

PENGARUH VARIASI WAKTU PENDINGINAN DAN CAMPURAN CANGKANG KELAPA SAWIT DAN BUAH PINUS TERHADAP KARAKTERISTIK BIOMASSA

Kholiq Deliasgarin Radyantho^{1a}, Adnan Rusdan¹, Doddy Suanggana¹, Ahmad Anas Arifin², Hadhimas Dwi Haryono¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan

²Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan

kholiq.radyantho@lecturer.itk.ac.id

ABSTRAK

Menurut International Energy Agency (IEA), permintaan energi dunia diperkirakan akan meningkat sebesar 45% hingga tahun 2030, dengan sekitar 80% kebutuhan energi masih dipenuhi oleh bahan bakar fosil. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan energi alternatif menjadi sangat mendesak, dan biomassa menjadi salah satu solusi utama. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik yang dapat diperbarui dalam waktu singkat, serta memiliki manfaat seperti menjadi bahan bakar pembangkit listrik dan mengurangi limbah organik yang belum dimanfaatkan dengan baik. Salah satu limbah organik yang kurang dimanfaatkan adalah limbah pengolahan kelapa sawit, seperti cangkang sawit, serta limbah buah pinus karena ketersediaannya dari industri sawit dan hutan pinus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu pendinginan dan komposisi campuran cangkang kelapa sawit dengan buah pinus terhadap karakteristik briket, yang meliputi kadar air, kadar abu, dan nilai kalor. Bahan utama penelitian berupa cangkang kelapa sawit dan buah pinus dikarbonisasi pada suhu 600°C selama satu jam, kemudian dihancurkan dan diayak. Selanjutnya, bahan dicampurkan dengan perekat tepung tapioka dan dicetak dengan tekanan 55 kg/cm². Briket yang dihasilkan dikeringkan dalam oven, lalu diuji karakteristiknya yang mencakup kadar air, kadar abu, dan nilai kalor. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu pendinginan dan komposisi campuran, sedangkan variabel terikatnya adalah kadar air, kadar abu, dan nilai kalor briket. Hasil penelitian menunjukkan bahwa briket dengan komposisi KC4 memiliki kadar air tertinggi (11,89%) dan tidak memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 1683:2021, sementara komposisi lainnya memenuhi standar kadar air. Dalam pengujian kadar abu, semua variasi komposisi dan waktu pendinginan melebihi standar SNI ($\geq 10\%$). Namun, pada pengujian nilai kalor, semua variasi memenuhi standar SNI, dengan nilai tertinggi pada WP3 (6643,18 cal/g). Analisis ANOVA menunjukkan bahwa baik variasi komposisi campuran maupun waktu pendinginan secara signifikan memengaruhi kadar air dan kadar abu, namun hanya waktu pendinginan yang signifikan memengaruhi nilai kalor briket.

Kata kunci: Biomassa, Biobriket, Nilai kalor, Kadar Air, Kadar Abu

ABSTRACT

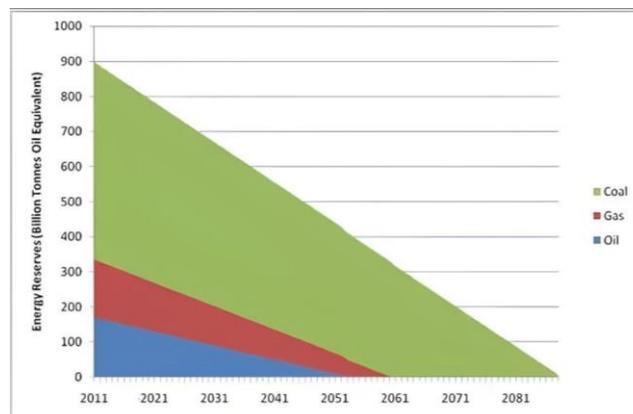
According to the International Energy Agency (IEA), global energy demand is projected to increase by 45% by 2030, with approximately 80% of energy needs still being met by fossil fuels. This indicates that the development of alternative energy has become extremely urgent, with biomass emerging as one of the primary

solutions. Biomass is a renewable energy source derived from organic materials that can be replenished in a short time, offering benefits such as serving as fuel for power generation and reducing underutilized organic waste. One of the underutilized organic wastes is palm oil processing waste, such as palm shells, and pine fruit waste, due to their availability from the palm oil industry and pine forests. This research aims to analyze the effect of drying time variation and composition mixtures of palm oil shells with pine fruits on briquette characteristics, including moisture content, ash content, and calorific value. The primary research materials of palm oil shells and pine fruits were carbonized at 600°C for one hour, then crushed and sieved. Subsequently, the materials were mixed with tapioca flour adhesive and molded under a pressure of 55 kg/cm². The resulting briquettes were dried in an oven and then tested for characteristics including moisture content, ash content, and calorific value. The independent variables in this study were drying time and mixture composition, while the dependent variables were briquettes' moisture content, ash content, and calorific value. The research results showed that briquettes with KC4 composition had the highest moisture content (11.89%) and did not meet the Indonesian National Standard (SNI) No. 1683:2021, while other compositions met the moisture content standard. In ash content testing, all composition variations and drying times exceeded the SNI standard ($\geq 10\%$). However, in calorific value testing, all variations met the SNI standard, with the highest value in WP3 (6643.18 cal/g). ANOVA analysis indicated that both mixture composition variations and drying time significantly influenced moisture and ash content, but only drying time significantly affected the briquettes' calorific value.

Keywords: Biomass, Biobriquettes, Calorific Value, Moisture Content, and Ash Content

1. PENDAHULUAN

Penurunan ketersediaan energi fosil, terutama minyak bumi, mengancam pasokan energi global di masa depan. Energi fosil diperkirakan akan habis dalam beberapa dekade mendatang, sehingga pengembangan energi alternatif menjadi krusial. Para ahli meyakini dengan pola konsumsi saat ini diperkirakan energi fosil akan segera habis. Minyak akan habis dalam 30 tahun pada tahun 2052, gas alam akan habis dalam 40 tahun pada tahun 2060, dan batubara akan habis dalam 70 tahun pada tahun 2090 [1]. Cadangan batu bara dari 900 Milyar Ton Ekuivalen Minyak (MTEM) di tahun 2011 diperkirakan akan menipis menjadi 400 MTEM pada tahun 2055 dan dapat habis pada tahun 2086. Sedangkan cadangan energi lain seperti gas dan minyak dapat habis lebih dahulu di tahun 2051 dan 2061. Grafik cadangan energi batubara, gas, dan minyak bumi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Cadangan Energi Batubara, Gas, dan Minyak Bumi [1]

Biomassa adalah salah satu energi terbarukan yang dihasilkan dari bahan organik seperti tumbuhan dan limbah industri, termasuk cangkang kelapa sawit dan buah pinus. Konversi biomassa menjadi briket merupakan solusi yang

efektif dalam memanfaatkan sumber daya ini. Meski briket batubara lebih umum, biomassa lainnya, seperti cangkang sawit dan buah pinus, juga dapat diolah menjadi briket untuk mengurangi limbah dan menciptakan bahan bakar yang berkelanjutan [2]. Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi, dengan total 306 ribu ton yang telah dimanfaatkan setiap tahunnya [3]. Dengan potensi biomassa Indonesia yang besar [4], penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh variasi komposisi campuran dan waktu pengeringan terhadap kualitas biomassa, khususnya pada kadar air, nilai kalor, dan kadar abu, sehingga dapat mendukung pengembangan energi alternatif yang lebih berkelanjutan.

Dalam pembuatan briket dengan menggunakan biomassa maka dapat diperhitungkan bahwa mayoritas limbah pertanian yang ada di dunia mampu untuk membuat briket dengan memperhatikan bahan baku. Briket dapat dibuat dengan apa saja asalkan memenuhi persyaratan umum yaitu dapat dilakukan pengarangan serta memiliki bahan baku yang memiliki nilai kalor (*calorific value*) tinggi [5]. Standar mutu biomassa/biobriket mengacu pada tabel 1.

Tabel 1. Standar Kualitas Briket [6]

Parameter	Standar			
	SNI	JIS	BIS	ASTM
Kadar air (%)	≤ 8	6 – 8	3 – 4	6,2
Kadar abu (%)	≤ 8	3 – 6	8 – 10	8,3
Kadar zat terbang (%)	≤ 15	15 – 30	16,4	19 – 28
Nilai Kalor (<i>calorific value</i>) (cal/g)	≥ 5000	5000 – 6000	5870	4000 – 6500
Kadar karbon terikat (%)	≥ 77	60 – 80	75	60

Potensi energi yang dapat dihasilkan dari produk samping kelapa sawit melalui nilai energi panas (*caloric value*) mencakup kisaran nilai energi panas untuk setiap jenis produk samping sawit, yakni 20,093 kJ/kg untuk cangkang, 19,055 kJ/kg untuk serat, 18,795 kJ/kg untuk TKS, 17,471 kJ/kg untuk batang, dan 15,719 kJ/kg untuk pelepah. Pemanfaatan cangkang dan serat guna memenuhi kebutuhan energi di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) terjadi dengan cara menggunakannya sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan steam (uap panas) dan listrik [7] sebagai sumber energi alternatif yang memiliki beberapa keunggulan. Pertama, sumber energi ini bersifat terbarukan, sehingga dapat menjamin kelangsungan produksi. Kedua, Indonesia adalah salah satu produsen utama minyak sawit, memastikan ketersediaan bahan baku dan pembangunan industri dalam negeri [8]. Pendekatan pemanfaatan limbah buah pinus ini didukung oleh proses pembuatan yang sederhana, tanpa penggunaan bahan kimia berbahaya atau peralatan teknologi tinggi, sehingga menghasilkan produk yang tidak hanya mudah diaplikasikan tetapi juga ramah lingkungan [9].

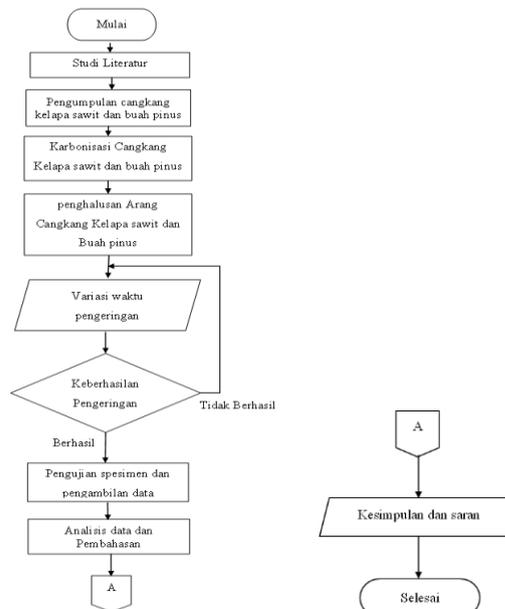
Karbonisasi merupakan suatu proses penguraian bahan yang dilakukan dengan temperatur tinggi tanpa adanya kontak langsung dengan udara [10]. Adapun komponen utama yang dihasilkan selama proses karbonisasi ialah berupa arang, macam-macam gas yang meliputi CO, CO₂ dan juga asam asetat [11]. Berdasarkan hasil penelitian [12] temperatur dan lamanya waktu karbonisasi akan mempengaruhi kualitas suatu briket.

2. METODOLOGI PENELITIAN

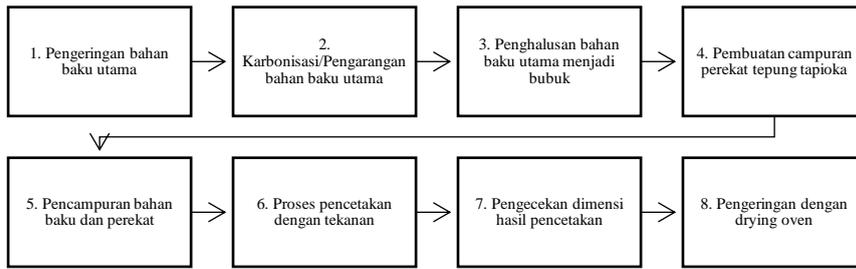
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, menggunakan variabel bebas berupa waktu pengeringan dan komposisi campuran cangkang kelapa sawit dan buah pinus. Waktu pengeringan yang diuji adalah 1,25 jam, 3 jam, dan 4 jam, dengan variasi komposisi campuran (disingkat KC) 80:20, 50:50, 20:80, serta 100:0 untuk cangkang sawit dan buah pinus dengan perekat tepung tapioka. Adapun proses pembuatan briket (gambar 2) yang dilakukan yaitu ada tahap pertama, dilakukan proses karbonisasi atau pembakaran cangkang sawit dan buah pinus untuk mengubahnya menjadi arang. Setelah itu, bahan baku yang telah melalui karbonisasi dihaluskan pada tahap kedua. Selanjutnya, pada tahap ketiga, bubuk briket yang telah diayak dicampur dengan zat perekat hingga merata. Kemudian, briket dicetak pada tahap

keempat, dan terakhir, briket yang telah dicetak dikeringkan pada tahap kelima agar mencapai kadar air yang sesuai sebelum digunakan. Setelah proses penengrangan selesai dilanjutkan ke pengujian yang berupa pengujian nilai kalor menggunakan metode Bomb Calorimeter, pengujian kadar air dan abu menggunakan metode Gravimetri (ASTM D 3173-03). Adapun urutan langkah pembuatan briket ada pada gambar 3. Penjelasan lengkap dari proses pembuatan briket adalah sebagai berikut:

1. pengeringan terhadap cangkang sawit dan buah pinus dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari langsung. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalam bahan baku.
2. Proses karbonisasi/pengarangan cangkang sawit dan buah pinus dipanaskan pada suhu tinggi, yaitu sekitar 600°C, selama 1 jam. Proses karbonisasi dilakukan di dalam sebuah tungku yang kedap udara untuk menghindari pembakaran yang berlebihan. Karbonisasi berfungsi untuk mengubah bahan baku menjadi arang yang kaya akan karbon, yang merupakan bahan utama dalam pembuatan briket.
3. Arang hasil karbonisasi kemudian dihancurkan menjadi partikel-partikel kecil menggunakan alat penghancur sederhana. Proses ini dilakukan untuk memperkecil ukuran arang sehingga mudah dicampur dengan perekat dan dicetak menjadi briket. Setelah dihancurkan, arang diayak menggunakan ayakan dengan ukuran $mesh \geq 60$ untuk memastikan bahwa semua partikel arang memiliki ukuran yang seragam.
4. Untuk membuat perekat, campurkan tepung tapioka dan air dengan perbandingan 1 (tepung tapioka):10 (air) berdasarkan massa. Campuran ini diaduk dalam panci tanpa menyalakan api. Setelah tepung tapioka larut, hidupkan kompor dengan api kecil dan terus aduk hingga adonan berubah menjadi kental.
5. Selanjutnya, campurkan arang hasil penghalusan dengan perekat yang telah disiapkan. Perbandingan pencampuran yang digunakan adalah 90% arang (gabungan dari cangkang sawit dan buah pinus) dengan 10% perekat berdasarkan massa total campuran. Aduk campuran ini hingga semua bahan tercampur merata.
6. Setelah bahan-bahan tercampur dengan baik, masukkan campuran arang dan perekat ke dalam cetakan yang berupa pipa besi dengan diameter 2 cm. Gunakan mesin penekan untuk memberikan tekanan sebesar 55 kg/cm² pada campuran selama 5 menit. Proses penekanan ini sangat penting untuk memastikan briket terbentuk dengan padat dan kuat.



Gambar 2. Metodologi Penelitian.



Gambar 3. Proses Pembuatan Biomassa

Variabel kontrol merujuk pada variabel yang dapat diatur dan nilainya dapat dijaga tetap konstan, sehingga variabel bebas tidak dipengaruhi oleh faktor lain di luar cakupan penelitian. Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel Kontrol Penelitian

Variabel	Nilai
Komposisi perekat	10%
Ayakan	≥ 60 mesh
Penekanan	55 kg/cm
Ukuran Briket	Lebar 2cm dan tinggi 4cm
Temperatur karbonisasi cangkang sawit dan buah pinus	600°C

Penelitian ini menggunakan variasi komposisi campuran dan variasi waktu pengeringan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap kadar air, nilai kalor, dan kadar abu dari cangkang kelapa sawit dan buah pinus. Berikut adalah tabel yang menunjukkan variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 3. Variabel Bebas Penelitian

Variabel Bebas	Nilai	Variabel Kontrol
Lama Waktu Pengeringan	1,25 Jam	Cangkang Kelapa Sawit : Buah Pinus (50:50)
	3 Jam	
	4 Jam	
	100:0	
Komposisi Campuran (Cangkang Kelapa Sawit:Buah Pinus)	80:20	Lama Waktu Pengeringan 3 Jam
	50:50	
	20:80	
	0:100	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kadar Air

Pengujian kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas briket [13]. Data diperoleh menggunakan metode pengujian gravimetri, dimana proses pengeringan dilakukan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, dan hasilnya disajikan dalam bentuk persentase. Untuk variasi komposisi campuran (KC), rata-rata kadar air yang diperoleh adalah: KC1 sebesar 8,77%, KC2 sebesar

8,64%, KC3 sebesar 8,99%, KC4 sebesar 11,89%, dan KC5 sebesar 9,48%. Sementara itu, untuk variasi waktu pengeringan (WP) dengan metode yang sama, rata-rata kadar air yang diperoleh adalah: WP1 sebesar 4,95%, WP2 sebesar 7,79%, dan WP3 sebesar 15,46%. Untuk melihat data lengkap mengenai kadar air pada variasi komposisi campuran (KC) dan waktu pengeringan (WP), dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Hasil data pengujian komposisi campuran kadar air

Pengulangan	Kadar Air (%)				
	KC1	KC2	KC3	KC4	KC5
1	8.61	8.55	9.01	12.09	9,57
2	8.75	8.66	9.09	11.96	9,58
3	8.95	8.71	8.89	11.62	9,30
Rata-rata	8,77	8,64	8,99	11,89	9,48

Tabel 5. Hasil data pengujian waktu pengeringan kadar air

Pengulangan	Kadar Air (%)		
	WP1	WP2	WP3
1	4,85	7,93	15,29
2	5,02	7,95	15,94
3	4,99	7,48	15,15
Rata-rata	4,95	7,79	15,46

3.2. Kadar Abu

Pengujian kadar abu merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas briket. Pada penelitian ini, pengujian kadar abu untuk variasi komposisi campuran (KC) dan variasi waktu pengeringan (WP) dilakukan menggunakan metode gravimetri. Sampel dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan pada suhu 600°C. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk persentase, dengan setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan. Rata-rata kadar abu untuk variasi komposisi campuran (KC) adalah: KC1 sebesar 29,41%, KC2 sebesar 35,69%, KC3 sebesar 37,00%, KC4 sebesar 37,42%, dan KC5 sebesar 37,42%. Untuk variasi waktu pengeringan (WP), rata-rata kadar abu yang diperoleh adalah: WP1 sebesar 39,58%, WP2 sebesar 36,51%, dan WP3 sebesar 29,36%. Untuk melihat data lengkap mengenai kadar abu pada variasi komposisi campuran (KC) dan waktu pengeringan (WP), dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil data pengujian komposisi campuran kadar abu

Pengulangan	Kadar Abu (%)				
	KC1	KC2	KC3	KC4	KC5
1	28.81	35.94	36.82	37.73	37.98
2	29.68	35.57	37.31	37.55	37.23
3	29.74	35.57	36.87	36.99	37.05
Rata-rata	29,41	35,69	37,00	37,42	37,42

Tabel 7. Hasil data pengujian waktu pengeringan kadar abu

Pengulangan	Kadar Abu (%)		
	WP1	WP2	WP3
1	39,60	36,39	29,79
2	39,25	36,44	29,17
3	39,89	36,71	29,11
Rata-rata	39,58	36,51	29,36

3.3. Nilai Kalor

Mengetahui nilai kalor briket sangat penting karena menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan selama proses pembakaran [14]. Dalam penelitian ini, pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan bomb calorimeter tipe IKA C2000, dengan prosedur yang mengikuti Standar ASTM D5865/D5865M – 19. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata nilai kalor untuk variasi komposisi campuran (KC) diperoleh sebagai berikut: KC1 sebesar 6579,41 cal/g, KC2 sebesar 6489,04 cal/g, KC3 sebesar 6539,44 cal/g, KC4 sebesar 6399,24 cal/g, dan KC5 sebesar 6346,13 cal/g. Sementara itu, untuk variasi waktu pengeringan (WP), rata-rata nilai kalor yang diperoleh adalah: WP1 sebesar 6154,66 cal/g, WP2 sebesar 6528,45 cal/g, dan WP3 sebesar 6643,18 cal/g. Untuk melihat data lengkap mengenai nilai kalor pada variasi komposisi campuran (KC) dan waktu pengeringan (WP), dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9 sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil data pengujian komposisi campuran nilai kalor

Pengulangan	Nilai Kalor (cal/g)				
	KC1	KC2	KC3	KC4	KC5
1	6559.90	6396.29	6526.94	6399.16	6043,04
2	6575.67	6573.04	6506.16	6350.43	6468,66
3	6602.66	6497.80	6585.22	6448.12	6526,70
Rata-rata	6579.41	6489.04	6539.44	6399.24	6346,13

Tabel 9. Hasil data pengujian waktu pengeringan nilai kalor

Pengulangan	Kadar Abu (%)		
	WP1	WP2	WP3
1	6157,92	6553,93	6635,38
2	6163,66	6556,56	6646,60
3	6142,40	6474,87	6647,56
Rata-rata	6154,66	6528,45	6643,18

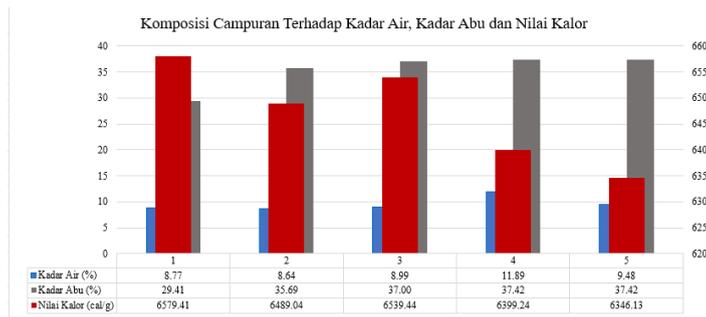
3.4. Analisis Hubungan Variabel

Berdasarkan pengujian, kadar air briket pada komposisi campuran (KC 1 hingga KC 5) berkisar antara 8% hingga 12%, dengan kadar air terendah pada KC 2 (8,64%) dan tertinggi pada KC 4 (11,89%). Kadar air yang lebih tinggi pada KC 4 disebabkan oleh peningkatan proporsi buah pinus, yang menyebabkan penurunan nilai kalor karena energi digunakan untuk menguapkan air sebelum menghasilkan panas [13]. Pada variasi waktu pengeringan (WP), WP1 memiliki kadar air terendah (4,95%) dan WP3 tertinggi (15,46%), dengan kecenderungan kadar air menurun seiring

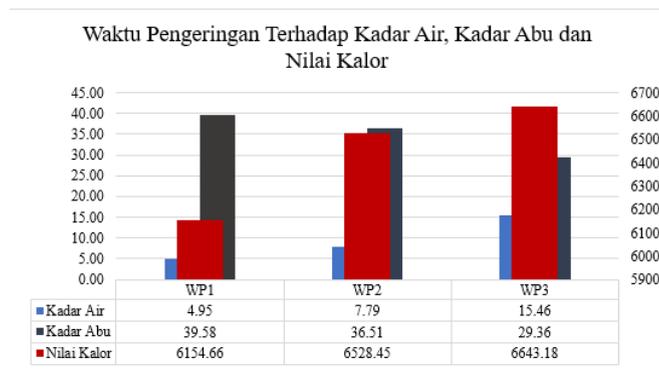
waktu pengeringan yang lebih lama [14]. Namun, peningkatan kadar air bisa terjadi karena sifat karbon yang menyerap kelembapan atau pengeringan yang tidak optimal [15].

Kadar abu terendah ditemukan pada KC 1 (29,41%) dan tertinggi pada KC 4 dan KC 5 (37,42%), dengan pengaruh signifikan dari penggunaan perekat tepung tapioka yang tidak mudah terbakar [16]. Pada variasi waktu pengeringan, kadar abu tertinggi pada WP1 (39,58%) dan terendah pada WP3 (29,36%), di mana waktu pengeringan yang lebih lama menurunkan kadar abu [17]. Kandungan pengotor pada bahan baku juga meningkatkan kadar abu [18].

Nilai kalor tertinggi tercatat pada KC 1 (6579,41 cal/g) dan terendah pada KC 5 (6346,13 cal/g), dengan penambahan cangkang sawit meningkatkan nilai kalor melalui proses torefaksi yang menambah kandungan karbon [18]. Pada variasi waktu pengeringan, WP3 memiliki nilai kalor tertinggi (6643,18 cal/g), sedangkan WP1 terendah (6154,66 cal/g), dengan peningkatan waktu pengeringan meningkatkan nilai kalor karena berkurangnya kadar air [19][20]. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 4. Waktu Pengeringan Terhadap Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalor



Gambar 2. Waktu Pengeringan Terhadap Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalor

3.5. Uji Hipotesis Statistik

Hasil uji ANOVA terhadap kadar abu pada variasi komposisi campuran, seperti yang ditunjukkan pada tabel 12, menunjukkan nilai F sebesar 224,10 dan P-value 0,0000000010. P-value yang sangat kecil (di bawah 0,05) menunjukkan hasil yang signifikan secara statistik, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak. Ini menandakan bahwa variasi komposisi campuran memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar abu pada briket. Pada uji ANOVA variasi waktu pengeringan (tabel 13), nilai F sebesar 903,82 dan P-value 0,0000000362 menunjukkan bahwa waktu pengeringan juga memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar abu, menandakan perbedaan signifikan antara kadar abu dari berbagai variasi waktu pengeringan.

Tabel 10. Hasil data pengujian ANOVA kadar air komposisi campuran

ANOVA Kadar Air Komposisi Campuran					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	21,6676	5,41691	208.08	0,0000000014
Error	10	0,2603	0,02603		
Total	14	21,9280			

Tabel 11. Hasil data pengujian ANOVA kadar air waktu pengeringan

ANOVA Kadar Air Waktu Pengeringan					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	177,298	88,6489	1036,56	0,0000000240
Error	6	0,513	0,0855		
Total	8	177,811			

Hasil uji ANOVA terhadap nilai kalor pada variasi komposisi campuran menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara komposisi yang diuji. Nilai F sebesar 1,71 dan P-value 0,223, yang jauh di atas ambang batas 0,05, menunjukkan bahwa variasi komposisi campuran tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kalor. Oleh karena itu, hipotesis nol (H_0) tidak ditolak. Sebaliknya, hasil uji ANOVA pada variasi waktu pengeringan menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan terhadap nilai kalor, dengan F sebesar 252,94 dan P-value 0,0000016105. Hal ini menunjukkan bahwa waktu pengeringan secara signifikan memengaruhi nilai kalor briket, sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak. Adapun hasil data pengujian ANOVA komposisi campuran dan waktu pengeringan terhadap nilai kalor dapat dilihat pada tabel 14 dan 15.

Tabel 12. Hasil data pengujian ANOVA komposisi campuran kadar abu

ANOVA Kadar Abu Komposisi Campuran					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F- Value	P-Value
Factor	4	140,100	35,0249	224,10	0.0000000010
Error	10	1,563	0,1563		
Total	14	141,662			

Tabel 13. Hasil data pengujian ANOVA waktu pengeringan kadar abu

ANOVA Kadar Abu Waktu Pengeringan					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	165,139	82,5694	903,82	0,0000000362
Error	6	0,548	0,0914		
Total	8	165,687			

Tabel 14. Hasil data pengujian ANOVA Komposisi Campuran nilai kalor

ANOVA Nilai Kalor Komposisi Campuran					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	112510	28128	1,71	0,223
Error	10	164284	16428		
Total	14	276795			

Tabel 15. Hasil data pengujian ANOVA Waktu pengeringan nilai kalor

ANOVA Nilai Kalor Waktu Pengeringan					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	391535	195768	252,94	0,0000016105
Error	6	4644	774		
Total	8	396179			

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian kadar air briket campuran cangkang kelapa sawit dan buah pinus menunjukkan bahwa variasi komposisi briket berpengaruh signifikan terhadap kadar air. KC 4 memiliki kadar air tertinggi sebesar 11,89%, sementara KC 2 terendah dengan 8,64%. KC1, KC2, KC3, dan KC5 memenuhi standar SNI nomor 1683:2021 untuk mutu kedua ($\leq 10\%$), sedangkan KC4 tidak. Pada variasi waktu pengeringan, kadar air terendah pada WP1 sebesar 4,95% dan tertinggi pada WP3 sebesar 15,46%, dengan hanya WP1 dan WP2 yang memenuhi standar SNI. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa variasi komposisi dan waktu pengeringan secara signifikan memengaruhi kadar air. Untuk kadar abu, komposisi KC menunjukkan kadar abu terendah sebesar 29,41% pada KC1, sementara KC4 dan KC5 memiliki kadar abu tertinggi (37,42%). Tidak ada variasi yang memenuhi standar SNI, karena kadar abu semua sampel melebihi batas $\geq 10\%$. Pada variasi waktu pengeringan, WP3 memiliki kadar abu terendah 29,36%, sementara WP1 tertinggi 39,58%, juga tidak memenuhi standar SNI. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa baik variasi komposisi maupun waktu pengeringan secara signifikan memengaruhi kadar abu. Pengujian nilai kalor menunjukkan bahwa KC1 memiliki nilai tertinggi sebesar 6579,41 cal/g, menjadikannya paling efisien dalam menghasilkan energi, sedangkan KC5 memiliki nilai terendah 6346,13 cal/g. Semua variasi memenuhi standar SNI untuk mutu kedua (6000–6500 cal/g). Pada variasi waktu pengeringan, WP3 memiliki nilai kalor tertinggi 6643,18 cal/g, sedangkan WP1 terendah 6154,66 cal/g, dan semuanya memenuhi standar SNI. Berdasarkan ANOVA, variasi komposisi tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai kalor, sementara variasi waktu pengeringan memberikan pengaruh signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan (LPPM-ITK) atas dukungan serta pembiayaan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92. <https://www.dosenpendidikan>.
- [2] Hantono, E. J. (2016). Pemanfaatan Bunga Pinus Dalam Pembuatan Papan Partikel Sebagai Bahan Dalam Pembuatan Produk Kerajinan (Studi Kasus : Hutan pinus di karangpucung , Cilacap , Jawa Tengah) Utilization Of Fine Flowers In The Manufacture Of Particle Board . *Art & Design*, 3(3), 1–7.
- [3] A.S. Silitonga dan H. Ibrahim. (2020). *Energi Baru & Terbarukan*. Jakarta: Deepublish.
- [4] PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk. (2022). *Obligasi Berkelanjutan IV SMART Tahap 1 Tahun 2022*. Jakarta.

- [5] Wijianti, E. (2017). *Briket Arang Berbahan Campuran Ampas Daging Buah Kelapa dan Tongkol Jagung*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 3. No. 1. p30-35.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2021) *Arang kayu*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- [7] Tjutju, N., Desviana, dan Sofyan, K. (2013). Tempurung Kelapa Sawit (TKS) Sebagai Bahan Baku Alternatif untuk Produksi Arang Terpadu dengan Pyrolegneous. *Jurnal Ilmu Teknologi Kayu Trop.*, Vol. 3, p39-44.
- [8] Kurniawan, O., dan Marsono. (2008). *Superkarbon "Bahan Bakar Alternatif Pengganti Minyak Tanah dan Gas"*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [9] Kuspradini, H., Rosamah, E., Sukaton, E., Arung, E., T., dan Kusuma, I. W. (2016). *Pengenalan Jenis Getah Gum-Lateks-Resin*. Samarinda: Mulawarman University Press.
- [10] Hidayati, N. R. (2018). *Briket dari Limbah Biomassa*. Dalam Teknologi Pemanfaatan Limbah. Magetan: CV. AE Media Grafika. p6.
- [11] Moeksin. R., Pratama, KGS. A. A., dan Tyani, D. R., (2017). *Pembuatan Briket Bioarang dari Campuran Limbah Tempurung Kelapa Sawit dan Biji Karet*. Jurnal Teknik Kimia, 23 (3). p146.
- [12] Purwanto, D. (2011). *Arang dari Limbah Tempurung Kelapa Sawit*. Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 29 (1), p57-66.
- [13] Nurhaji, Hmsina, Tang, M., & Gazali, A. (2020). karakteristik arang briket buah pinus/tusam (P. Merkusi Jungh. at de Vriese). *Saintis*, 1(1), 23–32.
- [14] Siagian & Ginting. (2013). Studi Pembuatan Briket Arang Dari Tanah Gambut Sebagai Solusi Praktis Pengganti Kayu Bakar. *JurPC*, 9–9. <https://doi.org/10.7328/jurpcb2013287124>
- [15] Yuriandala, Y. (2020). Pemanfaatan Sampah Organik (Kelapa Muda, Tulang Ikan Dan Limbah Udang) Di Kawasan Pantai Glagah Kulonprogo Yogyakarta. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 4(1), 32. <https://doi.org/10.31315/jmel.v4i1.3092>
- [16] Retnawati, E., Apriani, I., & Sulastris, A. (2023). Pemanfaatan Sampah Organik dan Serbuk Kayu Menjadi Biobriket sebagai Energi Alternatif. *Jurnal Dampak*, 20(1), 43. <https://doi.org/10.25077/dampak.20.1.43-48.2023>
- [17] Utomo, S. (2013) 'Komposisi Optimal Serbuk Kayu Gergaji Dan Oli Bekas Pada Pembuatan Briket Kayu', 2(september 2016), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/konversi.2.2.%25p>.
- [18] Alfernando, O., Lince Muis, Siti Junaida, Malem K. Ginting, & Muhammad Haviz. (2023). Analisis Pengaruh Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit (Palm Oil Shell). *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 21(2), 181–190. <https://doi.org/10.55893/jt.vol21no2.449>
- [19] Alfernando, O., Lince Muis, Siti Junaida, Malem K. Ginting, & Muhammad Haviz. (2023). Analisis Pengaruh Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit (Palm Oil Shell). *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 21(2), 181–190. <https://doi.org/10.55893/jt.vol21no2.449>
- [20] Radyantho, K. D., Qolbi, S. N., Manta, F., Suanggana, D., & Iskandar, M. (2023). Effect of adhesive variation on the characteristic of palm shells' biomass briquettes. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 8(4). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v8i4.18661>