

ANALISIS KOMPOSISI MATERIAL BERBAHAN ECENG GONDOK TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPELET

*Sentono Wahyu Prasajo, Norman Iskandar², Muchammad³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +622116141621

*E-mail: sentono.tartakoff@gmail.com

Abstrak

Non-renewable energy yang sangat terbatas, seiring berjalannya waktu ketersediannya terus berkurang sehingga nantinya tidak dapat diperbarui Kembali. Oleh karena itu, perlu adanya renewable energy untuk mengatasi hal tersebut. Salah satunya adalah pembuatan biopelet, biopelet merupakan salah satu energi alternatif bersifat renewable yang berasal dari biomassa. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik dari kualitas biopelet berbahan eceng gondok Komposisi campuran yang digunakan yaitu serbuk eceng gondok, tepung tapioka, dan air. Pembuatan biopelet menggunakan mesin *flat die pellet mill* dengan kecepatan mesin yang digunakan 1700 rpm. Hasil pengujian karakteristik biopelet berbahan eceng gondok untuk kadar air nilainya 7,64%, kadar abu 12,85%, kadar zat terbang 63,31%, kadar karbon terikat 16,21%, densitas 1,16%, dan nilai kalor 3972 kal/g. Biomassa berbahan eceng gondok masih kurang efektif untuk dijadikan biomassa dikarenakan nilai kalornya yang masih di bawah standar SNI 8021:2014 dan masih banyak biomassa lain yang lebih unggul nilai kalornya dibanding dengan biomassa berbahan eceng gondok.

Kata kunci: biomassa; eceng gondok; nilai kalori

Abstract

Non-renewable energy which is very limited, over time its availability continues to decrease so that later it cannot be renewed. Therefore, it is necessary to have renewable energy to overcome this. One of them is the manufacture of biopellets, biopellets are one of the alternative renewable energies that come from biomass. The purpose of this study was to determine the characteristics of the quality of biopellets made from water hyacinth. The composition of the mixture used was water hyacinth powder, tapioca flour, and water. Making biopellets using a flat die pellet mill machine with a machine speed of 1700 rpm. The results of testing the characteristics of biopellets made from water hyacinth for water content are 7,64%, ash content is 12,85%, volatile content is 63,31%, bound carbon content is 16,21%, density is 1,16%, and calorific value is 3972 cal. /g. Biomass made from water hyacinth is still less effective to be used as biomass because its calorific value is still below the standard of SNI 8021:2014 and there are many other biomass which have superior calorific value compared to biomass made from water hyacinth.

Keywords: biomass; calorific value; water hyacinth

1. Pendahuluan

Salah satu penggerak utama roda perekonomian nasional yaitu energi. Konsumsi penggunaan energi seiring waktu terus meningkat di berbagai sektor, seperti listrik, industri dan transportasi. Batubara merupakan salah satu contoh sumberdaya energi fosil yang menjadi kebutuhan energi. Dikarenakan merupakan energi tak terbarukan, sumber daya energi fosil seiring berjalannya waktu akan habis [1]. Sistem pasokan energi nasional khususnya batubara akan ditingkatkan, namun penggunaan batubara sebagai pembangkit energi memiliki suatu kendala, yakni dihasilkannya emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab pemanasan global yang marak diperdebatkan. Salah satu cara mengurangi emisi gas tersebut yaitu dengan pembakaran co-firing batubara-biomassa [2].

Produksi permintaan biomassa dari tahun ke tahun selalu meningkat dari yang tadinya 16 juta menjadi 14 juta metric ton/tahun. Pada tahun 1970, kontribusi biomassa sebagai sumber pasokan energi terbarukan mendapat perhatian yang cukup besar di seluruh dunia karena dirasakan kebutuhan mendesak untuk swasembada energi yang berkelanjutan. Pada umumnya biomassa yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan hasil ekstraksi produksi primer. Potensi biomassa yang bersumber dari kayu antara lain: limbah penggergajian kayu, limbah plywood, dan limbah logging [3]. Selain ketersediannya yang melimpah di Indonesia, biomassa dari kayu juga tidak menyebabkan dampak negatif pada lingkungan [4].

Keuntungan dari biomassa yaitu sifatnya yang renewable (dapat diperbarui) dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sehingga menjadi salah satu solusi dari pemanasan global. Biomassa jika dibakar secara langsung tanpa proses pengolahan memiliki nilai densitas bulk dan nilai kalor yang rendah, serta kadar emisi polutan yang tinggi. Untuk mengolah biomassa sendiri harus diperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh pada segi pembakaran agar mendapatkan hasil yang optimal. Komposisi dari bahan baku sebagian besar menjadi pengaruh dari karakteristik pembakaran biomassa [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakterisasi biopelet yang dihasilkan dengan bahan eceng gondok yang kemudian disesuaikan dengan standar SNI 8021:2014. Dengan adanya penelitian ini diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam penelitian selanjutnya dalam upaya pengembangan dan pemanfaatan serat alam untuk membuat biopelet sebagai bahan bakar.

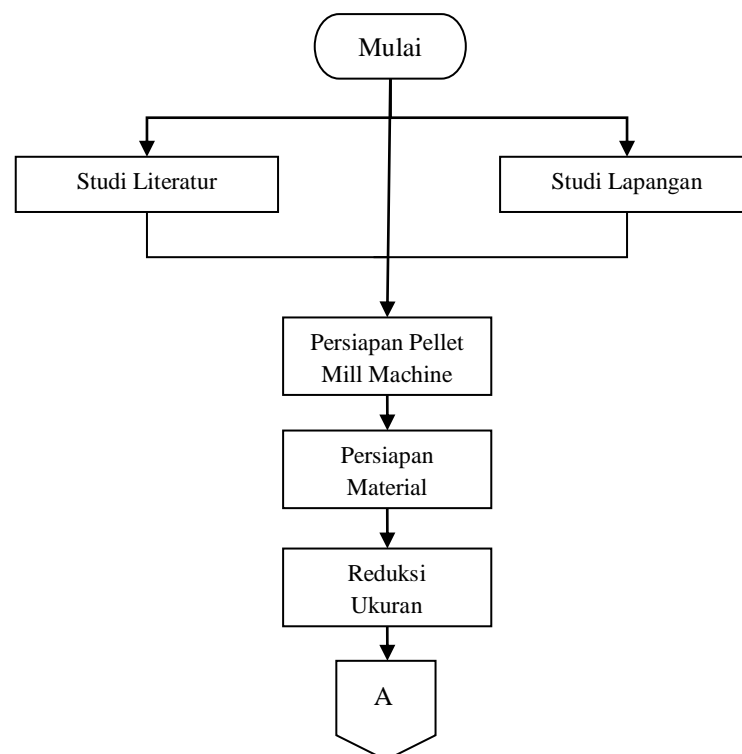
2. Bahan dan Metode Penelitian

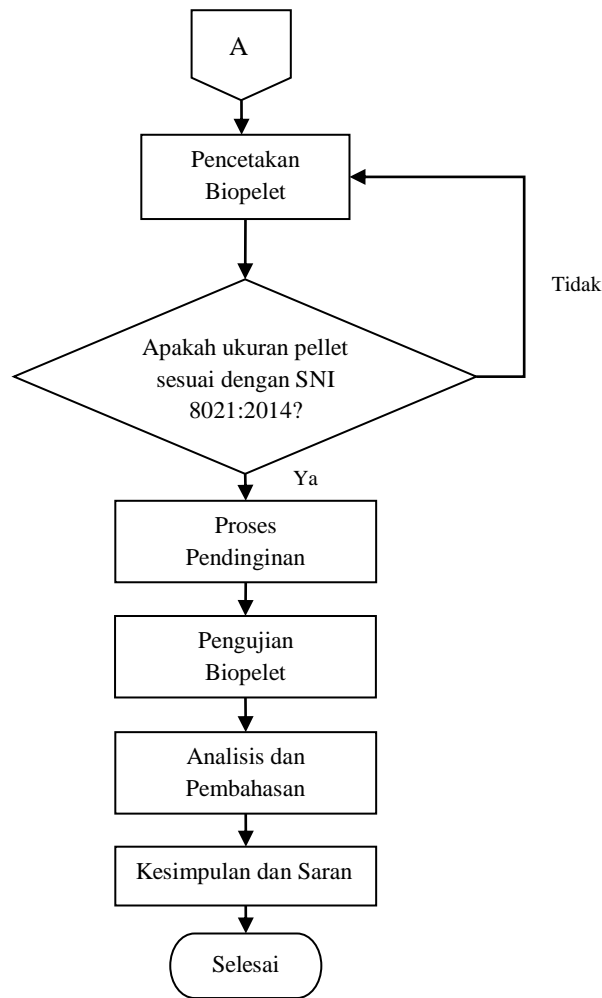
2.1. Eceng Gondok

Pada penelitian ini, material biomassa yang digunakan adalah limbah eceng gondok bagian batangnya. Eceng gondok memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi sehingga kerap dianggap sebagai gulma yang merusak lingkungan perairan. Hal tersebut dapat menyebabkan terganggunya transportasi lingkungan di perairan, menutupi permukaan sungai, dan penyempitan sungai. Untuk mengatasi hal tersebut, limbah eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai alternatif energi dengan pembuatan biomassa. Limbah eceng gondok ini dapat ditemukan di wilayah Rawa Pening, Semarang, Jawa Tengah. Di mana pada wilayah tersebut banyak didapati eceng gondok yang mengganggu lingkungan perairan. Hal itu diungkapkan saat peluncuran program Pembangunan Pariwisata Kabupaten Semarang dengan Menyelamatkan Sumber Air Danau Rawa Pening di Agrowisata pabrik PT Sido Muncul, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Pada wilayah tersebut juga didapati kerajinan yang menggunakan bahan dasar eceng gondok, sehingga eceng gondok sangat berlimpah ruang di daerah tersebut. Pembuatan biopelet dari bahan baku eceng gondok diharapkan dapat mengatasi permasalahan lingkungan dan kelangkaan bahan bakar [6].

2.2. Alur Penelitian

Penelitian dibagi ke dalam tiga tahap yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap pengujian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 2.

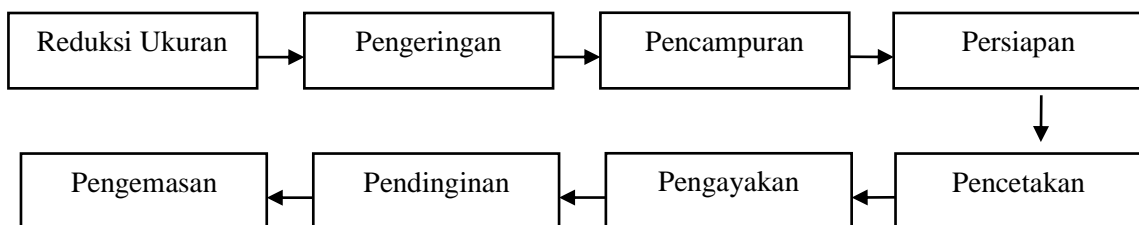




Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3. Proses Pencetakan

Pada tahap persiapan dilakukan dengan mempersiapkan berbagai kebutuhan untuk proses pencetakan, mulai dari melakukan studi literatur dan studi lapangan mengenai masing-masing material yang dibutuhkan. Setelah itu dilakukan reduksi ukuran untuk pencetakan biopelet, penjelasan proses reduksi ukuran dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Proses Pencetakan Biopelet

2.3.1. Reduksi Ukuran

Eceng gondok diperkecil ukurannya dengan mesin pencacah. Setelah diperkecil menggunakan mesin pencacah, kedua bahan biomassa diayak menggunakan mesh 20.

2.3.2. Pengeringan

Serbuk eceng gondok dan kayu putih yang lolos mesh kemudian dikeringkan selama 6 jam di bawah sinar matahari. Setelah dikeringkan kedua serbuk tersebut disimpan pada kondisi yang tidak terkena udara dingin maupun panas untuk menjaga homogenitas bahan.

2.3.3. Pencampuran Bahan

Serbuk yang sudah dikeringkan dicampur dengan tepung tapioka sebesar 10% dari bahan biomassa. Pencampuran dilakukan setiap variasi persentase komposisi bahan. Komposisi serbuk eceng gondok ditimbang 500 gram dan dicampur dengan tepung tapioka 50 gr dan air 100 ml. Proses pencampuran dibantu dengan menggunakan alat mixer yang dilakukan selama 5 menit.

2.3.4. Persiapan

Pada die mesin pelet mill dipastikan terlebih dahulu sudah bersih dan tidak ada sisa bahan yang ada pada mesin pencetak pelet, agar saat pencetakan biopelet tidak mempengaruhi tiap variasinya. Tujuan lainnya juga untuk menghindari selip pada die mesin pelet mill. Apabila masih tersisa bahan pada lubang die dilakukan pembersihan dahulu dengan menggunakan bor. Setelah mesin pencetak pelet dibersihkan, atur jarak pada gap antara roller dan die dengan jarak 1 mm.

2.3.5. Pembuatan Pelet

Mesin diesel dan mesin pencetak pelet yang sudah tersambung dengan belt dinyalakan dan diatur pada kecepatan 1700 rpm, pengukuran kecepatan menggunakan alat tachometer. Setelah itu, bahan biomassa yang sudah dicampur dengan binder dimasukkan ke dalam mesin pencetak pelet. Campuran bahan biomassa dimasukkan secara berkala sampai sudah tidak ada pelet yang keluar dari mesin pencetak.

2.3.6. Pengayakan

Pengayakan dilakukan untuk memisahkan serbuk-serbuk yang masih tertinggal setelah pelet sudah dihasilkan.

2.3.7. Pendinginan

Pada proses pemadatan pelet, akan timbul panas yang diakibatkan gesekan antara roller dan die, oleh karena itu diperlukan proses pendinginan agar pelet yang disimpan tidak menguap. Pada proses ini pelet didinginkan pada suhu kamar. Pelet harus diletakkan pada keadaan yang terbuka, karena pelet yang diletakkan pada keadaan yang tertutup akan mengakibatkan jamur pada permukaan pelet.

2.3.8. Pengemasan

Pelet yang sudah disimpan pada keadaan suhu kamar kemudian disimpan pada ruang yang sejuk untuk menjaga kualitas pelet.

2.4. Pengujian Biopelet

Karakterisasi pelet merupakan sifat yang dihasilkan bahan biomassa yang sudah dipadatkan yang kemudian diuji sesuai parameter-parameter yang sudah ditentukan oleh BSN. Karakterisasi biopelet meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon terikat, densitas, dan nilai kalori yang dihasilkan. Untuk mendapatkan karakterisasi biopelet dilakukan pengujian yang dilakukan di laboratorium Pusat Antar Universitas (PAU) Universitas Gadjah Mada.

2.4.1. Kadar air

Kadar air merupakan kandungan air pada bahan bakar padat. Semakin besar kadar air yang terdapat pada biopelet, maka nilai kalor yang dihasilkan semakin kecil, begitu juga sebaliknya. Tekanan yang tinggi saat proses pencetakan biopelet akan membuat biopelet menjadi semakin padat dan memiliki kerapatan tinggi sehingga partikel biomassa akan mengisi ruang yang kosong serta menurunkan molekul air [7]. Nilai kadar air dengan standar SNI 8021:2014 mensyaratkan nilai maksimumnya, yakni 12%.

2.4.2. Kadar Abu

Kadar abu merupakan mineral yang tidak dapat terbakar tertinggal setelah proses pembakaran dan reaksi-reaksi yang menyertai. Kandungan abu dapat diukur dengan menggunakan nilai kalor. Abu yang dihasilkan dari sisa pembakaran tidak bisa terbakar lagi sehingga memerlukan penanganan khusus untuk memanfaatkan abu tersebut. Semakin rendah nilai kadar abu maka biopelet yang dihasilkan semakin baik. Abu cenderung dapat menyebabkan karat dalam proses pembakaran sehingga abu menjadi kendala pada bahan bakar dikarenakan tidak dapat bereaksi atau terbakar sehingga akan terjadi penumpukan abu didasar boiler atau terbang bersama gas [8]. Nilai kadar abu dengan standar SNI 8021:2014 mensyaratkan nilai maksimumnya yakni 1,5%.

2.4.3. Kadar Zat Terbang

Kadar zat terbang sering disebut zat menguap yang berpengaruh terhadap pembakaran biopellet. Semakin banyak kandungan zat terbang pada biopellet maka biopellet semakin mudah terbakar dan menyala. Kadar zat terbang didefinisikan persentase berat yang hilang saat biopellet dipanaskan tanpa udara luar dari jumlah air percontohan (SNI 8021, 2014). Semakin rendah nilai kadar zat terbang maka jumlah asap yang dihasilkan semakin sedikit [9]. Nilai kadar zat terbang dengan standar SNI 8021:2014 mensyaratkan nilai maksimalnya yakni 80%.

2.4.4. Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat pada karbon aktif dipengaruhi oleh variasi kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Pengukuran karbon tetap menunjukkan berapa banyak padatan yang dapat dibakar setelah menghilangkan padatan. Semakin tinggi nilai kandungan karbon terikat maka biopellet yang dihasilkan semakin baik dan sebaliknya [8].

2.4.5. Densitas

Densitas merupakan perbandingan antara massa biopellet dengan volume biopellet. Densitas adalah kemampuan ketahanan biopellet dalam menahan tekanan luar sehingga menyebabkan biopellet tersebut pecah atau hancur. Nilai densitas yang tinggi pada biopellet dapat memudahkan dalam hal penyimpanan dan distribusi biopellet. Semakin tinggi nilai densitas maka semakin baik pula kualitas biopellet. Nilai densitas biopellet yang tinggi dapat memudahkan dalam hal penyimpanan, penanganan, dan transportasi biopellet. Densitas dengan standar SNI 8021:2014 mensyaratkan nilai minimalnya yakni 0,8 g/cm³.

2.4.6. Nilai Kalor

Parameter utama mutu biopellet dan yang paling menentukan efisiennya bahan bakar adalah nilai kalor [10]. Nilai kalor didefinisikan sebagai panas yang dilepas dari kuantitas unit bahan bakar (massa) yang di mana produknya dinyatakan dalam bentuk gas CO₂, Nitrogen, SO₂, ash, dan air.. Nilai kalor dengan standar SNI 8021:2014 mensyaratkan nilai maksimalnya yakni 4000 kal/g. Semakin tinggi nilai kalor maka kualitas bahan bakar biopellet juga semakin baik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Geometri Biopellet

Biopellet dinyatakan lolos geometri apabila memiliki bentuk silinder dengan panjang antara 2,5 - 3,6 cm. Berikut skema pembuatan biopellet dan geometri biopellet berbahan eceng gondok.



Gambar 3. Skema Pembuatan Biopellet Berbahan Eceng Gondok



Gambar 4. Geometri Biopellet Berbahan Eceng Gondok

Pada gambar di atas dapat dilihat jika biopellet memiliki ukuran 3,3 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa biopellet lolos geometri produk, dikarenakan biopellet berbahan eceng gondok ini masuk ke dalam rentan ukuran standar SNI 8021:2014.

3.2. Hasil Pengujian Biopellet

Hasil pengujian karakteristik biopellet dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Biopelet Berbahan Eceng Gondok

Keterangan Karakteristik	Nilai	Standar SNI 8021:2014
Kadar Air (%)	7,64	≤ 12
Kadar Abu (%)	12,85	≤ 1,5
Kadar Zat Terbang (%)	63,31	≤ 80
Kadar Karbon Terikat (%)	16,21	≥ 14
Densitas (g/cm ³)	1,16	≥ 0,8
Nilai Kalor (kal/g)	3972	≥ 4000

3.2.1. Kadar Air Biopelet

Pada tabel di atas dapat dilihat, nilai kadar air pada biopelet yakni 7,64% yang di mana nilai tersebut adalah nilai yang memenuhi standar SNI 8021:2014. Kadar air pada biopelet dipengaruhi oleh sifat dari material itu sendiri, yakni adanya sifat higroskopis dan hidrofobik. Kadar air yang tinggi pada suatu biopelet akan mengakibatkan biopelet memiliki nilai kalor yang rendah, pembakaran yang kurang efisien, polusi udara, dan proses penyalaan yang sulit [8]. Menurut [11] rendahnya kadar air pada biopelet disebabkan adanya proses pemanasan saat pengempaan yang secara tidak langsung menguapkan air yang terkandung pada serbuk yang dikempa. Prosedur pengujian kadar air mengikuti metode uji ASTM D 2961 - 17.

3.2.2. Kadar Abu Biopelet

Nilai kadar abu pada biopelet menunjukkan 12,85% yang di mana nilai tersebut adalah nilai yang tidak memenuhi standar SNI 8021:2014. Kandungan mineral pada material mempengaruhi kadar abu pada biopelet, di mana semakin tinggi kandungan mineral, semakin rendah nilai kadar abu yang dihasilkan. Ukuran serbuk juga berpengaruh nyata terhadap kadar abu biopelet. Semakin halus ukuran serbuk maka semakin tinggi pula kadar abu biopelet. Ukuran serbuk yang halus apabila dikempa dengan suhu tinggi akan memudahkan penyerapan panas dan kelembapan. Begitu juga dengan suhu pengempaannya, apabila suhu semakin tinggi maka semakin tinggi juga kadar abu biopelet. Kadar abu yang tinggi disebabkan adanya penumpukan abu saat pembakaran berlangsung, sehingga mengakibatkan dampak negatif bagi biopelet dan kerak pada boiler yang nantinya memudahkan munculnya korosi [12]. Prosedur pengujian kadar air mengikuti metode uji ASTM D 3174 - 12.

3.2.3. Kadar Zat Terbang Biopelet

Nilai kadar zat terbang pada biopelet menunjukkan 63,31% yang di mana nilai tersebut adalah nilai yang memenuhi standar SNI 8021:2014. Penyebab tingginya nilai kadar zat terbang pada biopelet dikarenakan tidak dilakukannya karbonisasi pada serbuk yang digunakan. Menurut [13] karbonisasi bertujuan mengurangi kadar zat terbang penyebab asap dan nilai kalor pembakaran. Prosedur pengujian kadar air mengikuti metode uji ASTM D 3175 - 18.

3.2.4. Kadar Karbon Terikat Biopelet

Nilai kadar karbon terikat pada biopelet menunjukkan 16,21% yang di mana nilai tersebut adalah nilai yang memenuhi standar SNI 8021:2014. Semakin tinggi suhu pemanasan, semakin tinggi jumlah karbon tetap. Hal ini karena ketika bahan baku biomassa diperlakukan pada suhu tinggi (2000°C), kelembapan dan bahan yang mudah menguap berkurang, dan jumlah karbon tetap dalam biopelet meningkat. Prosedur pengujian kadar air mengikuti metode uji ASTM D 3172 - 13.

3.2.5. Densitas Biopelet

Nilai densitas pada biopelet menunjukkan 1,16 g/cm³ yang di mana nilai tersebut adalah nilai yang memenuhi standar SNI 8021:2014. Ukuran partikel yang besar atau kasar akan menghasilkan berat jenis yang rendah sehingga kerapatan yang dihasilkan akan rendah. Variasi suhu dan tekanan selama pembentukan biopelet akan membantu mengikat dan mengisi ruang yang kosong secara mikro dalam biopelet, semakin kecil ukuran serbuk maka nilai densitas akan semakin besar [15]. Prosedur pengujian kadar air mengikuti metode uji ASTM D 4239 - 18.

3.2.6. Nilai Kalor Biopelet

Nilai kalor pada biopelet menunjukkan 3972 kal/g yang di mana nilai tersebut adalah nilai yang memenuhi standar SNI 8021:2014. Bahan baku biopelet juga berpengaruh nyata terhadap nilai kalor. Nilai kalor dipengaruhi hampir semua faktor, seperti kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan kadar karbon terikat. Menurut [15], semakin tinggi nilai kalor bahan baku maka semakin tinggi pula nilai kalor biopelet yang dihasilkan. Prosedur pengujian kadar air mengikuti metode uji ASTM D 4239 - 18.

3.3. Analisis Hasil Pengujian

Pada tabel 1 menunjukkan perbandingan hasil pengujian dengan standar SNI. Dari tabel kadar abu semua tidak ada yang memenuhi standar, hal tersebut dikarenakan kadar abu yang terdapat pada sampel melebihi standar yang sudah ditentukan. Pada pengujian nilai kalor hanya sampel S-3 yang tidak sesuai dengan standar SNI. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa sampel S-3 adalah sampel tidak direkomendasikan untuk dijadikan biopellet, dikarenakan tidak memenuhi lima poin standar yang ditentukan dibandingkan dengan sampel yang lain.

Berikut adalah beberapa nilai kalor dari berbagai jenis biomassa yang sudah diteliti sebelumnya menurut El Bassam (2010) dan Agustina (2007).

Tabel 2. Nilai Kalor Berbagai Jenis Biomassa

Jenis Biomassa	Nilai Kalor (kal/g)	Peringkat
Pinus	5073,08	1
Gambut	4965,60	2
Serbuk Gergaji	4896,34	3
Kulit Pinus	4800,80	4
Kayu Putih	4584,73	5
Sorgum Manis	4203,68	6
Selulosa	4182,19	7
Kayu Bakar Akasia	4124,86	8
Eceng Gondok	3972	9
Jerami	3630,45	10

Pada tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai kalor dari hasil pengujian yang saya lakukan. Pada perbandingan ini, saya membandingkan biomassa berbahan eceng gondok dengan dengan nilai kalor berbagai jenis biomassa lainnya. Dapat dilihat pada tabel 2, bahwa biomassa berbahan eceng gondok menduduki peringkat ke-9 dengan nilai kalor 3972 kal/g, yang lebih unggul dari biomassa berbahan jerami. Untuk Peringkat pertama masih diduduki oleh kayu pinus dengan nilai kalor 5073,98 kal/g.

4. Kesimpulan

Pada penelitian Pengaruh Variasi Komposisi Material Biopellet Berbahan Limbah Eceng Gondok dan Residu Kayu Putih Terhadap Karakteristik Biopellet diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Biomassa berbahan eceng gondok untuk kadar air nilainya 7,64%, kadar abu 12,85%, kadar zat terbang 63,31%, kadar karbon terikat 16,21%, densitas 1,16%, dan nilai kalor 3972 kal/g.
2. Biomassa berbahan eceng gondok masih kurang efektif untuk dijadikan biomassa dikarenakan nilai kalornya yang masih di bawah standar SNI 8021:2014 dan masih banyak biomassa lain yang lebih unggul nilai kalornya dibanding dengan biomassa berbahan eceng gondok.

5. Daftar Pustaka

- [1] Alkarami, I. Biomassa, Energi Masa Depan. AksaraBumi (2007).
- [2] Suganal, S., and Hudaya G. K. Bahan Bakar Co-Firing dari Batubara dan Biomassa Tertorefaksi dalam Bentuk Briket. Teknologi Mineral dan Batubara (2019).
- [3] Maharjoeno, E. Energi Alternatif Pengganti BBM: Potensi Limbah Biomassa Sawit Sebagai Sebagai Sumber Energi Terbarukan. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia. Jakarta (2005).
- [4] Abimanyu, H., & Hendrana S. Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia. Jakarta: LIPI Press (2014).
- [5] Fantozzi S, and Buratti C. Life cycle assessment of biomass chains : Wood pellet from short rotation coppice using data measured on a real plant. Biomass Energy. 34 (2010) : 1796-1804. (2009).
- [6] Balong S., Isa I., Iyabuu H. Karakteristik Biobriket dari Eceng Gondok Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Jurnal Entropi (2016).
- [7] Wibowo, T., Setyawati, D., Nurhaida, & Diba, F. Kualitas biopellet dari limbah batang kelapa sawit dan limbah kayu penggergajian. Jurnal Hutan Lestari, 4(4), 409–417 (2016).

- [8] Latief, Ahmad; & Susila, I Wayan. Pemanfaatan Bungkil dan Kulit Biji Karet Sebagai Bahan Bakar Alternatif Biobriket dengan Perakat Tetes Tebu. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya*. 03(03): 7-15 (2015).
- [9] Speight. J.G. *Handbook of Coccol Analysis*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc (2005).
- [10] Ali, A., & Restuhadi, F. Optimasi pembuatan biopelet dari bungkil picung(Pangium edule Reinw.) dengan penambahan solar dan perekat tapioka. *Sagu*, 9(1), 1-7 (2010)
- [11] Hendra, D. Rekayasa pembuatan mesin pelet kayu dan pengujian hasilnya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(2), 144–154 (2012).
- [12] Liliana, W. Peningkatan kualitas biopelet bungkil jarak pagar sebagai bahan bakar melalui teknik karbonisasi. (Tesis). Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor (2010).
- [13] Munawar, Sofyan, S., Subiyanto, B. Characteriza on Of Biomass Pellet Made From Solid Waste Oil Palm Industry. *Procedia Environmental Sciences* (2014).
- [14] Darmawan, S. Pembuatan briket arang dari serbuk gergajian dengan penambahan tempurung kelapa. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 18 (1), 1-9 (2000).
- [15] Rusdianto, A.S., Choiron, M., & Novijanto N. Karakterisasi limbah industri tape sebagai bahan baku pembuatan biopelet. *Jurnal Industrialisasi*, 1(3), 27-32 (2014).