), kubus, segi enam, segi delapan, dan lain sebagainya (Erikson, 2011). Terdapat dua komponen utama dalam proses pembuatan briket yang akan menentukan mutu produk, yaitu bahan baku serta bahan perekat. Oleh karena itu, penting mengetahui bagaimana komposisi yang tepat dari keduanya dalam produksi briket. Berbagai bentuk briket dapat dilihat pada Gambar 3.



Sumber: Google

Gambar 3. Berbagai bentuk briket arang.

2.4.1 Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan akan mempengaruhi mutu briket yang dihasilkan. Selain itu, ukuran partikel bahan baku juga akan menentukan karakteristik produk briket. Briket bermutu adalah briket yang mempunyai ukuran partikel kecil, kandungan air rendah dan memiliki nilai kalor tinggi (Smith dan Idrus, 2017). Ukuran partikel merupakan faktor utama yang mempengaruhi sifat fisis briket, diikuti kandungan air dan suhu (Zhang and Guo, 2014). Oleh karena itu, ukuran partikel arang juga perlu diperhatikan. Priyanto *et al.* (2018) mengemukakan ukuran partikel 100 *mesh* briket arang kayu sengon memiliki kerapatan yang tinggi serta laju pembakaran yang lama.

2.4.2 Bahan Perekat

Proses pembuatan briket memerlukan perekat, terutama briket dengan bahan baku arang biomassa, untuk menyatukan partikel bahan baku (Saputro *et al.*, 2012). Hal ini bertujuan agar terjadi ikatan yang kuat antar partikel penyusun

briket, sehingga menjadi kompak. Keberadaan perekat dalam briket baik jumlah maupun jenisnya dapat mempengaruhi mutu briket yang dihasilkan (Anizar *et al.*, 2020). Triono (2006) menyebutkan kadar perekat dalam briket arang tidak boleh terlalu tinggi karena dapat menyebabkan terjadinya penurunan mutu briket arang serta menimbulkan banyak asap. Bahan perekat yang baik digunakan untuk pembuatan briket arang meliputi pati, dekstrin dan tepung tapioka, karena menghasilkan briket arang yang tidak berasap pada saat pembakaran dan tahan lama (Permatasari dan Utami, 2015). Penggunaan jenis dan kadar perekat adalah faktor penting saat pembriketan. Jenis perekat akan mempengaruhi nilai kalor dari briket yang dihasilkan. Nilai kalor dari beberapa jenis bahan perekat ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai kalor beberapa jenis perekat

Jenis Perekat	Nilai Kalor (MJ/kg)
Tapioka	26,51
Terigu	27,03
Molase	25,56
Silikat	24,32

Sumber: Hanandito dan Willy (2011).

Jenis perekat untuk pembuatan briket dipilih yang mempunyai viskositas atau kekentalan yang tinggi (Muharyani *et al.*, 2012). Tepung tapioka memiliki viskositas puncak yang paling tinggi dan waktu gelatinisasi yang lebih cepat dibandingkan dengan tepung beras, beras ketan dan terigu (Imanningsih, 2012). Tepung tapioka memiliki viskositas sebesar 5387,94 mPas dan tergelatinisasi sempurna pada waktu 6,05 menit dan suhu 69,56 °C (Imanningsih, 2012). Selain itu, penggunaan perekat tapioka memiliki beberapa keuntungan, yaitu harganya murah, mudah pemakaiannya dan memiliki daya rekat kering tinggi (Anizar *et al.*, 2020). Komposisi dan kandungan kimia pada tepung tapioka tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Komposisi tepung tapioka

Karakteristik	Satuan (%)
Kadar Air	13,71
Kadar Abu	0,18
Protein	6,98
Lemak	1,00
Karbohidrat	78,13
Pati	65,26
Amilosa	8,06
Amilopektin dari pati	91,94

Sumber: Imanningsih (2012).

2.4.3 Standar Kualitas Briket

Briket berkualitas adalah briket yang memenuhi standar mutu agar dapat digunakan sesuai kegunaannya. Karakteristik yang memengaruhi kualitas bahan bakar adalah sifat fisik dan kimia seperti kadar air, kadar abu, kadar zat menguap dan nilai kalor (Maryono *et al.*, 2013). Standar kualitas briket dari beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Standar kualitas briket di beberapa negara

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

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).

2.4.4 Briket Arang Sengon

Rindayatno dan Lewar (2017) menyebutkan briket arang sengon memiliki kerapatan $0,53 \text{ g/cm}^3$, kadar air 7,76%, kadar abu 6%, zat mudah menguap 31,10%, karbon terikat 62,90%, keteguhan tekan $22,67 \text{ kg/cm}^2$, dan nilai kalor sebesar 27,03 MJ/kg. Penelitian mengenai mutu briket arang sengon dengan kadar perekat 20% juga pernah dilakukan Rosyadi (2019) dengan karakteristik nilai kalor sebesar 25,88 MJ/kg, kadar air 11,67%, kadar abu 2%, dan waktu penyalaan 49,36 detik. Sedangkan dengan kadar perekat tapioka 30% dan suhu pirolisis $400 \text{ }^\circ\text{C}$ didapatkan karakteristik briket dengan kerapatan sebesar $0,53 \text{ kg/cm}^3$, kadar air sebesar 8,75% serta nilai kalor 23,86 MJ/kg (Arifin *et al.*, 2018).

Pambudi *et al.* (2018) menyatakan bahwa dengan tekanan 150 kg/cm^3 dan perbandingan arang dan perekat sebesar 70% dan 30%, briket arang sengon yang dihasilkan memiliki densitas $0,7 \text{ g/cm}^3$, kadar air 6,6%, dan laju pembakaran sebesar 0,35 g/menit. Selain karakteristik termal, Sobirin (2015) melakukan penelitian mengenai karakteristik mekanik briket limbah sengon, yaitu kerapatan briket adalah $0,48 \text{ g/cm}^3$, nilai *drop test* (ketahanan briket terhadap benturan) sebesar 1,85%, persentase kuat tekan aksial $18,4 \text{ N/mm}^2$, serta nilai distribusi rongga dan arang sebesar 58,42%.

Beberapa penelitian briket kayu sengon sebelumnya menggunakan metode cetak panas dalam pembriketan. Delima (2013) dan Naim (2013) melaporkan bahwa karakteristik kayu sengon pada tekanan kompaksi 7.000 Psig dan 5.000 Psig dipengaruhi oleh suhu cetakan briket. Suhu pencetakan briket yang berpengaruh baik terhadap *stability* (perubahan bentuk dan ukuran briket) dan *shatter index* (uji ketahanan briket) briket arang kayu sengon adalah $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Fauzi *et al.* (2015) juga berpendapat bahwa suhu pencetakan briket sengon akan mempengaruhi karakteristik termal briket. Semakin tinggi suhu pencetakan maka waktu penyalaan (*ignition time*) dan waktu pembakaran (*burning time*) akan semakin lama serta laju pembakaran akan semakin lambat.

2.5 Keunggulan Briket

Proses pembriketan memiliki beberapa keunggulan sehingga dijadikan alternatif dalam pengolahan limbah yang cukup prospektif. Briket sebagai bahan

bakar lebih murah 65% dibandingkan dari minyak tanah, gas, dan kayu (Rindayatno dan Lewar, 2017). Hal ini disebabkan oleh bahan baku yang murah dan melimpah serta teknologi yang digunakan cukup sederhana (Patandung, 2014). Keunggulan lain briket antara lain:

1. jika dibandingkan dengan arang kayu, briket memiliki daya tahan bakar yang lebih lama, sisa hasil pembakaran sedikit, asap yang dihasilkan sedikit dan kadar panas yang lebih tinggi (Pari, 2012);
2. kerapatan briket tinggi, bentuknya rapi dan ukuran seragam sehingga memudahkan untuk dibawa dan digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga dan industri kecil (Smith dan Idrus, 2017);
3. teknologi pembuatan briket sederhana dan relatif murah, namun mampu menyuplai energi dalam jangka panjang (Anizar *et al.*, 2020);
4. pembriketan mampu meningkatkan nilai kalor per unit volume (Pujasakti dan Widayat, 2018);
5. briket dapat dibuat dengan cepat, biaya produksi yang relatif murah serta mudah beradaptasi dan terapkan pada berbagai pengaturan (Ali *et al.*, 2019);
6. pembriketan akan menaikkan nilai kalor, meningkatkan sifat fisis bahan baku (densitas, nilai kalor, kadar air), kuat tekan (*compression strength*), *durability* dan *stability* (Saputro *et al.*, 2012); dan
7. meningkatkan kerapatan energi hingga dua kali lipat dari bahan bakunya, mengandung jumlah energi yang sama serta membuat bahan bakar menjadi lebih mudah diangkut (Sriram, 2005).

Keuntungan menggunakan briket dibandingkan dengan bahan bakar padat lain (Sharma *et al.*, 2015):

1. briket lebih murah dibandingkan dengan batu bara;
2. minyak bumi, batu bara atau lignit hanya bisa digunakan sekali dan tidak ada substitusinya;
3. tidak ada sulfur di dalam briket, sehingga tidak akan menyebabkan polusi;
4. briket biomassa memiliki nilai termal praktis yang lebih tinggi;
5. briket (abu= 2-10%) memiliki kadar abu lebih rendah dibandingkan dengan batu bara (abu= 20-40%);
6. pembakaran briket lebih seragam dibandingkan dengan batu bara;

7. briket biasa diproduksi dekat dengan pusat konsumsi dan persediannya tidak bergantung pada jarak transportasi yang jauh; serta
8. briket memberikan *boiler efficiency* (efisiensi pemanasan) lebih tinggi karena kelembaban yang rendah dan kerapatan yang tinggi.

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2020 sampai Februari 2021. Persiapan bahan dan pirolisis dilakukan di *Workshop* Laboratorium Teknologi Hasil Hutan (THH), UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi Universitas Lampung dan PT Kendi Arindo. Analisis proksimat dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia dan Laboratorium Rekayasa Sumberdaya Air dan Lahan, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung. Analisis FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) dilakukan di Laboratorium Inovasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis ultimat dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian. Perhitungan nilai kalor dan kerapatan 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, alat penggiling sampel, tang krusibel, cetakan briket ukuran 5 cm x 5 cm x 7,5 cm, cawan porselen, cawan platina, ayakan 3 mm x 3 mm, *Universal Testing Machine* (UTM) Testometric M500-50AT, kaliper digital ketelitian 0,001, oven dan *furnace*. Sedangkan, bahan yang digunakan ialah arang kayu sengon produksi tungku kubah dan produksi *double-drum retort kiln*, serbuk kayu sengon, tepung tapioka, serta air.

3.3 Rancangan Penelitian

Metode pada penelitian ini adalah metode eksperimen skala laboratorium. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial. Penelitian menggunakan dua faktor yang diperkirakan mempengaruhi karakteristik briket arang limbah kayu sengon. Faktor pertama adalah kadar perekat. Kadar perekat yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15%. Faktor kedua adalah tipe tungku pirolisis (tanpa pirolisis (kontrol), tungku kubah, dan *double-drum retort kiln*). Masing-masing perlakuan akan mendapat lima pengulangan. Sehingga, total keseluruhan terdapat 45 unit percobaan. Berdasarkan hasil pengacakan, maka tata letak percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.

ST24	ST25	SK13	ST11	SK14	SD34	SK11	ST15	SK22
ST23	ST33	SD21	SD31	SD13	SD24	ST31	ST14	ST13
SD33	SD32	SK21	SK34	SD23	ST12	SK33	SK15	ST32
SK23	SK35	SK32	SD14	ST35	ST34	ST22	SD12	ST21
SD35	SK25	SK31	SK24	SD11	SK12	SD22	SD15	SD25

Keterangan:

SK1: Briket biomassa sengon (tanpa pirolisis) dengan kadar perekat 5%

SK2: Briket biomassa sengon (tanpa pirolisis) dengan kadar perekat 10%

SK3: Briket biomassa sengon (tanpa pirolisis) dengan kadar perekat 15%

ST1: Briket arang sengon produksi tungku kubah dengan kadar perekat 5%

ST2: Briket arang sengon produksi tungku kubah dengan kadar perekat 10%

ST3: Briket arang sengon produksi tungku kubah dengan kadar perekat 15%

SD1: Briket arang sengon produksi *double-drum retort kiln* dengan kadar perekat 5%

SD2: Briket arang sengon produksi *double-drum retort kiln* dengan kadar perekat 10%

SD3: Briket arang sengon produksi *double-drum retort kiln* dengan kadar perekat 15%

1,2,3, 4, 5: ulangan ke 1, 2, 3, 4 dan 5.

Gambar 4. Tata letak percobaan.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Produksi Arang di PT Kendi Arindo (Tungku Kubah) dan *Double-drum Retort Kiln*

a. Produksi Arang dengan Tungku Kubah

Tungku terbuat dari susunan bata dengan perekat pasir dan tanah liat berkapasitas 12 m³ (Gambar 5). Pembuatan arang dilakukan dengan cara menyiapkan limbah kayu sengon terlebih dahulu. Kayu kemudian dimasukkan dan disusun ke dalam tungku dengan posisi horizontal sampai tungku penuh. Penataan diusahakan serapat mungkin untuk meminimalisir adanya oksigen yang masuk. Pintu tungku selanjutnya ditutup dengan menggunakan bata dan tanah liat. Celah kecil dibuat agar udara dapat masuk.

Api dihidupkan melalui jendela tungku yang berada pada kanan dan kiri tungku. Saat proses pembakaran, seluruh lubang kecil pada tungku dibiarkan terbuka terlebih dahulu. Api dibiarkan menyebar hingga membakar seluruh bagian secara merata. Proses pembakaran pada tungku ini berlangsung selama 5-7 hari.

Celah udara ditutup satu persatu saat asap terlihat mulai menipis. Proses pendinginan akan terjadi selama 6-7 hari. Pintu tungku kemudian dibuka dan arang dikeluarkan. Arang limbah kayu selanjutnya diayak. Setelah pengayakan, arang kayu disimpan dalam karung terlebih dahulu untuk memastikan tidak ada api di dalamnya.



Gambar 5. Produksi arang dengan tungku kubah.

b. Produksi Arang dengan *Double-drum Retort Kiln*

Alat yang digunakan adalah *double-drum retort kiln* dengan 2 lubang pada bagian bawah serta dilengkapi dengan cerobong asap (Gambar 6). Pembuatan arang kayu dan dengan skala laboratorium menggunakan prinsip yang sama menggunakan tungku kubah. Hal yang membedakan adalah suhu yang digunakan lebih tinggi serta waktu tinggal yang lebih singkat.

Pembuatan arang dilakukan dengan cara menyiapkan limbah kayu sengon. Bahan baku kayu sengon dipotong berukuran 40-50 cm lalu dimasukkan ke dalam tungku drum yang lebih kecil sampai penuh hingga permukaan atas tungku, lalu tungku kecil ditutup. Drum kecil selanjutnya dimasukkan ke dalam drum yang lebih besar. Bagian pinggir drum yang lebih besar diisi dengan limbah biomassa lain sebagai bahan baku. Kemudian, api dinyalakan dari bagian atas tungku. Setelah api dinyalakan tungku besar ditutup. Waktu yang dibutuhkan untuk pembakaran arang kayu sengon yaitu sekitar 5-6 jam. Proses pendinginan arang memerlukan waktu 4-5 jam.



Gambar 6. Produksi arang dengan *double-drum retort kiln*.

3.4.2 Pembuatan Briket

Pembuatan briket arang limbah kayu sengon diawali dengan membuat serbuk arang. Arang kayu sengon digiling hingga halus dan diayak dengan ukuran 3 mm × 3 mm. Campur serbuk arang dengan tepung tapioka ke dalam panci dengan variasi komposisi arang kayu sengon dan tepung tapioka yang digunakan, yaitu 95%:5%, 90%:10%, dan 85%:15%. Berat total setiap komposisi

arang dan perekat adalah 12,5 g. Komposisi bahan pembuatan briket dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Komposisi bahan pembuatan briket

Kadar Perekat (%)	Perekat Tapioka (g)	Serbuk Kayu / Arang (g)	Berat Total (g)
5	0,625	11,875	12,5
10	1,250	11,250	12,5
15	1,875	10,625	12,5

Campuran perekat tapioka dan serbuk dipanaskan dengan api sedang lalu diberi air sedikit demi sedikit hingga terbentuk menjadi adonan yang kalis. Kemudian, adonan dimasukkan kedalam cetakan briket dan dicetak menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) Testometric M500-50AT. Target ukuran briket yang dihasilkan sebesar 5 cm x 5 cm x 1 cm. Sehingga, didapat briket dengan kerapatan sama yaitu sebesar 0,5 g/cm³. Briket selanjutnya dikeringkan dalam oven dengan suhu 100 °C selama 24 jam.

3.4.3 Pengujian Briket Arang Limbah Kayu Sengon

Karakteristik yang diuji yaitu kerapatan, kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, kadar karbon terikat, dan nilai kalor:

a. Kerapatan

Kerapatan pada umumnya menyatakan perbandingan berat dan volume. Pada penelitian dihitung kerapatan kering tanur dan kerapatan kering udara. Kerapatan dapat diketahui dengan cara menimbang dan mengukur volume dalam keadaan kering tanur dan kering udara. Briket ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001. Sedangkan, pengukuran volume dilakukan dengan menghitung dimensi briket terlebih dahulu. Dimensi diukur dengan menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0,0001. Kerapatan dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kerapatan} = m/V$$

Keterangan:

Kerapatan: g/cm³

m: bobot briket (g)

V: volume (cm³)

b. Kadar Air dan Daya Serap Air

Pengujian kadar air briket arang limbah kayu sengon dilakukan dengan cara menimbang 1 g sampel ke dalam cawan yang telah diketahui bobotnya.

Kemudian, sampel diratakan sebelum dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $(115 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$ selama tiga jam. Saat pemanasan berlangsung tutup cawan dibuka. Setelah tiga jam, keluarkan cawan dari oven, kemudian didinginkan dalam desikator. Setelah dingin, cawan ditimbang sampai bobot tetap. Perhitungan kadar air briket arang kayu berdasarkan SNI 01-6235-2000:

$$\text{KA (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

KA adalah kadar air, A adalah berat sebelum dipanaskan (g) dan B adalah berat setelah dipanaskan dengan suhu $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (g).

Perhitungan daya serap air dilakukan dengan menimbang berat briket selama 31 hari atau sampai berat konstan. Berat briket diukur dengan menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,0001. Setelah itu dihitung persentase kenaikan berat briket setiap hari dengan rumus:

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\%$$

W1 adalah berat briket hari ke n dan W2 adalah berat briket hari ke n-1

c. Analisis Proksimat

Uji proksimat briket arang limbah kayu sengon berdasarkan pada SNI 01-6235-2000. Penetapan kadar zat terbang dilakukan dengan menimbang cawan porselen bertutup, kemudian sampel seberat 1 g ditambahkan pada cawan. Lalu, masukkan cawan ke dalam tanur dengan suhu $950 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 7 menit. Cawan kemudian didinginkan di dalam desikator, lalu ditimbang. Perhitungan kadar zat terbang briket arang limbah kayu sengon berdasarkan SNI 01-6235-2000:

$$\text{Kadar zat menguap (\%)} = \frac{B - C}{B} \times 100\%$$

C adalah berat setelah dipanaskan dengan suhu $950 \text{ }^\circ\text{C}$ (g).

Cawan untuk pengujian kadar abu ditimbang terlebih dahulu, kemudian ditambahkan sampel seberat 1 g ke dalamnya. Cawan diletakkan ke dalam tanur dengan suhu $800\text{-}900 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam. Bila seluruh sampel telah menjadi abu

cawan didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang kembali sampai bobot tetap. Perhitungan kadar abu briket arang limbah kayu sengon berdasarkan SNI 01-6235-2000 adalah.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{D}{B} \times 100\%$$

D adalah bobot abu. Selanjutnya adalah karbon terikat. Karbon terikat merupakan fraksi karbon (C) selain fraksi zat mudah menguap dan abu dalam briket. Karbon terikat dapat dihitung dengan cara mengurangi nilai 100% dengan nilai kadar abu dan kadar zat terbang.

d. Nilai Kalor

Nilai kalor briket dapat diketahui berdasarkan perhitungan estimasi dengan menggunakan nilai dari karbon terikat briket. Perhitungan nilai kalor briket adalah (Parikh *et al.*, 2005):

$$\text{Nilai Kalor (MJ/kg)} = 0,3536(\text{FC}) + 0,1559(\text{VM}) + 0,0078\text{ASH}$$

Dengan FC adalah nilai karbon terikat, VM adalah nilai kadar zat terbang, dan ASH adalah nilai kadar abu.

e. Analisis Ultimat

Analisis ultimat dilakukan dengan menggunakan alat *CHN Analyzer*. Briket dihaluskan dengan mortar, lalu disaring. Tabung alumunium khusus disiapkan sebagai wadah sampel. Tabung alumunium ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,001 mg. Sampel sebanyak 2 mg dimasukkan ke dalam tabung alumunium. Tabung alumunium lalu direkatkan dan gumpalkan hingga membentuk bulatan. Pastikan tidak terjadi kerusakan pada alumunium. Masukkan sampel ke dalam *CHN Analyzer*, dan mulai analisis ultimat. Hasil analisis akan terlihat pada layar monitor.

f. Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Analisis FTIR digunakan untuk menentukan kualitas biomassa serta perubahan gugus fungsi. Alat yang digunakan adalah *Spectroscopy Fourier Transform Infrared* (FTIR) tipe varian 2000 FTIR *scimiter series* dengan metode KBr. Sampel digerus dengan mortar bersama padatan KBr. Selanjutnya, sampel

dimasukan ke dalam cetakan berbentuk cincin secara merata. Sampel ditekan dengan alat penekan hidrolis lalu, sampel dikeluarkan dari cetakan. Sampel diletakan ke dalam alat *spectrofotometer* IR untuk dianalisis. *Spectrum* dicatat pada suhu kamar.

Spektrum FTIR memiliki prinsip kerja berupa *infrared* yang melewati celah sampel. Celah berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian ada beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer.

3.5 Analisis Data

Data hasil penelitian diolah menggunakan *Microsoft Word 2010*, *Microsoft Excel 2010*, dan *IBM SPSS Statistics 20*. Pengujian yang pertama kali dilakukan adalah uji asumsi. Adapun uji asumsi yang dilakukan sebagai berikut.

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui sebaran data kelompok, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Penelitian ini menggunakan taraf signifikan 5%. Uji normalitas ini menggunakan metode Shapiro Wilk dengan *software IBM SPSS Statistics 20*. Suatu data dikatakan normal jika memiliki nilai signifikansi (p) lebih dari 0,05.

2. Uji homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui data sampel berasal dari populasi dengan variansi yang sama atau tidak. Uji homogenitas dilakukan menggunakan *software IBM SPSS Statistics 20*. Jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 maka dapat dikatakan bahwa variansi dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah homogen.

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%. Data percobaan dikatakan memenuhi pengaruh adiktif apabila $F\text{-Hitung} \leq F\alpha$.

Selanjutnya, dilakukan analisis secara statistik dengan *Analisis of Variance* (ANOVA) atau analisis sidik 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* (DNMRT) pada tingkat kepercayaan 95%. Model matematis rancangan ini adalah.

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

Keterangan:

- Y_{ijk} : pengamatan faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j dan ulangan ke-k.
 μ : rata-rata populasi
 α_i : pengaruh faktor A pada taraf ke-i.
 β_j : pengaruh faktor B pada taraf ke-j.
 $(\alpha\beta)_{ij}$: interaksi antara faktor A dan faktor B.
 ϵ_{ijk} : pengaruh galat pada faktor A taraf ke-i, faktor B taraf ke-j, dan ulangan ke-k.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Kadar perekat tapioka 5% adalah kadar paling baik yang mempengaruhi karakteristik fisis dan energi briket arang limbah kayu sengon.
2. Arang produksi *double-drum retort kiln* adalah bahan baku paling baik yang mempengaruhi karakteristik fisis dan energi briket arang limbah kayu sengon.
3. Kadar perekat tapioka 5% dan arang produksi *double-drum retort kiln* adalah komposisi bahan yang mampu menghasilkan briket dengan karakteristik fisis dan energi paling baik.

5.2 Saran

Saran dalam penelitian ini adalah diperlukan penelitian lebih lanjut terkait jenis biomassa yang berbeda sebagai bahan baku pembuatan briket.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K. 2002. *Biomass Energy Potential and Utilization in Indonesia*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Adekunle, J.O., Ibrahim, J.S., Kucha, E.I. 2015. Proximate and ultimate analyses of biocoal briquettes of nigerian's ogboyaga and okaba sub-bituminous coal. *Currtient Journal of Applied Science and Technology*. 114-123.
- Ahmed, S. Rahman, M.M., Islam, M.A., Mashud, M. Moral, M.N.A. 2008. Role of biomass briquetting in the renewable energy sector and poverty diminution for Bangladesh. *Proceedings of the 4th BSME-ASME International Conference On Thermal Engineering*. 739-747.
- 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, e00202: 1-9.
- Akowuah, J.O., Kemausuor, 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.
- Alhafis, I., Efendi, R., Zalfiatri, Y. 2018. Karakteristik briket arang sekam padi dengan penambahan arang cangkang biji karet. *Jurnal Online Mahasiswa Universitas Riau*. 5(2): 1-14.
- Ali, N.U., Nina, P.M., Tarlue, P.J.V., Nakanwagi, R., Kuiote, E.J.O., Nur, A.L.A. Chanda, P. 2019. Assessment of biomass briquette use as alternative source of renewable energy in Kampala District. *African Journal of Environment and Natural Science Research*. 2(1): 68-76.
- American Standard Testing and Material. 2003. *ASTM D 1542-02 Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures*. ASTM International. Barr Harbor.
- American Standard Testing and Material. 2003. *ASTM D 5142-02 Routine Coal and Coke Analysis*. ASTM International. Barr Harbor.

- Anita, M.F. 2019. *Pembuatan Briket Pelepah Kelapa Sawit (Elaeis guenensis Jacq) dengan Menggunakan Perekat Biji Durian Sebagai Energi Baru Terbarukan*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Anizar, H., Sribudiani, E. Somadona, S. 2020. Pengaruh bahan perekat tapioka dan sagu terhadap kualitas briket arang kulit buah nipah. *Perennial*. 16(1): 11-17.
- Arhamsyah. 2010. The utilization of wood biomass as a source renewable. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*. 2(1): 42-48.
- Arifin, Z., Hantarum, Nuriana, W. 2018. Nilai kalor briket limbah kayu sengon dengan perekat maizena lebih tinggi di bandingkan tapioka, sagu dan tepung singkong. *Jurnal Pilar Teknologi*. 3(2): 37-41.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi BPPT. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Statistik Indonesia 2019*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Statistik Produksi Kehutanan 2018*. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 01- 6235- 2000 Briket Arang Kayu*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Baskorowati, L. 2014. *Budidaya Sengon Unggul (Falcataria moluccana) untuk Pengembangan Hutan Rakyat*. IPB Press. Bogor.
- Bauen, A., Berndes, G., Junginger, M., Londo, M., Vuille, F., Ball, R., Bole, T., Chudziak, C., Faaij, A., Mozaffarian, H. 2009. *Bioenergy – A Sustainable and Reliable Energy Source A review of status and prospects*. Ea Bioenergy ExCo. Rotorua.
- Boundy, B., Diegel, S.W., Wright, L., Davis, S.C. 2011. *Biomass Energy Data Book: Edition 4*. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge.
- Bridgwater, A.V. 2011. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy* 30. 1-27.
- British Standard. 1998. *BS 1016-104.4:1998 Methods for Analysis and Testing of Coal and Coke, Determination of Ash Content*. British Standards Institution. London.

- Brown, T.R., Wright, M.M., Brown, R.C. 2011. Estimating profitability tability of two biochar production scenarios: Slow pyrolysis vs fast pyrolysis. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*. 5: 54-68.
- Butar, V.B., Duryat, D., Hilmanto, R. 2019. Strategi pengembangan hutan rakyat di Desa Bandar Dalam Kecamatan Sidomulyo Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(1): 110-117.
- Delima, R. E. 2013. *Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan terhadap Karakteristik Briket Kayu Sengon pada Tekanan Kompaksi 7000 Psig*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2016. *Statistik EBTKE 2016*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Drozyner, P., Rejmer, W., Klasa, P.S.A., Skibniewska, K.A. 2013. Biomass as a renewable source of energy. *Technical Science*. 16(3): 211-220.
- Duman, G., Okutucu, C., Ucar, S., Stahl, R., Yanika, J. 2011. The slow and fast pyrolysis of cherry seed. *Bioresource Technology*. 102: 1869-1878.
- Erikson, S. 2011. *Studi Pemanfaatan Briket Kulit Jambu Mete dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Skripsi. Universitas Hasanuddin Makassar. Makassar.
- Fauzan, H., Sulistyawati, E., Lastini, T.L. 2019. Strategi pengelolaan untuk pengembangan hutan rakyat di Kecamatan Rancakalong Kabupaten Sumedang. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(2): 164-173.
- Fauzi, M. A., Ilminnafik, N., Sholahuddin, I. 2015. Karakteristik termal briket kayu sengon dengan variasi suhu tekan. *Jurnal Rotor*. 8(2): 29-31.
- Febrianto, F., Hidayat, W., Samosir, T.P., Lin, H.C., and Soong, H.D. 2010. Effect of strand combination on dimensional stability and mechanical properties of oriented strand board made from tropical fast growing tree species. *Journal of Biological Sciences*. 10(3): 267-272.
- Fisafarani, H. 2010. *Identifikasi Karakteristik Sumber Daya Biomassa dan Potensi Bio-pelet di Indonesia*. Skripsi. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Hambali, E., Mujalipah, Haloman, A. 2008. *Teknologi Bioenergi*. Agro Media. Jakarta.
- Hanandito, L., Willy, S. 2011. *Pembuatan Briket Arang Tempurung Kelapa dari Sisa Bahan Bakar Pengasapan Ikan Kelurahan Bandarharjo Semarang*. Universitas Diponegoro. Semarang.

- 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 Plos One*. 11(4): 1-11.
- Hardiatmi, J.M.S. 2010. Investasi tanaman kayu sengon dalam wanatani cukup menjanjikan. *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian*. 9(2): 17-21.
- Haryanti, N.H., Suryajaya, S., Wardhana, H., Noor, R. 2019. Utilization of coal bottom ash as briquette material. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 4(3): 113-124.
- 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.
- Hastuti, N., Pari, G., Setiawan, D., Mahpudin, Saepuloh. 2015. Kualitas arang enam jenis kayu asal Jawa Barat sebagai produk destilasi kering. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 33(4): 337-346.
- Hayati, N. 2018. Optimasi kondisi pirolisis dan pengeringan pada proksimat arang tempurung kelapa dengan metode taguchi. *Simetris*. 12(1): 6-12.
- Hidayah, N., Astarinugrahini, I., Maknunah, L. Briket cattapa alternatif briket bioarang terbaru berbahan buah ketapang (*Terminalia cattapa*) yang ramah lingkungan. *Jurnal Pelita-Jurnal Penelitian Mahasiswa UNY*. 9(1): 81-89.
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J.H., Febrianto, F., Lee, S.H., Chae, H.M., Kondo, T., Kim, N.H. 2017a. 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., Sya'bani, M.I., Purwawangsa, H., Iswanto, A.H., Febrianto, F. 2017b. Effect of wood species and layer structure on physical and mechanical properties of strand board. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 9(2): 134-140.
- Hidayat, W., Suri, I.F., Safe'i, R., Wulandari, C., Satyajaya, W., Febryano, I.G., Febrianto, F. 2019. Keawetan dan stabilitas dimensi papan partikel hibrida bambu-kayu dengan perlakuan steam dan perendaman panas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. 17(1): 68-82.

- Hidayat, W., Rani, I.T., Yulianto, T., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Hasanudin, U., Lee, S.H., Kim, S.D., Yoo, J.H., 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., Riniarti, M., Prasetya, H., Niswati, N., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021. Characteristics of biochar produced from the harvesting wastes of meranti (*Shorea* sp.) and oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches. *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012040.
- Imanningsih, N. 2012. Profil gelatinisasi beberapa formulasi tepung-tepungan untuk pendugaan sifat pemasakan. *Penel Gizi Makan*. 35(1): 13-22.
- Indriyanto. 2015. *Ekologi Spesies Pohon*. Plantaxia. Yogyakarta.
- 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. *Proceedings of the 7th TAE (Trend in Agricultural Engineering)*. 212-217.
- Iskandar, T., Rofiatin, U. 2017. Karakteristik biochar berdasarkan jenis biomassa dan parameter proses pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*. 12(1): 28-35.
- Istikorini, Y., Sari, O.Y. 2020. Survey dan identifikasi penyebab penyakit damping-off pada sengon (*Paraserianthes falcataria*) di Persemaian Permanen IPB. *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 32-41.
- Jahiding, M., Mashumi, E.S., Hasan., Gangganora, A.S. 2014. Pengaruh jenis dan komposisi perekat terhadap kualitas briket batubara muda. *Jurnal Aplikasi Fisika*. 10(20): 67-76.
- Japanese Industrial Standard. 1993. *JIS K 2151 (1993): Methods for Testing of Coke*. Japanese Standards Association. Tokyo.
- Kahariayadi, 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.
- Karunanithy, C., Wang, Y., Muthukumarappan, K., Pugalendhi, S. 2012. Physiochemical characterization of briquettes made from different feedstocks. *Biotechnology Research International*. 1-12.

- Kongprasert, N., Wangphanich, P., Jutilarptavorn, A. 2019. Charcoal briquettes from madan wood waste as an alternative energy in Thailand. *Procedia Manufacturing*. 30: 128-135.
- Krisnawati, H., Varis, E., Kallio, M., Kanninen, M. 2011 *Paraserienthes falcataria* (L.) Nielsen: *ekologi, silvikultur dan produktivitas*. CIFOR. Bogor.
- Kusmana, C., Hikmat, A. 2015. Keanekaragaman hayati flora di Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(2): 187-198.
- 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.
- Mahdie, M.F., Subari, D., Sunardi., Ulfah. 2016. Pengaruh campuran limbah kayu rambai dan api-api terhadap kualitas biopelet sebagai energi alternatif dari lahan basah. *Jurnal Hutan Tropis*. 4(3): 246-253.
- Maryono, Sudding, Rahmawati. 2013. Pembuatan dan analisis mutu briket arang tempurung kelapa ditinjau dari kadar kanji. *Jurnal Chemica*. 14(1): 74-83.
- McKendry, P. 2002. Review paper energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology*. 83: 37-46.
- Mitchual, S.J., Frimpong-Mensah, K., Darkwa, N.A. 2014. Evaluation of fuel properties of six tropical hardwood timber species for briquettes. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems*. 4: 1-9.
- Muhammad, D.R.A, Parnanto, N.H.R., Widadie, F. 2013. Kajian peningkatan mutu briket arang tempurung kelapa dengan alat pengering tipe rak berbahan bakar biomassa. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 6(1): 23-26.
- Muharyani. R, Pratiwi. D, Asip. F. 2012. Pengaruh suhu serta komposisi campuran arang jerami padi dan batubara subbituminus pada pembuatan briket bioarang. *Jurnal Teknik Kimia*. 18(2): 47-53.
- Nadeak, N., Qurniati, R., Hidayat, W. 2013. Analisis finansial pola tanam agroforestri di Desa Pesawaran Indah, Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. *Jurnal Sylva Lestari*. 1(1): 65-74.
- Naim, D. 2013. *Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan terhadap Karakteristik Briket Kayu Sengon pada Tekanan Kompaksi 5000 Psig*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- National Energy Education Development Project. 2018. *Secondary Energy Infobook*. The NEED Project. Manassas.

- Nurkholifa, 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*). *Proceedings of the Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*. 235-240.
- Obernberger, I., Thek, G. 2004. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*. 27(6): 653-669.
- Oktaviyani, E.S., Indriyanto, I., Surnayanti, S. 2017. Identifikasi jenis tanaman hutan rakyat dan pemeliharaannya di hutan rakyat Desa Kelungu Kecamatan Kotaagung Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Sylva Lestari*. 5(2): 63-77.
- Omer, A.M. 2011. Biomass energy resources utilisation and waste management. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*. 3(8): 149-170.
- Onchieku, J.M., Chikamai, B.N., Rao, M.S. 2012. Optimum parameters for the formulation of charcoal briquettes using bagasse and clay as binder. *European Journal of Sustainable Development*. 1(3): 477-477.
- Pambudi, F.K., Nuriana, W., Hantarum. 2018. Penurunan nilai kadar air dan laju pembakaran pada biobriket limbah kayu sengon dengan variasi tekanan. *Agritek*. 19(2): 92-95.
- Panwar, V., Prasad, P., Wasewar, K.L. 2011. Biomass residue briquetting and characterization. *Journal of Energy Engineering*. 5(6): 108-114.
- Papilo, P., Kunaifi, Hambali, E., Nurmiati, Pari, R.F. 2015. Penilaian potensi biomassa sebagai alternatif energi kelistrikan. *Jurnal Pasti(Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)*. 9(2): 164-176.
- Pari G, Mahfudin, Jajuli. 2012. Teknologi pembuatan arang briket arang dan arang aktif serta pemanfaatannya. *Proceedings of the Gelar Teknologi Tepat Guna Semarang*. 1-9.
- Parikh, J., Channiwala, S.A., Ghosal, G.K. 2005. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel*. 84(5): 487-494.
- 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.
- Patandung, P. 2014. Pengaruh jumlah tepung kanji pada pembuatan briket tempurung pala. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 6(2): 95-102.

- 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. *Proceedings of the Seminar Nasional Kimia Jurdik FMIPA Kimia UNY*. 59-69.
- Pratama, A.R., Yuwono, S.B., Hilmanto, R. 2015. Pengelolaan hutan rakyat oleh kelompok pemilik hutan rakyat di Desa Bandar Dalam Kecamatan Sidomulyo Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Sylva Lestari*. 3(2): 99-112.
- Pratama, Y., Helwani, Z., Komalasari. 2017. Pembuatan briket pelepah sawit menggunakan proses torefaksi pada variasi tekanan dan penambahan perekat tapioka. *Jurnal Fakultas Tehnik*. 4(1): 1-6.
- Pratiwi, V. D. 2020. Effect of burning temperature on the quality of alternatif bio-energy from coffee waste. *Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, dan Teknik Elektronika*. 8(3): 615-626.
- Priyanto, A., Hantarum, Sudarno. 2018. Pengaruh variasi ukuran partikel briket terhadap kerapatan, kadar air, dan laju pembakaran pada briket kayu sengon. *Proceedings of the Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI 2018 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*. 541-546.
- Pujasakti, D., Widayat, W. 2018. Karakteristik briket cetak panas berbahan kayu sengon dengan penambahan arang tempurung kelapa. *Saintekmol*. 16(1): 21-31.
- Purnawati, R., Febrianto, F., Wistara., I.N.J., Nikmatin, S., Hidayat, W., Lee, S. H., Kim, N.H. 2018. Physical and chemical properties of kapok (*Ceiba pentandra*) and balsa (*Ochroma pyramidale*) fibers. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 46(4): 393-401
- Putra, A.F.R., Wardenaar, E., Husni, H. 2018. Analisa komponen kimia kayu sengon (*Albizia falcataria* (L.) Fosberg) berdasarkan posisi ketinggian batang. *Jurnal Hutan Lestari*. 6(1): 83-89.
- 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.
- Qistina, I., Sukandar, D., Trilaksono. 2016. Kajian kualitas briket biomass dari sekam padi dan tempurung kelapa. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*. 2(2): 136-142.
- Rahmat, H. 2015. *Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Karakteristik Termal Briket Arang Serbuk Gergaji Kayu Sengon*. Skripsi. Universitas Jember. Jember.

- Raju, C.A., Jyothi, K.R., Satya, M., Praveena, U. 2014. Studies on development of fuel briquettes for household and industrial purpose. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 3(2): 54-63.
- Raju, C.H.A.I., Madhuri, N., Prabhakar, D., Prem, K. 2017. Studies on development and effectiveness of fuel briquettes as an alternative energy sources. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 4(10): 1698-1706.
- Rani, I.T., Hidayat, W., Febryano, I.G., Iryani, D.A., Haryanto, A., Hasanudin, U. 2020. Pengaruh torefaksi terhadap sifat kimia pelet tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal Teknik Pertanian*. 9(1): 63-70.
- 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., Hidayat, W., Bazenet, R.A., Banuwa, I.S., Riniarti, M. 2021. Pengaruh variasi kadar perekat tapioka terhadap karakteristik briket arang limbah kayu sengon (*Falcataria moluccana*). *Perennial* 17(1): 5-11.
- Rindayatno, Lewar, D.O. 2017. Kualitas briket arang berdasarkan komposisi campuran arang kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri* Teijsm dan Binn) dan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L). Nielsen). *Jurnal Hutan Tropika*. 1(1): 39-48.
- Riniarti, M., Hidayat, W., Prasetya, H., Niswati, N., Hasanudin, U., Banuwa, I.S., Yoo, J., Kim, S., Lee, S. 2021. Using two dosages of biochar from *Shorea* to improve the growth of *Paraserianthes falcataria* seedlings. *Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 012049.
- Rizki, G.M., Bintoro, A., Hilmanto, R. 2016. Perbandingan emisi karbon dengan karbon tersimpan di hutan rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 4(1): 89-96.
- Rosyadi, I.O.S. 2019. *Pengaruh Variasi Bahan Perekat Briket terhadap Nilai Kalor, Kadar Air, Kadar Abu dan Waktu Penyalaan*. Skripsi. Universitas Jember. Jember.
- Rubiyanti, 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.
- Rusdi, N., Muhammad, A.S. 2019. Pengaruh sudut punch dan ketebalan pelat terhadap *springback* pada bending v. *Sinergi*. 17(1): 57-64.

- Salema, A.A., Afzal, M.T., Bennamoun, L. 2017. Pyrolysis of corn stalk biomass briquettes in a scaled-up microwave technology. *Bioresource Technology*. 233: 353-362.
- 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.
- Saparudin, Syahrul, Nurchayati. 2015. Pengaruh variasi temperatur pirolisis terhadap kadar hasil dan nilai kalor briket campuran sekam padi-kotoran ayam. *Dinamika Teknik Mesin*. 5(1): 16-24.
- Saputra, J., Ardika, R. 2012. Potensi biochar dari limbah biomassa perkebunan karet sebagai amelioran dan mengurangi emisi gas rumah kaca. *Warta Perkaratan*. 31(1): 43-49.
- Saputro, D.D., Widayat, W., Rusiyanto, Saptoadi, H., Fauzun. 2012. Karakterisasi briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas. *Proceedings of the Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (Snast) Periode III Yogyakarta*. 394-400.
- Sepp, S. 2014. *Wood Energy Renewable, Profitable and Modern*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Bonn.
- Sharma, M.K., Priyank, G., Sharma, N. 2015. Biomass briquette production: A propagation of non-convention technology and future of pollution free thermal energy sources. *American Journal of Engineering Research*. 4(1): 44-50.
- 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.
- 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.
- Smith, H., Idrus, S. 2017. Pengaruh penggunaan perekat sagu dan tapioka terhadap karakteristik briket dari biomassa limbah penyulingan minyak kayu putih di Maluku. *Majalah Bahan Alam Industri Aneka Pangan Minyak Atsiri*. 13 (2): 21-32.
- Sobirin, A.A. 2015. *Analisis Karakteristik Mekanik Briket Limbah Kayu Serbuk Gergajian Kayu Sengon dengan Variasi Bahan Perekat*. Skripsi. Universitas Jember. Jember.

- Soerianegara, I., Lemmens, R.H.M.J. 1993. *Plant Resources of South-East Asia 5(1) Timber Trees Major Commercial Timbers*. Pudoc Scientific Publishers. Wageningen.
- Sriram, N., Shahidehpour, M. 2005. Renewable biomass. *Electric Power and Power Electronics Center Illinois Institute of Technology Chicago*. 1-6.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. *SNI 01-6235-2000 Briket Arang Kayu*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- 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.
- Sugumaran, P., Seshadri, S. 2010. *Biomass Charcoal Briquetting Technology for Alternative Energy Based Income Generation in Rural Areas*. Shri Amm Murugappa Chettiar Research Centre. Chennai.
- Sukarta, N., Ayuni., P.S. 2016. Analisis proksimat dan nilai kalor pada pelet biosolid yang dikombinasikan dengan biomassa limbah bambu. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 5(1): 728-736.
- Sukartono, Utomo. 2012. Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir (sandy loam) semiarid tropis Lombok Utara. *Buana Sains*. 12(1): 91 – 98.
- 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 jabon (*Anthocephalus cadamba*). *Jurnal Sylva Lestari*. 8(1): 65-76.
- Sunardi, S., Djuanda, D., Mandra, M.A. S. 2019. Characteristics of charcoal briquettes from agricultural waste with compaction pressure and particle size variation as alternative fuel. *International Energy Journal*. 19(3): 139-148.
- 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 Japan Institue Energy*. 89 (10): 948.
- Tarigan, A.A.L.B., Riniarti, M., Prasetya, 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.

- Thabane, K. 2020. *Development of charcoal briquettes using sehalahala (Seriphium plumosum and Felicia filifolia)*. Disertasi. National University of Lesotho. Lesotho.
- The Japan Institute of Energy. 2008. *Asian Biomass Handbook*. The Japan Institute of Energy. Tokyo.
- Triono, A. 2006. *Karakteristik Briket Arang dari Campuran Serbuk Gergajian Kayu Afrika (Maesopsis eminii Engl.) dan Sengon (Paraserianthes falcataria (L.) Nielsen) dengan Penambahan Tempurung Kelapa (Cocos nucifera L.)*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Uar, N. I. 2016. Produktivitas dan rendemen kayu gergajian pada perusahaan IUIPHHK PT Katingan Timber Cebeles. *Agrikan Jurnal Agribisnis Perikanan*. 9(1): 16 – 22.
- Utama, R.C., Febryano, I.G., Herwanti, S., Hidayat, W. 2019. Saluran pemasaran kayu gergajian sengon (*Falcataria moluccana*) pada industri penggergajian kayu rakyat di Desa Sukamarga, Kecamatan Abung Tinggi, Kabupaten Lampung Utara. *Jurnal Sylva Lestari*. 7(2): 195-203.
- Venderbosch, R., Prins, W. 2010. Fast pyrolysis technology development. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 4(2): 178–208.
- Wibowo, T., Setyawati, D., Nurhaida., Diba, F. 2016. Kualitas biopellet dari limbah batang kelapa sawit dan limbah kayu penggergajian. *Jurnal Hutan Lestari*. 4(4): 409-417.
- 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.*). *Proceedings of the Seminar Nasional Konservasi 2020: Konservasi Sumberdaya Alam untuk Pembangunan Berkelanjutan*. 560-563.
- 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.
- 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.
- Yuliah, Y., Suryaningsih, S., Ulfi, K. 2017. Penentuan kadar air hilang dan volatile matter pada bio-briket dari campuran arang sekam padi dan batok kelapa. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*. 1(1): 51-57.

- Zanella, K., Gonçalves, J.L., Taranto, O. 2016. Charcoal briquette production using orange bagasse and corn starch. *Chemical Engineering Transactions*. 49: 313-318.
- Zhang, J., Guo, Y. 2014. Physical properties of solid fuel briquettes made from *Caragana korshinskii* Kom. *Powder Technology*. 256: 293-299.
- Zhao, Y., Zhang, Y., Zhang, H., Wang, Q., Guo, Y. 2015. Structural characterization of carbonized briquette obtained from anthracite powder. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 112: 290-297.