

**UPGRADING NILAI KALOR BATUBARA KELAS RENDAH DENGAN METODE
PENGERINGAN DAN PENCAMPURAN OLI BEKAS TAMBANG**

*(Upgrading the Calorific Value of Low Grade Coal using the Method of Drying and Mixing
Ex-Mining Oil)*

Muh. Try Ardiansyah, Muh. Achzan Azhari H, Andi Aladin*, Ummu Kalsum

¹*Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia Jl Urip Sumoharjo KM 5,
Panaikang, Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia*

Inti Sari

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan oli bekas terhadap kualitas batubara dan untuk mengetahui pengaruh pengeringan terhadap nilai kalori batubara. Sampel batubara peringkat rendah diambil lalu dilakukan pengujian awal terhadap batubara tersebut, setelah itu sampel batubara keringkan selama 3 jam lalu dicampurkan dengan oli bekas merek Mesran dengan varian 5%, 10%, 15%, dan 20%, sampel yang telah dicampur kemudian dianalisa nilai kalori, kadar air, *volatile matters*, *ash*, dan *fixed carbon*-nya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi presentasi penambahan minyak oli bekas maka akan semakin tinggi juga nilai kalori atau semakin tinggi kualitas sampel batubara tersebut, nilai kalori tertinggi diperoleh dari sampel dengan presentasi penambahan minyak oli bekas sebanyak 20% sebanyak 7.201 kal/g, dengan kadar air 1,03%, kadar abu 5,79%, *volatile matters* 63,52%, dan *fixed carbon* 29,66%.

Kata Kunci: Batubara, Sub-Bituminous, Minyak Oli Bekas.

Abstract

This research aims to determine the effect of adding used oil on coal quality and to determine the effect of drying on the calorific value of coal. Low rank coal samples were taken and then an initial test was carried out on the coal, after that the coal samples were dried for 3 hours then mixed with Mesran brand used oil with variants of 5%, 10%, 15% and 20%, the mixed samples were then analyzed for value. calories, water content, volatile matters, ash, and fixed carbon. The results of this research show that the higher the percentage of added used oil, the higher the calorific value or the higher the quality of the coal sample. The highest calorific value was obtained from samples with a presentation of 20% added used oil of 7,201 cal/g, with a content water 1.03%, ash content 5.79%, volatile metres 63.52%, and fixed carbon 29.66%.

Key Words : Coal, Sub-Bituminous, Used Oil.

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**
andi.aladin@umi.ac.id



Journal History
Paper received : 07 Februari 2024
Received in revised : 09 Maret 2024
Accepted : 24 April 2024

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang dikenal mempunyai banyak kekayaan alam, salah satu kekayaan alam yang dimiliki Indonesia adalah memiliki cadangan batubara yang melimpah. Pada tahun 2022, peningkatan produksi batubara Indonesia mencapai lebih dari 73 juta metrik ton [1]. Batubara adalah bahan bakar yang terbentuk dari endapan tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk lapisan batubara. Di Indonesia batubara merupakan bahan bakar utama selain solar (diesel fuel) yang telah umum digunakan pada banyak industri. Cadangan batubara di Indonesia pada umumnya termasuk batubara peringkat rendah dengan kadar air total (air bawaan dan air total) yang mencapai 40% [2].

Batubara peringkat rendah ditandai dengan kandungan air yang tinggi dan nilai kalor yang rendah. Agar kandungan airnya turun dan nilai kalornya naik, maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum digunakan [3]. Batubara dengan kualitas rendah masih menjadi masalah yang terus diusut didunia pertambangan batubara, selama ini telah banyak dilakukan penelitian mengenai cara meningkatkan kualitas batubara dari kualitas rendah menjadi kualitas tinggi yang digemari pasar [4]. Pemanfaatan batubara peringkat rendah jenis sub-bituminus masih sedikit karena kurang ekonomis dan tidak memenuhi kriteria pasar. Berbagai masalah yang ditimbulkan oleh batubara peringkat rendah seperti faktor teknis ataupun masalah lingkungan yang selalu menjadi isu dan mendapat perhatian yang serius [5].

Dewatering batubara merupakan proses penghilangan kandungan air dalam batubara dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kalori dari batubara. Air yang terkandung dalam batubara terdiri dari air bebas (*free moisture*) dan air lembab (*inherent moisture*) [6]. Air bebas adalah air yang terikat secara mekanik dengan batubara pada permukaan dalam rengkahan atau kapiler yang mempunyai tekanan uap normal. Adapun air lembab adalah air terikat secara fisik pada struktur pori-pori bagian dalam batubara dan memiliki tekanan uap yang lebih rendah dari pada tekanan normal. Kandungan air dalam batubara merupakan faktor yang merugikan karena dapat menurunkan nilai kalori dari batubara itu sendiri dan memberikan pengaruh negatif terhadap proses pembakarannya. Penurunan kadar air bebas dapat dilakukan dengan pengeringan mekanik efektif sedangkan pengurangan kadar air lembab dapat dilakukan dengan cara pengeringan atau penguapan [7].

Proses *slurry dewatering* merupakan salah satu cara penghilangan kadar air dalam batubara melalui proses penguapan (*evaporation*). Dibandingkan dengan teknologi upgrade lainnya, seperti *hot water drying* (HWD) atau *steam drying* (SD) yang memerlukan tekanan dan suhu yang tinggi, proses *slurry dewatering* sangat sederhana karena tekanan dan suhu operasinya rendah. Dengan rendahnya suhu dan tekanan pengeluaran air dalam batubara belum sempurna, karena itu perlu ditambahkan zat aditif sebagai pereduksi kandungan air dalam poros batubara (pori-pori) dan membentuk sifat hidrofobik, sehingga batubara tidak akan mengikat air kembali [8].

Porositas (pori-pori) adalah bagian dari total volume batubara yang dapat diisi oleh fluida. Kepadatan batubara sebagian dikontrol oleh adanya pori-pori yang bertahan selama proses penguburan [9]. Meskipun ukuran pori dan distribusi pori sulit diukur, tapi diketahui terdapat tiga rentang ukuran pori-pori yaitu Pori-pori makro (makropori), dengan diameter lebih besar dari 50 nanometer, Pori-pori meso (mesopori), dengan diameter 2 hingga 50 nanometer, Pori-pori mikro (mikropori), dengan diameter kurang dari 2 nanometer. Volume dan ukuran pori-pori akan susut dengan bertambahnya tingkat kematangan batubara. Sebagian besar makropori terisi air dan *free gas* (gas bebas) (Sarsono, 2008). Rata-rata sekitar 77% pori dalam batubara berupa mikropori, 5% berupa mesopori, 15% berupa makropori dan 3% berupa cleat dan fraktur (Mastalrez, dkk, 2008).

Pada proses upgrading terjadi pengeringan yang menyebabkan air yang terkandung dalam batubara mengalami evaporasi. Adanya evaporasi kandungan air dalam batubara tersebut mengakibatkan adanya ruang kosong pada pori-pori batubara sehingga setelah proses pemanasan terjadi memungkinkan air kembali terserap dalam batubara sehingga perlu adanya campuran bahan lain sebagai upaya untuk mencegah kembalinya air dalam pori batubara [10]. Oli bekas memiliki nilai kalori tersendiri sehingga dapat memberikan penambahan nilai kalori pada batubara setelah dilakukan proses pencampuran. Berdasarkan penelitian Raharjo [11] oli bekas mempunyai nilai kalori sebanyak 10684,912 kcal/kg, selain itu dalam kegiatan penambangan batubara dapat menghasilkan oli bekas yang besar dari kendaraan unit yang beroperasi setiap bulannya. Banyaknya oli bekas yang dihasilkan oleh

perusahaan yang tidak dimanfaatkan menyebabkan oli bekas tersebut menjadi limbah. Maka dari itu, perlu dilakukan suatu tindakan untuk mengurangi limbah oli bekas yang ada.

Oli bekas dapat melapisi pori-pori batubara dan mencegah batubara menyerap kembali air disekitarnya karena oli bekas memiliki jenis molekul non-polar, dimana molekul ini hanya bisa menyatu dengan molekul non-polar lainnya, sedangkan air memiliki molekul polar artinya salah satu ujung molekul memiliki muatan positif dan ujung lainnya memiliki muatan negatif sehingga molekul air selalu berikatan dan tidak dapat berikatan atau menyatu dengan molekul oli bekas. Berdasarkan penelitian Arifin [12] didapatkan kayu yang tahan terhadap serangan rayap setelah diawetkan menggunakan oli bekas, penelitian tersebut membuktikan oli bekas cukup kuat untuk menempel pada waktu yang cukup lama. Sehingga dengan memanfaatkan oli bekas batubara dapat disimpan di tempat terbuka untuk jangka waktu yang cukup lama. Berdasarkan pernyataan di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan oli bekas terhadap kualitas batubara.

Berdasarkan penelitian Jaya [13] mengenai dewatering batubara dengan menggunakan minyak goreng bekas dan minyak tanah, nilai kalori tertinggi didapatkan dari rasio 1:1:1 dengan suhu pemasakan 160⁰C selama 1,5 jam yaitu meningkat dari 5554,36 kal/g menjadi 7391,09 kal/gr . Sedangkan penelitian Arisandy [14] mengenai peningkatan kualitas batubara sub bituminous menggunakan minyak residu, penelitian ini menggunakan batubara peringkat rendah, dengan komposisi batubara, oli bekas, dan bensin. Nilai kalori tertinggi didapatkan dari rasio 1 : 0,75 : 0,75 dengan suhu 200⁰C dan lama pemasakan 90 menit yaitu meningkat dari 5.223 kal/gr menjadi 6.849 kal/gr.

Penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan oleh Putri [15] yang mencampurkan minyak pelumas bekas dengan batubara jenis *brown coal* dari hasil penelitiannya didapatkan nilai kalori tertinggi pada sampel dengan perbandingan batubara dan minyak pelumas bekas sebanyak 100 gr : 50 ml dengan nilai kalori 6343,92 cal/g, yang membedakan penelitian ini dengan penelitian putri adalah pada penelitian putri pencampuran batubara dan minyak pelumas bekas dilakukan sebelum pemanasan/pengeringan, sedangkan pada penelitian ini pencampuran batubara dan minyak pelumas bekas dilakukan setelah pengeringan, selain itu pada penelitian ini menggunakan jenis batubara yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batubara peringkat rendah jenis sub-bituminus dan minyak oli bekas merek Mesran yang diperoleh dari kendaraan tambang operasional kantor.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Timbangan Analitik, Gelas Beker, Oven, Gelas Ukur, Mortar, Saringan, *Calorimeter* 5E-C5500, *Furnace Volatile Matter* 5E-MF6100, *Furnace Ash Carbolite*, dan *Minimum free space Oven*

Pelaksanaan Penelitian

Bahan baku berupa batubara dari tambang di crusher menjadi ukuran 4,75 mm, kemudian batubara yang dihancurkan dihomogenkan dengan alat RSD (*Rotary Sample Devide*) lalu sampel digerus dengan raymond mill hingga ukuran 0,250 mesh dan dilakukan analisa awal terhadap sampel dengan ukuran 0,250 mesh, selanjutnya mempersiapkan minyak oli bekas dari hasil operasional kendaraan kantor, menyaring dan membersihkan minyak oli bekas dan menimbang minyak oli bekas hingga didapatkan presentasi 5%, 10%, 15%, dan 20% dari massa batubara.

Sampel batubara peringkat rendah dipanaskan dalam oven selama 3 jam pada suhu 105-110⁰C, kemudian sampel batubara peringkat rendah ditimbang hingga didapatkan massa sampel sebanyak (95, 90, 85, dan 80 gram) kemudian dicampurkan dengan minyak oli bekas yang telah disiapkan, sampel didiamkan selama 24 jam dan dilakukan analisa terhadap sampel.

Analisa Sampel

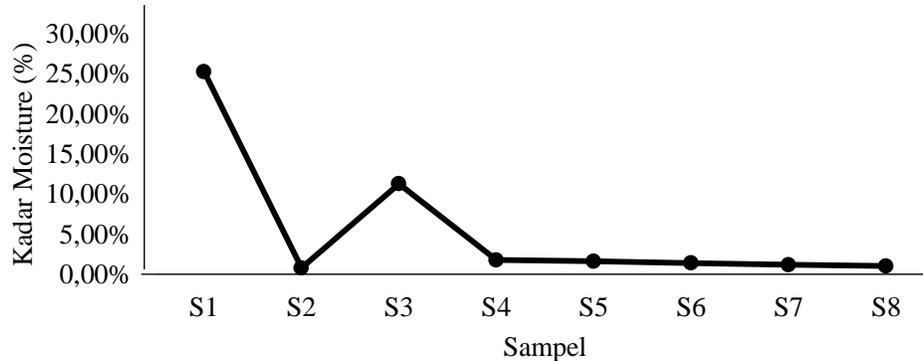
Sampel-sampel yang diperoleh dianalisa kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash*), *volatile matter*, *fixed carbon*, dan total kalorinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengeringan terhadap nilai kalori batubara dan mengetahui pengaruh penambahan oli bekas terhadap kualitas batubara, adapun tiap sampel pada penelitian ini diberi kode yaitu S1 adalah sampel batubara sebelum pengeringan, S2 adalah sampel batubara setelah pengeringan, S3 adalah sampel 0% didiamkan di ruang bebas, S4 adalah sampel 0% didiamkan di desikator, S5 adalah sampel 5% didiamkan di desikator, S6 adalah sampel 10% didiamkan di desikator, S7 adalah sampel 15% didiamkan di desikator, dan S8 adalah sampel 20% didiamkan di desikator.

Analisa Kadar Air

Berikut adalah grafik hasil analisa kadar air pada masing-masing sampel:

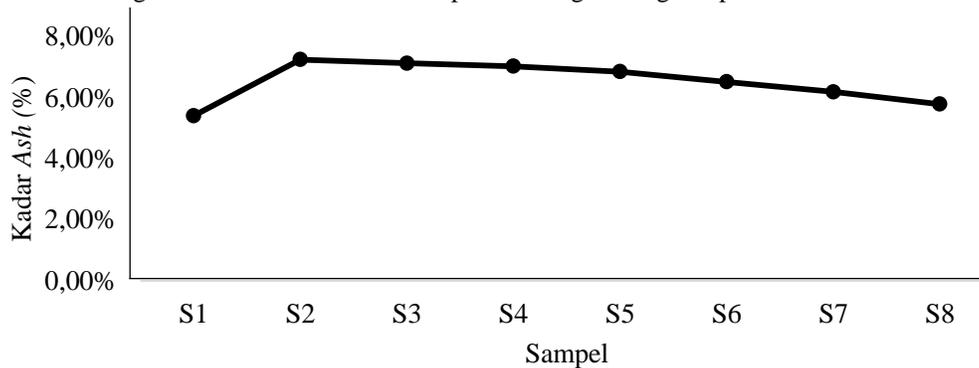


Gambar 1. Hasil Analisa Kadar Air

Berdasarkan Gambar 1. dapat diketahui kadar air mengalami penurunan secara signifikan seiring bertambahnya presentasi minyak oli bekas yang ditambahkan, kadar air mengalami penurunan disebabkan minyak oli bekas masuk kedalam pori-pori batubara melapisi pori-pori batubara sehingga mengurangi sifat higroskopis pada batubara [16], selain itu kadar air juga mengalami penurunan drastis dari sampel awal karena telah melalui proses pengeringan. Nilai kadar air tertinggi diperoleh dari S1 sebanyak 25,32% dan kadar air terendah diperoleh dari S8 sebanyak 1,03%.

Analisa Kadar Ash

Berikut adalah grafik hasil analisa kadar abu pada masing-masing sampel:



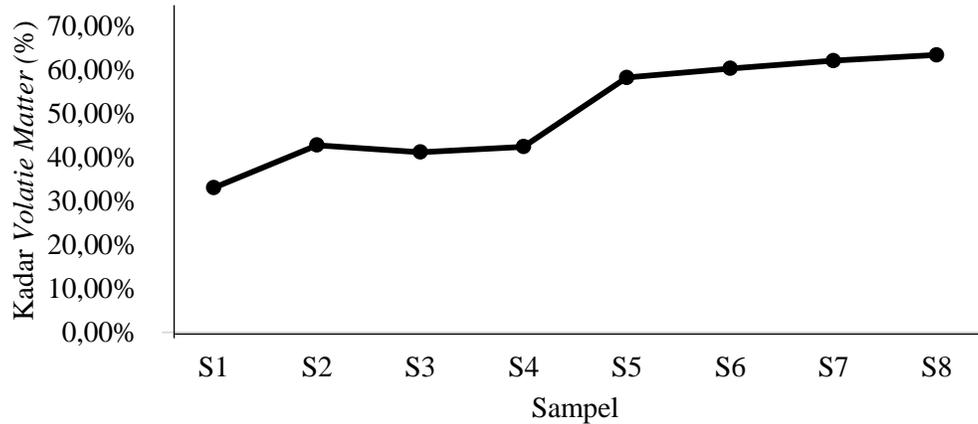
Gambar 2. Hasil Analisa Kadar Abu

Gambar 2. menunjukkan penambahan oli bekas pada batubara dalam proses *upgrading* dapat mengurangi nilai *ash* karena oli bekas tersebut mengandung komponen organik yang dapat membentuk lapisan pelindung pada partikel-partikel abu, hal ini dapat menghambat atau mengurangi pembentukan abu saat batubara dibakar. Meskipun

oli bekas bersifat kotor, komponen organiknya dapat berinteraksi dengan abu dan membentuk senyawa yang lebih rendah terbakar, menghasilkan residu yang kurang berabu. Nilai kadar abu tertinggi diperoleh dari S2 sebanyak 7,25% dan kadar abu terendah diperoleh dari S1 sebanyak 5,41%.

Analisa Volatile Matter

Berikut adalah grafik hasil analisa *volatile matter* pada masing-masing sampel:

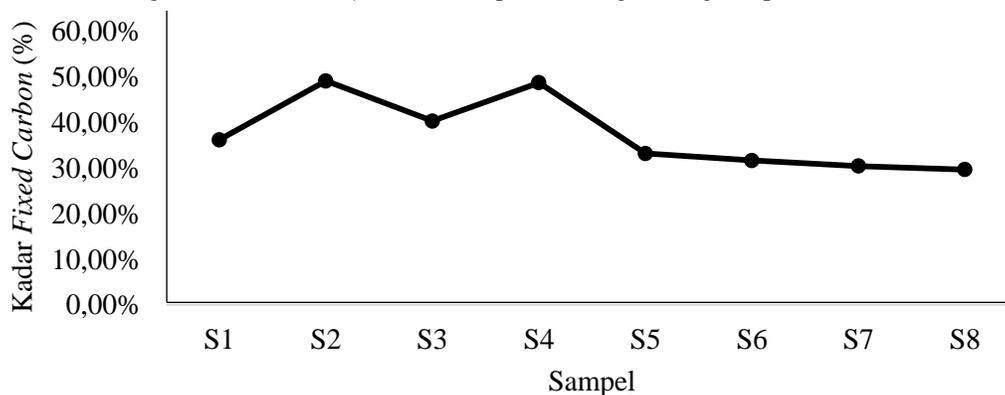


Gambar 3. Hasil Analisa *Volatile Matter*

Berdasarkan Gambar 3. nilai *volatile matter* mengalami peningkatan secara signifikan, karena *volatile matter* merupakan zat aktif yang terdapat pada batubara menghasilkan energi atau panas apabila batubara tersebut dibakar, sehingga zat terbang merupakan zat aktif yang mempercepat proses pembakaran [6], hal ini yang menyebabkan nilai *volatile matter* meningkat seiring bertambahnya presentasi minyak oli bekas yang ditambahkan. Nilai *volatile matter* tertinggi diperoleh dari S8 sebanyak 63,52% dan nilai *volatile matter* terendah diperoleh dari S1 sebanyak 33,10%.

Analisa Fixed Carbon

Berikut adalah grafik hasil analisa *fixed carbon* pada masing-masing sampel:



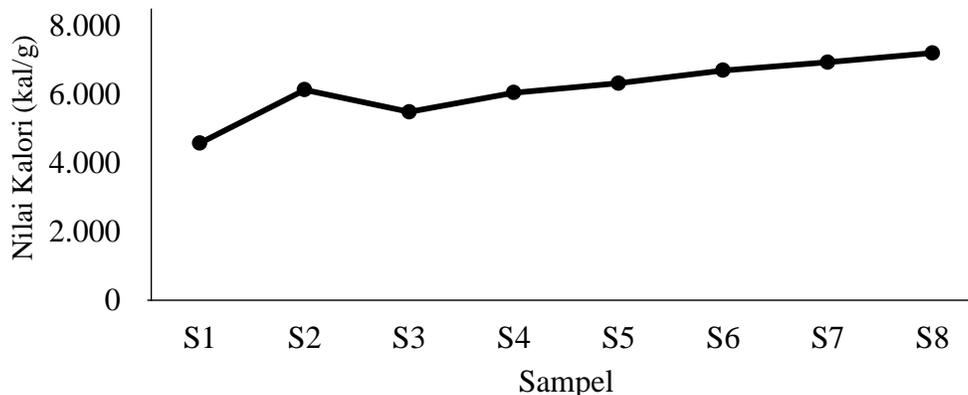
Gambar 4. Hasil Analisa *Fixed Carbon*

Berdasarkan Gambar 4. nilai *fixed carbon* mengalami keadaan sebaliknya dibandingkan dengan nilai *volatile matter* yaitu nilainya menurun, dimana *fixed carbon* adalah karbon yang tertinggal setelah dilakukan

pembakaran pada batubara sesudah penguapan *volatile matter*. Nilai *fixed carbon* tertinggi diperoleh dari S2 sebanyak 49,07% dan nilai *fixed carbon* terendah diperoleh dari S8 sebanyak 29,66%.

Analisa Nilai Kalori

Berikut adalah grafik hasil analisa nilai kalori pada masing-masing sampel:



Gambar 5. Hasil Analisa Nilai Kalori

Berdasarkan Gambar 5. dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi presentasi penambahan oli bekas maka akan semakin tinggi juga nilai kalorinya, hal ini disebabkan karena kandungan kalori pada oli bekas sangat tinggi yaitu sebesar 9.872 kal/g. Nilai kalori tertinggi diperoleh dari S8 sebanyak 7.201 kal/g dan nilai kalori terendah diperoleh dari S1 sebanyak 4.580 kal/g. Sampel batubara dengan kode S2,S4,S5,S6,S7, dan S8 yang memiliki nilai kalori > 6.000 kal/g dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik dan industri semen, sedangkan sampel batubara dengan kode S1 dan S3 yang memiliki nilai kalori < 6.000 kal/g dapat dicampurkan pada biomassa untuk menghasilkan batubara semi kokas yang dapat dimanfaatkan dalam industri metalurgi [17]. Berdasarkan data hasil penelitian maka dapat digunakan rumus pencampuran untuk mengetahui nilai kalori batubara yang ditambah oli bekas diluar presentasi yang telah dilakukan pada penelitian ini dengan rumus:

$$\text{Nilai Kalori} = (\% \text{Sampel Batubara} \times \text{Nilai Kalori Batubara}) + (\% \text{Oli Bekas} \times \text{Nilai Kalori Oli Bekas})$$

Proses pengeringan batubara sebenarnya sudah cukup efektif untuk menaikkan peringkat batubara, tetapi untuk mendapatkan batubara dengan nilai kalori atau dengan kualitas yang lebih tinggi perlu ditambahkan minyak oli bekas dan diharapkan dengan adanya penambahan oli bekas tersebut dapat menaikkan nilai jual batubara.

KESIMPULAN

Proses pengeringan dapat meningkatkan nilai kalori batubara peringkat rendah dan mengurangi kandungan air dari batubara peringkat rendah. Penambahan minyak oli bekas pada batubara peringkat rendah dapat meningkatkan nilai kalori batubara dengan pesat karena minyak oli bekas memiliki nilai kalori yang tinggi sehingga dapat menaikkan nilai kalori pada batubara. Hasil analisa pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai kalori akan bertambah seiring bertambahnya presentasi minyak oli bekas yang di tambahkan. Berdasarkan data hasil analisa nilai kalori batubara sebelum perlakuan sebanyak 4.580 kal/g dan mengalami peningkatan menjadi 7.201 kal/g setelah perlakuan. Penambahan minyak oli bekas juga dapat melapisi pori-pori pada batubara dan mencegah batubara menyerap kembali air disekitarnya karena oli bekas memiliki jenis molekul non-polar yang tidak bisa berikatan dengan molekul air, selain meningkatkan nilai kalori, penambahan minyak oli bekas juga menyebabkan nilai *fixed carbon* menjadi rendah, hal ini disebabkan karena minyak oli bekas memiliki nilai kalori tersendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Muslim Indonesia dan pihak Laboratorium PT. Asiatrust Technovima Quality sebagai tempat pelaksanaan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistika, “Laju Pertumbuhan Batubara Indonesia.” Available: <https://www.bps.go.id/id>
- [2] A. Aladin, *Sumber Daya Alam Batubara*. Bandung: Lubuk Agung, 2011.
- [3] World Coal Institute, “Coal statistic on Indonesia.” Available: www.worldcoal.org
- [4] N. Azzani, “Analisis Kadar Air, Kadar Abu Dan Nilai Kalori Pada Batubara Di Unit Kiln Pada Pt. Semen Tonasa,” *Kementrian Perindustrian R.I. Politek. Ati Makassar*, 2019.
- [5] A. Aladin, *Teknologi Batubara Bersih*. Ponorogo: Wade Group, 2019.
- [6] M. A. Fadhili and Ansosry, “Analisis Pengaruh Perubahan Nilai Total Moisture , Ash Content dan Total Sulphur Terhadap Nilai Kalori Batubara Bb-50 Di Tambang Banko Barat Pt . Bukit Asam , Tbk . Tanjung Enim,” *Anal. Pengaruh Perubahan Nilai Total Moisture , Ash Content dan Total Sulphur Terhadap Nilai Kalori Batubara Bb-50 Di Tambang Banko Barat Pt . Bukit Asam , Tbk . Tanjung Enim*, vol. 4, no. 3, pp. 54–64, 2019.
- [7] S. Poertadji, N. Dan, and M. Hikam, “Pengaruh Aglomerasi Air-Minyak Sawit Terhadap Kadar Karbon Dan Nilai Kalori Batubara Semi-Antrasit, Bituminus Dan Sub-Bituminus,” *J. Sains Mater. Indones. Indones. J. Mater. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 1411–1098, 2006.
- [8] A. Kusnadi, R. Djafar, and M. Mustofa, “Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Kompor Yang Ramah Lingkungan,” *J. Teknol. Pertan. Gorontalo*, vol. 5, no. 2, pp. 49–55, 2020, doi: 10.30869/jtpg.v5i2.681.
- [9] Sepfitrah, “Analisis Proximate Hasil Tambang di Riau (Studi Kasus Logas, Selensen dan Pangkalan Lesung),” *J. Sainstek STT Pekanbaru*, vol. 4, no. 1, pp. 18–26, 2016.
- [10] T. Kasim and H. Probowo, “Katalis Minyak Pelumas Bekas Pada Batubara Low Calorie Daerah Tanjung Belit , Kecamatan Jujuhan ,” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 17, no. 2, pp. 1–9, 2017.
- [11] W. P. Raharjo, “Pemanfaatan TEA dalam Proses Penjernihan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar pada Peleburan Aluminium,” *J. Penelit. Sains Teknol. Vol. 8, No. 2, 2007 166 - 184*, 2007.
- [12] Arifin, “Pengawetan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) menggunakan oli bekas dengan metode perendaman dingin,” *J. Hutan Trop. Vol.6 No 1*, 2022.
- [13] D. Jaya, “Dewatering Batubara Jorong, Kalimantan Selatan Dengan Menggunakan Minyak Goreng Bekas Dan Minyak Tanah,” *Eksergi*, vol. 14, no. 2, p. 35, 2017, doi: 10.31315/e.v14i2.2140.
- [14] A. A. Arisandy, W. Nugroho, and A. U. Winaswangusti, “Peningkatan Kualitas batubara Sub Bituminous Menggunakan Minyak Residu di PT. X Samarinda, Kalimantan Timur,” *J. Teknol. Miner. FT UNMUL*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [15] R. Z. Putri and Fadhillah, “Peningkatan kualitas batubara low calorie menggunakan minyak pelumas bekas melalui proses Upgrading Brown Coal,” *J. Bina Tambang*, vol. 5, no. 2, pp. 208–217, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/108004>
- [16] A. Muhaemin *et al.*, “Uji stabilitas upgrading brown coal terlapiskan minyak oli bekas 1,2,3,” 2010.
- [17] Kementrian ESDM, “Road Map Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara,” pp. 1–117, 2021.