

Analisis Biobriket Sekam Padi Pada Variasi Ukuran Serbuk dan Kosentrasi Terhadap Nilai Kalor Biobriket

Dodi Satriawan^{1*}, M. Subhan Amrullah², Agus Santoso³

¹Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap

²Senior CSR Officer, PT. Pertamina Lubricants

³Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,3}Jalan Dr. Soetomo No.1, Sidakaya, Kec. Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53212, Indonesia

²Jl. Medan Merdeka Timur No. 10 Jakarta Pusat 10110 - Indonesia

E-mail: dodi.satriawan@pnc.ac.id^{1*}, subhan.amrullah@pertamina.com², agus.santoso@pnc.ac.id³

*penulis korespondensi

Published: 30 Maret 2024

Abstrak – Energi merupakan kebutuhan pokok yang berasal dari batu bara yang akan habis dan berdampak pada polusi udara. Diperlukan sumber bahan baku pengganti berupa biomassa sekam padi untuk dijadikan biobriket. Pembuatan biobriket dimulai dengan proses karbonisasi biomassa limbah sekam yang dilakukan padi pada suhu 300°C selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan proses penggilingan atau penghalusan sehingga didapatkan ukuran 100 dan 150 mesh. Perekat yang digunakan berupa perekat dari tepung tapioka dengan lima variasi kosentrasi yang berupa 6, 8, 10, 12, dan 14% (w/w). Analisis biobriket yang dilakukan yaitu analisis nilai kalor, kadar air, dan kadar abu yang dianalisis dan dibandingkan dengan SNI 4931:2010. Hasil yang diperoleh berupa semakin kecil ukuran serbuk maka akan memperbesar nilai kalor yang diperoleh. Nilai kalor biobriket tertinggi didapatkan pada variasi ukuran 150 mesh dengan perekat tepung tapioca sebesar 10%.

Kata kunci: biobriket, energi alternatif, sekam padi, tapioka.

Abstract - Energy is a basic need that comes from coal which will run out and have an impact on air pollution. A replacement raw material source is needed in the form of rice husk biomass to be used as biobriquettes. Making biobriquettes begins with the carbonization process of rice husk waste biomass carried out at a temperature of 300°C for 1 hour. Next, a grinding or smoothing process is carried out to obtain sizes of 100 and 150 mesh. The adhesive used is an adhesive made from tapioca flour with five concentration variations, namely 6, 8, 10, 12, and 14% (w/w). The biobriquette analysis carried out was the analysis of calorific value, water content and ash content which were analyzed and compared with SNI 4931:2010. The results obtained are that the smaller the powder size, the greater the calorific value obtained. The highest calorific value of biobriquettes was obtained in the 150 mesh size variation with tapioca flour adhesive of 10%.

Keywords: biobriquettes, alternative energy, rice husks, tapioca.

1. PENDAHULUAN [10 pts/Bold]

Kebutuhan akan energi merupakan salah satu kebutuhan manusia yang tidak dapat lepas dari kehidupan setiap manusia. Energi yang dimanfaatkan oleh manusia ini berasal dari bahan baku gas alam, batu bara, maupun minyak bumi yang berasal dari bahan baku yang tidak dapat diperbaharui [1]. Selain itu, bahan baku tersebut bila digunakan akan menghasilkan produk samping berupa CO, CO₂, NO_x, SO_x yang dapat menyebabkan polusi udara, gas rumah kaca dan pengikisan lapisan ozon [1]–[3]. Efek-efek tersebut dapat kita rasakan dengan terjadinya perubahan iklim yang drastis [4]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu bahan baku alternatif yang ramah lingkungan, melimpah yang dapat menggantikan kebutuhan bahan baku batu bara didalam menghasilkan energi salah satunya adalah biomassa [3]–[5].

Biomassa merupakan bahan yang berasal dari bahan organik yang berupa kayu, daun-daunan, rumput, ranting, tempurung kelapa, serbuk gergaji, sekam padi dan lain-lainnya yang didapatkan dari makhluk hidup [3]. Biomassa ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku dari pembuatan energi alternatif [6]. Pemilihan biomassa sebagai bahan baku energi alternatif dikarenakan bahan bakunya yang melimpah, ramah lingkungan, murah, menghasilkan polutan yang lebih sedikit dibandingkan batu bara, dan memiliki kegunaan yang berbagai macam.

Biomassa memiliki potensi sebesar 14% total dari energi dunia bila dibandingkan dengan gas alam (15%), batubara (12%), dan energi listrik (15%) [3]. Hal inilah yang membuat biomassa sebagai energi alternatif yang menjanjikan untuk dikembangkan. Salah satu pemanfaatan biomassa sebagai energi alternatif adalah memanfaatkannya sebagai bahan baku didalam pembuatan biobriket.

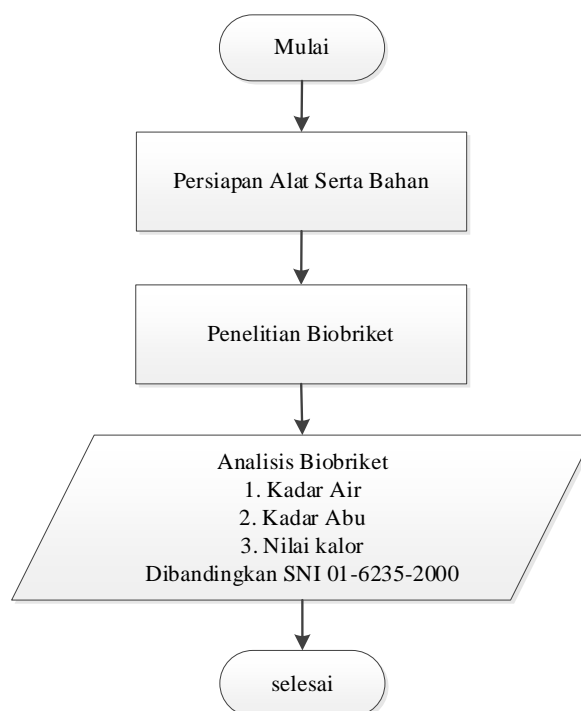
Biobriket merupakan salah satu sumber energi alternatif serta energi baru terbarukan yang berbahan baku dari biomassa yang melalui proses karbonisasi dan pemadatan dengan menggunakan perekat dengan bentuk maupun ukuran yang berbeda-beda [7]. Semua biomassa yang dapat digunakan didalam pembuatan biobriket [8]. Salah satu yang digunakan pada penelitian ini untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan biobriket adalah sekam padi. Pemilihan sekam padi dikarenakan bahan bakunya yang melimpah di kabupaten Cilacap. Menurut data Badan Pusat Statistik Kabupaten Cilacap, Kabupaten Cilacap menghasilkan panen padi sebesar 761.356 ton GKG pada tahun 2020 [9]. Hasil panen padi yang tinggi didapatkan ini juga secara tidak langsung berdampak pada produk samping berupa limbah biomassa sekam padi. Selain itu penelitian yang serupa tentang pemanfaatan limbah sekam padi telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya [1], [3], [7], [8], [10]–[14].

Sekam padi memiliki kandungan selulosa yang tinggi yang dapat dikonversi kedalam nilai karbon sehingga dapat menghasilkan nilai kalor yang tinggi pada proses pembakaran [3]. Nilai kalor yang dapat dihasilkan oleh biobriket sekam padi bervariasi tergantung proses pembuatan biobriketnya yaitu dari rentang 2.700 – 4.400 kal/gr [12]. Nilai kalor ini telah masuk kedalam standar briket yang telah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia melalui SNI 4931:2010 yang menyebutkan bahwa nilai kalor briket kelas B memiliki nilai kalor antara 4.000 – 5.000 kal/g. Namun untuk briket katagori A dengan nilai kalor sebesar 5.000 – 6.000 kal/g masih belum terpenuhi. Dibutuhkan penelitian didalam meningkatkan kadar nilai kalor biobriket sekam padi dengan memvariasikan variable didalam proses pembuatan biobriket sekam padi.

Penelitian biobriket dari biomassa sekam padi ini merupakan penelitian biobriket lanjutan yang telah dikembangkan oleh Gumirat (2021) [12] untuk mencari variasi yang optimal didalam meningkatkan nilai kalor yang berasal dari biobriket dari sekam padi sebagai bahan bakunya. Variasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini berupa variasi ukuran serbuk karbon sekam padi (pada variasi 100 dan 150 mesh) maupun variasi perekat yang berasal dari tepung tapioka (6; 8; 10; 12; dan 14 %w/w). Hasil dari penelitian biobriket ini diharapkan dapat meningkatkan referensi didalam pengembangan biobriket khususnya yang berasal dari sekam padi.

2. METODE

Bahan baku penelitian yang digunakan berupa biomassa limbah sekam padi yang diperoleh dari proses penggilingan padi yang terdapat pada Kabupaten Cilacap, tepung tapioka dan aquades. Alat yang digunakan berupa alat karbonisasi, penggiling karbon, ayakan dengan ukuran 100 dan 150 mesh, baskom, bekgelas 1L, gelas ukur, neraca analitik, oven, dan furnace. Tahapan pelaksanaan dipaparkan pada gambar 1.

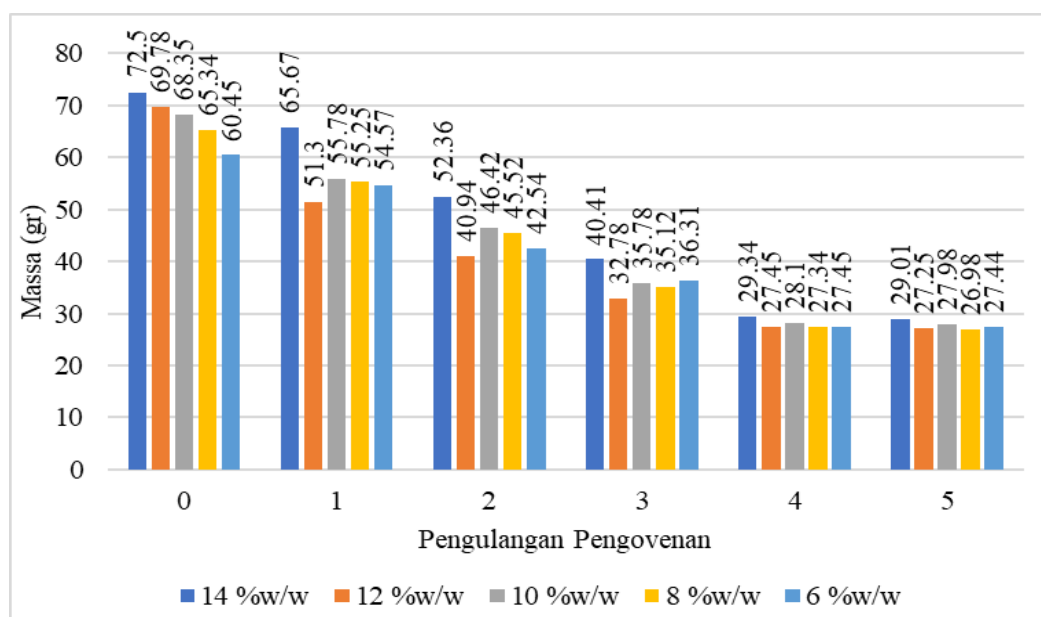


Gambar 1. Flowchat pembuatan biobriket.

Rincian dari proses pembuatan bobriket sekam padi dilakukan dari proses karbonisasi biomassa sekam padi yang dilakukan suhu 300 °C yang dilakukan selama 1 jam. Produk karbonisasi yang berupa karbon sekam padi yang didapatkan selanjutnya dilakukan proses menghaluskan dengan menggunakan penggiling hingga ukuran serbuk karbon 100, dan 150 mesh. Serbuk karbon yang didapatkan selanjutnya dicampurkan dengan larutan perekat tepung tapioka dengan variasi perekat 6, 8, 10, 12, dan 14% (w/w). Campuran serbuk karbon dan perekat tepung tapioka diaduk dan dicetak dengan cetakan ukuran tabung berdiameter 5 cm dan 5 cm untuk tingginya. Biobriket sekam padi selanjutnya di keringkan menggunakan sinar matahari selama 5 hari. Biobriket selanjutnya dianalisis kadar abu, kadar air serta nilai kalor yang dibandingkan dengan standar SNI 01-6235-2000 [15].

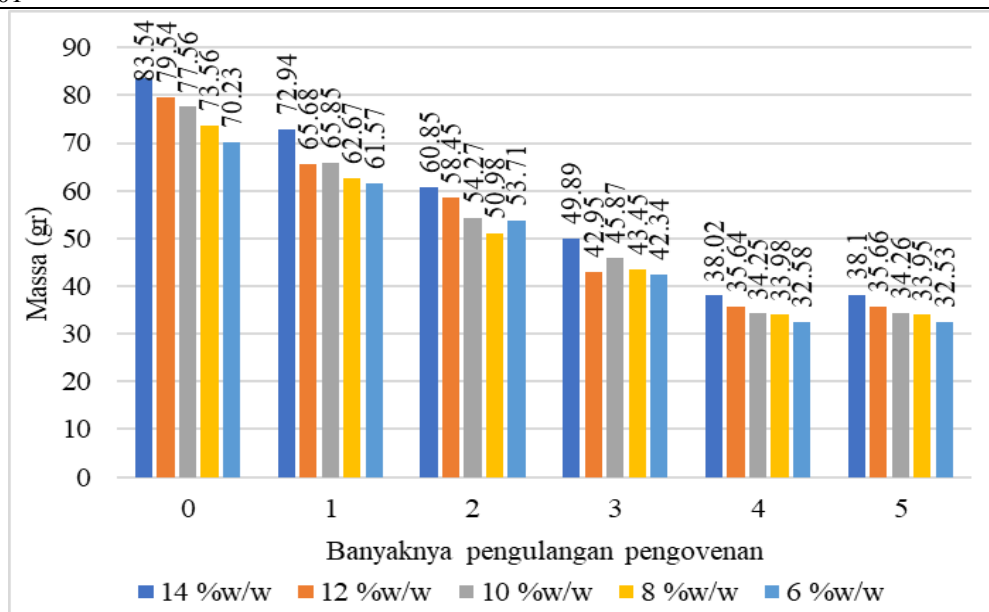
3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Produk biobriket dari sekam padi yang telah dicetak dan dikeringkan menggunakan bantuan panas matahari selanjutnya dilakukan analisis kadar air biobriket. Analisis kandungan kadar air biobriket mengacu pada SNI 01-6235-2000 [15]. Proses yang dilakukan dengan melakukan proses pengeringan biobriket dengan bantuan pemanasan sinar matahari dilakukan selama lima hari. Tujuan pada analisis kandungan air ini untuk mengukur kemampuan hidrokopis dari biobriket sehingga biobriket dapat memiliki kemampuan waktu simpan yang lama [7], [12], [13]. Gambar 2 menunjukkan kadar air dari biobriket pada ukuran 100 mesh terhadap variasi perekat.



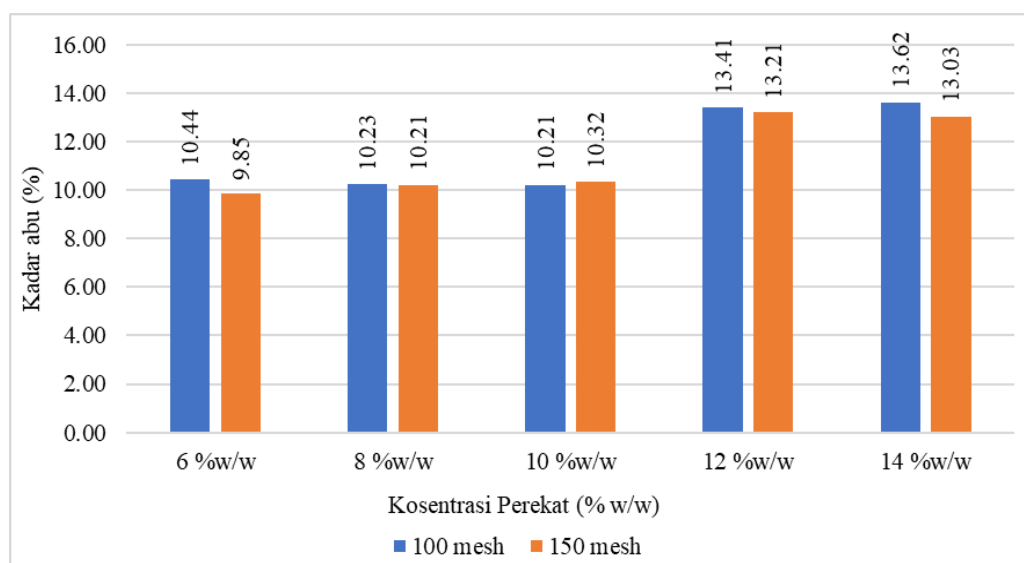
Gambar 2. Grafik penurunan kadar air biobriket dari sekam padi dengan ukuran serbuk 100 mesh

Pada Gambar 2 menunjukkan penurunan kadar air biobriket dari sekam padi yang berukuran 100 mesh. Gambar 2 dapat menunjukkan bahwa persentase penurunan kadar air pada perekat tepung tapioka 6 % w/w sebesar 54,61 %, sedangkan pada perekat tepung tapioka 8 % w/w sebesar 58,71 %. Pada perekat tepung tapioka 10 % w/w didapatkan penurunan kadar air sebesar 59,06 %, pada perekat tepung tapioka 12 % w/w didapatkan penurunan kadar air sebesar 60,95 % dan pada perekat tepung tapioka 14 % w/w didapatkan penurunan kadar air sebesar 59,99 %. Persentase penurunan dari kadar air yang didapatkan menunjukkan bahwa konsentrasi perekat tepung tapioka yang semakin tinggi maka dihasilkan kandungan air semakin tinggi. Syarat persentase kadar air biobriket yang dilahat pada SNI 01-6235-2000 [15] maksimum sebesar 8 %. Semua produk biobriket dari sekam padi pada ukuran serbuk 100 mesh yang dibuat, belum ada produk biobriket yang telah memenuhi persyaratan mutu briket yang berupa kadar air yang sesuai SNI 01-6235-2000 [15]. Hal ini mungkin disebabkan kurangnya waktu pengeringan dari biobriket dari sekam padi dan pada saat pengeringan menggunakan sinar matahari, proses pengeringan tidak optimal dikarenakan pada saat proses pengeringan kondisi matahari tidak begitu cerah. Kandungan air yang besar dapat berakibat pada lama waktu proses penyimpanan biobriket. Semakin tinggi kadar air biobriket yang melebihi syarat mutu briket sesuai SNI 01-6235-2000 [15] yaitu maksimal 8%, maka semakin sebentar proses penyimpanan biobriket dapat dilakukan. Kadar air yang tinggi yang terkandung didalam biobriket dapat menyebabkan mudahnya biobriket ditumbuhi oleh jamur. Jamur yang tumbuh di permukaan biobriket dapat menyebabkan proses degradasi senyawa karbon yang disebabkan oleh jamur [16]. Oleh karena itu, nilai kadar air dari briket sangat menentukan lama waktu simpan biobriket agar tetap awet. Kadar air terendah pada biobriket dari sekam padi berukuran serbuk 100 mesh yaitu pada perekat 8 % w/w.



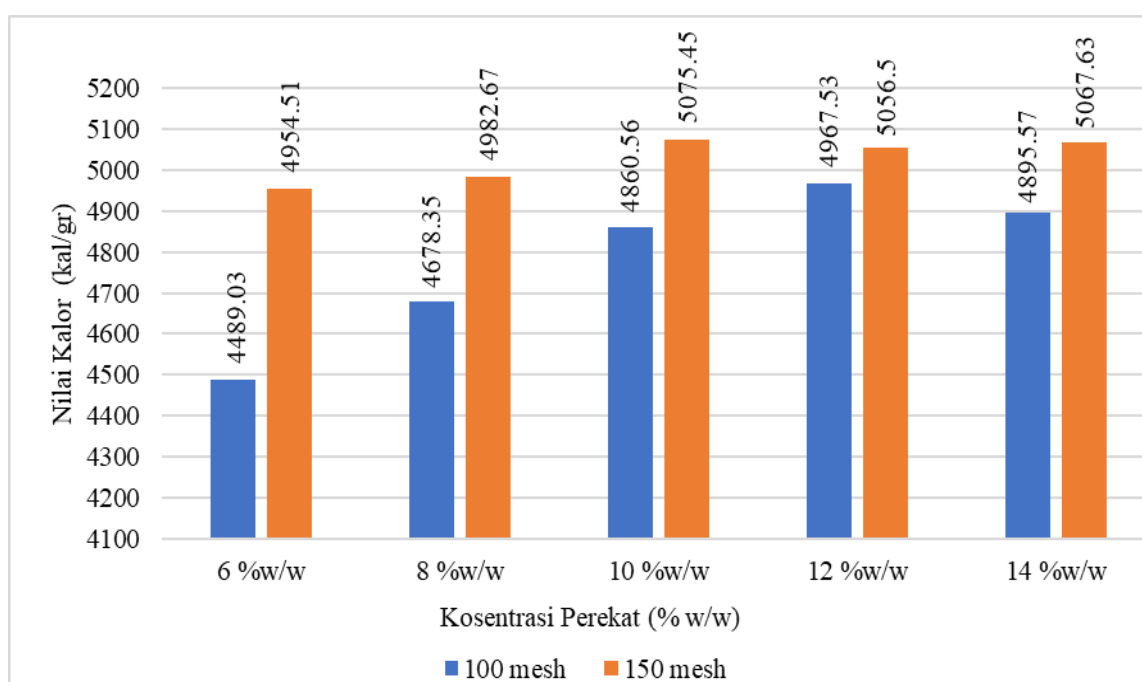
Gambar 3. Grafik penurunan kadar air pada biobriket dari sekam padi dengan ukuran serbuk 150 mesh

Pada Gambar 3 memperlihatkan penurunan kandungan air biobriket dari sekam padi yang berukuran 150 mesh pada masing-masing variasi berat perekat tepung tapioka. Dari gambar 3 dapat diketahui bahwa persentase penurunan kadar air pada perekat tepung tapioka 6 %w/w mampu menurunkan kadar air sebesar 53,68 %, pada perekat tepung tapioka 8 %w/w mampu menurunkan kadar air sebesar 53,85 %, pada perekat tepung tapioka 10 %w/w mampu menurunkan kadar air sebesar 55,83 %w/w, pada perekat tepung tapioka 12 %w/w mampu menurunkan kadar air sebesar 55,17% dan pada perekat tepung tapioka 14 %w/w mampu menurunkan kadar air sebesar 54,39 %. Dari data penurunan nilai kadar air ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar berat perekat tepung tapioka yang digunakan maka akan berpengaruh pada semakin tingginya kadar air yang terkandung didalam biobriket sekam padi. Hal ini juga sejalan dengan penurunan kadar air pada biobriket dari sekam padi yang berukuran 100 mesh yang memiliki kandungan air terbesar pada tepung tapioka yang memiliki perbandingan berat yang tinggi. Namun dari gambar 3 dapat diketahui bahwa biobriket sekam padi pada variasi ukuran 150 mesh juga belum memenuhi persyaratan mutu briket yang telah ditetapkan pada SNI 01-6235-2000 [15] terhadap kadar air yaitu maksimal 8 %. Kandungan air terkecil yang dimiliki oleh biobriket dari sekam padi yang berukuran 150 mesh terdapat pada variasi perekat 6 % w/w yaitu 32,53 %. Nilai kandungan air yang besar ini disebabkan karena proses pengeringan biobriket masih belum cukup dan diperlukan waktu pengeringan yang lebih lama dan diperlukan pemanasan sinar matahari yang optimal (tidak dalam waktu mendung).



Gambar 4. Persentase nilai kadar abu biobriket dari sekam pada serbuk berukuran 100 dan 150 mesh pada masing-masing variasi perekat tepung.

Gambar 4 memperlihatkan persentasi niali kadar abu biobriket sekam padi pada ukuran serbuk/serbuk 100 mesh serta 150 mesh pada masing-masing variasi perekat tepung tapioka. Biobriket pada ukuran serbuk 100 mesh yang memiliki nilai kadar abu paling rendah diperoleh pada perekat tepung tapioka 10 %w/w, sedangkan biobriket pada ukuran serbuk 150 mesh yang memiliki nilai kadar abu paling rendah diperoleh pada perekat tepung tapioka 6 %w/w. Penambahan konsentrasi perekat tepung tapioka pada proses pencetakan briket dapat meningkatkan nilai kadar abu. Hal ini dikarenakan sifat perekat tepung tapioka yang juga dapat meningkatkan nilai kadar abu yang terkandung didalam biobriket [17]. Namun rendahnya penambahan perekat tepung tapioka pada biobriket sekam padi memiliki efek kurang baik berupa daya kokoh biobriket sekam padi semakin menurun [5]. Dari hal ini dapat diketahui bahwa semakin rendah konsentrasi perekat sekam padi maka semakin buruk daya kokoh biobriket namun semakin kecil nilai kadar abunya, sebaliknya semakin besar konsentrasi perekat tepung tapioka pada biobriket sekam padi maka semakin kokoh biobriket sekam padi namun semakin tinggi kadar abu yang didapatkan. Syarat mutu yang ditetapkan pada nilai kadar abu biobriket menurut SNI 01-6235-2000 [15] yaitu maksimum 8%. Biobriket sekam padi pada ukuran serbuk/serbuk 100 mesh maupun 150 mesh pada masing-masing konsentrasi perekat belum memenuhi persyaratan mutu kadar abu yang telah ditetapkan pada standar SNI 01-6235-2000 [15].



Gambar 5. Nilai kalor biobriket dari sekam padi pada serbuk karbon berukuran 100 serta 150 mesh pada masing-masing variasi perekat tepung.

Pada Gambar 5 memperlihatkan nilai kalor biobriket sekam padi pada serbuk berukuran 100 serta 150 mesh pada variasi perekat. Tepung. Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin kecil ukuran serbuk/serbuk maka nilai kalor biobriket dari sekam padi akan semakin tinggi, begitu juga semakin tinggi konsentrasi perekat tepung tapioka yang diberikan maka semakin tinggi juga nilai kalor biobriket sekam padi yang diperoleh. Nilai kalor terbesar pada biobriket dari sekam padi yang berukuran serbuk 100 mesh terdapat pada konsentrasi perekat tepung tapioka 12 %w/w, sedangkan nilai kalor biobriket dari sekam padi tertinggi terdapat pada serbuk berukuran serbuk 150 mesh terdapat pada konsentrasi perekat tepung tapioka 10 %w/w. Nilai kalor pada biobriket dari sekam padi pada variasi ukuran serbuk 100 mesh menunjukkan bahwa biobriket telah memenuhi persyaratan mutu dari nilai kalor briket kelas B yaitu 4.000 – 5.000 kal/gr yang berdasarkan pada standar SNI 4931:2010. Nilai kalor pada biobriket dari sekam padi pada variasi berukuran serbuk 150 mesh pada konsentrasi perekat tepung tapioka 6 %w/w dan 8 %w/w telah memenuhi nilai kalor briket pada kelas B yaitu 4.000 – 5.000 kal/gr yang mengacu pada SNI 4931:2010, sedangkan pada konsentrasi perekat tepung tapioka 10 %w/w, 12 %w/w dan 14 %w/w telah memenuhi persyaratan nilai kalor briket yang telah ditetapkan pada kelas A (5.000 – 6.000 kal/gr) yang mengacu pada SNI 4931:2010.

4. KESIMPULAN

Nilai kadar air dan kadar abu pada variasi ukuran serbuk karbon dari sekam padi (100 serta 150 mesh) dan konsentrasi perekat tepung tapioka (6; 8; 10; 12; serta 14% (%w/w)) belum memenuhi syarat mutu kadar air (minimal 8%) dan kadar abu (minimal 8%) yang disyaratkan oleh SNI 01-6235-2000 [15]. Namun, nilai kalor pada biobriket dari sekam padi pada variasi 100 mesh karbon dari sekam padi telah memenuhi persyaratan mutu dari nilai kalor briket pada kelas B yaitu 4.000 – 5.000 kal/gr yang mengacu berdasarkan standar SNI 4931:2010 serta nilai kalor pada biobriket dari sekam padi pada variasi 150 mesh karbon dari sekam padi dengan konsentrasi perekat tepung tapioka 6 %w/w dan 8 %w/w telah memenuhi nilai kalor briket pada kelas B yaitu 4.000 – 5.000 kal/gr yang mengacu pada SNI 4931:2010 sedangkan pada konsentrasi perekat tepung tapioka 10 %w/w, 12 %w/w dan 14 %w/w telah memenuhi persyaratan nilai kalor briket pada kelas A (5.000 – 6.000 kal/gr) yang mengacu pada SNI 4931:2010.

Daftar Pustaka

- [1] S. Pietro Parmigiani, F. Vitali, A. M. Lezzi, dan M. Vaccari, “Design and performance assessment of a rice husk fueled stove for household cooking in a typical sub-Saharan setting,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 23, no. 1, hal. 15–24, 2014, doi: 10.1016/j.esd.2014.01.003.
- [2] J. Zhang dan Y. Guo, “Physical properties of solid fuel briquettes made from Caragana korshinskii Kom,” *Powder Technol.*, vol. 256, no. April, hal. 293–299, 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2014.02.025.
- [3] M. J. Stolarski, S. Szczukowski, J. Tworkowski, M. Krzyzaniak, P. Gulczyński, dan M. Mleczek, “Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass,” *Renew. Energy*, vol. 57, no. September, hal. 20–26, 2013, doi: 10.1016/j.renene.2013.01.005.
- [4] J. Shen, S. Zhu, X. Liu, H. Zhang, dan J. Tan, “Measurement of Heating Value of Rice Husk by Using Oxygen Bomb Calorimeter with Benzoic Acid as Combustion Adjuvant,” *Energy Procedia*, vol. 17, no. March, hal. 208–213, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.02.085.
- [5] Á. Ramírez-Gómez, E. Gallego, J. M. Fuentes, C. González-Montellano, dan F. Ayuga, “Values for particle-scale properties of biomass briquettes made from agroforestry residues,” *Particuology*, vol. 12, no. 1, hal. 100–106, 2014, doi: 10.1016/j.partic.2013.05.007.
- [6] L. Chen, L. Xing, dan L. Han, “Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 9, hal. 2689–2695, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.06.025.
- [7] A. T. Nugroho, T. A. Wicaksono, F. Kurniasih, dan Satriawan, “Kajian Pembuatan Briket Biokarbon dari Sampah Kiriman Pantai Teluk Penyu, Cilacap,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 1, hal. 1–6, 2020.
- [8] P. V. Jadhav, S. Dashore, dan K. Chaudhary, “Biomass Briquette System: Pollution Free Thermal Energy Resources,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 1, hal. 1165–1171, 2016, doi: 10.15680/IJIRSET.2015.0501102.
- [9] Badan Pusat Statistik, “Statistik Luas Panen dan Produksi Padi,” *Berita Resmi Statistik*, vol. 2, no. 16, hal. 1–12, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/pressrelease/2020/10/15/1757/luas-panen-dan-produksi-padi-pada-tahun-2020-mengalami-kenaikan-dibandingkan-tahun-2019-masing-masing-sebesar-1-02-dan-1-02-persen-.html>
- [10] R. A. Patil dan K. Bavda, “Dry sugarcane leaves - renewable biomass resources for making briquettes (cellulosic content of sugarcane leaves).pdf,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 10, no. 1, hal. 232–235, 2017.
- [11] B. J. Ward, “Human Fecal Biochar Briquettes From the Sol-Char,” 2013.
- [12] M. I. I. Gumirat dan D. Satriawan, “Analisis Kalor Biobriket Sekam Padi Pada Variasi Perekat Dan Variasi Tekanan,” in *Seminar Nasional Terapan Riset Ino atif (SENT NOV) ke-VII*, 2021, hal. 598–604.
- [13] D. Satriawan, A. Santoso, dan B. Widianingsih, “Analisis Kuantitatif Pengaruh Waktu Karbonisasi Dan Konsentrasi Koh Pada Pembuatan Karbon Aktif Sekam Padi,” in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOVE)*, 2021, vol. 7, no. 2, hal. 605–612.
- [14] F. P. Hartanto dan F. Alim, “Optimasi Kondisi Operasi Pirolisis Sekam Padi untuk Menghasilkan Bahan Bakar Briket Biokarbon Sebagai Bahan Bakar Alternatif,” *Jur. Tek. Kim. Fak. Tek. Univ. Diponegoro*, hal. 1–10, 2011.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 01-6235-2000 Tentang Briket Karbon Kayu*. Indonesia.
- [16] R. H. B. Setiarto, “Prospek Dan Potensi Pemanfaatan Lignoselulosa Jerami Padi Menjadi Kompos, Silase Dan Biogas Melalui Fermentasi Mikroba,” *J. Selulosa*, vol. 3, no. 02, hal. 51–66, 2016, doi: 10.25269/jsel.v3i02.44.
- [17] B. J. Ward, T. W. Yacob, dan L. D. Montoya, “Evaluation of solid fuel char briquettes from human waste,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, no. 16, hal. 9852–9858, 2014, doi: 10.1021/es500197h.