CHARACTERISTICS OF BIO-PELLETS MADE FROM CANANG WASTE AS AN ALTERNATIVE FUEL ACROSS VARIATIONS IN TAPIOCA ADHESIVE RATIOS AND DRYING TIMES

KARAKTERISTIK BIOPELET LIMBAH *CEPER* CANANG SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF PADA VARIASI PERBANDINGAN PEREKAT TAPIOKA DAN LAMA PENGERINGAN

Ni Kadek Diva Maharani , Farhatun Annisa, I Gusti Ayu Lani Triani*, Lutfi Suhendra
Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Kode pos: 80361; Telp/Fax: (0361) 701801

Diterima 28 Mei 2026 / Disetujui 19 Oktober 2026

ABSTRACT

The high intensity of religious rituals in Bali has increased organic waste volume, particularly canang waste. The ceper part of canang, made from young coconut leaves, has potential as a biomass source due to its high lignocellulosic content; however, its utilization as alternative energy remains limited. This study aimed to determine the effects of tapioca adhesive concentration and drying duration on the characteristics of bio-pellets from ceper canang waste, and to identify the best treatment according to SNI 8021-2014 standards. This study employed a factorial Randomized Block Design with two factors: tapioca adhesive ratio (10%, 20%, 30%) and drying duration (1, 2, 3 hours) at 90°C. Parameters observed included yield, moisture content, ash content, volatile matter content, density, and calorific value.Results showed that the interaction between adhesive concentration and drying duration significantly affected all bio-pellet characteristics. Yield values ranged from 50.25–81.00%, moisture content 2.50–7.20%, ash content 3.21–8.05%, volatile matter content 32.19–75.07%, density 0.630–0.843 g/cm³, and calorific value 2328.31–4150.54 cal/g. The best treatment was a combination of 30% adhesive concentration and 3 hours of drying (A3T3), producing 3.51% moisture content, 8.05% ash content, 61.22% volatile matter content, 0.843 g/cm³ density, and 4012.88 cal/g calorific value. Under this treatment, the bio-pellet characteristics met SNI 8021-2014 quality standards for moisture content, volatile matter content, density, and calorific value, although the ash content remained above the maximum threshold.

Keywords : *Biopelet, Ceper Canang, Tapioca Adhesive, Drying Duration, Renewable Energy*

ABSTRAK

Tingginya aktivitas ritual keagamaan di Bali berdampak pada peningkatan volume limbah organik, khususnya limbah canang. Bagian *ceper* canang yang terbuat dari janur memiliki potensi sebagai sumber biomassa karena kandungan lignoselulosanya yang tinggi, namun pemanfatannya sebagai energi alternatif masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perbandingan perekat tapioka dan lama pengeringan terhadap karakteristik biopelet limbah *ceper* canang serta menentukan perlakuan terbaik yang

[1]Korespondensi Penulis :
Email: lanitriani@unud.ac.id

sesuai dengan standar mutu SNI 8021-2014. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah perbandingan perekat tapioka (10%, 20%, dan 30%) dan faktor kedua adalah lama pengeringan (1 jam, 2 jam, dan 3 jam) pada suhu 90°C. Parameter yang diamati meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kerapatan, dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara perbandingan perekat dan lama pengeringan berpengaruh nyata hingga sangat nyata terhadap seluruh karakteristik biopelet. Nilai rendemen berkisar antara 50,25 – 81,00 kadar air 2,50 - 7,20%, kadar abu 3,21 - 8,05%, kadar zat terbang 32,19 -75,07%, kerapatan 0,630 - 0,843 g/cm³, dan nilai kalor 2328,31 – 4150,54 cal/g. Perlakuan terbaik diperoleh pada kombinasi perbandingan perekat 30% dan lama pengeringan 3 jam (A3T3) yang menghasilkan kadar air 3,51%, kadar abu 8,05%, kadar zat terbang 61,22%, kerapatan 0,843 g/cm³, dan nilai kalor 4012,88 cal/g. Karakteristik biopelet pada perlakuan ini telah memenuhi standar SNI 8021-2014 untuk parameter kadar air, kadar zat terbang, kerapatan, dan nilai kalor, meskipun kadar abu masih berada di atas ambang batas maksimal.

Kata kunci : Biopelet, *Ceper* Canang, Perekat Tapioka, Lama Pengeringan, Energi Terbarukan.

PENDAHULUAN

Provinsi Bali yang kaya akan tradisi ritual keagamaan dijuluki sebagai Pulau Seribu Pura, di mana tingginya intensitas upacara adat berdampak langsung pada penggunaan bahan upacara organik dalam jumlah masif, khususnya canang. Tingginya volume penggunaan canang ini menciptakan siklus produksi sampah organik yang konstan dan berakumulasi tanpa henti setiap harinya, sehingga menjadi persoalan lingkungan yang sangat serius (Putra et al., 2019). Data dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan (DLHK) Kota Denpasar menunjukkan bahwa sampah sisa persembahyangan rata-rata mencapai 2 hingga 3 kg per rumah tangga setiap hari, bahkan mengalami lonjakan drastis sebesar 20% hingga 30% pada saat hari raya besar seperti Galungan dan Kuningan (Suparta, 2021). Masalah pengelolaan ini menjadi kian kompleks di lapangan karena keterbatasan armada pengangkut seringkali menyebabkan tumpukan sampah meluber hingga ke badan jalan dan trotoar (Christiawan, 2021). Selama ini, metode yang sering diterapkan untuk menangani limbah organik tersebut adalah pengomposan, namun metode konvensional ini memiliki kendala besar karena memerlukan lahan yang sangat luas dan waktu proses pematangan yang lambat hingga berbulan-bulan, sehingga tidak mampu mengimbangi laju produksi sampah yang masuk setiap hari (Atmika dan Suryawan, 2022).

Sebagai solusinya, pemanfaatan biomassa limbah *ceper* canang menjadi biopelet menjadi strategi tepat di tengah tantangan pengelolaan sampah dan menipisnya cadangan energi fosil (Parinduri dan Parinduri, 2020). Berbeda dengan kompos, teknologi densifikasi biomassa ini mampu mereduksi volume sampah dalam hitungan jam dan mengubahnya menjadi bahan bakar padat berkerapatan energi tinggi serta stabil untuk skala rumah tangga (Yerizam et al., 2021). Penelitian ini memfokuskan pada bagian *ceper* (alas janur) karena kandungan selulosa dan ligninya lebih efektif berfungsi sebagai kerangka mekanis yang kuat agar biopelet yang dihasilkan solid dan berdurabilitas tinggi (Mustamu et al., 2018). Untuk mendukung kekuatan mekanis tersebut, digunakan perekat tepung tapioka yang tinggi amilopektin untuk mengikat antarpartikel tanpa menurunkan nilai kalor secara signifikan, di mana hasil fisik optimal ditemukan pada perbandingan 10% (Purwandari et al., 2022; Surya dan Wijanarko, 2024). Pentingnya rasio bahan baku dan keberadaan zat pengikat ini juga sangat menentukan integritas struktural pelet agar tidak mudah hancur (Cahyani et al., 2023).

Pengembangan biopelet dari biomassa lokal berskala luas memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar pendamping (co-firing) guna mendukung program dekarbonisasi nasional asalkan dikelola dengan parameter tepat yang memenuhi standar kualitas SNI 8021-2014

(Suhasman et al., 2024). Dalam menentukan efisiensi termal biopelet, variabel durasi pengeringan pada suhu 105°C memegang peranan kunci sebagai titik optimal untuk menekan kadar air seminimal mungkin sekaligus meningkatkan stabilitas pembakaran (Muazzinah et al., 2022). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh perbandingan perekat, lama pengeringan dan interaksi keduanya terhadap karakteristik biopelet dari limbah ceper canang, serta mendapatkan perlakuan perbandingan perekat, lama pengeringan dan interaksi keduanya, untuk menghasilkan biopelet dari limbah ceper canang dengan karakteristik terbaik, sesuai dengan SNI 8021-2014.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, limbah *ceper* canang (bagian *ceper* yang didapat dari TPS 3R di Pura Tirta Empul, yang sudah dalam keadaan tercacah, namun masih dalam keadaan basah), tepung tapioka (Rose brand) dan air.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, mesin pencacah, pisau pencacah, talenan, ayakan 20 mesh, nampan, sendok pengaduk, kompor (Miyako), wajan, sutil, alat pencetak biopelet (Taibao), timbangan analitik (Ohaus), *hot plate stirrer* (DLAB), gelas ukur (Iwaki), gelas beker (Iwaki), spatula, dehidrator (Getra), *volatile matter*, tanur (CM Furnaces), desikator (Belt-art), cawan petri, cawan porselen (PyreX), bom kalorimeter (IKA), jangka sorong (NSK), serta perangkat lunak Microsoft Excel 2019 dan Minitab 22 untuk analisis statistik ANOVA dan uji lanjut BNJ.

Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial yang terdiri dari dua faktor utama. Faktor pertama adalah perbandingan perekat terhadap limbah *ceper* canang (A) dengan tiga taraf, yaitu 10% (A1), 20% (A2), dan 30% (A3). Faktor kedua adalah lama waktu pengeringan (T) yang juga dibagi menjadi tiga taraf, meliputi 1 jam (T1), 2 jam (T2), dan 3 jam (T3). Dari kedua faktor tersebut, diperoleh 9 kombinasi perlakuan yang kemudian dikelompokkan ke dalam 2 kelompok berdasarkan waktu pengerjaan, sehingga total unit percobaan yang digunakan adalah 18 unit. Pengelompokan berdasarkan waktu ini dilakukan karena keterbatasan kapasitas alat di laboratorium yang tidak mampu memproses seluruh sampel sekaligus dalam satu waktu. Oleh karena itu, Kelompok I dikerjakan pada hari pertama dan Kelompok II dikerjakan pada hari berikutnya. Hal ini bertujuan untuk mengisolasi pengaruh variasi kondisi lingkungan harian (seperti suhu dan kelembapan udara) agar tidak memengaruhi validitas data perlakuan."

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan proses pembuatan biopelet limbah *ceper* canang diawali dengan pembuatan serbuk limbah *ceper* canang mengikuti prosedur yang dilakukan oleh Yulianidewi dan Putri (2022), dengan dimodifikasi. Dimulai dengan tahap pengecilan ukuran limbah *ceper* canang, yang dilakukan dalam dua fase, yaitu dicacah menggunakan mesin pencacah untuk mendapatkan potongan kasar, dan pencacahan manual menggunakan pisau pencacah guna memastikan ukuran partikel lebih halus dan seragam yaitu 20 mesh. Selanjutnya cacahan limbah *ceper* canang kemudian menjalani proses penyangraian hingga mengalami karbonisasi ringan yang ditandai dengan perubahan warna menjadi hitam. Proses ini diperkirakan memerlukan waktu ≤1 jam, yang bertujuan untuk mempermudah penghancuran sisa janur yang belum terfragmentasi sempurna sekaligus

mereduksi kadar zat terbang (*volatile matter*) guna meningkatkan kandungan karbon terikat (*fixed carbon*) (Suhasman et al., 2024).

Tahap berikutnya adalah pembuatan biopelet, dalam penelitian ini pembuatan biopelet mengikuti prosedur yang dilakukan oleh Lukmanto dan Banowati (2024), dengan dimodifikasi. Proses pembuatan biopelet diawali dengan persiapan bahan baku yaitu serbuk limbah *ceper* canang, kemudian disiapkan perekat tepung tapioka dengan perbandingan 10%,20%, dan 30% dari total berat bahan baku. Tepung tapioka dilarutkan dalam 60 ml air, kemudian dipanaskan dengan *hot plate stirrer* pada suhu 70ºC hingga mengental, untuk mengaktifkan sifat perekatnya. Perekat yang sudah siap ini kemudian dicampurkan dengan serbuk limbah *ceper* canang hingga homogen. Langkah berikutnya adalah pencetakan (*pelletizing*), di mana adonan homogen dicetak menggunakan cetakan manual berupa *stainless steel* yang dimodifikasi dan ditekan dengan tekanan 1-3 MPa (Megapascal) atau sekitar 10-30 bar hingga padat. Tahap akhir yang dimodifikasi adalah pengeringan akhir. Pelet yang sudah dicetak dikeringkan dalam dehidrator pada suhu 90ºC dengan memvariasikan lama pengeringan yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, untuk menghilangkan kadar air yang masih ada pada biopelet. Setelah proses pengeringan dan pendinginan, biopelet siap untuk diuji karakteristik kualitasnya.Pengujian karakteristik biopelet meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, dan nilai kalor sesuai dengan standar SNI 8021-2014

Penentuan perbandingan perekat tapioka dalam penelitian ini didasarkan pada total massa campuran yang ditetapkan secara konstan sebesar 50g untuk setiap unit percobaan. Variasi perbandingan perekat yang digunakan adalah 10%, 20%, dan 30% dari total massa, sehingga berat perekat yang ditambahkan masing-masing sebesar 5g, 10g, dan 15g (Surya dan Wijanarko, 2024). Untuk menjaga total massa tetap konsisten, berat serbuk limbah *ceper* disesuaikan menjadi 45g, 40g, dan 35g.

Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati pada penelitian biopelet limbah *ceper* canang, yaitu: rendemen (Suwadji dan Haris, 2018), kadar air (SNI 8021:2014 ≤ 12%), kadar abu (SNI 8021−2014 ≤ 1,5%), dan nilai kalor (SNI 8021−2014 ≥ 4000 cal/g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Perbandingan Perekat Tapioka, Waktu Pengeringan, dan Interaksi Keduanya terhadap Karakteristik Biopelet

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) dengan taraf selang kepercayaan 5% ($\alpha = 0,05$), asumsi dasar statistika parametrik telah terpenuhi di mana seluruh data berdistribusi normal dan memiliki varians ragam yang homogen. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa faktor perbandingan perekat tapioka (A), lama pengeringan (T), dan interaksi di antara keduanya (AxT) memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap karakteristik biopelet limbah *ceper* canang. Faktor perbandingan perekat dan lama pengeringan memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P<0,01$) terhadap seluruh variabel. Sementara itu, interaksi antara kedua faktor (AxT) juga menunjukkan pengaruh yang sangat nyata ($P<0,01$) dalam memengaruhi rendemen, kadar air dan nilai kalor biopelet, namun memberikan pengaruh nyata ($P<0,05$) terhadap parameter kadar abu. Di sisi lain, faktor kelompok dalam analisis ini menunjukkan pengaruh yang tidak nyata ($P>0,05$) terhadap seluruh variabel yang diamati, yang mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan atau media selama pengelompokan pengujian cenderung homogen dan tidak menimbulkan bias yang signifikan terhadap hasil perlakuan.

Rendemen

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf 5% dinyatakan valid karena seluruh data rendemen telah memenuhi prasyarat asumsi dasar statistika, yaitu berdistribusi normal dan memiliki varians ragam yang homogen. Hasil pengujian ANOVA menunjukkan bahwa faktor perbandingan perekat tapioka (A), lama pengeringan (T) dan interaksi antara kedua faktor memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap rendemen biopelet limbah *ceper* canang. Di sisi lain, faktor kelompok (*blok*) memberikan pengaruh yang tidak nyata ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat keragaman yang signifikan pada lingkungan atau media saat pengujian dilakukan, sehingga faktor kelompok tidak dibahas lebih lanjut karena seluruh variasi data murni bersumber dari perlakuan utama yang diuji. Nilai rata-rata rendemen biopelet dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai rata-rata rendemen biopelet (%) dalam variasi perbandingan perekat dan lama pengeringan

Lama Pengeringan (Jam)	Perbandingan Perekat (%)		
	A1 (10)	A2 (20)	A3 (30)
T1 (1)	$70,15 \pm 0,35^{bc}$	$77,00 \pm 0,28^{ab}$	$80,30 \pm 0,98^{a}$
T2 (2)	$64,10 \pm 0,42^{cd}$	$71,70 \pm 0,42^{b}$	$76,10 \pm 0,42^{ab}$
T3 (3)	$53,50 \pm 0,98^{d}$	$66,20 \pm 0,84^{cd}$	$71,50 \pm 0,42^{bc}$

Keterangan: Huruf yang berada di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada Uji BNJ dengan taraf kesalahan 5% ($p<0,05$)

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai rendemen biopelet limbah *ceper* canang berkisar antara 53,50% hingga 80,30%, dengan nilai tertinggi pada perlakuan A3T1 (80,30%) dan terendah pada A1T3 (53,50%). Hasil uji BNJ (5%) menempatkan A3T1 pada notasi tertinggi (A) dan A1T3 pada notasi terendah (D). Munculnya notasi yang saling tumpang tindih (*overlapping*) seperti AB, BC, dan CD menunjukkan bahwa penurunan nilai rendemen terjadi secara bertahap (*gradual*) karena selisih rata-rata antarperlakuan yang berdekatan lebih kecil dari nilai kritis uji BNJ. Fenomena ini juga mengindikasikan bahwa perlakuan dengan notasi ganda AB (A2T1 dan A3T2) secara statistik memiliki efektivitas yang setara dengan perlakuan terbaik (A3T1), sehingga potensial digunakan sebagai alternatif fungsional dalam produksi. Nilai rendemen meningkat seiring bertambahnya perbandingan perekat yang digunakan, dan menurun seiring bertambahnya lama pengeringan. Peningkatan rendemen tersebut terjadi karena tepung tapioka mampu bertindak sebagai bahan perekat yang mengikat partikel biomassa menjadi struktur yang lebih padat dan kompak, sehingga massa biopelet yang dihasilkan menjadi lebih besar (Damayanti et al., 2017). Pengeringan berpengaruh terhadap rendemen biopelet karena selama proses pengeringan terjadi penguapan air dari dalam biopelet. Semakin lama waktu pengeringan, semakin banyak kadar air yang hilang sehingga massa akhir biopelet menurun.

Kadar Air

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf 5% dinyatakan valid karena seluruh data kadar air telah memenuhi prasyarat asumsi dasar statistika, yaitu berdistribusi normal dan memiliki varians ragam yang homogen. Hasil pengujian ANOVA menunjukkan bahwa faktor perbandingan perekat tapioka (A), lama pengeringan (T) dan interaksi antara kedua faktor perlakuan (AxT) memberikan

pengaruh yang sangat nyata (P < 0,01) terhadap kadar air biopelet limbah *ceper* canang. Di sisi lain, faktor kelompok (blok) memberikan pengaruh yang tidak nyata (P > 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat keragaman yang signifikan pada lingkungan atau media saat pengujian dilakukan, sehingga faktor kelompok tidak dibahas lebih lanjut karena seluruh variasi data murni bersumber dari perlakuan utama yang diuji. Nilai rata-rata kadar air biopelet dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai rata-rata kadar air biopelet (%) dalam variasi perbandingan perekat dan lama pengeringan

Lama Pengeringan (Jam)	Perbandingan Perekat (%)		
	A1 (10)	A2 (20)	A3 (30)
T1 (1)	$5,72 \pm 0,02^{bc}$	$6,16 \pm 0,04^{b}$	$7,20 \pm 0,28^{a}$
T2 (2)	$4,34 \pm 0,08^{de}$	$5,23 \pm 0,04^{cd}$	$6,40 \pm 0,05^{ab}$
T3 (3)	$2,50 \pm 0,09^{g}$	$3,13 \pm 0,18^{f}$	$3,51 \pm 0,12^{ef}$

Keterangan: Huruf yang berada di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada Uji BNJ dengan taraf kesalahan 5% (p<0,05)

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai kadar air biopelet limbah *ceper* canang berkisar antara 2,50% hingga 7,20%, dengan nilai tertinggi pada perlakuan A3T1 (7,20%) dan terendah pada A1T3 (2,50%). Berdasarkan uji BNJ (5%), A3T1 menempati notasi tertinggi (A) sedangkan A1T3 berada pada notasi terendah (G). Terbentuknya notasi yang saling tumpang tindih (*overlapping*) seperti AB, BC, CD, DE, dan EF menunjukkan bahwa penurunan kadar air berlangsung secara *gradual* (bertahap) karena selisih rata-rata antarperlakuan yang berurutan lebih kecil dari nilai kritis pengujian. Sifat *overlapping* ini sekaligus memperlihatkan gradasi penurunan yang halus, di mana perlakuan dengan notasi ganda seperti AB (A3T2) secara statistik masih memiliki karakteristik mutu yang setara dengan perlakuan tertinggi (A3T1).

Nilai kadar air cenderung menurun seiring bertambahnya lama pengeringan, namun meningkat pada perbandingan perekat yang lebih tinggi. Peningkatan perbandingan perekat tapioka menyebabkan kadar air biopelet semakin tinggi. Hal ini terjadi karena sifat higroskopis tepung tapioka yang kuat dalam menyerap dan mengikat air, serta terbentuknya struktur gel akibat gelatinisasi pati yang mempersulit penguapan air (Damayanti et al., 2021). Selain itu, penggunaan perekat dalam jumlah tinggi menyebabkan ruang antarpartikel biomassa lebih banyak terisi oleh campuran pati dan air sehingga kadar air akhir biopelet menjadi lebih tinggi (Jannah et al., 2022). Semakin lama proses pengeringan, kadar air biopelet akan semakin menurun. Durasi pengeringan yang panjang mengoptimalkan evaporasi air bebas dan air terikat secara bertahap, sehingga menghasilkan biopelet yang lebih kering dan memiliki stabilitas mekanis yang baik (Muhakim et al., 2024). Kadar air yang rendah sangat krusial untuk meningkatkan kualitas pembakaran, menaikkan nilai kalor, dan meminimalkan asap (Halawa dan Harjanti, 2022). Seluruh hasil pengujian kadar air ini dinyatakan telah memenuhi standar kualitas SNI 8021:2014 (maksimal 12%).

Kadar Abu

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf 5% dinyatakan valid karena seluruh data kadar abu telah memenuhi prasyarat asumsi dasar statistika, yaitu berdistribusi normal dan memiliki varians ragam yang homogen. Hasil pengujian ANOVA menunjukkan bahwa faktor perbandingan perekat

tapioka (A), lama pengeringan (T) memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap kadar abu biopelet limbah *ceper* canang. Sementara itu, interaksi antara kedua faktor perlakuan (AxT) memberikan pengaruh yang nyata ($P < 0,05$) terhadap parameter ini. Di sisi lain, faktor kelompok (*blok*) memberikan pengaruh yang tidak nyata ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat keragaman yang signifikan pada lingkungan atau media saat pengujian dilakukan, sehingga faktor kelompok tidak dibahas lebih lanjut karena seluruh variasi data murni bersumber dari perlakuan utama yang diuji. Nilai rata-rata kadar abu dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai rata-rata kadar abu biopelet (%) dalam variasi perbandingan perekat dan lama pengeringan

Lama Pengeringan (Jam)	Perbandingan Perekat (%)		
	A1 (10)	A2 (20)	A3 (30)
T1 (1)	$3,21 \pm 0,01^{f}$	$5,09 \pm 0,15^{de}$	$7,12 \pm 0,16^{b}$
T2 (2)	$3,93 \pm 0,03^{ef}$	$5,95 \pm 0,07^{cd}$	$7,73 \pm 0,12^{ab}$
T3 (3)	$4,37 \pm 0,12^{ef}$	$6,71 \pm 0,12^{bc}$	$8,05 \pm 0,07^{a}$

Keterangan: Huruf yang berada di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada Uji BNJ dengan taraf kesalahan 5% ($p<0,05$)

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai kadar abu biopelet limbah ceper canang berkisar antara 3,21% hingga 8,05%, dengan nilai terendah pada perlakuan A1T1 (3,21%) dan tertinggi pada A3T3 (8,05%). Berdasarkan uji BNJ (5%), A3T3 menempati notasi tertinggi (A) sedangkan A1T1 berada pada notasi terendah (F). Munculnya notasi yang saling menyambung (*overlapping*) seperti AB, BC, CD, DE, dan EF menandakan bahwa penurunan kadar abu terjadi secara bertahap (*gradual*), karena selisih rata-rata antarperlakuan yang berurutan masih berada di bawah nilai kritis pengujian. Pola ini sekaligus memperlihatkan bahwa perlakuan A3T2 (notasi AB) secara statistik memiliki karakteristik yang masih setara dengan perlakuan tertinggi (A3T3).

Nilai kadar abu menunjukkan bahwa semakin tinggi perbandingan perekat dan semakin lama pengeringan, maka kadar abu biopelet cenderung meningkat. Penambahan proporsi tepung tapioka yang lebih tinggi berpotensi membawa sisa kandungan mineral atau komponen anorganik bawaan dari pati yang ikut terakumulasi di dalam biopelet saat pembakaran. Kedua, perpanjangan durasi pengeringan menyebabkan penguapan air bebas dan pengikisan senyawa volatil (zat terbang) di dalam matriks biopelet berlangsung secara massif (Yerizam et al., 2021). Akibatnya, persentase bobot komponen organik murni menyusut secara drastis, sehingga perbandingan material anorganik yang tidak dapat terbakar (fixed carbon dan mineral) menjadi relatif lebih padat dan tertinggal sebagai abu (Istiani et al, 2021).

Tingginya kadar abu pada biopelet limbah *ceper* canang dipengaruhi oleh kondisi bahan baku atau limbah yang berada dalam keadaan kotor dan belum dicuci, sehingga sangat rentan terkontaminasi oleh partikel debu dan tanah dari lingkungan sekitar, serta dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku janur kelapa yang mengandung unsur mineral seperti silika (Si), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan fosfor (P), yang akan tertinggal sebagai residu setelah proses pembakaran. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Istiani et al. (2021), selain karakteristik bahan baku penggunaan bahan perekat juga diduga berkontribusi terhadap peningkatan residu anorganik pada biopelet. Hasil ini didukung oleh penelitian Asri et al. (2022) yang melaporkan bahwa biopelet berbahan sekam padi memiliki kadar abu berkisar 6–16%, yang dipengaruhi oleh tingginya kandungan mineral pada bahan

baku.

Dibandingkan dengan SNI 8021:2014, kadar abu biopelet dipersyaratkan maksimum 1,5%, sehingga seluruh perlakuan pada penelitian ini belum memenuhi standar SNI karena menghasilkan kadar abu di atas batas yang ditetapkan.

Nilai Kalor

Hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada taraf 5% dinyatakan valid karena seluruh data nilai kalor telah memenuhi prasyarat asumsi dasar statistika, yaitu berdistribusi normal dan memiliki varians ragam yang homogen. Hasil pengujian ANOVA menunjukkan bahwa faktor perbandingan perekat tapioka (A), lama pengeringan (T) dan interaksi antara kedua faktor perlakuan (AxT) memberikan pengaruh yang sangat nyata ($P < 0,01$) terhadap nilai kalor biopelet limbah *ceper* canang. Di sisi lain, faktor kelompok (blok) memberikan pengaruh yang tidak nyata ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat keragaman yang signifikan pada lingkungan atau media saat pengujian dilakukan, sehingga faktor kelompok tidak dibahas lebih lanjut karena seluruh variasi data murni bersumber dari perlakuan utama yang diuji. Nilai rata-rata kadar zat terbang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai rata-rata nilai kalor biopelet (cal/g) dalam variasi perbandingan perekat dan lama pengeringan

Lama Pengeringan (Jam)	Perbandingan Perekat (%)		
	A1 (10)	A2 (20)	A3 (30)
T1 (1)	$3372,64 \pm 0,73^{de}$	$2530,24 \pm 0,37^{ef}$	$2328,73 \pm 0,59^{f}$
T2 (2)	$3846,27 \pm 0,21^{bc}$	$3610,35 \pm 0,13^{cd}$	$3449,25 \pm 0,49^{de}$
T3 (3)	$4150,54 \pm 0,50^{a}$	$4079,34 \pm 0,58^{ab}$	$4012,88 \pm 0,81^{b}$

Keterangan: Huruf yang berada di belakang nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang nyata pada Uji BNJ dengan taraf kesalahan 5% ($p<0,05$)

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai kalor biopelet limbah *ceper* canang berada pada rentang 2328,73-4150,54 cal/g. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada perlakuan A1T3, (4150,54 cal/g), sedangkan nilai terendah diperoleh pada perlakuan A3T1), (2328,73 cal/g). Berdasarkan uji BNJ (5%), perlakuan A1T3 menghasilkan rata-rata nilai kalor tertinggi (notasi A), sedangkan A3T1 memberikan nilai terendah (notasi F). Adanya notasi yang saling menyambung (*overlapping*) seperti AB, BC, CD, DE, dan EF menandakan bahwa penurunan nilai kalor terjadi secara bertahap (*gradual*), karena selisih rata-rata antarperlakuan yang berurutan masih berada di bawah nilai kritis pengujian. Pola ini sekaligus memperlihatkan bahwa perlakuan A2T3 (notasi AB) secara statistik masih memiliki kualitas nilai kalor yang setara dengan perlakuan tertinggi (A1T3).

Hasil ini menunjukkan konsistensi yang nyata dengan parameter proksimat lainnya, di mana peningkatan lama pengeringan hingga 3 jam (T3) menyebabkan penurunan kadar air secara signifikan yang berbanding lurus dengan peningkatan nilai kalor. Hal ini sejalan dengan penelitian Istiani et al. (2021) yang menyatakan bahwa semakin rendah kadar air dalam biopelet, maka semakin sedikit energi yang terbuang untuk menguapkan air saat pembakaran sehingga nilai kalornya akan meningkat secara optimal. Penurunan nilai kalor pada perbandingan perekat yang lebih tinggi (A3) berkaitan erat dengan peningkatan kadar abu dan karakteristik bahan pengikat. Perekat seperti tepung tapioka umumnya memiliki kerapatan energi yang lebih rendah dibandingkan bahan baku utama biomassa, sehingga penambahan yang berlebihan akan menurunkan potensi panas total secara keseluruhan

(Halawa dan Harjanti, 2022). Selain itu, tingginya kandungan anorganik dalam abu tidak memberikan kontribusi energi panas, yang justru menghambat efisiensi pembakaran.

Berdasarkan SNI 8021:2014 yang menetapkan batas minimal nilai kalor pelet kayu sebesar ≥4000 cal/g, maka hanya kelompok perlakuan dengan lama pengeringan 3 jam (T3) yang dinyatakan memenuhi standar.

Kombinasi Perlakuan Terbaik Perbandingan Perekat dan Lama Pengeringan Terhadap Karakteristik Biopelet

Perlakuan terbaik diperoleh pada kombinasi A3T3 (perekat 30% dan pengeringan 3 jam) karena menjadi perlakuan yang paling banyak memenuhi standar SNI 8021:2014 dibandingkan dengan seluruh perlakuan lainnya. Berdasarkan uji lanjut BNJ taraf 5%, keunggulan menyeluruh A3T3 ditunjukkan oleh capaian nilai tertinggi (notasi A) pada parameter krusial seperti kadar air (3,51%). Meskipun pada parameter nilai kalor (4012,88 cal/g) terdapat notasi yang tumpang tindih (*overlapping*), secara statistik perlakuan A3T3 tetap konsisten berada pada kelompok mutu teratas di setiap tabel pengujian.

Jika dikaitkan dengan SNI 8021:2014, keunggulan utama A3T3 adalah kemampuannya meloloskan hampir seluruh parameter uji ke dalam ambang batas standar. Kadar air sebesar 3,51% berada jauh di bawah batas maksimal SNI (12%), yang secara langsung mendongkrak efisiensi pembakaran sehingga nilai kalornya (4012,88 cal/g) berhasil melampaui batas minimum standar (≥4000 cal/G). Sinkronisasi antara hasil uji BNJ dan pemenuhan parameter SNI ini menegaskan bahwa kombinasi perekat 30% dan pengeringan 3 jam merupakan formula paling efektif untuk menghasilkan biopelet berkualitas.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan kesimpulan yaitu perbandingan perekat dan lama pengeringan berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen, kadar air, kadar abu dan nilai kalor biopelet limbah *ceper* canang. Interaksi antara perlakuan berpengaruh nyata terhadap kadar abu serta berpengaruh sangat nyata terhadap rendemen, kadar air, dan nilai kalor. Perlakuan terbaik diperoleh pada perbandingan perekat 30% dan lama pengeringan 3 jam, yang menghasilkan karakteristik biopelet sesuai dengan standar SNI 8021:2014, yaitu kadar air 3,51%, dan nilai kalor 4012,88 cal/g.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, perlakuan dengan perbandingan perekat 30% dan lama pengeringan 3 jam (A3T3) merupakan perlakuan yang memenuhi SNI 8021:2014, sehingga disarankan untuk menggunakan perbandingan perekat dan lama pengeringan tersebut agar diperoleh kualitas biopelet yang lebih baik. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengeksplorasi perlakuan pendahuluan (*pretreatment*) berupa pencucian atau perendaman limbah *ceper* guna mereduksi kadar abu hingga memenuhi standar SNI, sekaligus menguji penggunaan jenis perekat alternatif atau peningkatan tekanan kempa untuk mengoptimalkan kerapatan biopelet dengan perbandingan perekat yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

Asri, M., Kurniawan, E., dan Sylvia, N. 2022. Pemanfaatan limbah sekam padi sebagai bahan alternatif dalam pembuatan biopelet. *Chemical Engineering Journal Storage*, *2*(Juni), 57–65.

Atmika, I. G. N. A., dan Suryawan, G. P. (2022). Pengelolaan limbah banten sebagai sumber energi terbarukan dengan teknologi rdf berkualitas tinggi. *Jurnal Bakti Saraswati*, *11*(2), 97–106.

Cahyani, N., Yunianti, A. D., Suhasman., Pangestu, K. T. P., dan Pari, G. 2023. Characteristics of bio pellets from spent coffee grounds and pinewood charcoal based on composition and grinding method. *Journal of the Korean Wood Science and Technology, 51*(1), 23–37.

Christiawan, N. 2021. Pasca galungan volume sampah meningkat 30 persen. *Artikel Koran.* https://www.nusabali.com/berita/106335/pasca-galungan-volume-sampah-meningkat-30-persen.

Damanik, J. R. 2021. Pemanfaatan biomassa ampas kelapa dan ampas tebu sebagai alternatif bahan bakar terbarukan. *Skripsi*, 1–43.

Damayanti, A., Musfiroh, R., dan Andayani, R. 2021. The effect of tapioca flour adhesives to the biopellet characteristics of rice husk waste as renewable energy. *Earth and Environmental Science*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/700/1/012028

Lukmanto, A., dan Galuh, B. 2024. Karakteristik biopelet dari limbah biomassa tanaman dengan perekat tepung. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, *5*(1), 713–727. https://doi.org/10.47687/snppvp.v5i1.1151

Muazzinah, M., Meriatna, M., Bahri, S., Z, N., dan Ishak, I. 2022. Pemanfaatan limbah ampas kopi menjadi biomassa pelet (biopelet) sebagai sumber energi terbarukan. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, *2*(3), 85–94. https://doi.org/10.29103/cejs.v2i3.6518

Mustamu, S., Hermawan, D., dan Pari, G. 2018. Karakteristik biopelet dari limbah padat kayu putih dan gondorukem. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *36*(3), 191–204. https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.3.191-204

Mustamu, S., dan Parera, L. R. 2025. Pemanfaatan biopelet sebagai energi terbarukan ramah lingkungan untuk kesejahteraan masyarakat desa ureng. *Jurnal Abdi Insani*, *12*(2), 528–534. https://abdiinsani.unram.ac.id/index.php/jurnal/article/view/2166

Parinduri, L., dan Parinduri, T. 2020. Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan [*biomass conversion as a renewable energy source*]. *Journal of Electrical Technology*, *5*(2), 88–92. https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/2885/1918

Putra, I. M. D., Setiyo, Y., dan Sumiyati, S. 2019. Pengomposan sampah canang dengan model pengomposan di wadah berbentuk silinder. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, *8*(1), 79. https://doi.org/10.24843/jbeta.2020.v08.i01.p10

Suhasman, S., Andi, Y., Pangestu, D., Tirtayasa, K., dan Agussalim, P. 2024. Biopellets from four shrub species for co-firing in east Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology, 52*(6), 539–554.

Surya, V. A., dan Wijanarko, D. V. 2024. Pengaruh perekat tapioka terhadap kualitas biopelet dari campuran tongkol jagung, ampas tebu, dan ampas kopi. *Jurnal Teknik Mesin*, *12*(02), 39–44.

Suparta, I. K. 2021. Dinas lingkungan hidup Kota Denpasar sebutkan usai galungan sampah naik 30 persen. *Artikel Koran*. https://bali.antaranews.com/berita/258157/dlhk-denpasar-sebutkan-usai-galungan-sampah-naik-30-persen.

Yerizam, M., Zaman, M., Jauhari, T., dan Yuli, N. 2021. Production of bio-pellet briquettes from coconut shell waste as alternative energy for household scale. *Atlantis Highlights in Engineering, 7*, 57–61.

Yolanda, R. W. P. 2021. Uji kinerja mesin pencetak pelet dalam menghasilkan biopelet campuran serbuk gergaji dan cangkang kelapa sawit. *Skripsi*

Yulianidewi, N.W., dan Karunia P. L. P. M. 2022. Pembuatan biopelet sebagai wujud implementasi konsep Tri Hita Karana. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *14*(2), 169–175.