

KAREKTERISTIK DAN UJI PEMBAKARAN BIOPELET CAMPURAN CANGKANG KELAPA SAWIT DAN SERBUK KAYU SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF TERBARUKAN

Muhammad Gifani Al Qadry¹, Danang Dwi Saputro¹, Rahmat Doni Widodo¹

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima 27 03 2023

Disetujui 11 04 2023

Dipublikasikan 17 04 2023

Keywords:

Biopellet; palm kernel shell; sawdust; characteristics material; combustion

Abstrak

Energi tak terbarukan ketersediannya sangat terbatas sehingga apabila energi ini habis maka tidak dapat diperbarui kembali. Perlu adanya energi terbarukan untuk mengatasi masalah ini. Biopellet adalah salah satu bahan bakar terbarukan yang berasal dari biomassa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan kualitas dari biopellet campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Komposisi campuran bahan baku cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100% : 30%, 70% : 30%, 50% : 50%, dan 30% : 70%. Pembuatan biopellet menggunakan mesh 80 dengan tekanan 200 \square/\square^2 . Hasil pengujian karakteristik biopellet dari campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu diperoleh 7,6 - 11 % kandungan kadar air, 67,6 - 68,08 % kandungan kadar zat terbang, 1,53-2,57 % kadar abu, 19,38 - 22,23 % nilai karbon terikat, 3563,05 - 4366,73 kal/g nilai kalor, dan 1,03

- 1,32 g/cc nilai kerapatan. Biopellet dengan kualitas terbaik terdapat pada jenis biopellet B dengan persentasi 70 % cangkang kelapa sawit dan 30 % serbuk kayu. Biopellet B habis terbakar sampai dengan menit 23.

Abstract

Non renewable energy it's limited in capacity, when the energy runs out it cannot be renewed. Then it needs renewable energy to solve this problem. Biopellet is one of the renewable energy alternatives from biomass. The purpose of this research to identify characteristics and quality of biopellet a mixture palm kernel shell and sawdust. Method that used in this research is experiment. The compositions of a mixture that used in experiment is 100% : 30%, 70% : 30%, 50% : 50%, and 30% : 70%. The manufacture of biopellet used a 80 mesh of dust with the pressure of 200 \square/\square^2 . The result of the test showed moisture content 7.6 - 11 %, volatile matter 67.6 - 68.08 %, ash content 1.53 -

2.57 %, carbon bonded 19.38 - 22.23 %, calorific value 3563.05 - 4366.73 kal/g, and density 1.03 - 1.32 g/cc. The best quality of biopellet is biopellet B with percentage 70 % palm kernel shell and 30 % sawdust. Biopellet B is the best quality of biopellet with 23 minute burn out.

PENDAHULUAN

Penggunaan energi berbasis bahan bakar fosil di Indonesia sudah sangat familiar seperti batubara, minyak bumi, gas bumi yang digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik, transportasi, dan lainnya. Energi tak terbarukan ini ketersediaannya terbatas sehingga apabila energi ini habis, maka tidak dapat diperbarui kembali dan juga banyak dampak negatif dari energi tak terbarukan bagi lingkungan sekitar. Energi terbarukan adalah jawaban dari permasalahan tersebut, di Indonesia sendiri tersedia berbagai macam energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan dan dimaksimalkan kegunaannya. Salah satu dari energi terbarukan yang potensial di Indonesia adalah biopelet, hal ini disebabkan Indonesia memiliki banyak industri disektor perkebunan dan pertanian. Limbah dari industri tersebut seperti limbah kelapa sawit, limbah kayu, limbah padi, dan lainnya dapat dijadikan bahan baku pembuatan biopelet

Biopelet adalah salah satu bahan bakar terbarukan yang berasal dari biomassa. Biopelet dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler pada industri dan pemanas ruangan. Bahan baku biopelet berasal dari limbah. Salah satu limbah industri perkebunan di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah cangkang kelapa sawit.

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah yang berasal dari kelapa sawit yang akan diolah menjadi crude palm oil (CPO) salah satu prosesnya yaitu pemisahan inti dari cangkang. Rata-rata sebuah pabrik pengolah kelapa sawit (PKS) mempunyai kapasitas olahan 30 - 50 ton kelapa sawit per jam, sedangkan limbah yang dihasilkan bisa mencapai 2 kali lipatnya. Limbah pengolahan kelapa sawit itu berupa cangkang dan serabut (fiber). Serbuk kayu juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biopelet. Serbuk kayu di Indonesia ketersediannya sangat berlimpah yang berasal dari limbah industri kayu yaitu limbah industri penggergajian kayu sebanyak 50%, kayu lapis 70%, dan pemanenan 70% dari rendemen yang dihasilkan setiap produksi (Rahman, 2011).

Penggunaan biopelet di Indonesia sendiri masih terbatas padahal sumber daya biopelet di Indonesia sangat lah melimpah seperti limbah dari industri perkebunan, pertanian, kayu dan lainnya. Biopelet adalah bahan bakar biomassa berbentuk pelet yang memiliki keseragaman ukuran, bentuk, kelembapan, densitas, dan kandungan energi. Biopelet merupakan salah satu bentuk energi biomassa yang diproduksi pertama kali di Swedia pada tahun 1980-an. Bioelet dibuat dari sisa limbah terutama serbuk kayu⁽³⁾.

Terdapat 4 tahapan proses pembuatan biopelet, yaitu pengeringan, penggilingan, pencetakan, dan pendinginan⁽⁴⁾. Biopelet dapat digunakan sebagai penghasil panas bagi pemukiman atau industri skala kecil. Biopelet memiliki ukuran diameter 6 - 12 mm serta panjang 10 - 20 mm (Jonsson A, 2006). Ketika ingin digunakan sebagai biopelet maka perlu dilakukan penelitian secara mendalam tentang karakteristik dan uji pembakaran pada biopelet.

Bantacut, dkk (2013) mengungkapkan bahwa biopelet campuran arang dan serabut cangkang sawit adalah biomassa yang sangat potensial yang dapat dikonversi menjadi biopelet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biopelet cangkang kelapa sawit yang terdiri dari 80% cangkang kelapa sawit dan 20% arang cangkang kelapa sawit merupakan biopelet dengan kualitas terbaik. Biopelet tersebut memiliki kadar air 0,47%; kadar abu 9,83%; kadar zat terbang 55,43%; kadar karbon terikat 34,84%; nilai kalor 5.265,92 kkal/kg; dan keteguhan tekan 82,09 kg/cm². Rata-rata laju konsumsi biopelet cangkang sawit adalah 1,39 kg/jam dan nilai efisiensi pembakaran adalah 11,59%. Produksi biopelet cangkang sawit pada skala laboratorium menghasilkan rendemen sebesar 11,54%. Biopelet dapat meningkatkan nilai kalor bahan baku cangkang kelapa sawit sebesar 15,55% (Bantacut, T. dkk, 2013)

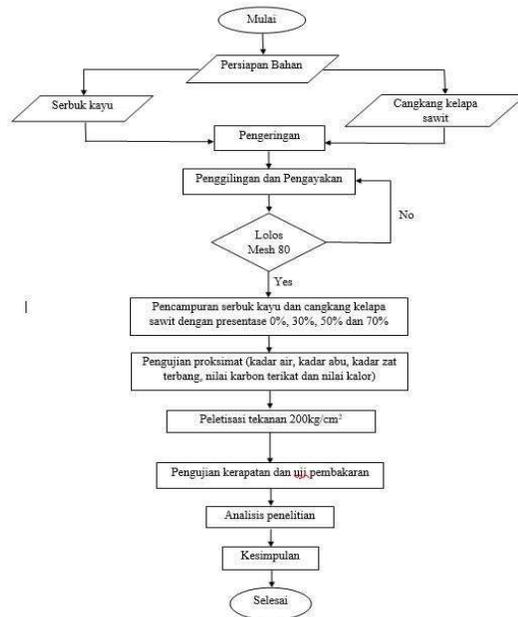
Sa'adah (2014) mengungkapkan bahwa karakteristik biopelet dari kelapa sawit dan pengaruh penambahan serbuk kayu mahoni pada kualitas biopelet. Bahan baku yang digunakan berupa batang kelapa sawit bagian luar, batang kelapa sawit bagian dalam, pelepah, daun, dan bahan campuran berupa serbuk kayu mahoni (0%, 15%, 30%, 50%). Bahan baku yang memiliki kandungan nitrogen tertinggi adalah daun kelapa sawit dengan campuran 0% sebesar 1.956%. Limbah kelapa sawit yang memiliki kandungan sulfur tertinggi pada biopelet dari batang bagian luar dengan campuran 0% sebesar 0.0375%. Pencampuran serbuk mahoni

memberikan pengaruh terhadap kandungan nitrogen. Pencampuran serbuk mahoni dapat mengurangi kandungan sulfur dan nitrogen pada biopelet (Sa'adah, W. A, 2014).

Saputro (2009) mengungkapkan bahwa karakteristik pembakaran briket arang tongkol jagung dilakukan penelitian guna menguji temperatur pembakarannya dengan kecepatan udara masing-masing 0,2 m/s, 0,4 m/s, 0,6 m/s, dan 0,8 m/s. Dari hasil penelitian didapatkan hasil untuk membakar 5 gr arang briket tongkol jagung dibutuhkan udara kering 20,15 gr. Laju pembakaran tercepat dicapai pada kecepatan pembakaran 0,6 m/s dengan pencapaian temperatur tertinggi yaitu 292°C, hal ini dipengaruhi oleh jumlah udara yang dipakai untuk pembakaran lebih sedikit sehingga proses pembakaran menjadi lebih cepat dan temperatur tertinggi juga dicapai pada kecepatan aliran udara 0,6 m/s dengan laju pembakaran selama 21 menit dan bahan bakar lebih cepat habis, dikarenakan jumlah massa udara yang sedikit akan mempermudah pencapaian temperatur tinggi (Saputro, D. D, 2009).

METODE PENELITIAN

Diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 merupakan diagram alir, langkah awal dalam penelitian ini adalah persiapan bahan baku, dilakukan dengan mempersiapkan semua bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian, termasuk persiapan cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu yang sudah dikeringkan terlebih dahulu sehingga dapat digiling. Cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu masing-masing digiling dengan alat penggiling dan diayak dengan alat penyaring 80 mesh. Cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu dicampur dengan perbandingan yaitu 100%:0%, 70%:30%, 50%:50% dan 30%:70%. Setelah pencampuran selesai dilakukan pengujian proksimat, pengujian meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, nilai karbon terikat, dan nilai kalor.

Langkah selanjutnya yaitu pengondisian biopelet. dilakukan Pencetakan biopelet menggunakan alat cetak pelet bertekanan 200 kg/cm². Biopelet dikemas dalam wadah agar terhindar dari udara luar yang dapat meningkatkan kadar airnya. Setelah biopelet selesai dicetak langkah selanjutnya yaitu dilakukan uji kerapatan dan uji pembakaran untuk mengetahui kualitas dari biopelet.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Bomb Calorimeter digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna pada pengujian nilai kalor.
- b. Carbolite furnace digunakan untuk memberikan sifat-sifat tertentu (karakteristik) pada bahan struktur dengan cara memanaskan suatu bahan struktur sampai menjangkau suhu yang dipersyaratkan.
- c. Heater digunakan untuk mengeluarkan atau membuat panas pada uji pembakaran.
- d. Jangka sorong berfungsi untuk mengukur dimensi biopellet pada uji densitas.
- e. Mesin cetak pellet untuk mencetak bahan baku yang sudah dihaluskan melalui alat penggiling dan sudah disaring melalui penyaring mesh sehingga menjadi biopellet.
- f. Mesin penggiling untuk merubah ukuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu menjadi serbuk yang sangat halus.
- g. Penyaring mesh 80 untuk menyaring bahan baku yang sudah dihaluskan melalui alat penggiling sehingga didapatkan bahan baku yang sesuai dengan ukuran mesh yang digunakan.
- h. Timbangan digital berfungsi untuk mengukur berat serbuk cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu sehingga menghasilkan persentase campuran yang tepat.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Cangkang kelapa sawit, sebagai bahan baku biopellet.
- b. Serbuk kayu, sebagai bahan baku biopellet.

Dalam penelitian ini terdapat dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi persentase campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu yaitu 100% : 30%, 70% : 30%, 50% : 50%, dan 30% : 70%. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu karakteristik bahan bakar biopellet, meliputi analisis proksimat (kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, nilai karbon terikat, dan nilai kalor), analisis sifat fisis (kerapatan), dan uji pembakaran (laju pengurangan massa pembakaran). Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kecepatan air.

Analisis data dilakukan dengan cara mengolah data yang telah terkumpul setelah melakukan penelitian dan memperoleh data. Penelitian ini menggunakan metode analisa deskriptif adalah metode yang digunakan untuk menganalisa data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi (Sugiyono, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji proksimat bahan baku

Analisis proksimat dilakukan untuk mengetahui karakteristik kandungan dari bahan baku yang meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, nilai karbon terikat, dan nilai kalor. Pengujian proksimat dilakukan dengan mengulang 3 kali perjenis bahan baku agar mendapatkan hasil penelitian yang valid. Analisis proksimat meliputi kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, nilai karbon terikat, dan nilai kalor.

Kadar air

Hasil pengujian kadar air disajikan pada Gambar 2. Kadar air berkisar antara 7,6 - 11 %. Kandungan kadar air tertinggi pada biopellet D dengan 11 %, biopellet C 10,66 %, biopellet B 10,43 %, dan terendah pada biopellet A dengan 7,6 % hal ini menjelaskan bahwa nilai kadar air yang didapat mengalami kenaikan dengan peningkatan jumlah persentase campuran serbuk kayunya.

Semakin tinggi penambahan serbuk kayu terhadap biopellet maka kadar air yang didapat lebih tinggi, hal ini disebabkan kadar air pada serbuk kayu umumnya lebih tinggi dibandingkan cangkang kelapa sawit. Kadar air mempengaruhi nilai kalor, semakin rendah kadar air maka nilai kalor pada biopellet akan semakin tinggi.

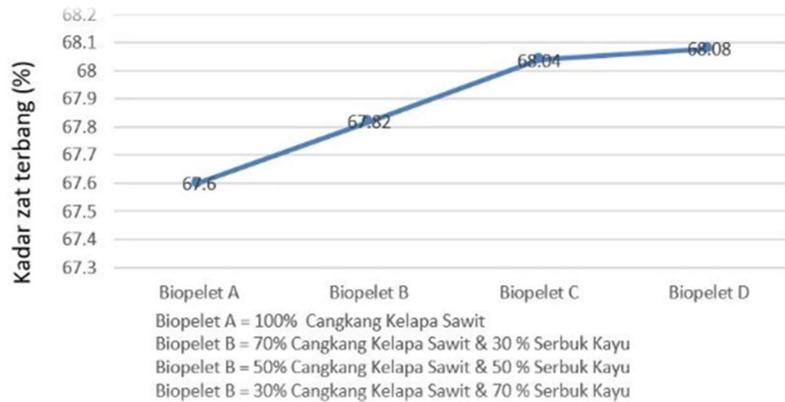


Gambar 2. Grafik kadar air

Kadar zat terbang

Hasil pengujian kadar zat terbang disajikan pada Gambar 3. Kadar zat terbang berkisar antara 67,6 – 68,08 %. Kandungan kadar zat terbang tertinggi pada biopellet D dengan 68,08 % , biopellet C 68,04 %, biopellet B 67,82 %, dan terendah pada biopellet A dengan 67,6 % hal ini menjelaskan bahwa penambahan campuran serbuk kayu pada biopellet dapat meningkatkan kadar zat terbang pada biopellet walaupun tidak terlalu berdampak signifikan.

Hal ini disebabkan kadar zat terbang pada serbuk kayu umumnya lebih tinggi dibandingkan cangkang kelapa sawit. Biopellet yang memiliki kadar zat terbang yang tinggi akan menimbulkan asap lebih banyak dibandingkan dengan biopellet yang memiliki kadar zat terbang yang rendah (Fuwape JA dan Akindede SO. 1997).

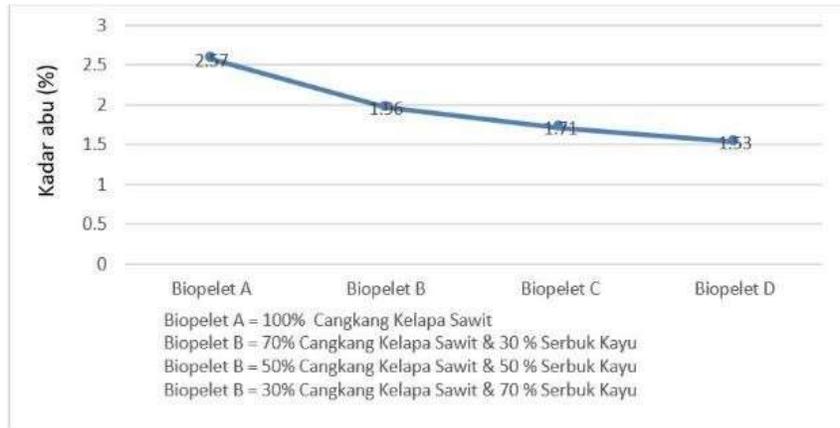


Gambar 3. Grafik kadar zat terbang

Kadar abu

Hasil pengujian kadar abu disajikan pada Gambar 4. Kadar abu berkisar antara 1,53 – 2,57 %. Kandungan kadar abu tertinggi pada biopellet A dengan 2,57 %, biopellet B 1,96 %, biopellet C 1,71 %, dan terendah pada biopellet D dengan 1,53 %.

Semakin besar campuran serbuk kayu pada biopellet maka kandungan kadar abu pada biopellet akan semakin rendah, hal ini disebabkan kadar kandungan silika pada serbuk kayu umumnya lebih rendah dibandingkan cangkang kelapa sawit. Kandungan silika yang tinggipengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dapat menurunkan kualitas biopellet karena unsur silika yang tidak terbakar saat pembakaran.

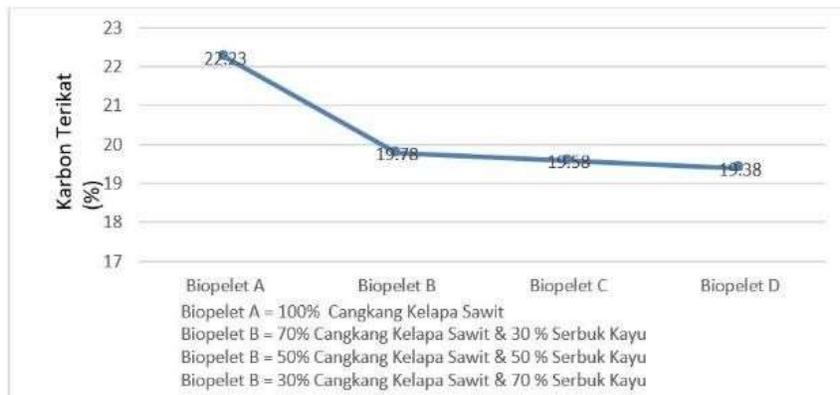


Gambar 4. Grafik kadar abu

Nilai karbon terikat

Hasil pengujian nilai karbon terikat disajikan pada Gambar 5. Nilai karbon terikat berkisar antara 19,38 – 22,23 %. Kandungan nilai karbon terikat tertinggi pada biopelet A dengan 22,23 % , biopelet B 19,78 %, biopelet C 19,58 %, dan terendah pada biopelet D dengan 19,38 % hal ini menjelaskan cangkang kelapa sawit murni memiliki kandungan nilai karbon terikat yang tinggi dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit campuran serbuk kayu.

Besar kecilnya nilai karbon terikat dapat dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kadar abu pada biopelet. Nilai karbon terikat mempengaruhi nilai kalor, semakin tinggi kadar karbon terikat akan semakin tinggi pula nilai kalornya, karena setiap ada reaksi oksidasi menghasilkan nilai kalor (Sudarja, 2009).

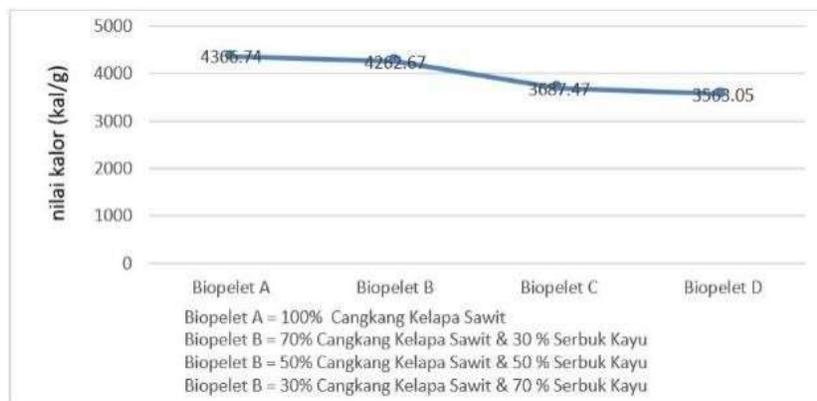


Gambar 5. Grafik nilai karbon terikat

Nilai kalor

Hasil pengujian nilai kalor disajikan pada Gambar 6. Nilai kalor berkisar antara 3563,05 – 4366,73 kal/g. Kandungan nilai kalor tertinggi pada biopelet A dengan 4366,73 kal/g, biopelet B 4262,67 kal/g, biopelet C 3687,47 kal/g dan terendah pada biopelet D dengan 3563,05 kal/g

Hal ini menjelaskan cangkang kelapa sawit murni memiliki kandungan nilai kalor yang tinggi dibandingkan dengan cangkang kelapa sawit campuran serbuk kayu. Semakin besar campuran serbuk kayu maka kandungan nilai kalor pada biopelet akan semakin rendah. Nilai kalor merupakan salah satu indikator dalam menentukan kualitas biopelet, semakin tinggi nilai kalor menunjukkan kualitas bahan yang semakin baik (Sudarja, 2009).

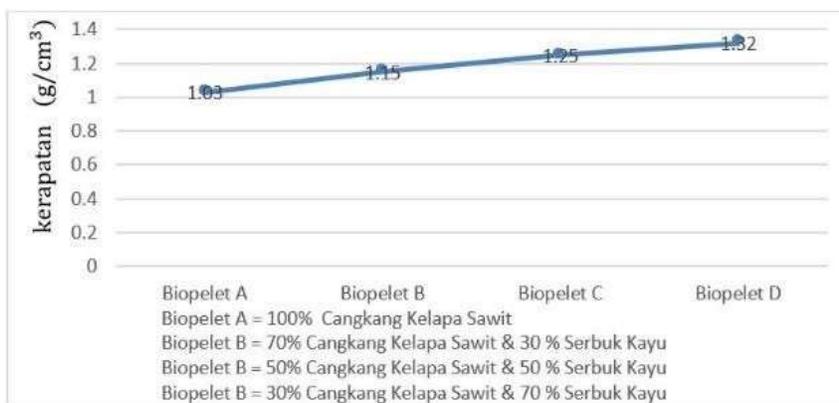


Gambar 6. Grafik nilai kalor

Hasil uji densitas

Hasil pengujian nilai kerapatan disajikan pada Gambar 7. Nilai kerapatan berkisar antara 1,03 – 1,32 g/cm^3 . Kandungan nilai kerapatan yang tertinggi pada biopellet D dengan 1,32 g/cm^3 , biopellet C 1,25 g/cm^3 , biopellet B 1,15 g/cm^3 , dan terendah pada biopellet A dengan 1,03 g/cm^3 hal ini menjelaskan bahwa campuran serbuk kayu dapat meningkatkan nilai kerapatan pada biopellet.

Semakin besar campuran serbuk kayu pada biopellet maka kandungan nilai kerapatan pada biopellet akan semakin meningkat. Nilai kerapatan biopellet yang tinggi dapat memudahkan dalam hal penyimpanan, penanganan, dan transportasi biopellet. Nilai kerapatan pada biopellet dipengaruhi oleh tekanan pada saat pengempaan.



Gambar 7. Grafik nilai kerapatan

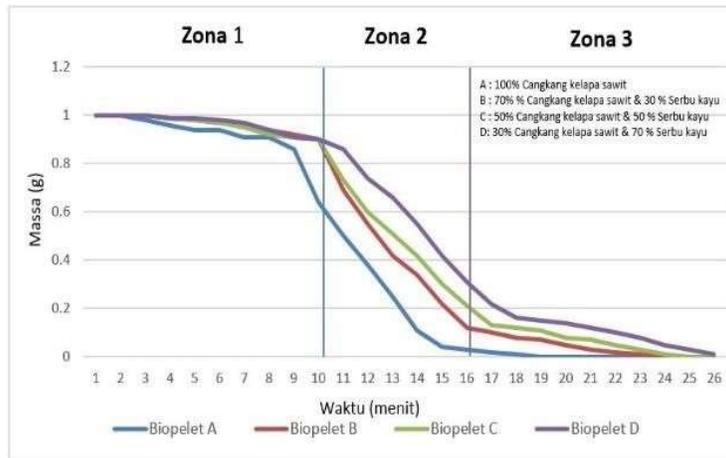
Hasil uji pembakaran

Gambar 8 menunjukkan terdapat tiga zona dalam proses pembakaran biopellet diantaranya zona 1, zona 2, dan zona 3. Zona 1 terjadi proses pengeringan, pada biopellet jenis A berlangsung dari menit 0 sampai dengan menit 8, biopellet B dari menit 0 sampai menit 9, biopellet C dari menit 0 sampai dengan menit 9, dan biopellet D dari menit 0 sampai menit 10. Proses ini terjadi penguapan kadar air di permukaan biopellet secara langsung dan penguapan kadar air di dalam biopellet secara perlahan melalui pori-pori biopellet itu sendiri.

Zona 2 terjadi proses lanjutan yaitu proses devolatilisasi, pada biopellet A proses ini berlangsung dari menit 9 sampai menit 13, biopellet B dari menit 10 sampai menit 14, biopellet C dari menit 10 sampai menit 15, dan biopellet D dari menit 11 sampai menit 16. Proses ini terjadi dekomposisi atau pecahnya ikatan kimia dan keluarnya kandungan zat terbang dari dalam biopellet. Proses devolatilisasi menyebabkan pengurangan massa secara cepat, menghasilkan asap, dan menaikkan temperatur sampai temperatur maksimum. Pecahnya

ikatan kimia secara termal dan keluarnya zat terbang yang terdiri dari gas-gas mudah terbakar dan tidak mudah terbakar.

Zona 3 terjadi proses akhir yaitu proses pembakaran arang, pada biopelet A berlangsung dari menit 14 sampai menit 18, biopelet B dari menit 15 sampai menit 23, biopelet C dari menit 16 sampai menit 24, dan biopelet D dari menit 17 sampai menit 26. Proses ini terjadi difusi oksigen melalui rongga-rongga antar partikel biopelet dan menghasilkan arang dan juga mengeluarkan gas karbon monoksida. Proses ini berlangsung cenderung lambat seiring dengan pengurangan massa sampai biopelet habis terbakar. Proses pembakaran arang terjadi karena oksigen berdifusi ke dalam partikel arang melalui pori-pori arang, kemudian arang akan bereaksi dengan oksigen dan membuat karbon monoksida (Borman, G.L, dan Ragland, K.W., 1998).



Gambar 8. Grafik laju pengurangan massa

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai karakteristik dan uji pembakaran biopelet campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian karakteristik biopelet dari campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu diperoleh 7,6 - 11 % kandungan kadar air, 67,6 - 68,08 % kandungan kadar zat terbang, 1,53-2,57 % kadar abu, 19,38 - 22,23 % nilai karbon terikat, 3563,05 - 4366,73 kal/g nilai kalor, dan 1,03 - 1,32 g/cc nilai kerapatan. Semakin besar campuran serbuk kayu maka akan meningkatkan kandungan kadar air, kadar zat terbang, dan nilai kerapatan, sebaliknya kandungan kadar abu, nilai karbon terikat, dan nilai kalor mengalami penurunan.
2. Biopelet dengan kualitas terbaik terdapat pada jenis biopelet D dengan persentasi 30 % cangkang kelapa sawit dan 70 % serbuk kayu. Biopelet dengan kualitas terbaik terdapat pada jenis biopelet B dengan persentasi 70 % cangkang kelapa sawit dan 30 % serbuk kayu. Biopelet B habis terbakar sampai dengan menit 23. Biopelet B memiliki kandungan 10,43 % kadar air, 67,82% kadar zat terbang, 1,96 % kadar abu, 19,78 % nilai karbon terikat, 1,15 g/cc nilai kerapatan, dan 4262,67 kal/g nilai kalor.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai karakteristik dan uji pembakaran biopelet campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya.

1. Perlu dilakukan variasi tekanan dan perlakuan cetak panas pada proses pencetakan biopelet agar didapat sifat fisik yang lebih baik.
2. Perlu dilakukan pengujian temperatur pembakaran agar didapat kualitas biopelet yang lebih valid.
3. Perlu dilakukan persentase campuran yang lebih bervariasi dan bahan baku limbah berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi pengusaha cangkang sawit riau. 2013. Cangkang sawit. www.aspacasri.org/artikel/cangkangsawit. 15 November 2017. (19.30).
- Rahman. 2011. Uji keragaan biopellet dari biomassa limbah sekam padi (*Oryza sativa* sp.) sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Fateta, IPB, Bogor. *Jurnal Rekayasa Mesin* 4(3): 199-203.
- Abelloncleanenergy. 2009. *Cofiring with biopellets: An efficient way to reduce greenhouse gas emissions*. India: Abellon.
- Septiandy, M. M. 2015. Prototipe Pengereng Biomassa Tipe Rotari (Analisis Berdasarkan Ukuran Partikel dan Komposisi Campuran Bahan Baku Terhadap Kualitas Produk). *Tugas Akhir*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Jonsson A. 2006. Planning for Increased Bioenergy Use – Strategies for Minimising Environmental Impacts and Analysing the Consequences. Tesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Sweden.
- Bantacut, T., D. Hendra., dan R. Nurwigha. 2013. Mutu Biopellet dari Campuran Arang dan serabut cangkang sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (1): 1-12.
- Sa'adah, W. A. 2014. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*) Dan Serbuk Kayu Mahoni Sebagai Bahan Baku Biopellet. *Skripsi*. Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Saputro, D. D. 2009. Karakteristik Pembakaran Briket Arang Tongkol Jagung. *Jurnal Kompetensi Teknik* 1(1).
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Fuwape JA, Akindele SO. 1997. Biomass yield and energy value of some fast growing multi purpose trees in Nigeria. *Biomass Energy* 12(2): 101-106.
- Sudarja. 2009. Analisis Rekayasa dan Karakterisasi Briket Bahan Bakar dari Limbah Serat Kenaf. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik* 12(1): 92-98.
- Borman, G.L, dan Ragland, K.W. 1998. *Combustion Engineering*, Singapore: McGraw-Hill Book Co.