



Analisis Pemanfaatan Biobriket Dari Limbah Kulit Kopi Sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan

Nadia Sri Aulia Noprianti¹, Hamdi², Nofi Yendri Sudiar³

^{1,2,3}Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Padang

¹nadiasriaulia08@gmail.com*

Abstract

This review article aims to explore various techniques used in the production of biobriquettes from coffee skin waste with a variety of materials and methods. Based on the literature study conducted, several studies were found related to the production of biobriquettes from coffee waste using various methods such as briquetting, torefaction, and experimental methods. The main raw materials used include coffee grounds, coffee skin, paper, and sawdust. The adhesives used were tapioca flour, pine resin, and biotany flour. The results showed that the calorific value of the biobriquettes produced ranged from 3489-8180 calories/gram, with the highest value produced by certain composition variations. The biobriquettes produced generally meet SNI standards as an alternative fuel. This article is expected to provide a comparison between various methods and compositions in producing quality biobriquettes from coffee waste.

Keywords: Biobriquettes, Coffee Waste, Calorific Value, Renewable Fuel

Abstrak

Artikel review ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai teknik yang digunakan dalam produksi biobriket dari limbah kulit kopi dengan variasi bahan dan metode. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, ditemukan beberapa penelitian terkait pembuatan biobriket dari limbah kopi dengan menggunakan berbagai metode seperti metode pembriketan, torefaksi, serta eksperimen. Bahan baku utama yang digunakan antara lain ampas kopi, kulit kopi, kertas, dan serbuk kayu. Adapun perekat yang digunakan berupa tepung tapioka, getah pinus, dan tepung biotani. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalori biobriket yang dihasilkan berkisar antara 3489-8180 kalori/gram, dengan nilai tertinggi dihasilkan oleh variasi komposisi tertentu. Biobriket yang dihasilkan secara umum memenuhi standar SNI sebagai bahan bakar alternatif. Artikel ini diharapkan dapat memberikan perbandingan antara berbagai metode dan komposisi dalam memproduksi biobriket berkualitas dari limbah kopi.

Kata kunci: Biobriket, Limbah Kopi, Nilai Kalor, Bahan Bakar Terbarukan

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan pokok manusia yang semakin berkembang [1], terutama di era modern ini telah menjadi pondasi kehidupan bagi masyarakat baik di Indonesia maupun global. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di berbagai bidang serta pertumbuhan populasi manusia turut menyebabkan peningkatan signifikan dalam permintaan energi [2].

Di Indonesia, sumber daya energi fosil yang tidak dapat diperbaharui, seperti batu bara, masih menjadi pilihan utama dalam berbagai sektor industri dan aktivitas lainnya. Cadangan batu bara Indonesia diperkirakan masih mencukupi untuk periode 65 tahun ke depan, dengan mempertimbangkan produksi rata-rata sekitar 600 juta ton setiap tahun [3]. Salah satu strategi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar

fosil dan menghadapi tantangan krisis lingkungan adalah dengan meningkatkan penggunaan sumber energi alternatif seperti biomassa [4]. Terdapat beberapa jenis bahan bakar alternatif, antara lain teknologi biogas, biodiesel, bioetanol, dan biobriket.

Biomassa atau dikenal sebagai bioresource merupakan semua bahan organik yang berasal dari tanaman hijau yang molekulnya sudah rusak setelah mengalami proses pencernaan, pembakaran, atau dekomposisi. Biomassa merupakan hasil dari proses fotosintesis yang mengubah karbon dioksida dan air menjadi kombinasi oksigen, karbon, dan hidrogen [5]. Proses ini juga memungkinkan penyerapan energi dari matahari. Kandungan biomassa didominasi oleh selulosa, hemiselulosa, lignin, dan kandungan lainnya [6]. Energi kimia dari biomassa akan tersimpan di bahan

organik tersebut yang kemudian dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi alternative [7]. Bahan organik alami yang mengandung energi tersebut dapat berasal dari tanaman, hewan, atau limbah pertanian.

Secara spesifik, bahan organik yang termasuk biomassa yaitu kayu, serbuk gergaji, eceng gondok, batok kelapa, serabut kelapa, sekam padi, sampah dapur, kotoran hewan, kayu putih, kelapa sawit, tebu, kopi, dan kakao [8]. Karena bahan bakunya yang berbeda menghasilkan biobriket dengan sifat fisik dan dampak lingkungan yang berbeda, penting untuk menyelidiki karakteristik dan pengaruhnya secara cermat. Biasanya, biobriket digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik, pemanas, dan memasak, terutama di negara maju. Namun, penggunaan biobriket semakin meningkat di negara berkembang, seperti contohnya digunakan untuk pembangkit listrik di Thailand. Pembuatan biomassa bisa dikelompokkan menjadi empat kategori, yaitu pembakaran, gasifikasi, fermentasi, dan likuifikasi, dengan biobriket termasuk dalam kategori pembakaran [9].

Energi yang berasal dari biomassa memiliki keunggulan karena bahan bakunya tersedia secara melimpah sebagai sumber utama energi terbarukan. Selain itu, penggunaan energi biomassa dapat membantu mengurangi emisi karbon, memberikan sumber pendapatan tambahan bagi produsen, dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [10]. Biomassa telah menjadi pilihan menjanjikan sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan kita pada energi fosil. Karakteristik yang ramah lingkungan dan memiliki konduktivitas termal tinggi merupakan persyaratan esensial bagi briket biomassa. Briket biomassa ini dibuat dari arang limbah organik yang dicetak dalam bentuk gumpalan atau batangan dengan penerapan tekanan selama proses pembuatannya [11]. Salah satu jenis biomassa yang tersedia dalam jumlah besar berasal dari perkebunan kopi.

Hingga saat ini, potensi kulit kopi sebagai biomassa masih belum dimanfaatkan sepenuhnya, dan pengetahuan masyarakat tentang potensinya masih terbatas. Umumnya, pengolahan kopi hanya mencakup pengelupasan kulit untuk menghasilkan bubuk kopi konsumsi. Namun, kulit kopi memiliki kadar air yang rendah, kandungan sulfur yang cukup rendah, dan nilai kalor yang tinggi, sehingga sangat cocok digunakan sebagai sumber energi terbarukan [12].

Limbah kulit kopi mengandung senyawa toksik, yang biasanya dibuang ke lingkungan dan menyebabkan masalah lingkungan [13]. Dalam proses pengolahan kopi, dihasilkan kulit kopi sekitar 35% sementara biji kopi sebesar 65%. Sisa limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kopi terdiri dari kulit-kulit buah kopi yang masih basah, limbah cair yang mengandung lendir, serta kulit gelondong dan cangkang yang sudah kering. Limbah ini biasanya mencapai sekitar 50 hingga 60 persen dari total hasil panen kopi. Sebagai contoh, jika panen kopi segar sebanyak 1000 kg, biji kopinya hanya sekitar 400-500 kg, sedangkan sisanya merupakan

limbah berupa kulit-kulit kopi [14]. Namun, penggunaan limbah kulit kopi di Indonesia masih belum optimal. Untuk meningkatkan nilai ekonomi limbah kulit kopi dan mendukung kebutuhan energi, limbah tersebut dapat dimanfaatkan menjadi biobriket atau biogas. Pemanfaatan energi dari biobriket dapat mengurangi jumlah limbah serta lebih ramah lingkungan [15].

Sisa dari proses pengolahan kopi berupa kulit kopi memiliki potensi untuk dijadikan briket bioarang karena memiliki tingkat kalori yang cukup tinggi, sekitar 4600 kkal/kg. Briket bioarang adalah struktur padat yang terbuat dari bioarang, jenis arang yang dihasilkan dari berbagai bahan organik seperti kulit kopi, kayu, ranting, rumput, jerami, dan limbah pertanian lainnya. Limbah kopi, sebagai salah satu jenis biomassa, memiliki kandungan karbon yang mencapai 40-43% dan sedikit kandungan sulfur, yang menarik perhatian beberapa industri sebagai alternatif pengganti batu bara. Namun, limbah kopi masih mengandung banyak air dan memiliki tingkat kalori yang kurang memadai. Untuk meningkatkan tingkat kalori, mengurangi kadar air, dan mengurangi emisi gas, limbah kopi dapat diolah menjadi briket [16]. Kelebihan dari penggunaan biobriket sebagai bahan bakar antara lain lebih murah, lebih ramah lingkungan, dan merupakan sumber energi terbarukan [17].

Kualitas biobriket yang menggunakan limbah kopi bergantung pada faktor-faktor seperti kepadatan, rasio campuran antara ampas kopi, arang kopi, dan batu bara, jenis reaktor pembakaran yang digunakan, serta jumlah udara yang dipasok [18]. Untuk meningkatkan kualitas pembriketan, terdapat dua metode yang dapat digunakan: dengan menggunakan pengikat (perekat) atau tanpa pengikat. Penggunaan pengikat diperlukan agar biomassa yang akan dibentuk menjadi biobriket menjadi lebih homogen selama proses kompresi [19]. Biobriket tanpa pengikat cenderung rapuh dan rentan hancur saat dikeluarkan dari cetakan. Namun, ada jenis biomassa tertentu yang tidak memerlukan pengikat karena memiliki sifat perekat alami pada suhu dan tekanan tertentu atau memiliki perekat bawaan [20]. Selain itu penggunaan perekat membantu membuat struktur partikel lebih teratur dan padat [21], [16].

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa biomassa merupakan energi terbarukan yang berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar alternatif seperti biobriket kopi dan juga mengurangi konsumsi terhadap kayu bakar. Berdasarkan hal tersebut, dalam artikel review ini akan dieksplorasi beberapa teknik yang digunakan dalam produksi biobriket dari limbah kulit kopi dengan variasi bahan dan metode yang berbeda. Harapannya, artikel review ini dapat memberikan perbandingan antara metode dan bahan yang digunakan sebagai solusi dalam pembuatan biobriket sebagai sumber energi terbarukan yang ekonomis dan ramah lingkungan (*go green*).

2. Metode Penelitian

Dalam artikel review ini, metode yang diterapkan adalah studi literatur. Studi literatur merupakan pendekatan untuk memperoleh data dan informasi dari berbagai sumber seperti jurnal dan buku untuk mengeksplorasi isu tertentu, dari identifikasi masalah hingga pembahasan yang terfokus pada pengolahan biobriket dari limbah kopi.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pratiwi *et al.*, (2021) bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan biobriket pada penelitian ini adalah ampas Kopi dengan perekat tepung tapioca dan getah pinus dengan metode pembriketan dan metode torefaksi [22]. Teknologi pembriketan adalah salah satu teknologi pemadatan dimana suatu bahan dikenai tekanan untuk membentuk produk yang mempunyai densitas lebih tinggi, moisture content yang relatif rendah, keragaman dalam ukuran dan sifatsifat bahannya [23]. Teknologi pembriketan yang digunakan pada penelitian ini adalah pembriketan bertekanan sedang dengan bantuan alat pemanas dan bahan pengikat atau perekat.

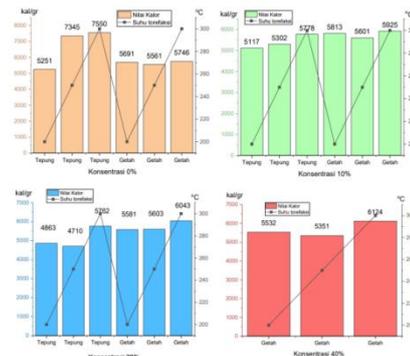
Proses pembuatan biobriket ampas kopi dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu: ampas kopi yang digunakan sebelumnya telah diuji untuk mengetahui kandungan kimianya, dengan hasil kandungan karbon sebesar 49,62%. Selanjutnya ampas kopi dikeringkan di oven selama 2 jam pada suhu 105°C. Ampas kopi kering kemudian dicampur dengan dua jenis perekat yaitu tepung tapioka dan getah pinus dengan berbagai variasi konsentrasi. Biasanya, tepung tapioka sering dipilih sebagai bahan perekat dalam pembuatan biobriket karena ketersediaannya yang melimpah, harganya yang relatif terjangkau, dan cara penggunaannya yang sederhana. Tepung tapioka cukup dicampur dengan air dan dipanaskan. Saat dipanaskan, tepung tapioka diaduk untuk mencegah pembentukan gumpalan. Warna putih dari tepung tapioka akan berubah menjadi tidak berwarna setelah dipanaskan selama beberapa menit dan akan memberikan tekstur yang lengket [20]. Sifat fisik perekat getah pinus mirip dengan perekat menggunakan getah karet pada biobriket arang. Salah satu keunggulan perekat getah pinus adalah daya tahan benturannya yang kuat dan kemampuannya untuk dengan mudah menyala saat dibakar. Namun, kekurangan dari penggunaan perekat ini adalah bahwa jumlah asap yang dihasilkan cenderung lebih banyak dan memiliki aroma yang cukup tajam [24].

Campuran ampas kopi dan perekat dicetak menjadi bentuk silinder menggunakan pencetak biobriket. Biobriket yang sudah dicetak selanjutnya dipanaskan pada reaktor torefaksi [25]. Biobriket kemudian dipanaskan dalam reaktor torefaksi selama 90 menit pada suhu 200°C, 250°C, dan 300°C dengan mengalirkan gas nitrogen. Suhu torefaksi mempengaruhi komposisi dan hasil dari produk. Suhu rendah menghasilkan lebih banyak arang, suhu tinggi menghasilkan lebih sedikit arang [26]. Biobriket yang

sudah jadi kemudian dianalisis kadar airnya, kadar abu, dan nilai kalornya menggunakan bom kalorimeter.

Pengukuran nilai kalor bertujuan untuk menilai seberapa besar energi panas yang dapat dihasilkan oleh biobriket yang dibuat dari ampas kopi. Analisis nilai kalor dari bahan bakar padat atau cair bertujuan untuk memperoleh informasi tentang jumlah panas yang dapat dihasilkan oleh bahan bakar tersebut selama proses pembakaran atau reaksi kimia [27]. Purnomo *et al* (2015) menyatakan bahwa nilai kalor adalah parameter yang sangat signifikan untuk menilai kualitas biobriket sebagai bahan bakar padat. Semakin tinggi nilai kalor biobriket, semakin baik kualitasnya [28].

Hasil analisis nilai kalor biobriket dari ampas kopi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Nilai Kalor Biobriket dari Ampas Kopi [22]

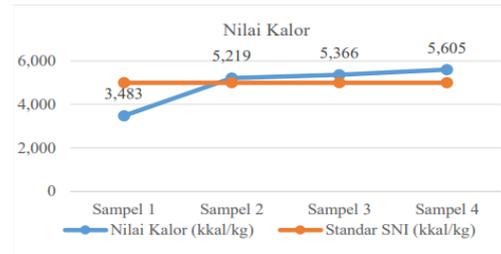
Berdasarkan teori, peningkatan suhu dalam proses torefaksi akan meningkatkan nilai kalor dari biobriket yang terbuat dari ampas kopi [23]. Pane *et al* (2015) menyatakan bahwa semakin kecil konsentrasi perekat maka akan menghasilkan nilai kalor optimum [29]. Gambar 1 menggambarkan penurunan nilai kalor yang dipengaruhi oleh penurunan jumlah atau konsentrasi ampas kopi selama proses torefaksi. Ini menunjukkan bahwa komposisi bahan dalam biobriket memengaruhi nilai kalor yang dihasilkan. Penambahan perekat yang lebih tinggi menyebabkan air yang terkandung dalam perekat masuk dan terikat dalam pori-pori biobriket. Selain itu, penambahan perekat yang lebih tinggi juga meningkatkan kerapatan biobriket, menghasilkan pori-pori yang lebih kecil. Selama proses torefaksi, air yang terperangkap dalam pori-pori biobriket sulit untuk menguap [30].

Nilai kalor tertinggi diperoleh dari biobriket yang dibuat tanpa menggunakan perekat tepung tapioka (0%) pada suhu torefaksi 300°C yaitu sebesar 7550 kal/gr. Sedangkan untuk biobriket yang menggunakan getah pinus sebagai perekat, nilai kalor tertinggi didapatkan pada suhu yang sama (300°C) dengan persentase perekat sebesar 40%, yakni 6124 kal/gr. Berdasarkan standar SNI 01-6235-2000, nilai kalor minimum untuk biobriket yang baik adalah 5000 kal/gr. Oleh karena itu, pada umumnya biobriket yang dihasilkan melalui penelitian ini telah memenuhi standar tersebut, kecuali biobriket dengan perekat tepung tapioka 20% pada suhu pembakaran 250°C dan 300°C. Nilai kalor biobriket yang menggunakan getah pinus cenderung meningkat

dengan bertambahnya konsentrasi getah pinus yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor getah pinus yang lebih tinggi dibandingkan tepung tapioka, sehingga penambahan jumlah getah pinus dapat meningkatkan nilai kalori biobriket [31].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kamal (2022) dengan bahan baku utama ampas Kopi dan Limbah Kertas serta menggunakan metode pirolisis. Pirolisis adalah proses konversi energi biomassa bahan padat tanpa menggunakan oksigen, dengan tujuan menghilangkan zat terbang karbon [17]. Menurut Budiman (2023) Pirolisis adalah salah satu teknik yang dipakai untuk menghasilkan biobriket. Dalam metode ini, bahan baku mengalami dekomposisi termal pada suhu yang tinggi di lingkungan tanpa udara. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai komposisi kimia dari material yang digunakan [32]. Teknologi konversi pirolisis menghasilkan produk berupa padatan, cairan, dan gas. Hasil dari proses pirolisis berupa bahan bakar padat yang disebut karbonisasi atau arang. Karbonisasi melepaskan zat yang mudah terbakar, seperti karbon, dengan tujuan meningkatkan nilai kalor biomassa untuk pembakaran yang bersih dengan sedikit asap. Proses pirolisis biomassa menghasilkan nilai kalor dan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan pembakaran langsung [34].

Proses pembuatan biobriket yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: pencacahan bahan baku menjadi partikel yang lebih kecil. Kertas bekas diolah menjadi bubur kertas sedangkan ampas kopi digiling hingga menjadi serbuk halus. Langkah selanjutnya adalah pengumpulan dan pengeringan bahan baku untuk mengurangi kadar air lalu melakukan penyaringan bahan baku menggunakan ayakan 60 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam. Langkah berikutnya adalah pencampuran bahan baku (kertas, ampas kopi) dengan variasi komposisi yang berbeda ditambah 10% perekat (tepung tapioka), lalu pencetakan biobriket menggunakan cetakan manual dan alat pres dan pengeringan biobriket hasil cetakan untuk mengeluarkan kadar air. Penggunaan perekat juga mempengaruhi nilai densitas briket. Semakin banyak perekat yang ditambahkan, densitas yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan oleh penambahan massa briket akibat perbedaan komposisi perekat. Peningkatan massa briket menghasilkan densitas yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa pori-pori menjadi lebih padat dengan sedikit ruang hampa [34]. Selain itu, pemberian perekat menyebabkan peningkatan nilai kadar air biobriket. Semakin banyak perekat, kadar air akan semakin besar karena sifat higroskopis perekat yang memiliki kandungan lignin dan selulosa [35] sehingga mampu menyerap kandungan air lingkungan dan mengakibatkan kadar air tinggi.



Gambar 2. Nilai Kalor Briket (ASTM D5865- 13) [17]

Pada Gambar 2, hasil pengujian nilai kalor terhadap empat sampel dengan variasi komposisi briket menunjukkan peningkatan. Laju pembakaran akan mempengaruhi nilai kalor. Dimana kalor yang tinggi akan mempercepat pembakaran dan meningkatkan nilai entalpi dari proses pembakaran yang berlangsung [36]. Sampel dengan komposisi 30% kertas, 60% ampas kopi, dan 10% perekat memiliki nilai kalor tertinggi, mencapai 5.605 kal/kg. Sementara itu, sampel dengan komposisi 90% kertas dan 10% perekat memiliki nilai kalor terendah, yaitu 3.483 kal/kg. Dari keempat sampel yang diuji dengan variasi komposisi yang berbeda, sampel 2, sampel 3, dan sampel 4 memenuhi standar SNI 01-6235-2000 untuk briket dengan nilai kalor minimal lebih dari 5.000 kkal/kg. Namun, sampel 1 belum memenuhi standar SNI karena nilai kalornya masih di bawah 5.000 kkal/kg.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Sommad *et al.*, (2022) dengan menggunakan metode eksperimen. Proses pembuatan biobriket pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Persiapan bahan, yaitu menyiapkan ampas kopi dan serbuk kayu sebagai bahan dasar, kemudian tepung biotani dan minyak jarak sebagai bahan perekat, pembuatan briket dengan variasi komposisi antara ampas kopi dan serbuk kayu dengan perbandingan 2:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:2., pembuatan briket dilakukan dengan campuran antara bahan dasar (ampas kopi dan serbuk kayu), perekat (tepung biotani), dan bahan perekat cair (minyak jarak), setelah pembuatan, briket diuji untuk mengetahui nilai kalor, kadar air, dan laju pembakarannya [37]. Selanjutnya melakukan pengujian nilai kalor menggunakan kalorimeter, pengujian kadar air menggunakan metode pengeringan, sedangkan pengujian laju pembakaran secara manual menggunakan torch flame gun untuk mengukur waktu pembakaran. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk menentukan spesimen briket yang memiliki kinerja pembakaran terbaik.

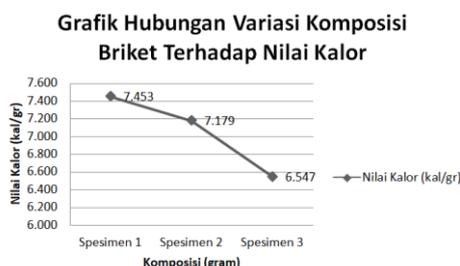


Gambar 3. Hubungan Variasi Komposisi Briket Terhadap Nilai Kalor [37]

Berdasarkan Grafik Hubungan Variasi Komposisi Briket Terhadap Nilai Kalor, hasil uji menunjukkan nilai kalor tertinggi pada spesimen 1, dengan nilai kalor mencapai 8180.517 kal/gr. Spesimen ini terdiri dari 30 gram ampas kopi. Sementara itu, nilai kalor terendah tercatat pada spesimen 4, yang terdiri dari 10 gram ampas kopi dan 20 gram serbuk kayu, dengan nilai kalor sebesar 7355.394 kal/gr. Spesimen 2 mengalami penurunan nilai kalor menjadi 793.855 kal/gr dengan komposisi 20 gram ampas kopi dan 10 gram serbuk kayu. Spesimen 3 juga mengalami penurunan dengan nilai kalor sebesar 7646.722 kal/gr, memiliki komposisi 15 gram ampas kopi dan 15 gram serbuk kayu. Namun, terjadi peningkatan nilai kalor pada spesimen 5, mencapai 7743.499 kal/gr dengan komposisi 30 gram ampas kopi.

Kadar air menjadi faktor kunci yang mempengaruhi nilai kalor, karena semakin tinggi kadar air, nilai kalor cenderung menurun. Penambahan serbuk kayu pada setiap spesimen juga menyebabkan penurunan nilai kalor karena serbuk kayu memiliki kadar air yang tinggi. Selain itu, faktor lain yang memengaruhi nilai kalor adalah perbedaan ukuran partikel antara ampas kopi dan serbuk kayu. Ampas kopi memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan serbuk kayu, sehingga ampas kopi memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dan cenderung lebih cepat terbakar.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Yoisingadji *et al.*, (2022). Langkah-langkah pembuatan biobriket dari limbah ampas kopi dan buah pinus dalam penelitian ini adalah: langkah pertama adalah persiapan bahan yang terdiri dari limbah ampas kopi, buah pinus sebagai bahan dasar, dan tepung botani sebagai perekat. Selanjutnya pembuatan campuran limbah ampas kopi dan buah pinus dengan variasi perbandingan komposisi (K) 1:2, 1:1, 2:1 [2]. Lalu penambahan perekat tepung botani sebesar 10 gram pada setiap campuran. Langkah berikutnya adalah pencetakan campuran menjadi bentuk yang diinginkan menggunakan alat pematat, pengeringan biobriket yang sudah dibentuk untuk menghilangkan kadar air, pengujian mutu biobriket meliputi pengujian nilai kalor, kadar air, dan laju pembakaran serta analisis hasil uji untuk menentukan spesifikasi biobriket yang memiliki kinerja terbaik.



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi Komposisi Briket Terhadap Nilai Kalor [2]

Menurut grafik yang di atas, nilai kalor tertinggi ditemukan pada sampel 1 yang terdiri dari campuran limbah ampas kopi dan buah pinus dengan rasio 2:1, mencapai 7453,054 kalori per gram. Sampel 2,

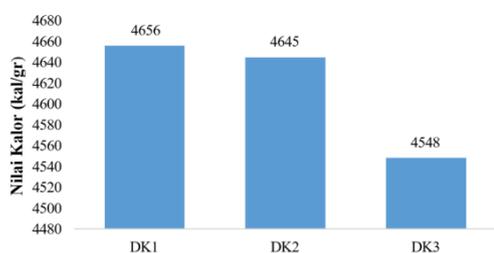
dengan rasio 1:1, memiliki nilai kalor sebesar 7178,613 kalori per gram, mengalami penurunan nilai kalor dibandingkan dengan sampel sebelumnya. Sedangkan sampel 3, dengan rasio 1:2, memiliki nilai kalor terendah sebesar 6547,042 kalori per gram. Terlihat bahwa terjadi tren penurunan nilai kalor dalam penelitian ini. Salah satu faktor yang memengaruhi nilai kalor adalah kadar air dalam setiap sampel. Penurunan kadar air dapat meningkatkan nilai kalor [38]. Standar nilai kalor menurut peraturan SNI 01-6325-2000 adalah di atas 5000 kalori per gram, dan nilai kalor ketiga sampel dalam penelitian ini memenuhi standar tersebut. Semakin tinggi nilai kalor, semakin cepat laju pembakaran dan suhu nyala yang dihasilkan. Kadar air yang lebih tinggi dalam bahan akan menyebabkan penurunan laju pembakaran dan suhu nyala yang dihasilkan. Tingkat kelembaban yang lebih tinggi juga bisa membuat briket sulit terbakar dan menghasilkan lebih banyak asap [39], [40].

Penelitian lain juga dilakukan oleh Syaifullah *et al.*, (2023) menggunakan metode pirolisis pada limbah kulit kopi [41]. Hasil uji coba pembuatan biobriket dari limbah kulit kopi menunjukkan bahwa kulit kopi dapat dimanfaatkan menjadi biobriket yang berkualitas. Biobriket yang dihasilkan memiliki tingkat kalor yang tinggi dan ramah lingkungan. Nilai kalor perlu diketahui dalam pembuatan briket, karena untuk mengetahui nilai panas pembakaran yang dapat dihasilkan oleh briket sebagai bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan oleh bahan bakar briket, maka akan semakin baik pula kualitasnya [42].

Selain itu kadar air memiliki dampak besar terhadap mutu briket arang yang dihasilkan. Semakin rendah kadar air, nilai kalor dan efisiensi pembakarannya akan meningkat, dan sebaliknya, semakin tinggi kadar air, nilai kalor dan efisiensi pembakarannya akan menurun [43]. Pengukuran kadar air dilakukan untuk mengevaluasi sifat higroskopis dari briket arang. Biobriket yang dihasilkan dari kulit kopi mampu mengurangi jumlah limbah kulit kopi dan memberikan nilai tambah ekonomi kepada petani kopi di Desa Tanah Wulan. Inovasi alat pembakaran dan pencetak biobriket yang dirancang mampu mendukung proses produksi biobriket secara efisien dan melibatkan masyarakat dalam prosesnya serta pengabdian berupa sosialisasi dan pelatihan kepada masyarakat Desa Tanah Wulan telah berhasil memberdayakan mereka untuk mengolah limbah kulit kopi menjadi biobriket sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Hasil akhir penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah kulit kopi menjadi biobriket memiliki potensi besar untuk meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat Desa Tanah Wulan sambil mengurangi dampak lingkungan negatif dari limbah kopi tersebut. Hasil uji nilai kalor menunjukkan briket memiliki nilai kalor sebesar 4.650 kkal/kg, lebih tinggi dibandingkan bahan baku dimana proses pembuatan berhasil meningkatkan nilai kalor.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Qanitha *et al.*, (2023) dengan bahan baku utama ampas kopi dan kulit jeruk serta metode torefaksi [44]. Proses pembuatan biobriket pada penelitian ini yaitu, bahan baku dihaluskan menjadi ukuran partikel kecil agar mudah dipadatkan. Lalu ditambahkan bahan perekat seperti tepung tapioka, pati singkong, pektin dan lainnya sesuai kandungan yang dibutuhkan (biasanya 5-15%). Bahan perekat berguna untuk memperlambat ikatan antar partikel bahan baku. Bahan baku dan bahan perekat dicampur merata agar terdistribusi secara homogen. Proses pencampuran dapat dilakukan secara manual atau menggunakan alat. Campuran bahan dimasukkan ke dalam cetakan biobriket dan dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat dengan tekanan tertentu. Proses ini bertujuan menghasilkan bentuk padat biobriket. Biobriket yang sudah terpadatkan kemudian dibiarkan matang selama beberapa hari agar ikatan antar butiran semakin erat dan kuat. Proses ini dapat dilakukan di bawah sinar matahari atau dalam ruangan. Setelah pematangan, biobriket kemudian diiris-iris upaya memudahkan proses pendinginan serta pembakaran nantinya. Biobriket siap digunakan sebagai bahan bakar padat.



Gambar 5. Grafik Nilai Kalor Briket [44]

Hasil uji nilai kalor briket menunjukkan bahwa komposisi DK3, dengan 50% ampas kopi dan 50% perekat kulit jeruk, memiliki nilai kalor terendah sebesar 4548 kalori per gram, sedangkan nilai kalor tertinggi terdapat pada komposisi DK1, dengan 70% ampas kopi dan 30% perekat kulit jeruk, mencapai 4656 kalori per gram. Untuk komposisi DK2, dengan 60% ampas kopi dan 40% perekat kulit jeruk, nilai kalor briket adalah 4645 kalori per gram. Pengujian ini menunjukkan bahwa semakin banyak bahan perekat yang digunakan dalam pembuatan briket, maka nilai kalor yang dihasilkan cenderung menurun. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Susanto & Yanto (2013), yang menyatakan bahwa penambahan konsentrasi perekat dalam pembuatan briket akan mengurangi nilai kalornya karena penambahan perekat meningkatkan kadar air [45]. Menurut Putri & Andasuryani (2017), nilai kalor briket dipengaruhi oleh kadar air, abu, dan karbon. Kandungan karbon yang tinggi akan meningkatkan nilai kalor briket, sementara kandungan karbon yang rendah akan menguranginya, karena proses pembakaran memerlukan karbon untuk menghasilkan panas [46]. Namun, nilai kalor ketiga briket tersebut tidak memenuhi standar SNI (> 5000 kalori per gram).

Nilai kalor briket dipengaruhi oleh nilai fixed carbon, dan nilai fixed carbon dipengaruhi oleh nilai kadar air, kadar abu, dan kadar zat menguap. Kadar air dan kadar abu pada penelitian ini sudah memenuhi SNI (< 8%) akan tetapi nilai kadar zat menguap sangat tinggi. Tingginya kadar zat menguap disebabkan oleh proses pengarang yang belum sempurna, artinya briket belum benar-benar menjadi arang sempurna yang memiliki kandungan karbon yang besar [47]. Purnawarman *et al* (2015) menyatakan bahwa briket yang mengalami pengarang sempurna akan memiliki kualitas yang baik, yang salah satu indikasinya adalah warna hitam [48]. Namun, dalam penelitian ini, briket yang dihasilkan masih berwarna coklat, menunjukkan bahwa proses pengarang belum sempurna. Susanto & Yanto (2013) mengemukakan bahwa semakin tinggi suhu dan durasi pengarang, semakin banyak zat yang menguap [45], yang pada akhirnya dapat menghasilkan nilai rendah dalam pengujian zat menguap [48], [49].

Penelitian sebelumnya telah mencoba menggunakan suhu 300°C selama 180 menit, menghasilkan briket hitam namun rapuh dan mengandung banyak abu dan bara. Eksperimen dengan suhu 300°C selama 90 menit menghasilkan briket berwarna coklat gelap, rapuh, dan mengandung abu. Percobaan menggunakan suhu 200°C selama 60 menit menghasilkan briket berwarna coklat gelap, tidak rapuh, dan memiliki sedikit abu di permukaan luar briket. Permasalahan ini terletak pada bahan baku pembuatan briket, yaitu ampas kopi. Ampas kopi berupa serbuk ringan dengan partikel halus dan memiliki tingkat zat menguap yang tinggi, sekitar 74%, yang membuatnya mudah terbakar [50], [51]. Sebelumnya, ampas kopi telah melalui proses penyangraian, sehingga saat dijadikan briket dan dikenai proses torefaksi dengan suhu tinggi dan durasi lama, briket cenderung menjadi bara bahkan abu.

Untuk mempermudah, berikut disajikan Tabel 1 sebagai perbandingan antara keenam penelitian biobriket limbah kopi.

Tabel 1. Perbandingan Literatur Terkait Biobriket Limbah Kopi

Bahan Baku Utama	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
Ampas Kopi dengan perekat tepung tapioca dan getah pinus	Mudah menyala saat dibakar karena menggunakan perekat getah pinus.	Menghasilkan asap yang relatif banyak saat dibakar karena menggunakan perekat getah pinus.	[22]
Ampas Kopi dan Limbah Kertas	Semakin banyak komposisi ampas kopi yang digunakan maka nilai kalornya semakin tinggi.	Kadar zat menguap pada keempat sampel belum memenuhi standar SNI, artinya kesempurnaan pembakaran belum optimal. Kadar zat menguap berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran	[17]
Ampas kopi dan serbuk kayu dengan perekat tepung botani dan minyak jarak.	Briket memiliki kerapatan serta nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar padat lainnya seperti arang. Ini menyebabkan briket lebih ekonomis karena volume yang lebih kecil tetapi memiliki nilai kalor tinggi.	Pada awal pembakaran, briket cenderung kurang cepat menyala dibandingkan bahan bakar padat lainnya seperti arang.	[37]
limbah ampas kopi dan buah pinus.	Ramah lingkungan karena menggunakan bahan baku limbah organik seperti ampas kopi dan buah pinus sehingga tidak menimbulkan gas rumah kaca yang berbahaya.	Proses pembuatan yang memakan waktu dan tenaga kerja yang lebih banyak dibanding bahan bakar fosil.	[2]
Limbah Kulit Kopi	Memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga mampu menghasilkan panas yang besar dibandingkan	Ketersediaan bahan baku biomassa tergantung pada musim panen. Apabila tidak tersedia bahan baku akan	[41]

dengan kayu bakar. Biobriket dari kulit kopi memiliki nilai kalor sebesar 4600 kkal/kg.

menghambat proses produksi.

Ampas kopi dan kulit jeruk

Memiliki nilai kalor tinggi sehingga cocok sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak. Nilai kalor briket umumnya antara 4,000-6,000 kal/gr.

Proses pembuatannya memerlukan peralatan khusus dan biaya produksi lebih mahal dibandingkan kayu bakar.

[44]

4. Kesimpulan

Berdasarkan artikel review yang ditinjau, ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil:

1. Limbah kopi berpotensi diolah menjadi biobriket sebagai sumber energi terbarukan. Hal ini dikarenakan limbah kopi memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi, yaitu antara 40-43%.
2. Metode yang digunakan dalam pembuatan biobriket limbah kopi meliputi metode eksperimen, metode pembriketan, torefaksi, dan pirolisis. Sedangkan bahan perekat yang digunakan antara lain tepung tapioka, getah pinus, tepung biotani, dan minyak jarak.
3. Nilai kalor biobriket limbah kopi bervariasi tergantung komposisi dan metode pembuatan. Nilai kalor tertinggi dicapai pada komposisi 30% ampas kopi. Sedangkan penambahan bahan selain ampas kopi berpotensi menurunkan nilai kalor biobriket.
4. Penelitian-penelitian tersebut secara umum menunjukkan bahwa limbah kopi dapat diolah menjadi biobriket berkualitas dengan nilai kalor di atas 5000 kkal/kg sesuai standar SNI.
5. Pemanfaatan limbah kopi menjadi biobriket bermanfaat untuk mengurangi limbah, menciptakan nilai ekonomis, serta ramah lingkungan.

Daftar Rujukan

- [1] Huda, S., Rubiono, G., & Qiram, I. (2018). Pengaruh variasi tekanan dan komposisi bahan terhadap pembakaran briket kulit kopi (*coffea canephora*) banyuwangi. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 3(2), 28-31.
- [2] Yoisanjadji, M. I., & Pohan, G. A. (2022). Analisa Pengaruh Briket Biomassa Dengan Media Limbah Ampas Kopi Dan Buah Pinus Terhadap Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran. *Prosiding SENIATI*, 6(4), 738-744.
- [3] Aprita, I. R. (2016). *Produksi Biopellet Dan Biobriket Ampas Seduhan Dan Cangkang Biji Kopi Dengan Dan Tanpa Pra Perlakuan Bahan Pada Berbagai Komposisi Perekat* (Doctoral dissertation, Bogor Agricultural University (IPB)).

- [4] Pan, Y., Birdsey, R. A., Phillips, O. L., & Jackson, R. B. (2013). The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 593-622.
- [5] Tursi, A. (2019). A review on biomass: importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Research Journal*, 6(2), 962-979.
- [6] Mawardi, I. (2019). Peningkatan Karakteristik Biopellet Kayu Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 3, No. 1, p. 230).
- [7] Kamal, D. M. (2022). Penambahan Serbuk Ampas Kopi sebagai Upaya Meningkatkan Nilai Kalor Briket Limbah Kertas. *Jurnal Inovasi Penelitian*, 2(12), 3913-3920.
- [8] Nawawi, M. A. (2017). Pengaruh suhu dan lama pengeringan terhadap karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa. *Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia*.
- [9] Daowwiangkan, S., Thiangchanta, S., Khiewwijit, R., Suttakul, P., & Mona, Y. (2023). Investigation of the physical properties and environmental impact of lemongrass briquettes. *Energy Reports*, 9, 439-444.
- [10] Febrianti, N., Filiana, F., & Hasanah, P. (2020). Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources In Balikpapan. *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkungan*, 17(3), 316-323.
- [11] Sudirman, S., & Santoso, H. (2021). Pengujian kuat tekan briket biomassa berbahan dasar arang dari tempurung kelapa sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 8(2), 101-108.
- [12] Prastika, A., & Muzakhar, S. S. A. (2023). Analisis Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan di Kabupaten Jember. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 8(1), 19-29.
- [13] Choi, I. S., Wi, S. G., Kim, S. B., & Bae, H. J. (2012). Conversion of coffee residue waste into bioethanol with using popping pretreatment. *Bioresour. technology*, 125, 132-137.
- [14] Efendi, Z., & Harta, L. (2014). Kandungan Nutrisi Hasil Kulit Kopi (Studi Kasus Desa Air Meles Bawah Kecamatan Curup Timur). *Jurnal BPTP Bengkulu. Bptp-bengkulu@yahoo.com*.
- [15] Dewi, R. P., Saputra, T. J., & Widodo, S. (2021). Studi potensi limbah kulit kopi sebagai sumber energi terbarukan di wilayah jawa tengah. *Journal of Mechanical Engineering*, 5(1), 41-45.
- [16] Ramadhani, S. F., Utama, M. J., & Ariani, A. (2021). Pembuatan Biobriket Dari Limbah Kopi Dan Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 210-217.
- [17] Dharma, U. S., Rajabiah, N., & Setyadi, C. (2017). Pemanfaatan limbah blotong dan bagase menjadi biobriket dengan perekat berbahan baku tetes tebu dan setilage. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1).
- [18] Khusna, D., & Susanto, J. (2015). Pemanfaatan Limbah Padat Kopi Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dalam Bentuk Briket Berbasis Biomass (Studi Kasus di PT. Santos Jaya Abadi Instan Coffee). Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, 247-260.
- [19] Lubis, H. A. (2011). Uji Variasi Komposisi Bahan Pembuat Briket Kotoran Sapi dan Limbah Pertanian. <https://repository.usu.ac.id/handle/123456789/28807>.
- [20] Pratiwi, V. D. (2020). Effect of Burning Temperature on The Quality of Alternatife Bio-energy from Coffee Waste. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(3), 615. doi: 10.26760/elkomika.v8i3.615.
- [21] Kurniawan, E., Muarif, A., & Siregar, K. A. (2022). Pemanfaatan Sekam Padi Dan Cangkang Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Arang Dengan Menggunakan Perekat Tepung Kanji. Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta, Indonesia. 26 Oktober, 2022. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit/article/view/14295>.
- [22] Pratiwi, V. D., & Mukhaimin, I. (2021). Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 4(1), 39.
- [23] Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis - 1st Edition. Elsevier (1st ed.). United States: Academic Press. Retrieved from <https://www.elsevier.com/books/biomassgasificationandpyrolysis/basu/978-0-12-374988-8>.
- [24] Baryatik, P., Pujiati, R. S., & Ellyke. (2016). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr) pada Limbah Cair Batik (Studi Kasus Industri Batik UD. Pakem Sari Desa Sumberpakem Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2016*, 1(1), 1-6. <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/77363/PuPutBaryatik.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [25] Bergman, P. C. A., Boersma, A. R., Zwart, R. W. R., & Kiel, J. H. A. (2005). Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired powerstations. *BIOCOAL*. <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/20670903>.
- [26] Maharsa, L., & Muhammad, M. (2012). Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Pada Biobriket Kulit Mete Dan Sekam Padi Terhadap Laju Pembakaran. *ROTASI*, 14(4), 15-22. doi: 10.14710/ROTASI.14.4.15-22.
- [27] Ali, N. J., Anas, M., & Erniwati. (2020). Pengaruh Variasi Bahan Perekat terhadap Nilai Kalor dan Waktu Nyala Briket Arang Ban Bekas. *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, 5(4), 334-338.
- [28] Purnomo, R. H., Hower, H., & Padya, I. R. (2015, September). Pemanfaatan limbah biomassa untuk briket sebagai energi alternatif. In *Prosiding Seminar Agroindustri dan Lokakarya Nasional FKPT-TPI Program Studi TIP UTM* (Vol. 2, No. 3, pp. 56-67).
- [29] Pane, J. P., Junary, E., & Herlina, N. (2015). Pengaruh konsentrasi perekat tepung tapioka dan penambahan kapur dalam pembuatan briket arang berbahan baku pelepah aren (Arenga pinnata). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(2), 32-38.
- [30] Alamsyah, R., Siregar, N. C., & Hasanah, F. (2018). Peningkatan Nilai Kalor Pellet Biomassa Cocopeat sebagai Bahan Bakar Terbarukan dengan Aplikasi Torefaksi. *Warta Industri Hasil Pertanian*, 33(01), 17-2.
- [31] Baryatik, P., Pujiati, R. S., & Ellyke. (2016). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr) pada Limbah Cair Batik (Studi Kasus Industri Batik UD. Pakem Sari Desa Sumberpakem Kecamatan Sumberjambe Kabupaten Jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa 2016*, 1(1), 1-6. <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/77363/PuPutBaryatik.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [32] Budiman, A. A. (2023). Review Artikel: Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis. *UNESA Journal of Chemistry*, 12(2), 36-48.
- [33] Hu, X., & Gholizadeh, M. (2019). Biomass pyrolysis: A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage. *Journal of Energy Chemistry*, 39, 109-143.
- [34] Aprilliani, F., Triastuti, D., & Suciati, F. (2023). Pengaruh Komposisi Ampas Kopi dan Cascara Terhadap Karakteristik Biobriket. *Agroteknika*, 6(2), 289-299.
- [35] Hasan, A., Yerizam, M., & Kusuma, M. N. (2020). Papan Partikel Ampas Tebu (Saccharum Officinarum) Dengan Perekat High Density Polyethylene. *Kinetika*, 11(3), 8-13. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/3094>.
- [36] Masthura, M. (2019). Analisis Fisis Dan Laju Pembakaran Briket Bioarang Dari Bahan Pelepah Pisang. *Elkawanie*, 5(1), 58. <https://doi.org/10.22373/Ekw.V5i1.3621>.
- [37] Sommad, M. R. A., & Praswanto, D. H. (2022). Pengaruh Campuran Minyak Jarak pada Briket Ampas Kopi dan Serbuk Kayu Terhadap Laju Pembakaran dan Laju Nyala Api. *Prosiding SENIATI*, 6(3), 683-689.
- [38] Mulia, A. (2007). *Pemanfaatan tandan kosong dan cangkang kelapa sawit sebagai briket arang* (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- [39] Hutasoit, H. (2012). "Briket Arang dari Pelepah Salak," Universitas Andalas: Padang.
- [40] Rahmadiano, F., Pohan, G. A., & Susanto, E. E. (2021). Analisis Campuran Lumpur Dan Tetes Tebu Pada Briket Tinja Hewan Dengan Metode Taguchi. *JOURNAL OF MECHANICAL*

- ENGINEERING MANUFACTURES MATERIALS AND ENERGY*, 5(1), 91-95.
- [41] Syaifulah, R. Y., Irawan, D. A., Rahmatullah, M. F., Adiana, B. D., Soleh, A. R., Azizi, H. A., ... & Mumtazah, Z. (2023). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Menjadi Biobriket Dengan Inovasi Pembuatan Alat Pembakaran Dan Pencetakan Biobriket Di Desa Tanah Wulan, Maesan Bondowoso. *Dedikasi: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 4(1), 42-52.
- [42] Pratama, U. R., Suwandi, S., & Qurthobi, A. (2021). Pengaruh Suhu Sintesis Terhadap Nilai Kalor Briket Ampas Kopi. *eProceedings of Engineering*, 8(2).
- [43] Budiawan, L., Hendrawan, Y., & Susilo, B. (2014). Pembuatan dan karakterisasi briket bioarang dengan variasi komposisi kulit kopi. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 2(2), 152-160.
- [44] Qanitah, Q., Akbar, Y. D. F., Ulma, Z., & Hananto, Y. (2023). Peningkatan Kualitas Briket Ampas Kopi Menggunakan Perekat Kulit Jeruk Melalui Metode Torefaksi Terbaik. *Journal of Engineering Science and Technology*, 1(1), 32-43.
- [45] Susanto, A., & Yanto, T. (2013). Pembuatan briket bioarang dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit. *Jurnal teknologi hasil pertanian*, 6(2).
- [46] Putri, R. E., & Andasuryani, A. (2017). Studi mutu briket arang dengan bahan baku limbah biomassa. *Jurnal teknologi pertanian andalas*, 21(2), 143-151.
- [47] Saputra, D., Siregar, A. L., & Rahardja, I. B. (2021). Karakteristik briket pelepah kelapa sawit menggunakan metode pirolisis dengan perekat tepung tapioka. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, 143-156.
- [48] Kahariyadi, A., Setyawati, D., 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).
- [49] Sukowati, D., Yuwono, T. A., & Nurhayati, A. D. (2019). Analisis Perbandingan Kualitas Briket Arang Bonggol Jagung dengan Arang Daun Jati. *PENDIPA Journal of Science Education*, 3(3), 142-145.
- [50] Huseini, M. R., Marjuki, E. I., Iryawan, D., & Hendrawati, T. Y. (2018). Pengaruh Variasi Temperatur Pengolahan Hidrothermal Ampas Kopi terhadap Yield Energi untuk Bahan Baku Pembuatan Biobriket. *Prosiding Semnastek*.
- [51] Adams, P., Bridgwater, T., Lea-Langton, A., Ross, A., & Watson, I. (2018). Biomass conversion technologies. In *Greenhouse gas balances of bioenergy systems* (pp. 107-139). Academic Press.