

Pemanfaatan Limbah Kopi dan Tempurung Kelapa menjadi Biobriket Menggunakan Pati sebagai Perekat

Utilization of Coffee Husk and Coconut Shell Waste into Bio-Briquettes using Starch as Adhesive

Efri Mardawati^{1,2}, Aura Hanifatus Saskia^{1,*}), Devi Maulida Rahmah^{1,2}, dan Desy Nurliasari¹

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran
Jl. Ir. Soekarno Km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia.

² Research Collaboration Center for Biomass and Biorefinery between BRIN and Universitas Padjadjaran
Jl. Ir. Soekarno Km. 21 Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363, Indonesia.

^{*}) Alamat E-mail Korespondensi: aura17003@mail.unpad.ac.id

Informasi Artikel

Diterima: 11 Agustus 2023

Disetujui: 10 Oktober 2023

Terbit : 16 Oktober 2023

Kata Kunci:

Biobriket; Karbonisasi; Kulit Buah Kopi; Tempurung Kelapa.

Keywords:

Bio-briquettes;
Carbonization; Coffee Husk;
Coconut Shell

Abstrak. Penggunaan batu bara secara masif sebagai sumber energi utama dunia didukung oleh efisiensi dan kelimpahannya akan tetapi berdampak negatif sebagai salah satu sumber emisi karbon dioksida terbesar. Pengurangan emisi dari pembakaran batu bara harus segera dilakukan salah satunya dengan pengembangan energi terbarukan dari biomassa menjadi bahan bakar padat seperti biobriket. Briket berbahan baku biomassa limbah pertanian dapat dibuat sebagai alternatif batu bara melalui proses karbonisasi. Melihat banyaknya limbah industri kopi, limbah kulit buah kopi dapat dikombinasikan dengan tempurung kelapa yang merupakan bahan standar biobriket. Pencampuran kedua biomassa perlu diketahui rasio optimal dan pengaruhnya terhadap mutu biobriket yang dihasilkan berdasarkan SNI 01-6235-2000 tentang briket arang kayu. Penelitian eksperimental ini mengkaji variasi pencampuran arang karbonisasi kulit buah kopi dan tempurung kelapa yang terbagi ke dalam 5 (lima) formula yaitu F1 100%Ko, F2 75Ko:25Ke, F3 50Ko:50Ke, F4 25Ko:75Ke, dan F5 100%Ke dengan pengulangan sebanyak tiga kali. Perekat yang digunakan adalah tepung pati tapioka sebanyak 7% total campuran bahan kering yang dilarutkan dalam air hingga konsentrasi pengenceran 12,5%. Hasil perhitungan AHP menunjukkan bahwa F4 yaitu rasio pencampuran arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa 25:75 menghasilkan biobriket dengan kualitas kandungan, pembakaran, dan pemanfaatan limbah kopi terbaik. F4 memiliki nilai karbon 48,53%, nilai kalor 6438 kal/gram, laju kenaikan suhu 5,79 °C/menit dan waktu pembakaran 2 jam 44 menit.

Abstract. The massive use of coal as the world's energy source is caused by its efficiency and abundance but has a negative impact as one of the causes of carbon dioxide emissions. Coal-burning generated emissions must be reduced immediately. One way is by developing biomass as a renewable energi source into solid fuel such as bio-briquettes. Bio-briquettes from agricultural industry wastes can be made into coal alternatives through carbonization. Coffee husk can be combined with coconut shell, the standard material for bio-briquettes, considering their large amount as industrial waste. It is necessary to use the optimal mixing ratio between the two biomass and understand its effects on the bio-briquettes quality based on SNI 01-6235-2000 about wood charcoal briquettes. This experimental study analyzed variations in the mixing ratio and divided it into 5 (five) formulas: F1 100%Ko, F2 75Ko:25Ke, F3 50Ko:50Ke, F4 25Ko:75Ke, and F5 100%Ke in three repetitions. The adhesive used was cassava starch original adhesive in 7% of the total dry material weight and dissolved in water to a 12,5% concentration. The AHP results showed that F4, made from 1 part of coffee husk and 3 parts of coconut shell charcoal, produced the best briquettes based on the fixed carbon and calorific value, combustion quality, and coffee husks utilization. F4 has a carbon value of 48.53%, a calorific value of 6438 Cal/gram, a temperature rise rate of 5.79 °C/minute, and a burning time of 2 hours 44 minutes.

PENDAHULUAN

Batu bara adalah sumber energi listrik terbesar global dan bahan baku beberapa industri seperti besi dan baja, pengolahan semen, kertas, serta tekstil. Penggunaan batu bara secara masif didukung oleh efisiensi dan kelimpahannya. Pembakaran batu bara memiliki nilai negatif sebagai sumber emisi karbon dioksida (CO₂), mencapai 41% dari total emisi karbon dioksida dari bahan bakar fosil [1] dan berjumlah hampir 14.98 gigaton karbon per 2021 [2]. Berdasarkan Perjanjian Paris 2025, Indonesia telah diberi target kontribusi pengurangan emisi karbon 2030, diperbarui dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) 2022, sebesar 31,89% agar nilai emisi mencapai nol bersih akhir 2060 mengikuti target *Net Zero Emission* (NZE) dunia [3]. Berdasarkan Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional, target penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional 2025 yaitu minimal 23%. Indonesia ingin memanfaatkan biomassa melalui *co-firing* batu bara dengan pelet biomassa.

Pasokan biomassa *co-firing* dapat dipenuhi dalam bentuk biobriket yaitu briket berbahan baku biomassa. Biomassa diubah ke dalam bentuk padatan arang untuk meningkatkan efisiensi pembakarannya melalui proses karbonisasi. Biomassa dibakar hingga kandungan kadar air dan zat terbang hilang, hanya menyisakan arang karbon dan abu saja. Selama karbonisasi terjadi reaksi dehidrasi, depolimerisasi, dan devolatilisasi yaitu penguraian komponen beserta air menjadi gas dan penguapannya menjadi hidrokarbon, uap, dan membentuk butiran hitam karbon. Karbonisasi akan meningkatkan densitas atau ukuran partikel, mengurangi kandungan zat terbang dan air, meningkatkan kadar abu dan karbon terikat, serta pada akhirnya meningkatkan nilai kalor biobriket [4]–[8].

Hasil akhir karbonisasi bergantung juga pada jenis biomassa yang diarangkan. Salah satu komoditas pertanian yang industrinya menghasilkan banyak limbah biomassa adalah tanaman kopi. Pada tahun 2021, produksi kopi Indonesia mencapai 786,19 ribu ton dengan luas areal mencapai 1,26 juta hektar [9]. Produksi biji kopi sangrai untuk minuman kopi diolah melalui proses basah (*wet processing*) dan kering (*dry processing*) dengan persentase *yield* produk biji kopi hijau antara 55–65% [10]. Pada proses

pengupasan (*de-hulling*) biji kopi proses basah dan kering, buah kopi dipisahkan dari kandungan kulit luar, pulp, lendir, kulit tanduk, dan kulit ari. Produk samping yang dihasilkan disebut sebagai “sekam” kopi (*coffee husk*) [11], berjumlah hingga 40-45% keluaran produksi [10].

Kulit buah kopi kaya akan serat pangan tidak larut seperti selulosa (40–49%), hemiselulosa (25–32%), dan lignin (33–35%) pada bagian kulit tanduk [12]–[14] dan 21% serat kasar pada kulit luar [15]. Tingginya kadar serat dapat dimanfaatkan melalui proses stabilisasi termal yaitu karbonisasi kulit buah kopi sehingga meningkatkan nilai kalor [5] jika kulit diproses menjadi bahan bakar, seperti pada penelitian pembuatan biogas dan pelet pembakaran melalui pirolisis [16].

Pembuatan biobriket dari kulit buah kopi ini lebih baik jika digabungkan terlebih dahulu dengan bahan standar biobriket yaitu tempurung kelapa. Penggabungan dua jenis biomassa pada pembuatan biobriket telah banyak dilakukan dan menghasilkan nilai kalor dan kualitas briket lain yang lebih baik daripada pembuatan biobriket dari satu jenis biomassa saja. Pada penelitian pemanfaatan limbah kopi, biobriket dihasilkan dari kombinasi tiga jenis limbah yaitu ampas kopi, ampas kopi terpirolisis, dan batu bara [17]. Pencampuran tiga jenis bahan ini dapat memberikan peningkatan kestabilan dan efisiensi pembakaran serta sifat penyalaan awal briket. Contoh lain adalah penelitian pembuatan biobriket dari tandan kosong kelapa sawit dengan cangkang kelapa sawit [18], tempurung kelapa dengan cangkang kelapa sawit [7], atau tempurung kelapa dengan kayu sengon [4]. Penggabungan dua jenis biomassa juga dapat dilakukan untuk mengetahui pengaruh dua jenis biomassa sekaligus terhadap kualitas briket. Oleh karena itu, perlu diketahui rasio pencampuran arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa.

Pembuatan briket dari biomassa membutuhkan bahan perekat, biasanya perekat organik. Keunggulan biobriket yang dibuat dengan perekat organik terletak pada nilai kuat tekan, indeks pecah, ketahanan air, kadar abu, serta sifat permukaannya yang lebih halus [19]. Penelitian biobriket dengan perekat anorganik lem kayu berbahan *Polivinyl Acetate* (PVAc) menjelaskan bahwa perekat sintesis tersebut berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan organ pernapasan [20]. Perekat organik pati sering digunakan karena polimer utama

penyusunnya amilosa dan amilopektin. Amilosa memiliki bentuk rantai linear sedangkan amilopektin memiliki cabang-cabang [21]. Viskositas, stabilitas, dan kekuatan mengental yang tinggi dari pati tinggi amilopektin banyak cabang sesuai dan dibutuhkan pada pembuatan perekat biobriket, contohnya pada pati varietas ubi kayu seperti singkong (tapioka). Pati ubi kayu mengandung amilosa pada kisaran 15-30%, amilopektin 70-85%, serta 5-10% material antara seperti air, abu, lemak, dan protein [22].

Penelitian pembuatan biobriket dengan variasi biomassa telah banyak dilakukan sebelumnya dengan menggunakan bahan serpihan kayu [23], sekam padi [23], tebu [19], tempurung kelapa [4], [7], [19], [24], tandan kosong kelapa sawit [7], [18], serta dedaunan dan serbuk gergaji [19]. Pembuatan biobriket dari limbah industri kopi yang telah dilakukan sebelumnya [15], [17], [20], [25]–[27] dapat dilengkapi melalui kombinasi biomassa dengan tempurung kelapa serta penggabungan kondisi penelitian terbaik pembuatan biobriket limbah kulit buah kopi dari penelitian-penelitian sebelumnya seperti jumlah perekat, konsentrasi pengenceran perekat, jenis perekat, serta kondisi karbonisasi. Selain itu, dalam penelitian ini juga akan dilakukan keterbaruan pemilihan biobriket terbaik yang menyeluruh berdasarkan berbagai kriteria penilaian dari kondisi penelitian tersebut menggunakan metode pengambilan keputusan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

METODE

Bahan Penelitian

Limbah kulit buah kopi dan tempurung kelapa berasal dari Kecamatan Ciparay, Kabupaten Bandung dalam keadaan telah dikeringkan menggunakan cahaya matahari dan dikesilkan ukurannya. Tempurung kelapa didapatkan dari Universitas Telkom, Bojongsong. Bahan lain yang digunakan adalah pati dari tepung tapioka dari Jatinangor.

Analisis Kandungan Bahan Baku

Bahan baku diujikan terlebih dahulu kadar air (%bb), kadar zat terbang, zat abu, dan nilai karbonnya sesuai dengan standar pada SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis [28] dan SNI 01-6235-2000 tentang briket arang kayu [29].

Analisis dilakukan pada kulit buah kopi dan tempurung kelapa mentah yang belum dikarbonisasi untuk mengetahui kandungan murni bahan.

Karbonisasi Limbah

Karbonisasi untuk menghasilkan arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa dilakukan secara terpisah. Karbonisasi kulit buah kopi kering dilakukan menggunakan drum karbonisasi putar (*rotary drum*) dengan sistem panas tidak langsung (*indirect heat*) pada suhu mencapai 270 °C selama 90 menit. Karbonisasi tempurung kelapa mengikuti penelitian terdahulu pada suhu 450 °C selama 120 menit di drum karbonisasi biasa [7].

Penggilingan dan Pengayakan Arang

Arang hasil karbonisasi yang sudah dingin digiling dengan *hammer mill* menjadi bubuk. Bubuk kasar diayak dengan penyaring menjadi serbuk halus berukuran partikel 60 mesh. Penyerbukan dan pengecilan ukuran arang untuk menyeragamkan ukuran partikel briket, meningkatkan luas kontak energi panas, dan meningkatkan densitas briket sehingga pembakaran lebih efisien dan tahan lama.

Pembuatan Adonan

Arang kulit buah kopi (Ko) dan tempurung kelapa (Ke) kemudian dicampurkan mengikuti formulasi pada Tabel 1. Adonan kering kemudian dibuat dengan menambahkan tepung tapioka dengan rasio tapioka terhadap campuran 7:93. Adonan basah dibuat dengan menambahkan air pada rasio tepung dalam air 1:8 sehingga perekat berada dalam konsentrasi 12,5%.

Tabel 1. Formulasi adonan biobriket

Formula	Ko	Ke
1	100%	0%
2	75%	25%
3	50%	50%
4	25%	75%
5	0%	100%

Pencetakan Biobriket

Adonan basah dimasukkan ke mesin pemadat dan pencetak briket. Mesin ini bekerja dengan bantuan dua pasang pompa ulir (*screw pump*) dengan gerigi. Adonan basah diberikan tekanan oleh gerigi pompa ulir pertama sehingga adonan menjadi padat. Padatan umpan ini kemudian masuk

ke pompa ulir kedua yang di bagian ujungnya terpasang pencetak briket berbahan besi. Tekanan dari gerigi pompa ulir kedua akan mendorong padatan umpan menjadi briket berbentuk prisma segi enam dengan panjang sisi alas 2 cm. Briket basah kemudian dipotong dengan ketinggian 1,5 cm untuk keperluan pengujian dan dikeringkan dalam oven *blow-drying* pada suhu 60 °C selama 12 jam.

Analisis Kandungan

Briket setiap formula yang telah kering diujikan juga kadar air (%bb), zat terbang, abu, dan nilai karbon berdasarkan prosedur pada SNI 01-6235-2000 [29]. Selain itu, analisis kandungan tambahan untuk biobriket adalah pengujian nilai kalor menggunakan kalorimeter bom. Nilai kalor menggambarkan jumlah energi yang bisa dilepaskan per gram biobriket ketika dibakar. Analisis dilakukan pada briket kering yang telah dihancurkan menjadi bubuk kembali untuk kemudahan pengujian.

Analisis Data Kandungan

Pengaruh perbedaan signifikan setiap formula terhadap setiap kandungan diteliti menggunakan metode analisis varians satu faktor dan uji lanjutan Duncan Multiple Range Test (DMRT).

Analisis Kinerja Pembakaran

Kinerja pembakaran kepingan biobriket diujikan melalui dua kali tes pembakaran. Tes pembakaran I dilakukan dengan menguji kemampuan 4 keping biobriket untuk memanaskan 100 ml air dengan hasil akhir berupa laju kenaikan suhu air. Tes pembakaran II dilakukan melalui pembakaran 1 keping biobriket hingga habis untuk mengukur laju pembakaran dari titik nyala pertama hingga terbakar habis menyisakan abu.

Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan akhir yang diinginkan adalah hasil formula biobriket terpilih berdasarkan analisis setiap kandungan dan kinerja pembakarannya. Pengambilan kesimpulan formula terbaik dari dibantu oleh pendapat ahli dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Kriteria penilaian yang digunakan yaitu (1) Kadar Air, (2) Kadar Zat Terbang, (3) Kadar Abu, (4) Nilai Karbon, (5) Nilai Kalor, (6) Laju pembakaran habis,

(7) Laju kenaikan suhu pemasakan air, (8) Suhu pemanasan air tertinggi, dan (9) Pemanfaatan limbah kulit buah kopi. Formula biobriket juga dikategorikan dengan *scoring system* menjadi 3 (tiga) yaitu 1=Kurang Layak, 2=Layak, dan 3=Sangat Layak. Penilaian (*scoring*) dilakukan dengan memberikan nilai dari 1 (terburuk) sampai 5 (terbaik) setiap formula untuk kesembilan hasil kriteria penilaian AHP tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan Bahan Baku

Karakteristik bahan baku biobriket (Tabel 2) berbeda-beda berdasarkan kandungan setiap jenis biomasanya sehingga pengaruh terhadap karakteristik produk biobriket yang dihasilkan juga akan berbeda pula. Nilai karbon setiap bahan berdasarkan hasil perhitungan yaitu kulit buah kopi memiliki karbon sebesar 12,63% dan tempurung kelapa 20,90%. Nilai karbon tempurung kelapa hampir dua kali lipat dari kulit buah kopi. Hal ini menjadi salah satu alasan tempurung kelapa digunakan sebagai biomassa acuan atau umum dalam pembuatan biobriket. Namun, hasil analisis ini juga memperkuat hipotesis bahwa kulit buah kopi memiliki potensi sebagai bahan bakar dilihat dari adanya kandungan karbon terikat. Potensi kedua bahan ini kemudian ditingkatkan melalui proses karbonisasi yang tepat.

Tabel 2. Hasil proksimat bahan baku

Kandungan	Kulit Buah Kopi	Tempurung Kelapa
Kadar Air*	3.43±0.21%	1.90±1.82%
Kadar Zat Terbang	74.30±1.51%	76.63±1.91%
Kadar Abu	9.63±0.42%	0.57±0.55%
Nilai Karbon Terikat	12.63±1.58%	20.90±2.69%

*basis basah

Hasil dan Kandungan Biobriket

Semua briket yang dihasilkan memiliki nilai densitas lebih dari 1,2 g/cm³ yang merupakan peningkatan dari densitas biomassa lepas sebagai bahan bakar konvensional. Peningkatan densitas saja sudah meningkatkan efisiensi dan kualitas pembakaran. Pengolahan biomassa menjadi biobriket merupakan langkah tepat meningkatkan pembakaran dan menurunkan risiko polusi udara dan air dari pembusukan biomassa lepas. Semua briket hasil memiliki warna hitam merata dari pencampuran arang dengan larutan tepung tapioka

yang homogen dan meresap merata. Berikut hasil pengujian kandungan biobriket dan penjelasannya.

Kadar Air. F3, F4, dan F5 telah memenuhi standar SNI yaitu $\leq 8\%$. Semakin tinggi kadar air maka semakin sulit briket menyala, semakin rendah efisiensi dan keawetan penyalaan, dan semakin besar kadar abunya (Jamilatun, 2008). Kadar air biobriket F1 dan F2 yang lebih tinggi dari standar kemungkinan disebabkan oleh kurang sempurnanya

proses karbonisasi arang dominan yaitu kulit buah kopi dan sifat bahan mentahnya yang memang mengandung air lebih banyak daripada tempurung kelapa. Hasil analisis ANOVA ($\alpha=5\%$) juga menunjukkan bahwa variasi rasio arang berpengaruh sangat nyata terhadap kadar air briket. Hasil uji beda nyata lanjutan menggunakan DMRT menjelaskan bahwa perbedaan rasio F4 dan F5 tidak berbeda nyata.

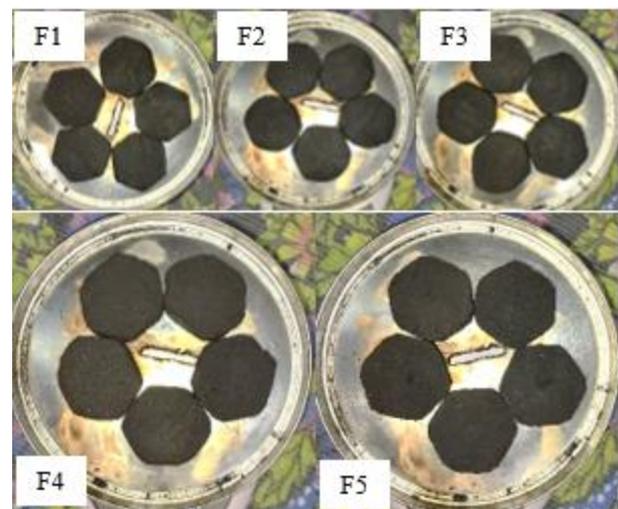
Tabel 3. Analisis Proksimat Biobriket

Formula	Kadar Air (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Karbon (%)
1	10.00 \pm 1.06 ^d	46.75 \pm 4.03 ^d	11.45 \pm 0.05 ^e	31.80 \pm 4.17 ^a
2	11.33 \pm 0.78 ^d	44.53 \pm 3.56 ^{cd}	9.10 \pm 0.26 ^d	35.03 \pm 3.66 ^{ab}
3	6.30 \pm 0.10 ^c	37.98 \pm 0.98 ^{ab}	8.57 \pm 0.21 ^c	47.15 \pm 1.00 ^c
4	4.28 \pm 0.32 ^{ab}	41.05 \pm 5.26 ^{bc}	6.13 \pm 0.15 ^b	48.53 \pm 5.27 ^{cd}
5	3.35 \pm 1.65 ^a	32.33 \pm 1.48 ^a	4.43 \pm 0.38 ^a	59.88 \pm 5.25 ^e

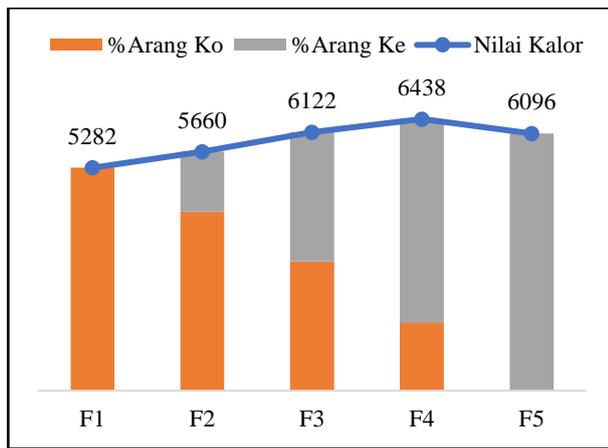
Kadar Zat Terbang. Pengujian kandungan zat terbang menurut SNI hasil terendah pada F3 dan F5 yaitu 37.98% dan 32.33%. Perbedaan rasio kedua formula ini tidak menunjukkan perbedaan nyata menurut uji DMRT terhadap kadar zat terbang. Artinya rasio arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa F3 dan F5 memiliki derajat pengaruh yang sama terhadap kadar zat terbang briket. Namun, kedua hasil ini belum dapat memenuhi syarat yaitu maksimal 15%. Briket bermutu baik memiliki kandungan zat terbang rendah untuk mengurangi laju pembakaran habis, meningkatkan keawetan pembakaran briket, dan mengurangi pembentukan asap yang dihasilkan [30]. Nilai karbon dapat meningkat melalui pengaturan variabel karbonisasi sehingga zat terbang akan lebih banyak yang hilang dari bahan. Tingginya kandungan zat terbang pada penelitian ini disebabkan oleh belum optimalnya waktu, suhu, dan kestabilan suhu karbonisasi. Selain itu, hasil ANOVA menunjukkan bahwa variasi rasio arang berpengaruh sangat nyata terhadap kadar zat terbang. Pada formula dominan arang tempurung kelapa menghasilkan briket dengan zat terbang yang lebih rendah, sesuai dengan zat terbang tempurung kelapa yang memang lebih rendah daripada kulit buah kopi. Namun, zat terbang secara ANOVA sendiri tidak berpengaruh nyata terhadap hasil akhir nilai karbon briket.

Kadar Abu. Abu merupakan ampas pembakaran briket yang berasal dari kandungan mineral pada arang yang menggambarkan kualitas

pembakaran [31]. Semakin banyak abu menggambarkan semakin sedikit karbon yang terbentuk. Semakin rendah kadar abu dalam arang maka semakin tinggi nilai karbon dan kalor. Pada hasil analisis proksimat, diketahui bahwa selain F5 yang merupakan formulasi acuan biobriket di pasaran, F4 telah memenuhi standar abu $\leq 8\%$. Hasil ini juga selaras dengan hasil kadar zat terbang yaitu semakin rendah kadar zat terbang suatu formula maka akan semakin rendah pula kadar abunya. Hasil analisis ANOVA ($\alpha = 5\%$) juga menegaskan bahwa variasi rasio arang berpengaruh sangat nyata terhadap besarnya kadar abu. Hasil uji beda nyata lanjutan menggunakan DMRT menunjukkan bahwa semua formula berpengaruh berbeda nyata.



Gambar 1. Sampel briket setiap formula dengan densitas secara berurutan dari F1 yaitu 1.245 g/cm³; 1.334 g/cm³; 1.283 g/cm³; 1.232 g/cm³; dan 1.283 g/cm³.



Bagan 1. Nilai kalor setiap komposisi arang briket yaitu F1 (100%Ko) 5282 kal/g; F2 (75Ko:25Ke) 5660 kal/g; F3 (50Ko:50Ke) 6122 kal/g; F4 (25Ko:75Ke) 6438 kal/g; dan F5 (100%Ke) 6096 kal/g.

Nilai Karbon. Nilai karbon didapatkan dari hasil hitung selisih total kandungan dengan kadar air, zat terbang, dan abu. Nilai ini mencerminkan kadar karbon terikat yang terbentuk setelah karbonisasi. Pada formulasi biobriket menggunakan arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa ini, diperoleh hasil ANOVA ($\alpha = 5\%$) bahwa variasi formula arang berpengaruh sangat nyata terhadap nilai karbon. Nilai karbon semakin meningkat seiring dengan bertambahnya arang rasio tempurung kelapa. Nilai karbon tertinggi diperoleh briket F5 dan F4. Briket F5 dibuat mengikuti acuan nyata kondisi pasar yaitu terdiri atas 100% arang tempurung kelapa, sebagaimana produk biobriket yang telah beredar. Formulasi menggunakan arang kulit buah kopi yang ingin diberdayakan yaitu F4 (25Ko:75Ke) sudah mendekati hasil acuan F5. Berdasarkan hasil uji beda nyata DMRT, didapatkan bahwa F3 (50Ko:50Ke) tidak berbeda nyata dengan F4. Analisis ANOVA juga digunakan untuk menilai pengaruh kadar air, zat terbang, dan abu terhadap nilai karbon. Hasil menunjukkan bahwa kadar air dan kadar abunya yang berpengaruh sangat nyata terhadap nilai karbon. Kadar zat terbang sendiri yang tidak berpengaruh terhadap nilai karbon. Nilai karbon terikat (*fixed carbon*) akan memengaruhi secara nyata terhadap nilai kalor (*calorific value*).

Nilai Kalor. Nilai kalor menggambarkan energi dalam briket yang dapat dibebaskan per gram ketika briket dibakar [32], didapat dari data kenaikan suhu sampel dikalikan dengan ekuivalen energi [33]. Pada standar nasional tentang arang kayu di atas,

nilai kalor minimal untuk menilai briket berkualitas baik adalah 5000 kalori/gram briket.

Hasil uji menunjukkan bahwa briket yang dihasilkan seluruhnya telah memperoleh nilai kalori lebih dari standar. Nilai kalori sendiri telah disebutkan sangat bergantung pada jenis bahan baku arang dan kandungan karbonnya [5], [7]. Hal ini menunjukkan bahwa selain tempurung kelapa, kulit buah kopi juga memiliki potensi yang tinggi sebagai bahan bakar. Formula dengan hasil nilai kalori terbesar berturut-turut yaitu F4, F3, F5, F2, dan F1. F5 (100% arang tempurung kelapa) yang menjadi acuan ternyata bukan formula dengan nilai kalori tertinggi melainkan F4 dan F3 yang di dalamnya terkandung arang kulit buah kopi. Mutu nilai kalori biobriket yang mulanya dari tempurung kelapa saja dapat ditingkatkan hingga 342 kalori per gram hanya dengan mengganti 25% total arangnya dengan arang kulit buah kopi. Hasil ini berarti kombinasi dua jenis biomassa dapat berpotensi lebih tinggi daripada briket arang tempurung kelapa saja. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa formula terbaik berdasarkan nilai kalori briket yang dihasilkan adalah F4 yang terbuat dari campuran arang kulit buah kopi 25% dan arang tempurung kelapa 75%.

Tabel 4. Kinerja biobriket

F	Laju Bakar Habis (g/menit)	Suhu Masak Air Maks. (°C)	Laju Pemanasan Air (°C/menit)
1	0,19	68.1	8.62
2	0,15	81.6	9.23
3	0,11	88.1	7.53
4	0,12	75.3	5.79
5	0,13	85.5	5.35

Kinerja Biobriket

Produk biobriket yang dihasilkan pada penelitian ini secara umum dapat bertahan sangat lama ketika dibakar. Pada pembakaran habis 1 keping biobriket minimal nyala baranya dapat bertahan lebih dari 1,5 jam. Namun, pada briket F1 dan F2 pembakaran terjadi kurang sempurna karena bersisanya briket hingga 7% bobot briket total. Pengujian pembakaran habis ini mulanya telah dilakukan penyalaan bara briket serentak sehingga titik nyala api diusahakan sedekat mungkin antar-formula. Briket F1 dan F2 berarti membutuhkan waktu penyalaan bara yang lebih panjang daripada

formula sisa. Formula briket yang berhasil terbakar sempurna dengan waktu penyalaan terlama adalah F3 yang mendekati 3 jam dengan laju pembakaran sebesar 0,11 gram per menit (Tabel 4) atau 6,6 gram per jam.

Pada uji ini tidak ada formula yang berhasil mencapai suhu titik didih air yaitu 100 °C. Hal ini disebabkan penggunaan briket yang terlalu sedikit yaitu hanya 4 keping kecil (tinggi 1,5 cm) sementara nyatanya briket digunakan pada jumlah jauh lebih banyak. Hasil yang diperoleh dari uji pemasakan air adalah briket dengan kenaikan suhu paling cepat adalah F2 dan F1 akan tetapi keduanya merupakan briket yang tidak berhasil terbakar sempurna pada pengujian pembakaran sebelumnya. Kedua briket ini juga memiliki sifat yang lebih cepat rapuh ketika

dibakar karena laju kenaikannya yang tinggi. Briket selanjutnya yang memiliki laju pemanasan air paling cepat yaitu F3 pada kenaikan suhu 7,53 °C/menit.

Tabel 5. Bobot prioritas penilaian biobriket

	Kriteria	BP
K5	Nilai Kalor	0,346
K4	Nilai Karbon	0,235
K1	Kadar Air	0,125
K2	Kadar Zat Terbang	0,079
K3	Kadar Abu	0,074
K6	Laju bakar habis	0,040
K9	Pemanfaatan limbah kopi	0,038
K8	Suhu maksimal tercapai	0,032
K7	Laju kenaikan suhu	0,031

Formula Biobriket Terpilih

Hasil wawancara pendapat ahli dan pembobotannya menggunakan AHP diperoleh bobot prioritas setiap kriteria penilaian kualitas yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Hasil akhir penilaian setiap formula biobriket menunjukkan bahwa formula biobriket terpilih (Tabel 6) yaitu Formula 4 yang arangnya terdiri atas 25% arang kulit buah kopi dan 75% arang tempurung kelapa. Kelayakan formula briket yang diperoleh berdasarkan *scoring system* (Tabel 7) yaitu formula terpilih F4 berada pada kategori Layak bersama dengan hampir semua formulasi

kecuali F1 (Kurang Layak). Formula 4 unggul mutlak dalam satu kriteria saja daripada formula-formula lainnya yaitu Nilai Kalor. Keunggulan Nilai Kalor ini penting melihat bobot prioritasnya yang paling tinggi dan menunjukkan contoh nyata pengaruh bobot prioritas suatu kriteria dibandingkan suatu (atau banyak) kriteria lainnya. Semakin besar nilai kalor suatu campuran biobriket maka akan semakin baik pula kualitas biobriket tersebut secara keseluruhan. Selain itu, F4 juga unggul dibandingkan F5 yang merupakan formula acuan biobriket di pasaran dari segi kinerja yaitu laju pembakarannya yang lebih stabil dan tahan lama.

Tabel 6. Penilaian Setiap Formula Briket dengan Pembobotan AHP

Formulasi	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Total	Peringkat
1	0,011	0,006	0,005	0,017	0,022	0,003	0,002	0,013	0,016	0,093	5
2	0,009	0,007	0,007	0,020	0,034	0,004	0,005	0,008	0,010	0,105	4
3	0,021	0,022	0,012	0,044	0,091	0,017	0,013	0,005	0,006	0,230	3
4	0,038	0,015	0,019	0,055	0,144	<i>0,011</i>	0,003	0,003	0,004	0,293	1
5	0,046	0,030	0,031	0,099	0,056	0,007	0,008	0,002	0,002	0,280	2

Keterangan: K1 = Kadar Air; K2 = Kadar Zat Terbang; K3 = Kadar Abu; K4 = Nilai Karbon; K5 = Nilai Kalor; K6 = Laju Pembakaran; K7 = Laju Kenaikan Suhu; K8 = Suhu Air Maksimal Tercapai; dan K9 = Pemanfaatan Limbah Kopi.

KESIMPULAN

Limbah kulit buah kopi telah terbukti mempunyai potensi sebagai bahan bakar yang besar, terutama dilihat dari tingginya nilai kalor biobriket yang dihasilkan. Formula biobriket terpilih dari campuran arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa adalah Formula 4 yang terbuat dari 25% arang kulit buah kopi dan 75% arang

tempurung kelapa. Substitusi 25% saja bahan biobriket biasa yaitu arang tempurung kelapa dengan arang kulit kopi sudah dapat meningkatkan kualitas biobriket. Formula 4 ini memiliki nilai karbon 48,53%, nilai kalor tertinggi 6438 kal/gram, laju kenaikan suhu 5,79°C/menit, dan waktu pembakaran hingga 2 jam 44 menit. Variasi rasio arang kulit buah kopi dan tempurung kelapa, kadar

air, dan kadar abu berpengaruh sangat nyata terhadap nilai karbon biobriket yang telah diuji melalui ANOVA dan DMRT. Namun, perlu

dilakukan pengkajian lebih lanjut mengenai suhu dan waktu karbonisasi optimal untuk kedua jenis biomassa.

Tabel 7. Kategori Kelayakan Formula Briket Berdasarkan *Scoring System*

Formulasi	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Total	Kategori
1	2	1	1	1	1	1	1	5	5	18	Kurang Layak
2	1	2	2	2	2	2	3	4	4	22	Layak
3	3	4	3	3	4	5	5	3	3	33	Sangat Layak
4	4	3	4	4	5	4	2	2	2	30	Layak
5	5	5	5	5	3	3	4	1	1	32	Layak

Keterangan: K1 = Kadar Air; K2 = Kadar Zat Terbang; K3 = Kadar Abu; K4 = Nilai Karbon; K5 = Nilai Kalor; K6 = Laju Pembakaran; K7 = Laju Kenaikan Suhu; K8 = Suhu Air Maksimal Tercapai; dan K9 = Pemanfaatan Limbah Kopi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Agus Kusnayat dari Universitas Telkom yang telah memberikan bahan dan fasilitas karbonisasi biomassa serta Laboratorium Teknologi Proses dan Bioproses Agroindustri, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran atas fasilitas mesin pencetak biobriket dan laboratorium pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Friedlingstein *dkk.*, "Global Carbon Budget 2022," *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 14, hlm. 4811–4900, 2022, doi: 10.5194/essd-14-4811-2022.
- [2] BP, "BP Statistical Review of World Energy," London, 2022. Diakses: 23 Februari 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- [3] S. Sulaiman, "Indonesia pledges more ambitious carbon emission cut," Reuters. Diakses: 21 Februari 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-pledges-more-ambitious-carbon-emission-cut-2022-10-25/>
- [4] A. Agussalim, A. Khairana, M. Rajab, M. Rezky, dan U. Dwiyanti, "Mutu dan karakteristik penyalan briket arang tempurung kelapa dengan aplikasi lapisan arang sengon pada permukaannya," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 16, no. 1, hlm. 49–57, Jul 2022, doi: 10.22146/jrekpros.70277.
- [5] Alpian dan W. Supriyati, *Briket Arang dari Limbah Kayu*. Pekalongan: Penerbit NEM, 2021.
- [6] Y. Guo, Z. Liu, Z. Hong, D. Zhang, Y. Cao, dan F. Wang, "An experimental study on the biomass central heating intelligent tobacco-curing system," *Advances in Energy Science and Equipment Engineering II*, hlm. 1283–1289, Mar 2017, doi: 10.1201/9781315116174-83.
- [7] E. Mardawati, A. K. Ramadhan, A. Kusnayat, I. Ardiansah, dan H. N. Fitriana, "Biobriquette: A Mixture of Palm Kernel Shell and Coconut Shell, an Indonesian Study Case," *Ecology, Environment and Conservation*, hlm. 1611–1618, Sep 2022, doi: 10.53550/EEC.2022.v28i03.070.
- [8] S. Sharma, G. Priyank, dan N. Sharma, "Biomass briquette production: A propagation of non-convention technology and future of pollution free hermal energy sources," *American Journal of Engineering Research*, vol. 4, no. 1, hlm. 44–50, 2015.
- [9] BPS, "Statistik Kopi Indonesia 2021," Jakarta, 2022.
- [10] I. G. Mangku *dkk.*, *Teknologi Tepat Guna (TTG) Produk Inovatif Berbasis Limbah Kulit Kopi*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka, 2022.
- [11] P. Esquivel dan V. M. Jiménez, "Functional properties of coffee and coffee by-products," *Food Research International*, vol. 46, no. 2, hlm. 488–495, 2012, doi: 10.1016/j.foodres.2011.5.028.
- [12] S. A. Bekalo dan H.-W. Reinhardt, "Fibers of coffee husk and hulls for the production

- of particleboard,” *Mater Struct*, vol. 43, no. 8, hlm. 1049–1060, Okt 2010, doi: 10.1617/s11527-009-9565-0.
- [13] A. Iriando-DeHond *dkk.*, “Validation of coffee by-products as novel food ingredients,” *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 51, hlm. 194–204, Jan 2019, doi: 10.1016/j.ifset.2018.06.010.
- [14] N. Martinez-Saez *dkk.*, “A novel antioxidant beverage for body weight control based on coffee silverskin,” *Food Chem*, vol. 150, hlm. 227–234, Mei 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.10.100.
- [15] Widyotomo, “Potensi dan Teknologi Diversifikasi Limbah Kopi Menjadi Produk Bermutu dan Bernilai Tambah,” *Review Penelitian Kopi dan Kakao*, vol. 1, no. 1, hlm. 63–80, 2013.
- [16] R. Cubero-Abarca, R. Moya, J. , Valaret, dan M. Tomazello Filho, “Use of coffee (*Coffea arabica*) pulp for the production of briquettes and pellets for heat generation,” *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 38, no. 5, hlm. 461–470, 2014.
- [17] Khusna dan Susanto, “Pemanfaatan Limbah Padat Kopi Sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Bentuk Bricket Berbasis Biomass,” dalam *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015*, Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama, 2015, hlm. 247–260.
- [18] M. Amrullah, E. Mardawati, R. Kastaman, dan S. Suryaningsih, “Study of bio-briquette formulation from mixture palm oil empty fruit bunches and palm oil shells,” *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 443, no. 1, hlm. 012–079, Feb 2020, doi: 10.1088/1755-1315/443/1/012079.
- [19] C. Das, J. S, Akarsh, A. Palan, dan G. Anne, “Development & Investigation of Briquettes Using Organic & Inorganic Binders.,” *Int J Sci Eng Res*, vol. 9, no. 4, hlm. 254–257, 2018.
- [20] A. D. Moelyaningrum, H. D. Molassy, dan I. K. Setyowati, “The formulation Robusta coffee bark Jember Indonesia for charcoal Briquettes as alternative energy: The comparison organic starch adhesive and anorganic adhesive,” *J Phys Conf Ser*, vol. 1363, no. 1, hlm. 012–091, Nov 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1363/1/012091.
- [21] G. Campbell-Platt, Ed., *Food Science and Technology*. WILEY, 2018.
- [22] S. Wahyuni, L. M. Ansyarullah, N. D. Dewi, dan A. Dahlan, *Buku Ajar Teknologi Karbohidrat*. Solok: LPP Balai Insan Cendekia, 2022.
- [23] IESR, “Indonesia Energy Transition Outlook 2023: Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Pursuing Energy Security in the Time of Transition,” Jakarta, 2023.
- [24] A. Z. Amin, “Pengaruh Variasi Jumlah Perekat Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Briket Arang Tempurung Kelapa,” *Saintekno*, vol. 15, no. 2, hlm. 111–118, 2017.
- [25] Nurlela dan Supranto, “Pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai bahan bakar alternatif dalam bentuk briket dan uji unjuk kerjanya,” Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011.
- [26] Hadiyane, Rumidatul, dan Hidayat, “Aplikasi Teknologi Biopellet Limbah Kopi sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Rangka Pengembangan Desa Mandiri Energi di Desa Jatiroke Kawasan Sekitar Hutan Pendidikan Gunung Geulis ITB,” *Jurnal Panrita Abdi*, vol. 5, no. 3, hlm. 256–265, 2021.
- [27] A. Tesfaye, F. Workie, dan V. S. Kumar, “Production and Characterization of Coffee Husk Fuel Briquettes as an Alternative Energy Source,” *Advances in Materials Science and Engineering*, hlm. 1–13, Jan 2022, doi: 10.1155/2022/9139766.
- [28] BSN, “SNI 06-3730-1995: Arang aktif teknis,” *Standar Nasional Indonesia*. Badan Standardisasi Nasional, 1995.
- [29] BSN, “SNI 01-6235-2000: Briket arang kayu,” *Standar Nasional Indonesia*. Badan Standardisasi Nasional, Samarinda, 2000.
- [30] S. Jamilatun, “Sifat-Sifat Penyalaan dan Pembakaran Briket Biomassa, Briket Batubara, dan Arang Kayu,” *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 2, no. 2, hlm. 37–40, 2008.
- [31] A. Annisa, “Diterminasi Seberapa Kuat Pengaruh Nilai Kandungan Abu Terhadap Nilai Zat Terbang dan Nilai Kalori Dalam Persentasi,” *Jurnal GEOSAPTA*, vol. 3, no.

- 2, hlm. 127–131, Sep 2017, doi: 10.20527/jg.v3i2.3909.
- [32] D. L. Klass, “Energy from biomass and wastes: 1985 update and review,” *Resources and Conservation*, vol. 15, no. 1–2, hlm. 7–84, Jun 1987, doi: 10.1016/0166-3097(87)90038-1.
- [33] S. Amertet, Y. Mitiku, dan G. Belete, “Analysis of a Coffee Husk Fired Cogeneration Plant in South Western Ethiopia Coffee Processing Industries,” *Low Carbon Econ*, vol. 12, no. 1, hlm. 42–62, 2021.