Vol. 20 (1) 2026: 28-39
Jurnal Penelitian Kehutanan
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Jurnal MAKILA

Pengembangan Biopelet Berbasis Limbah Gagang Cengkih *(Syzygium Aromaticum)* dan Cangkang Kenari *(Canarium Indicum)* dengan Perekat Pati Singkong Sebagai Energi Alternatif

(Development of Bio-Pellets from Clove Stem (Syzygium aromaticum) Waste and Walnut Shell (Canarium indicum) Using Cassava Starch as a Binder for Alternative Energy)

Lasti Patresia Hutabarat[1*], Lydia R. Parera[2], & Sofia Mustamu[3]

[1]Program Studi Kehutanan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Ambon, Maluku 97233, Indonesia
[2]Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Ambon, Maluku 97233, Indonesia

Informasi Artikel:

Submission : 20 Januari 2026
Revised : 09 April 2026
Accepted : 18 Mei 2026
Published : 02 Juni 2026

***Penulis Korespondensi:**

Lasti Patresia Hutabarat
Program Studi Kehutanan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura
Jl. Ir. M. Putuhena, Desa Poka, Ambon, 97233, Indonesia
e-mail: *lastihutabaratpatresia@gmail.com*
Telp: +6282124970903

Makila 20 (1) 2026: 28-39

DOI:
https://doi.org/10.30598/makila.v20i1.23912

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Copyright ©2026 Author(s): Lasti Patresia Hutabarat, Lydia R. Parera & Sofia Mustamu
Journal homepage:
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila
Journal e-mail: makilajournal@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia faces serious challenges in meeting national energy demands due to heavy reliance on fossil fuels. The utilization of clove stems and walnut shells as bio-synthetic matrices with optimized binder thresholds represents an underexplored niche in biomass waste recycling. This study aims to evaluate the potential of these agricultural wastes as sustainable raw materials for bio-pellet production. A factorial framework based on a Completely Randomized Design (CRD) was adopted to examine five raw material configurations and two cassava starch binder concentrations (7% and 9%), yielding 10 treatment combinations with two replications. Observed parameters included moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, and calorific value. Results showed that a 50% clove stem and 50% walnut shell blend with 9% binder produced the optimum quality. This combination was characterized by low moisture content (7.63%), high fixed carbon (15.68%), and the highest calorific value of 4717.18 cal/g. Statistical analysis indicated that treatments had a highly significant effect on all observed parameters. This study demonstrates the strong potential of these agricultural wastes as renewable energy sources, effectively supporting energy diversification and waste reduction programs in Indonesia.

KEYWORDS*: *biopellet, clove stem, walnut shell, biomass, alternative energy

INTISARI

Indonesia menghadapi tantangan serius dalam memenuhi kebutuhan energi nasional akibat ketergantungan tinggi terhadap energi fosil yang bersifat tidak terbarukan dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan limbah biomassa, namun penggunaan cangkang kenari dan gagang cengkeh sebagai bahan baku dan variasi konsentrasi perekat masih jarang dikaji. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kedua potensi limbah pertanian sebagai bahan baku biopelet yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Metode penelitian menggunakan

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial, mengombinasikan 5 variasi komposisi serbuk (gagang cengkih dan cangkang kenari) dan dua tingkat konsentrasi perekat pati singkong (7% dan 9%), sehingga diperoleh 10 kombinasi perlakuan dengan dua ulangan. Parameter yang diamati meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi bahan 50% gagang cengkih dan 50% cangkang kenari dengan 9% perekat menunjukkan hasil terbaik dengan kadar air rendah (7,63%), karbon terikat tinggi (15,68%), dan nilai kalor tertinggi sebesar 4717,18 kal/g. Uji varians menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dari interaksi terhadap perubahan parameter yang diamati. Penelitian ini menunjukkan potensi limbah sebagai energi terbarukan, serta mendukung program diversifikasi energi dan pengurangan limbah pertanian di Indonesia.

KATA KUNCI: biopelet, gagang cengkih, cangkang kenari, biomassa, energi alternatif

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk salah satu negara yang masih sangat bergantung terhadap penggunaan energy fosil (Rahman *et al*, 2023). Konsumsi energi di Indonesia hingga saat ini masih sangat bergantung pada sumber energi fosil yang berkontribusi sekitar 92,3% terhadap bauran energi nasional. Sebaliknya, implementasi praktis dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT) saat ini masih relatif terbatas, terutama pada pemanfaatan residu biomassa lokal yang belum dikelola secara terintegrasi dan masif menyentuh angka 7,7%. Ketergantungan tinggi terhadap energi konvesional berimplikasi terhadap kerentanan krisis energi akibat keterbatasan sumber daya energi fosil, disamping itu juga kondisi ini memberikan dampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi karbon (Pang *et al*, 2024). Pemerintah menargetkan kontribusi EBT minimal sebesar 23% pada tahun 2025 sebagai sumber energi alternative yang tidak hanya berkelanjutan tetapi juga berbasis potensi lokal (Zaki dkk., 2020).

Pemanfaatan biomassa secara optimal memegang peranan krusial dalam menjamin ketahanan energi jangka panjang, mengingat sifatnya yang berkelanjutan dan ketersediaannya yang melimpah secara domestik (Antar *et al*, 2021). Biomassa merupakan material organik yang berasal dari organisme hidup yang dapat dikonversi menjadi bahan baku bioenergi terbarukan. Besarnya ketersediaan biomassa di Indonesia diperkirakan dapat mencapai 146,7 juta ton per tahun, sehingga berpeluang untuk mendukung pengembangan energi (Parinduri & Parinduri, 2020). Implementasi biomassa sebagai bahan baku bioenergi telah berkembang melalui berbagai bentuk seperti briket, biopelet maupun biogas. Ketiga bentuk energi ini memiliki karakteristik yang berbeda baik dari segi bahan baku, proses produksi maupun energi yang dihasilkan. Briket merupakan teknologi sederhana yang banyak digunakan pada skala rumah tangga, namun memiliki kelemahan dimana

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

nilai kalornya tidak stabil dan juga menghasilkan asap tebal yang dapat memberikan pengaruh terhadap lingkungan dan kesehatan (Rahmadani *et al*, 2017). Sementara itu, biogas memberikan dampak positif bagi lingkungan, namun dibatasi oleh keterbatasan pemanfaatan bahan baku yang dihasilkan dari penguraian bahan organik, termasuk limbah makanan, limbah cair maupun kotoran hewan, selain itu juga keterbatasan penyimpanan dan distribusi energi juga merupakan kendala dalam pemanfaatan biogas (Jameel *et al*, 2024). Pemanfaatan biomassa yang semakin mendapat perhatian adalah konversi limbah pertanian dan kehutanan menjadi biopelet. Biopelet merupakan bahan bakar padat hasil konversi biomassa menggunakan teknik densifikasi berbentuk silindris dengan diameter 10-12 mm serta ukuran panjang sekitar 6-25 mm (Damayanti dkk., 2017; Mustamu dkk., 2018).

Di wilayah Maluku, gagang cengkih dan cangkang kenari umumnya dikategorikan sebagai limbah agroindustri yang pemanfaatan belum dikembangkan secara masif. Gagang cengkeh umumnya diperoleh sebesar 5-10% dari cengkeh basah (Aryawati dan Nyuwito, 2017), sedangkan cangkang kenari dihasilkan sebesar 40-60% dari buah kenari (Jahanban-Esfahlan *et al*, 2020). Gagang cengkih mengandung minyak atsiri dengan komponen utama eugenol (83-95%) dan memiliki kandungan lignin sebesar 52,2%, sehingga berpotensi untuk meningkatkan nilai kalor (Gosavi *et al*, 2020; Safitri & Purnamawati, 2021). Sementara itu, cangkang kenari memiliki komposisi lignoselulosa yang kompleks dengan kandungan selulosa 36,8-42,5%, hemiselulosa 22,3-27,6%, dan lignin 25,4-30,2% (Pratama *et al*, 2021). Karakteristik gagang cengkeh dan cangkang kenari menjadikan keduanya sebagai kandidat potensial untuk produksi biopelet.

Penelitian tentang pemanfaatan limbah pertanian sebagai biopelet telah banyak dilakukan, namun belum ada kajian khusus mengenai kombinasi gagang cengkih dan cangkang kenari sebagai bahan baku biopelet. Ketiadaan kajian ini mengindikasikan adanya peluan penelitian yang perlu dikembangkan, khususnya dalam konteks optimalisasi limbah biomassa lokal berbasis potensi daerah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah tentang kelayakan kedua jenis limbah agorindustri tersebut dalam pembuatan biopelet yang memenuhi standar SNI 8021-2014 meliputi pengujian kadar air, persentase abu, kadar zat terbang (*volatile matter*), dan nilai kalor, serta mendukung program diversifikasi energi dan pengurangan limbah pertanian di Indonesia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi gagang cengkih dan cangkang kenari sebagai bahan baku pembuatan biopelet serta mengevaluasi karakteristik biopelet yang dihasilkan sebagai sumber energi alternatif yang memiliki gas hasil pembakaran lebih sedikit sehingga mamup mengurangi emisi gas rumah kaca (Mustamu *et al*. 2018)

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

METODE PENELITIAN

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Universitas Pattimura, Ambon, dan Laboratorium Terpadu Litbang Kehutanan Bogor pada bulan Maret sampai Juli 2025

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi gagang cengkih kering (GC), cangkang kenari kering (CK), dan perekat pati singkong. Alat yang digunakan meliputi timbangan digital, penggiling/*chopper*, ayakan Tyler 40 dan 60 *mesh*, cetakan pipa besi manual, oven pengering, *moisture analyzer*, tanur (*muffle furnace*), desikator, cawan porselen, *bomb calorimeter*, klem dan statif, serta *stopwatch*.

Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan eksperimental berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan 2 faktor untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing factor maupun interaksinya terhadap parameter yang diamati. Faktor A (komposisi serbuk) terdiri dari 5 taraf: a_1 (70% gagang cengkih + 30% cangkang kenari), a_2 (30% gagang cengkih + 70% cangkang kenari), a_3 (50% gagang cengkih + 50% cangkang kenari), a_4 (100% cangkang kenari), dan a_5 (100% gagang cengkih). Faktor B (konsentrasi perekat) terdiri dari 2 taraf: b_1 (7% perekat) dan b_2 (9% perekat). Dari total 10 kombinasi perlakuan yang dikembangkan, masing-masing dilakukan replikasi sebanyak dua kali sehingga diperoleh 20 unit percobaan. Model matematis yang digunakan adalah:

$$Yijk = \mu + \alpha i + \beta j + (\alpha\beta)ij + \varepsilon ijk \quad (1)$$

Keterangan: Yijk = nilai pengamatan pada perlakuan ke-i, ke-j, dan ulangan ke-k; μ = nilai rata-rata umum; αi = pengaruh faktor komposisi bahan (i=1,2,3,4,5); βj = pengaruh faktor konsentrasi perekat (j=1,2); (αβ)ij = pengaruh interaksi antara komposisi bahan dan konsentrasi perekat; εijk = kesalahan/galat perlakuan.

Prosedur Penelitian

Gagang cengkih dan cangkang kenari dibersihkan dari kotoran, debu, dan benda asing. Kedua bahan yang sudah bersih selanjutnya dijemur di bawah sinar matahari untuk menurunkan kandungan air dalam bahan. Setelah kering bahan tersebut dihancurkan menggunakan penggiling hingga menjadi serbuk halus. Serbuk kemudian diayak menggunakan ayakan Tyler 40 *mesh*, dan partikel yang lolos disaring kembali menggunakan ayakan 60 mesh hingga diperoleh ukuran partikel seragam antara 1-3 mm. serbuk yang dihasilkan selanjutnya ditimbang sebanyak 30 g untuk setiap perlakuan.

Perekat dibuat dari pati singkong yang dilarutkan dalam air panas sesuai konsentrasi perlakuan (7% dan 9% dari berat bahan), kemudian tambahkan serbuk gagang cengkih dan cangkang kenari untuk tiap perlakuan dan diaduk bersama-sama dengan larutan perekat hingga

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

membentuk adonan yang homogen. Campuran bahan dan perekat dimasukkan ke dalam cetakan pipa besi manual, lalu ditekan hingga padat dan berbentuk silinder sesuai ukuran biopelet.

Biopelet yang telah dicetak dikeringkan menggunakan oven pengering pada suhu 105°C selama kurang lebih 2 jam. Biopelet yang sudah kering disimpan dalam wadah tertutup untuk menghindari penyerapan kelembapan dari udara.

Parameter Pengamatan

Kadar Air: Diukur menggunakan oven *drying method* pada suhu 105°C selama 24 jam (Kumar *et al.,* 2021). Kadar Air (SNI 8021-2014) dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{BB - BKT}{BKT} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

BB = Berat sebelum dikeringkan dalam oven (g).

BKT = Berat setelah dikeringkan dalam oven (g)

Karbon Terikat: Penentuan persentase karbon terikat diperoleh dengan mengurangi kadar zat terbang dari total karbon biomassa (Setiawan *et al,* 2021). Merujuk pada regulasi SNI 8021-2014, perhitungan persamaan ini dapat dihitung dengan:

$$\text{Kadar Karbon Terikat (\%)} = 100 - (\%\ \text{air} + \%\ \text{kadar zat terbang} + \%\ \text{abu}) \quad (3)$$

Kadar Abu: Analisis kadar abu dilakukan melalui proses destruksi termal di dalam tanur pada temperatur konstan 750°C, di mana proses pemanasan diakhiri setelah diperoleh bobot residu yang stabil (Anwar dkk., 2021). Persentase kadar abu dapat dilakukan merujuk pada SNI 8021-2014 dengan rumus:

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{Berat\ Abu}{Berat\ sampel\ kering\ tanur} \times 100\ \% \quad (4)$$

Kadar Zat Terbang: Dihitung menggunakan metode termogravimetri pada suhu 950°C (Zainuddin *dkk.,* 2023). Kadar Zat Terbang (SNI 8021-2014) dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar Zat Terbang (\%)} = \frac{B - C}{W} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

B = Berat sampel setelah dikeringkan dari uji kadar air (g)

C = Berat sampel setelah dipanaskan dalam tanur (g)

W = Berat sampel awal sebelum pengujian kadar air (g)

Nilai Kalor: Diuji menggunakan bomb kalorimeter untuk menentukan efisiensi energi biopelet (Rahman *et al.,* 2022). Nilai kalor (SNI 8021-2014) dihitung dengan rumus:

$$\text{Nilai Kalor (kkal/kg)} = \frac{\Delta t \times W}{mbb} - B \quad (6)$$

Keterangan:

Δt = Perbedaan suhu rata-rata (°C)

W = Nilai air kalorimeter (kal/°C)

mbb = Massa bahan bakar (g)

B = Koreksi panas pada kawat besi (kal/g)

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Tabel 1. SNI 8021-2014

Parameter Uji	Satuan	Standar SNI 8021-2014
Kadar air	%	Maks. 12
Kadar abu	%	Maks. 1,5
Kadar Zat Terbang	%	Maks. 80
Nilai Kalor	Kal/g	Min. 4000
Karbon Terikat	%	Min. 14
Kerapatan	g/cm^3	Min 0,8

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa secara simultan interaksi kedua perlakuan memberikan pengaruh siginfikan ($p<0,05$) terhadap seluruh parameter kualitas biopelet, sehingga menunjukkan kedua faktor saling bergantung. Dari 10 kombinasi perlakuan yang diuji, sebagian besar biopelet yang dihasilkan mampu memenuhi standar mutu SNI 8021-2014 untuk parameter kadar air, karbon terikat, dan nilai kalor. Namun demikian, kadar abu masih menjadi tantangan, terutama pada perlakuan dengan dominasi cangkang kenari. Hasil pengujian karakteristik biopelet dapat dilihat pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Hasil Pengujian

Kode	Perekat	Bahan	Kadar air	Kadar Abu	Zat terbang	Karbon terikat	Nilai Kalor
a_1b_1	7%	GC 70 % + CK 30 %	11,04%	3,91%	77,87%	7,19%	4068,97 cal/g
a_1b_2	9%		13,63%	2,28%	82,63%	1,46%	3853,71 cal/g
a_2b_1	7%	GC 30 % + CK 70 %	8,612%	3,51%	77,15%	10,74%	4089,36 cal/g
a_2b_2	9%		8,612%	1,53%	75,17%	14,81%	4344,82 cal/g
a_3b_1	7%	GC 50 % + CK 50 %	7,84%	2,26%	75,63%	13,96%	4340,64 cal/g
a_3b_2	9%		7,63%	1,76%	74,83%	15,68%	4717,18 cal/g
a_4b_1	7%	CK 100 %	7,96%	2,56%	76,09%	13,4%	4306,90 cal/g
a_4b_2	9%		11,45%	4,74%	78,46%	5,36%	4049,22 cal/g
a_5b_1	7%	GC 100 %	8,16%	3,39%	77,12%	11,33%	4177,65 cal/g
a_5b_2	9%		11,64%	4,19%	82,46%	1,72%	4020,57 cal/g

Keterangan: a_1 = 70% gagang cengkih + 30% cangkang kenari; a_2 = 30% gagang cengkih + 70% cangkang kenari; a_3 = 50% gagang cengkih + 50% cangkang kenari; a_4 = 100% cangkang kenari; a_5 = 100% gagang cengkih; b_1 = perekat 7%; b_2 = perekat 9%; GC = gagang cengkih; CK = cangkang kenari.

Kadar Air

Struktur lignoselulosa cangkang kenari dengan lignin 25–30% menurunkan kapasitas ikat air (Pratama *et al*., 2021), sedangkan pada gagang cengkih yang memiliki sifat hidrofobik mampu memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar air (Safitri & Purnamawati, 2021). Gagang cengkeh yang mengandung minyak atsiri dan eugenol bersifat hidrofobik, namun secara struktural didominasi oleh selulosa dan hemiselulosa yang bersifat higroskopis karena adanya gugus -OH

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

yang mampu memberntuk ikatan hidrogen dengan molekul air, sehingga mampu meningkatkan kemampuan menyerap dan mempertahankan air (Safitri & Purnamawati, 2021).

Kadar air merupakan salah satu parameter penting yang memberikan pengaruh terhadap pembakaran biopelet (Hidayati *et al*, 2021). Kadar air berkisar antara 7,63-13,64%. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa faktor A (komposisi serbuk), faktor B (konsentrasi perekat), maupun interaksinya memberikan hasil yang sangat signifikan terhadap kadar air biopelet. Hasil uji BNJ menunjukkan perlakuan a_3b_2 (7,63%) menghasilkan kadar air terendah dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya (lihat **Tabel 2**).

Cangkang kenari yang bersifat hidrofobik dengan kandungan lignin tinggi berkontribusi menurunkan kadar air melalui reduksi jumlah gugus hidrofilik yang secara signifikan mengoptimalkan performa pembakaran, karena energi yang diperlukan untuk fase pengeringan (*drying phase*) menjadi minimal. Peningkatan konsentrasi perekat dari 7% menjadi 9% juga meningkatkan kadar air akibat sifat hidrofilik gugus hidroksil yang memerangkap air. Dengan demikian, hubungan interaksi perlakuan mampu menentujan kinerja pembakarannya, Dimana biopelet dengan kadar air lebih rendah cenderung memiliki waktu penyalaan lebih cepat, temperature pembakaran lebih tinggi, serta efisiensi energi yang lebih baik. Mengacu pada ambang batas yang ditetapkan oleh SNI pellet kayu, seluruh kombinasi perlakuan berada dibawah kadar air maksimal 12%. Hal ini sejalan dengan penelitian Mustamu *et al*, (2018) yang menyatakan bahwa kadar air yang tinggi akan mengakibatkan penurunan kualitas pembakaran biopelet.

Kadar Abu

Kadar abu merupakan salah satu parameter yang berasal dari sisa proses pembakaran biopelet dimana proses tersebut sudah tidak memiliki unsur karbon (Puri *et al*, 2024). Tingginya kadar abu pada cangkang kenari berkorelasi dengan kandungan mineralnya yang mencapai 10% (Leha & Dompeipen, 2018), sedangkan gagang cengkih memiliki fraksi abu lebih rendah (Sofihidayati & Wardatun, 2021).

Kadar abu berkisar antara 1,53-4,74%. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi perlakuan dari komposisi serbuk dan konsentrasi perekat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kadar abu biopelet. Perlakuan a_2b_2 (1,53%) menunjukkan nilai terendah dan paling mendekati standar SNI pellet kayu pada Tabel 1 yang mensyaratkan kadar abu maksimal 1,5%.

Tingginya kadar abu pada beberapa perlakuan disebabkan kandungan mineral tinggi dalam cangkang kenari (10%) dibanding gagang cengkih (4,44%) (Leha & Dompeipen, 2018; Sofihidayati & Wardatun, 2021). Peningkatan konsentrasi perekat menurunkan kadar abu karena fraksi abu pati singkong sangat kecil (0,13%). Kadar abu yang tinggi berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran karena menyebabkan kerak (*slagging*) pada tungku. Hasil ini sesuai dengan penelitian Anwar *et al*. (2021) yang menyatakan bahwa kadar abu yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor biopelet.

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Kadar Zat Terbang

Zat terbang dipengaruhi kandungan volatil biomassa seperti minyak atsiri pada gagang cengkih, sehingga tidak dilakukan karbonisasi menyebabkan volatil tetap tinggi karena meningkatkan suhu pengapian dan laju reaksi, penting untuk pembakaran yang efektif (Zhuikov *et al*, 2022). Kadar zat terbang berkisar antara 74,82-82,63%. Perlakuan a_3b_2 (74,82%) menunjukkan nilai terendah dan memenuhi standar SNI pellet kayu pada **Tabel 1** dimana nilai kadar zat terbang maksimal 80%. Peningkatan kandungan zat terbang pada beberapa perlakuan dapat dikaitkan dengan penggunaan serbuk biomassa yang tidak melalui tahap karbonisasi terlebih dahulu. Gagang cengkih dengan struktur poros dan kandungan volatil tinggi menghasilkan zat terbang lebih besar dibanding cangkang kenari yang padat dan ber-lignin tinggi.

Kadar zat terbang yang tinggi dapat mempercepat pembakaran awal, namun juga meningkatkan risiko pembentukan asap dan tar. Gobel (2021) menyatakan bahwa karbonisasi bertujuan menurunkan kadar zat terbang dan meningkatkan nilai kalor. Cangkang kenari yang memiliki kadar zat terbang lebih rendah dapat membantu menghasilkan biopelet dengan pembakaran stabil.

Karbon Terikat

Kandungan lignin tinggi pada cangkang kenari berkontribusi pada peningkatan karbon terikat (Parinduri & Parinduri, 2020; Mahdavi *et al*., 2018). Karbon terikat berkisar antara 1,46-15,68%. Perlakuan a_3b_2 (15,68%) menunjukkan nilai tertinggi dan memenuhi standar SNI pellet kayu yang menyatakan kadar karbon terikat minimum 14%. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi perlakuan komposisi serbuk dengan perekat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karbon terikat biopelet.

Cangkang kenari dengan kandungan lignin dan selulosa kristalin tinggi menghasilkan karbon terikat lebih besar karena volatil yang terlepas lebih sedikit, sehingga menurunkan fraksi karbon residu dikarenakan kadar karbon terikat memiliki perbandingan terbalik dengan kandungan volatile, selain itu juga dapat menyebabkan proses pembakaran lebih stabil (Yang *et al*, 2023). Sebaliknya, gagang cengkih dengan struktur poros dan kandungan volatil tinggi menghasilkan karbon terikat lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian Mahdavi *et al*. (2018) yang menyatakan bahwa kandungan lignin yang tinggi berkontribusi pada peningkatan karbon terikat.

Nilai Kalor

Nilai kalor tinggi pada biopellet dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur molekul penyusunnya, khususnya kandungan dari lignin pada cangkang kenari didukung struktur aromatik lignin yang kompleks dan minyak atsiri dari gagang cengkeh, sehingga saat proses pembakaran terjadi pemutusan ikatan yang menghasilkan pelepasan energi panas yang besar. (Mahendry *et al*, 2023; Pratama *et al*., 2021; Purwanto *et al*., 2022).

Kondisi ini menyebabkan proses pembakaran berlangsung lebih lambat, stabil, dan efisien, sehingga energi panas yang dihasilkan lebih optimal dan berkontribusi pada peningkatan nilai

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

kalor. Di sisi lain, gagang cengkih yang mengandung minyak atsiri berperan dalam meningkatkan reaktivitas awal pembakaran, karena senyawa volatilnya mudah terbakar dan mampu meningkatkan suhu awal pembakaran.

Nilai kalor berkisar antara 3853,71-4717,18 cal/g. Perlakuan a_3b_2 (4717,18 cal/g) menunjukkan nilai tertinggi dan sesuai standar SNI pellet kayu, dimana berdasarkan Tabel 1 nilai kalor minimum 4000 kal/g. Nilai kalor tinggi berkorelasi dengan kadar karbon terikat tinggi dan kadar air rendah. Lignin dalam cangkang kenari berkontribusi besar terhadap nilai kalor karena struktur aromatiknya yang kompleks dan tahan panas. Berbeda dengan lignin pada gagang cengkeh relatif lebih reaktif dan berkaitan dengan kandungan ekstraktif volatil yang lebih tinggi, sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan devolatilisasi selama pengolahan termal (Ridhuan *et al*, 2019).

Kombinasi antara kandungan lignin tinggi dari cangkang kenari dan minyak atsiri dari gagang cengkih, didukung oleh kadar air yang rendah serta kadar karbon terikat yang tinggi, menghasilkan sinergi yang optimal dalam proses pembakaran. Hal ini menjelaskan mengapa perlakuan a_3b_2 (50% gagang cengkih dan 50% cangkang kenari dengan 9% perekat) menghasilkan nilai kalor tertinggi, karena mampu mengintegrasikan kecepatan penyalaan awal dan kestabilan pembakaran lanjutan secara efisien.

Hasil uji BNJ menunjukkan bahwa perlakuan a_3b_2 berbeda nyata dengan hampir seluruh perlakuan lainnya. Kombinasi 50% gagang cengkih dan 50% cangkang kenari dengan 9% perekat menghasilkan sinergi optimal yang meningkatkan nilai kalor. Hal ini sesuai dengan penelitian Mahendry *et al* (2023) yang menyatakan bahwa biomassa dengan kandungan lignin tinggi cenderung memiliki nilai kalor yang lebih besar.

Perlakuan Terbaik

Berdasarkan analisis keseluruhan parameter, perlakuan a_3b_2 (50% gagang cengkih + 50% cangkang kenari dengan 9% perekat) merupakan kombinasi optimal yang memenuhi hampir seluruh parameter SNI 8021-2014. Perlakuan ini menghasilkan kadar air 7,63%, kadar abu 1,76%, zat terbang 74,82%, karbon terikat 15,68%, dan nilai kalor 4717,18 cal/g. Hanya kadar abu yang sedikit melebihi batas standar (1,76% vs 1,5%), namun kondisi ini masih dapat dioptimasi melalui pra-perlakuan bahan atau pengaturan penggunaan perekat. Perekat memiliki sifat higroskopis dan mudah terdegradasi secara termal, sehingga semakin tinggi konsentrasi perekat mampu meningkatkan kadar air dan kadar zat terbang yang mengakibatkan karbon terikat dan nilai kalor menjadi menurun (Ristianingsih *et al*, 2015).

Keberhasilan perlakuan a_3b_2 disebabkan adanya sinergi antara cangkang kenari yang memiliki kandungan lignin dan densitas tinggi dengan gagang cengkih yang lebih kaya senyawa volatil. Hasil uji statistik memperlihatkan bahwa a_3b_2 berbeda nyata dengan sebagian besar perlakuan lain, sehingga dapat disimpulkan bahwa kombinasi ini bukan hanya terbaik secara deskriptif, tetapi juga signifikan secara ilmiah. Dengan demikian komposisi 50:50 gagang cengkih dan cangkang kenari dapat dianggap sebagai formulasi biopelet yang paling mendekati standar

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

mutu SNI dan memiliki potensi terbesar untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif untuk kebutuhan rumah tangga.

Dalam mengatasi kelangkaan minyak tanah yang masih terjadi di beberapa wilayah khususnya di Maluku terutama akibat keterbatasan distribusi dan peralihan kebijakan energi, biopelet mampu memberikan solusi yang relevan dan aplikatif. Ketergantungan masyarakat terhadap minyak tanah sebagai bahan bakar rumah tangga dapat dikurangi dengan memanfaatkan biopelet berbasis limbah biomassa yang lebih mudah diperoleh secara lokal. Selain membantu menjaga ketahanan energi, pemanfaatan biopelet juga berpotensi menekan biaya energi rumah tangga serta mengurangi dampak lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil.

KESIMPULAN

Gagang cengkih dan cangkang kenari memiliki potensi besar sebagai bahan baku pembuatan biopelet yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Komposisi bahan dan konsentrasi perekat berpengaruh sangat nyata terhadap seluruh parameter kualitas biopelet yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor. Komposisi terbaik ditemukan pada campuran 50% gagang cengkih dan 50% cangkang kenari dengan 9% perekat (perlakuan a_3b_2), yang memberikan karakteristik fisikokimia paling optimal dengan kadar air rendah sebesar 7,63%, karbon terikat tinggi sebesar 15,68%, dan nilai kalor tertinggi sebesar 4717,18 kal/g. Sebagian besar perlakuan menghasilkan biopelet yang memenuhi standar mutu SNI 8021-2014 untuk parameter kadar air, karbon terikat, dan nilai kalor. Namun demikian, kadar abu masih menjadi tantangan pada beberapa komposisi dan perlu optimasi lebih lanjut, sehingga dibutuhkan penelitian lanjutan dengan melakukan eksplorasi variasi komposisi bahan baku dan jenis perekat yang berpotensi menurunkan residu mineral. Temuan ini membuktikan bahwa limbah pertanian berupa gagang cengkih dan cangkang kenari dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai sumber energi alternatif dalam bentuk biopelet, sekaligus mendukung pengurangan limbah dan transisi energi terbarukan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Teknologi Hasil Hutan Universitas Pattimura dan Laboratorium Terpadu Litbang Kehutanan Bogor yang telah menyediakan fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Antar, M., Lyu, D., Nazari, M., Shah, A., Zhou, X., & Smith, D. L. (2021). Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 139*, 110691. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110691

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Anwar, R., Setiawan, D., Pratama, A., & Wirawan, B. (2021). Pengolahan biomassa untuk bioenergi. *Jurnal Energi Terbarukan, 8*(2), 123–135.

Aryawati, F. M., & Nyuwito. (2017). Pengaruh perlakuan bahan dan massa daun cengkeh terhadap rendemen dan kualitas minyak dengan metode air dan uap. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Seri 7: Menuju Masyarakat Madani dan Lestari* (hlm. 142). Yogyakarta, Indonesia.

Damayanti, R., Wibowo, A., & Lestari, S. (2017). Pengaruh komposisi dan ukuran partikel terhadap kualitas biopelet dari limbah biomassa. *Jurnal Energi Terbarukan, 6*(2), 45–53.

Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2021). Pengaruh karbonisasi terhadap karakteristik tempurung kelapa berdasarkan uji proksimat dan nilai kalor. *Jurnal Mineral Energi dan Lingkungan*, 5(1), 48–54.

Gosavi, N. S., Koli, S. S., Jire, D. S., & Shaikh, A. Z. (2020). Clove (*Syzygium aromaticum*): A miraculous spice. *Asian Journal of Pharmacy and Health Research, 8*(5), 1–11. https://doi.org/10.46624/AJPHR.2020.V8.I5.001

Hidayati, N., Fikri, A., & Handayani, N. (2021). Pengaruh kadar air terhadap kualitas pembakaran biomassa. *Jurnal Teknologi Energi, 12*(1), 55–63.

Jahanban-Esfahlan, A., Jahanban-Esfahlan, R., Tabibiazar, M., Roufegarinejad, L., & Amarowicz, R. (2020). Recent advances in the use of walnut (*Juglans regia* L.) shell as a valuable plant-based bio-sorbent for the removal of hazardous materials. *RSC Advances, 10*(12), 7026–7047. https://doi.org/10.1039/C9RA10084A

Jameel, M. K., Mustafa, M. A., Ahmed, H. S., Mohammed, A. J., Ghazy, H., Shakir, M. N., Lawas, A. M., Mohammed, S. K., Idan, A. H., Mahmoud, Z. H., *et al*. (2024). Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review. *Results in Chemistry, 7*, 101549. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101549

Leha, M. C., & Dompeipen, E. J. (2018). Analisis kandungan kimia cangkang kenari (*Canarium indicum*) sebagai bahan baku alternatif. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 16*(2), 45–52.

Mahdavi, A., Ghoreyshi, A. A., Rahimpour, A., Younesi, H., & Pirzadeh, K. (2018). COD removal from landfill leachate using activated carbon synthesized from walnut shell. *Chemical Engineering Communications, 205*(9), 1193–1206.

Mahendry, S., Anggara, M., & Hidayat, A. (2023). Analisis karakteristik briket dari cangkang kemiri dan tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal Flywheel, 14*(2), 50–58. https://doi.org/10.36040/flywheel.v14i2.6964

Mustamu, S., Hermawan, H., & Pari, G. (2018). Karakteristik biopelet dari limbah padat kayu putih dan gondorukem (Characteristic of biopellet made of solid waste of cajuput and pine resin). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan, 36*(3), 191–204. https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.3.191-204

Pang, L., Liu, L., Zhou, X., Hafeez, M., Ullah, S., & Sohail, M. T. (2024). How does natural resource depletion affect energy security risk? New insights from major energy-consuming countries. *Energy Strategy Reviews, 54*, 101460. https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101460

Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *Journal of Electrical Technology, 5*(2), 88–92.

Pratama, R. A., Hidayat, A., & Sari, P. N. (2021). Karakterisasi kimia dan struktur lignoselulosa cangkang kenari (*Canarium indicum*) sebagai bahan baku biomassa. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan, 5*(2), 89–97.

Puri, L., Hu, Y., & Naterer, G. (2024). Critical review of the role of ash content and composition in biomass pyrolysis. *Frontiers in Fuels, 2*, 1378361. https://doi.org/10.3389/ffuel.2024.1378361

Purwanto, H., Rahardjo, B., & Lestari, D. (2022). Sifat termal dan nilai kalor biopelet berbasis limbah cengkih. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian, 13*(1), 55–63.

Rahmadani, R., Hamzah, F., & Hamzah, F. H. (2017). Pembuatan briket arang daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dengan perekat pati sagu (*Metroxylon sago* Rott.). *JOM Faperta UR, 4*(1), 1–11.

Rahman, A., Richards, R., Dargusch, P., & Wadley, D. (2023). Pathways to reduce Indonesia's dependence on oil and achieve longer-term decarbonization. *Renewable Energy, 202*, 1305–1323. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.051

Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses pembakaran pirolisis dengan jenis biomassa dan karakteristik asap cair yang dihasilkan. *Jurnal Turbo, 8*(1). https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura

Ristianingsih, Y., Ulfa, A., & Syafitri, R. K. S. (2015). Pengaruh suhu dan konsentrasi perekat terhadap karakteristik briket bioarang berbahan baku tandan kosong kelapa sawit dengan proses pirolisis. *Konversi, 4*(2), 16–22.

Safitri, Y. D., & Purnamawati, N. E. D. (2021). Perbandingan aktivitas antibakteri ekstrak metanol gagang dan bunga cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Jurnal Sains dan Kesehatan, 3*(3), 410–416.

Setiawan, E., Harahap, R., & Munandar, A. (2021). Analisis karbon terikat biomassa sebagai indikator kualitas pembakaran. *Jurnal Energi Biomassa, 9*(1), 33–40.

Sofihidayati, N., & Wardatun, S. (2021). Karakteristik fisik dan kimia gagang cengkeh (*Syzygium aromaticum*) sebagai bahan baku bioenergi. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian, 14*(1), 23–30.

Yang, L., Yungang, W., Tao, L., Li, Z., Yanyuan, B., & Haoran, X. (2023). High-performance sorbents from ionic liquid activated walnut shell carbon: An investigation of adsorption and regeneration. *RSC Advances, 13*, 22744–22757. https://doi.org/10.1039/D3RA03555G

Zainuddin, S., Hidayat, A., & Widodo, R. (2023). Pengaruh ukuran partikel dan densitas terhadap kualitas biopelet biomassa campuran. *Jurnal Energi dan Material, 7*(1), 14–22.

Zaki, M., Mamat, R., & Susanto, H. (2020). Potensi dan pemanfaatan biomassa untuk panas energi di Indonesia: Sebuah tinjauan. *Jurnal Energi Terbarukan, 9*, 331–344.

Zhuikov, A. V., Loginov, D. A., Mongush, G. R., Chicherin, S. V., & Zemlyansky, N. A. (2022). Thermogravimetric analysis of the combustion of Tuva coals before and after their carbonization. *IPolytech Journal, 26*(2), 270-283. doi: 10.21285/1814-3520-2022-2-270-283

e-ISSN: 2746 – 7155
p-ISSN: 1978 – 4996
®2026 Jurusan Kehutanan Universitas Pattimura