

PENINGKATAN KUALITAS BAHAN BAKAR BIOMASSA TEMPURUNG KELAPA DENGAN PROSES TOREFAKSI DAN DENSIFIKASI

(Improving the Quality of Coconut Shell Biomass Fuel with the Process of Torrefaction and Densification)

Nadya*, Jefri Ancong, Nurjannah, Gusnawati

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumaharjo No.Km 5 Panaikang, Panakukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia

Inti Sari

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan kualitas biomassa tempurung kelapa setelah proses torefaksi dan densifikasi, serta mengetahui kualitas briket pada penambahan perekat kanji dengan konsentrasi yang berbeda. Tempurung kelapa yang sudah dibersihkan dan dikeringkan, diarangkan lalu dihaluskan menjadi tepung arang. Tepung arang diayak hingga ukuran 200mesh. 250gr tepung arang dicampurkan dengan sebanyak 50ml perekat kanji. Variasi konsentrasi perekat kanji yang digunakan ialah 10%, 15%, 20%, dan 25%. Setelah dicampur perekat, Tepung arang dicetak/dibriketkan dengan cetakan terbuat dari pipa paralon berukuran 3.5 inch. Briket dipanaskan dalam oven selama 30 menit dengan suhu 200°C. Briket yang telah diproses dianalisa moisture, ash, zat terbang, kalori dan sulfur. Proses torefaksi dan densifikasi dapat meningkatkan nilai kalori karena dapat menurunkan nilai moisture dan ash, tetapi nilai zat terbangnya meningkat. Semakin tinggi konsentrasi perekatnya, semakin bagus pula kualitas briket yang dihasilkan. Hasil analisa yang didapatkan, moisture 7,57%, 6,65%, 6,52%, 6,45%, 6,38%. Hasil Ash yang didapatkan 2,81%, 2,13%, 1,94%, 1,87%, 1,77%. Hasil VM yang didapatkan 12,71%, 13,64%, 13,88%, 14, 16% dan 14,47%. Nilai fix carbon yang didapatkan 76,91%, 77,58%, 77,66%, 77,52%, 77,38%. Nilai kalori didapatkan 7059, 7139, 7252, 7295, 7302 dan untuk sulfur 0,036%.

Abstract

This research was conducted to determine changes in the quality of coconut shell biomass after the torrefaction and densification processes, as well as to determine the quality of briquettes when starch adhesive was added with different concentrations. Coconut shells that have been cleaned and dried are charcoaled and then ground into charcoal flour. The charcoal flour is sifted to a size of 200mesh. 250g charcoal flour mixed with 50ml starch adhesive. Variations in the concentration of starch adhesive used are 10%, 15%, 20% and 25%. After mixing the adhesive, the charcoal flour is molded/briquetted using a mold made from 3.5 inch paralon pipe. The briquettes are heated in the oven for 30 minutes at 200°C. The processed briquettes are analyzed for moisture, ash, volatile matter, calories and sulfur. The torrefaction and densification

Kata Kunci: Biomassa, Densifikasi, Tempurung Kelapa, Torefaksi.

Key Words: Biomass, Coconut Shell, Densification, Torrefaction.

Published by
Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address
Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Email :
jmpe@umi.ac.id

***Corresponding Author**
nnadya.dea11@gmail.com



Journal History
Paper received : 25 Juni 2024
Received in revised : 20 Juli 2024
Accepted : 05 Agustus 2024

processes can increase the calorific value because they can reduce the moisture and ash values, but the volatile matter value increases. The higher the adhesive concentration, the better the quality of the briquettes produced. The analysis results obtained were moisture 7.57%, 6.65%, 6.52%, 6.45%, 6.38%. The Ash results obtained were 2.81%, 2.13%, 1.94%, 1.87%, 1.77%. The VM results obtained were 12.71%, 13.64%, 13.88%, 14, 16% and 14.47%. The fixed carbon values obtained were 76.91%, 77.58%, 77.66%, 77.52%, 77.38%. The calorific value was found to be 7059, 7139, 7252, 7295, 7302 and for sulfur 0.036%.

PENDAHULUAN

Bahan bakar adalah bahan/material apapun yang bisa diubah menjadi energy. Bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan jika dioksidasikan atau dibakar [1]. Kebutuhan bahan bakar untuk energi di Indonesia tiap tahunnya tercatat semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan kemajuan industri. Disisilain, cadangan minyak nasional semakin lama semakin menurun. Untuk mengatasi krisis energi yang terjadi diperlukan suatu usaha untuk mencari sumber-sumber energi alternative baru yang lebih murah, berlimpah dan dapat diperbaharui. Energi alternative yang saat ini banyak dikembangkan adalah biomassa [2].

Biomassa merupakan sumber energi terbarukan dan berkelanjutan yang memiliki potensi sangat besar yaitu 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton. Peningkatan penggunaan biomassa dari limbah dapat mengurangi tingkat polusi di dunia dengan mengkonversi sampah menjadi sumber energy yang berguna [3], salah satu biomassa yang ekonomis dan gampang ditemukan ialah tempurung kelapa.

Tempurung kelapa merupakan sumber energi alternatif yang melimpah dengan kandungan energy yang relative besar, bahan bakunya mudah didapatkan dan dapat digunakan oleh masyarakat tanpa mengeluarkan biaya yang besar. Tempurung kelapa dapat digunakan sebagai bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Tempurung kelapa digunakan sebagai bahan bakar pada rumah tangga. Penggunaan tempurung kelapa sebagai bahan bakar langsung kurang praktis, karena menghasilkan asap yang banyak, karena itu harus diolah terlebih dahulu menjadi briket [4]. Tempurung kelapa memiliki nilai kalori sebesar 4574,50 kal/gr [5] yang sama dengan nilai kalori batubara jenis lignit.

Meskipun tempurung kelapa memiliki nilai yang sama dengan batubara, tapi masih cukup rendah dibandingkan dengan potensi yang dimiliki oleh batubara. Makadari itu penelitian ini dipertujukan untuk meningkatkan kualitas tempurung kelapa sebagai bahan bakar. Biomassa dapat dikonversi menjadi energy dengan berbagai metode proses. Konversi biomassa menjadi energy secara umum menggunakan dua teknologi proses yaitu termokimia dan biologi. Proses termokimia mempunyai tiga pilihan teknologiyaitu pembakaran, pirolisis, dan gasifikasi [6].

Pada penelitian kali ini digunakan proses densifikasi dan torrefaksi. Proses densifikasi bertujuan untuk meningkatkan densitasnya dan torrefaksi untuk meningkatkan nilai kalornya. Kombinasi dari proses densifikasi dan torrefaksi akan menghasilkan bahan bakar padat biomassa kualitas tinggi. Makalah ini akan memberikan ulasan balik teknologi densifikasi dan torrefaksi untuk peningkatan kualitas bahan bakar padat biomassa sehingga dapat menjadi setara dengan batubara. Biomassa pada umumnya mempunyai densitas yang cukup rendah, sehingga akan mengalami kesulitan dalam penanganannya [7]. Densifikasi atau pembriketan biomassa bertujuan untuk meningkatkan densitas dan menurunkan persoalan penanganan seperti penyimpanan dan pengangkutan [8]. Usaha untuk meningkatkan nilai kalori biomassa agar bisa setara dengan batubara salah satunya adalah dengan proses karbonisasi temperatur rendah atau disebut dengan proses torrefaksi [9]. Karbonisasi atau pengarangan sudah dikenal cukup luas untuk proses pembuatan arang. Sementara torrefaksi adalah suatu proses termokimia pada suhu 200-300 °C tanpa adanya oksigen, pada tekanan atmosfer, dan laju pemanasan partikel yang rendah (<50 °C/min) [10]. Dengan metode ini maka diharapkan akan memperbaiki karakteristik bahan bakar seperti peningkatan nilai kalor, menurunkan kadar air, *grindability*, dan memperbaiki sifat higroskopik [11].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah bomb calorimeter, neraca analitik, cawan, oven, tanur, desikator, ayakan, cetakan briket. Bahan yang digunakan adalah tempurung kelapa, kayu, dan tepung kanji.

Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Tempurung kelapa dibersihkan dari kotoran yang terikut, lalu di keringkan dibawah sinar matahari. Bahan dimasukkan dalam tungku pengarangan secara terpisah dan bertahap. Lalu bahan disulut dengan api. Sesudah bahan menjadi arang dikeluarkan dari tungku pengarangan. Bioarang hasil pengarangan dihaluskan hingga menjadi tepung arang. Tepung arang yang telah dihaluskan tersebut kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran material yang seragam. Dalam penelitian ini, ukuran material yang digunakan adalah lebih besar atau sama dengan 200 mesh.

Proses Densifikasi

Menyiapkan campuran perekat yaitu amilum sebanyak 50ml dengan konsentrasi masing-masing 10%, 15%, 20%, dan 25% kemudian dipanaskan. Adonan yang telah jadi perekat, kemudian dicampurkan dengan tepung arang hasil pengayakan sehingga menjadi adonan yang lengket, selanjutnya adonan diaduk agar semua bahan tercampur merata. Hasil adonan dimasukkan dalam cetakan yang terbuat dari pipa paralon dengan diameter 3.5 inch dan kemudian ditekan. Penekanan yang dilakukan pada briket diupayakan sedemikian rupa sehingga briket lebih padat dan kuat.

Proses Torefaksi

Torefaksi dilakukan menggunakan oven listrik dengan suhu 200°C. Durasi yang digunakan selama 30 menit. Briket yang dihasilkan diuji parameternya, yaitu kualitas nilai kalor, kadar air, Kadar abu dan kadar sulfur.

Analisa Hasil

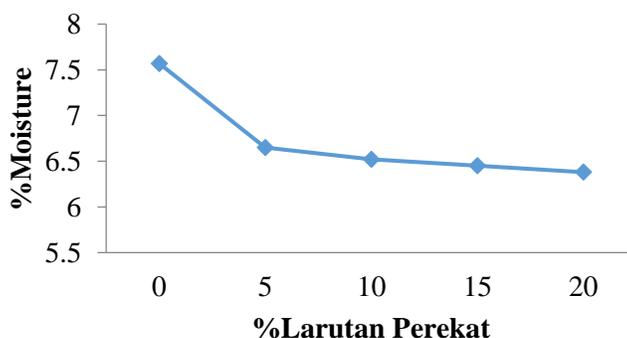
Analisa yang dilakukan pada penelitian ini adalah Analisa kadar air, kadar abu, nilai kalori, dan total sulfur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk yang dihasilkan dari proses torefaksi dan densifikasi semuanya memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 8675:2018. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kualitas dan nilai biomassa tempurung kelapa.

Analisa Moisture

Gambar dibawah ini menunjukkan pengaruh konsentrasi perekat terhadap kandungan moisture. Grafik menunjukkan adanya penurunan nilai moisture seiring bertambahnya konsentrasi perekat.



Gambar 1. Grafik Hubungan Konsentrasi Perekat dengan Kandungan Air (*Moisture*)

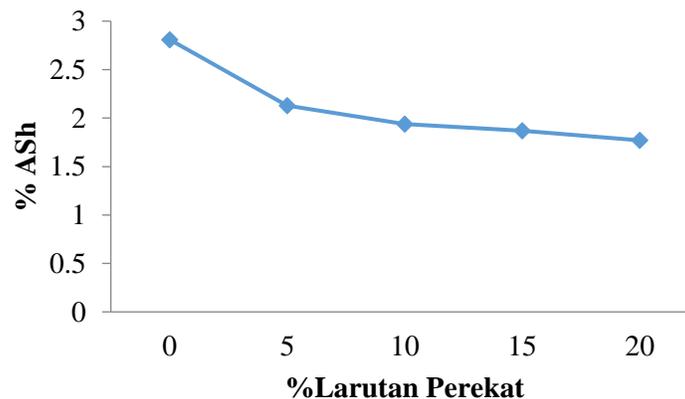
Analisa ini bertujuan untuk mengetahui kelembapan yang terkandung dalam bahan bakar. Kandungan air yang terkandung pada briket menentukan mudah atau tidaknya briket pada saat dibakar. Semakin sedikit air yang terkandung dalam suatu bahan bakar artinya semakin bagus pula kualitas bahan bakar tersebut. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa tempurung kelapa yang belum diproses memiliki nilai moisture yang paling tinggi, sedangkan, seiring bertambahnya konsentrasi perekat maka nilai moisture yang ada pada produk semakin menurun atau

membalik. Hal ini dikarenakan semakin banyak zat terlarut maka semakin sedikit pelarutnya dimana pelarut yang digunakan pada perekat adalah air sehingga konsentrasi pelarut bisa mempengaruhi kualitas biomassa. Perekat yang digunakan yaitu kanji atau amilum tidak dapat mengikat kandungan air secara sempurna sehingga air yang tidak terikat dapat menghilang atau menguap pada saat pemanasan [12].

Pada penelitian sebelumnya, Pengaruh Variasi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Biobriket Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Jenggel Jagung (Abdillah & Siregar, 2023) didapatkan moisture sebesar 2,58%-4,81% pada konsentrasi 5%-9%. Sedangkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini 6,65% - 6,38% pada konsentrasi 5%- 20%. Hal ini terjadi karena pada penelitian sebelumnya suhu yang digunakan lebih tinggi dan waktu yang digunakan lebih lama.

Analisa Ash/Abu

Gambar dibawah ini menunjukkan pengaruh konsentrasi perekat terhadap kandungan ash (abu). Grafik menunjukkan adanya penurunan nilai ash seiring bertambahnya konsentrasi perekat



Gambar 2. Grafik Pengaruh Konsentrasi Perekat dengan Kadar Abu (Ash)

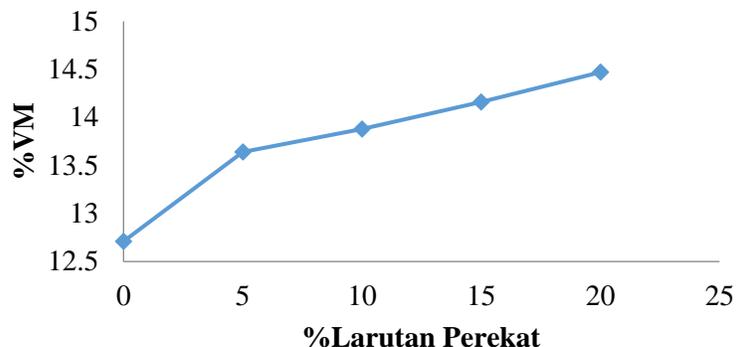
Analisa kadar abu pada penelitian ini menggunakan suhu 750°C selama 4 jam untuk membakar semua komponen senyawa organik dalam bahan bakar yang menyisahkan komponen anorganik atau mineral. Pengujian abu jugadilakukan untuk melihat komponen yang terbakar yang telah mengalami proses pembakaran dan tidak lagi mengandung unsure karbon didalamnya. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa dengan adanya proses torefaksi dan densifikasi ini bisa menurunkan nilai ashnya. Hal ini terjadi adanya pepadatan dan pengecilan partikel tempurung kelapa menjadi 40 mesh. Selain itu, baik kanji maupun tempurung kelapa tidak memiliki kandungan mineral yang banyak seperti kebanyakan batubara.

Semua briket mengandung bahan anorganik, yang diukur sebagai berat yang tersisa setelah briket habis terbakar [13]. Peningkatan kandungan abu pada briket mempengaruhi kelancaran proses pembakaran. Sehingga menimbulkan rendahnya perpindahan tegangan ke sisi briket paling dalam, difusi oksigen ke permukaan sewaktu pembakaran, dan kandungan abu yang dapat menimbulkan emisi debu sehingga volume pembakaran rendah dan proses penyalaan semakin sulit. Menurut [13], tepung kanji mempunyai kandungan abu sekitar 0,36. Kandungan abu dari pada bahan perekat tersebut yang menekan kandungan abu yang dimiliki tempurung kelapa.

Pada penelitian sebelumnya, Pengaruh Variasi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Biobriket Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Jenggel Jagung [13] didapatkan ash sebesar 9,49%-11,53% pada konsentrasi 5%-9%. Sedangkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini 1,77% - 2,13% pada konsentrasi 5%-20%. Hal ini terjadi karena perbedaan biobriket yang digunakan. Dimana, pada penelitian sebelumnya ada pencampuran tempurung kelapa dan jenggel jagung, serta tempurung kelapa yang berasal dari tempat berbeda.

Analisa Zat Terbang

Gambar dibawah ini menunjukkan pengaruh konsentrasi perekat terhadap zat terbang. Grafik menunjukkan adanya peningkatan nilai zat terbang seiring bertambahnya konsentrasi perekat.



Gambar 3. Grafik Hubungan Konsentrasi Perakat dengan Zat Terbang (VM)

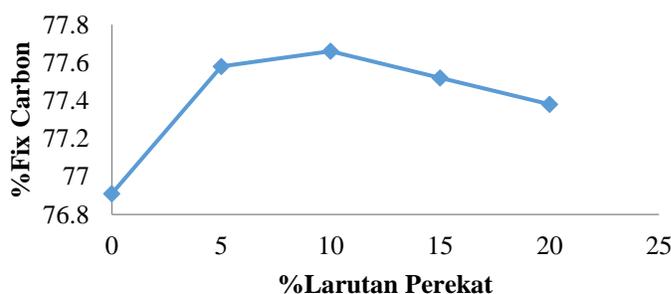
Mengetahui kadar zat terbang memiliki signifikan penting karena akan mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan, yang akan mempengaruhi efisiensi bahan bakar dan menentukan durasi pembakaran dan jumlah asap yang dihasilkan selama proses pembakaran. Grafik diatas menunjukkan bahwa variasi konsentrasi larutan perakat memberikan dampak yang signifikan pada kadar zat terbang, semakin besar konsentrasi larutan perakat semakin besar juga nilai zat terbangnya.

Penyebabnya adalah kadar zat terbang yang ditentukan oleh suhu dan durasi selama proses karbonisasi. Semakin lama waktu dan semakin tinggi suhu yang digunakan, akan semakin banyak zat terbang yang dihasilkan. Oleh karena itu, presentasi zat terbang meningkat karena proses dekomposisi senyawa karbon menjadi lebih maksimal. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan suhu pemanasan 200°C dan waktu 30 menit agar dapat meningkatkan nilai kalori dan yang lainnya tetapi kadar zat terbangnya tidak bertambah sangat signifikan.

Pada penelitian sebelumnya, Pengaruh Variasi Konsentrasi Perakat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Biobriket Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Jenggel Jagung [14] didapatkan zat terbang sebesar 27,43%-30,08% pada konsentrasi 5%-9%. Sedangkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini 13,64%-14,47% pada konsentrasi 5%-10%. Hal ini terjadi karena pada penelitian sebelumnya suhu yang digunakan lebih tinggi dan waktu yang digunakan lebih lama

Fix Carbon

Gambar dibawah ini menunjukkan pengaruh konsentrasi perakat terhadap nilai *fix carbon*. Grafik menunjukkan adanya peningkatan nilai *fix carbon* seiring bertambahnya konsentrasi perakat.



Gambar 4. Grafik Hubungan Konsentrasi Perakat dengan *Fix Carbon*

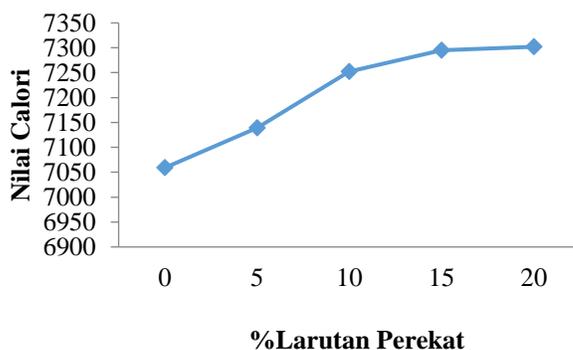
Kandungan selulosa dalam arang maupun kanji akan mempengaruhi kadar karbon terikat dalam produksi biobriket. Kandungan selulosa yang tinggi akan membuat karbon terikat semakin besar. Karbon pada biobriket akan bereaksi dengan oksigen yang dibutuhkan pada proses pembakaran untuk menghasilkan kalor.

Fix carbon didapatkan dari 100 dikurangi dengan nilai moisture, ash dan zat terbang. Oleh karena itu nilai fix carbon sangat dipengaruhi oleh moisture, vm, dan ash briket itu sendiri. Nilai fix carbon yang didapatkan sudah sesuai dengan standar SNI yang ada.

Pada penelitian sebelumnya, Pengaruh Variasi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Biobriket Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Jenggel Jagung [15], didapatkan fix carbon sebesar 53,58%-60,50% pada konsentrasi 5%-9%. Sedangkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini 77,58%-77,38% pada konsentrasi 5%- 10%. Selain karena pengaruh Moisture, ash dan zat terbang, selulosa pada perekat juga mempengaruhi fix carbon.

Analisa Nilai Kalori

Gambar dibawah ini menunjukkan pengaruh konsentrasi perekat terhadap nilai kalori. Grafik menunjukkan adanya peningkatan nilai kalori seiring bertambahnya konsentrasi perekat.



Gambar 5. Grafik Hubungan Konsentrasi Perekat dengan Nilai Kalori

Nilai kalori menjadi factor utama yang menentukan bagusnya pembakaran suatu briket. Percobaan nilai kalori menggunakan suhu yang terkontrol dalam calorimeter. Grafik diatas menunjukkan adanya perubahan dan peningkatan nilai kalori jika digunakan perekat kanji dengan konsentrasi yang berbeda. Meskipun tidak signifikan tetapi grafik diatas menunjukan bahwa semakin tinggi konsentrasi perekat maka semakin bertambah nilai calorinya.

Mutu nilai calor briket bisa meningkat sejalan dengan bertambahnya komposisi perekat pada briket. Hal ini terjadi akibat pembakaran biomassa yang tiak sempurna, sehingga menimbulkan senyawa karbon kompleks susah untuk lepas berupa karbon dioksida, sehingga terjadi peningkatan nilai kalor [16]. Nilai kalori ini mengacu pada jumlah energy yang dapat dihasilkan dari pebakaran briket, ini menggambarkan kandungan energy yang terkandung dalam briket.

Jumlah energy yang dikandung ini dipengaruhi oleh ukuran mesh yang digunakan. Ukuran mesh yang lebih halus dan partikel bahan baku yang lebih halus dapat menghasilkan briket yang lebih padat. Kepadatan yang lebih tinggi dapat meningkatkan nilai kalor briket karena lebih banyak bahan bakar yang terkandung dalam volume yang sama.

Pada penelitian sebelumnya, Pengaruh Variasi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka terhadap Karakteristik Biobriket Campuran Arang Tempurung Kelapa dan Jenggel Jagung [10] didapatkan nilai kalori sebesar 6056-3029 pada konsentrasi 5%-9%, dimana hasilnya menurun seiring pertambahan. Sedangkan hasil yang didapatkan pada penelitian ini 7139-7302 pada konsentrasi 5%- 10%. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan bahan yang digunakan sebagai biobriket.

Analisa Sulfur

Percobaan total sulfur menggunakan suhu tinggi yaitu 1350°C. Suhu yang digunakan ialah suhu dimana sulfur dapat terdeteksi. Biomassa tempurung kelapa dan perekat amilum yang digunakan sama sama memiliki nilai total sulfur hampir 0, oleh sebab itu meskipun penambahan perekat yang berbeda hasil yang didapatkan hampir sama. Penggunaan briket dari biomassa sebagai bahan bakar alternative sangat disarankan untuk menurunkan angka polutan yang dihasilkan dari pembakaran yang dapat merusak lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa proses torefaksi dan densifikasi dapat meningkatkan nilai kalori karena dapat menurunkan nilai moisture dan ash, tetapi nilai zat terbangnya meningkat dan semakin tinggi konsentrasi perekatnya, semakin bagus pula kualitas briket yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Maridjo, Ika Yuliyani, "Pengaruh pemakaian bahan bakar premium, pertalite dan pertamax terhadap kinerja motor 4 tak," *J. Tek. Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 73–78, Nov. 2019, doi: 10.35313/energi.v9i1.1648.
- [2] L. Najib and S. Darsopuspito, "Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa," *J. Tek. ITS*, vol. 1, no. 1, pp. 12–15, 2012.
- [3] L. Parinduri and T. Parinduri, "Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan," *J. Electr. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020, [Online]. Available: <https://www.dosenpendidikan>.
- [4] Y. Arbi, E. Aidha, and L. Deflianti, "Analisis Nilai Kalori Briket Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Kecamatan Sipora Utara Kabupaten Mentawai," *J. Pendidik. Teknol. Kejuru.*, vol. 1, pp. 119–123, Aug. 2018, doi: 10.24036/jptk.v1i3.2123.
- [5] R. D. Maulidya, A. Setiawan, and V. Setiani, "Analisis Nilai Kalor dari Briket Ampas Tebu dan Tempurung Kelapa," *Conf. Proceeding Waste Treat. Technol.*, no. 2623, pp. 73–76, 2019, [Online]. Available: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
- [6] M. Syamsiro, "Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Padat Biomassa Dengan Proses Densifikasi Dan Torrefaksi," *J. Mek. dan Sist. Termal*, vol. 1, no. 1, pp. 7–13, 2016.
- [7] A. D. Arafah and S. S. Harsono, "Analysis The Effect of Coconut Shell Charcoal Mixed Doses and Adhesive In Characteristics Jamu Dregs Briquettes," *Berk. SAINSTEK*, vol. 9, no. 4, p. 179, Dec. 2021, doi: 10.19184/bst.v9i4.27326.
- [8] T. U. Dewi and P. N. Ardi Nugroho, "Studi Eksperimen Pengaruh Torrefaksi pada Karakteristik Bahan Bakar Padat dari Biomassa Residu Hutan," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 4, no. 2, pp. 62–69, Oct. 2017, doi: 10.21009/JKEM.4.2.2.
- [9] N. Fuhaid, "Pengaruh Medan Magnet terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Kinerja Motor Bakar Bensin Jenis Daihatsu Hijet 1000," *Prot. J. Ilmu-Ilmu Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, 2011, doi: 10.31328/jp.v3i2.213.
- [10] M. Mawardi, "Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa (Cocos Nucifera) dan Ampas Tebu (Baggase) Menjadi Briket Sebagai Energi Baru di Desa Keude Aron Kecamatan Kaway XVI Kabupaten Aceh Barat," pp. 1–81, 2010.
- [11] Nadhif, "Kaji eksperimental torefaksi limbah kulit ketela berbasis gelombang mikro untuk produksi bahan bakar padat terbarukan," 2023.
- [12] J. P. G. Sutapa, "Pengaruh Suhu Dan Waktu Torefaksi Terhadap Kualitas Briket Dari Torefaksi Limbah Serbuk Gergajian Kayu Minda (Melia azedarach L)," pp. 1–2, 2017.
- [13] I. Mahadi, Z. Zulfarina, and Y. U. Panggabean, "Pengaruh Konsentrasi Campuran Perekat Kanji Dan Sagu Terhadap Mutu Briket Limbah Kulit Kolang Kaling (Arenga pinnata Merr.)," *Bio-Lectura J. Pendidik. Biol.*, vol. 10, no. 1, pp. 36–45, Apr. 2023, doi: 10.31849/bl.v10i1.13248.
- [14] A. Irawan, T. Riadz, and N. Nurmalisa, "Proses Torefaksi Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Kandungan Hemiselulosa Dan Uji Kemampuan Penyerapan Air," *Reaktor*, vol. 15, no. 3, p. 190, Nov. 2015, doi: 10.14710/reaktor.15.3.190-194.
- [15] M. Amin and R. Samsudi, "Pemanfaatan limbah serat sabut kelapa sebagai bahan Pembuat helm pengendara kendaraan roda dua," *Pros. Semin. Nas. UNIMUS*, pp. 314–318, 2010, [Online]. Available: <http://jurnal.unimus.ac.id/index.php/psn12012010/article/view/96>
- [16] I. T. Rani, W. Hidayat, I. G. Febryano, D. A. Iryani, A. Haryanto, and U. Hasanudin, "Pengaruh Torefaksi terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong Kelapa Sawit," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 9, no. 1, p. 63, 2020, doi: 10.23960/jtep-l.v9i1.63-70.