

PENINGKATAN KUALITAS BATUBARA PERINGKAT RENDAH DENGAN CARA MENURUNKAN KADAR AIR MELALUI PROSES EVAPORASI

Low Rank Coal Upgrading by Reducing Moisture Content Through the Evaporation Process

DATIN F. UMAR* dan LISTON SETIAWAN**

Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Cisitua Sangkuriang Bandung, Jawa Barat, 40135, Indonesia
e-mail: dati001@brin.go.id

* Kontributor Utama, ** Kontributor Anggota

ABSTRAK

Batubara peringkat rendah umumnya memiliki kadar air yang tinggi dan nilai kalori yang rendah, sehingga batubara jenis ini disebut juga dengan batubara kalori rendah. Penggunaan batubara kalori rendah saat ini masih terbatas, karena karakteristiknya yang kurang menguntungkan jika digunakan sebagai bahan bakar langsung. Penurunan kadar air dengan metoda evaporasi melalui proses pemanasan yang diikuti dengan pelapisan menggunakan residu minyak bumi, merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas batubara kalori rendah. Percobaan dilakukan pada skala laboratorium menggunakan oven dan otoklav pada suhu 100, 125 dan 150°C selama 30, 60 dan 90 menit. Pemanasan dengan oven batubara dipanaskan tanpa tekanan, sedangkan pemanasan dengan otoklav batubara dicampur dengan kerosin dan residu pada tekanan maksimal 3 Bar. Hasil menunjukkan bahwa pemanasan menggunakan oven mampu menurunkan kadar air total (air bawaan + air bebas) sebesar 95,16% sedangkan dengan menggunakan otoklav sebesar 95,12% pada suhu dan waktu yang sama, yaitu suhu 150°C selama 90 menit. Pemanasan dengan otoklav memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pemanasan menggunakan oven pada kondisi suhu dan waktu yang sama. Pada suhu 125°C selama 60 menit, batubara kalori rendah (<5.100 kkal/kg) yang dipanaskan dalam oven naik menjadi batubara dengan peringkat kalori sedang (5.100-6.100 kkal/kg), sedangkan pemanasan dengan menggunakan otoklav batubara tersebut naik menjadi batubara kalori tinggi (> 6.100 kkal/kg) dalam *air direid basis* (adb).

Kata kunci: batubara peringkat rendah, kadar air total, nilai kalor, oven, otoklav.

ABSTRACT

*Low rank coal generally has a high moisture content and low calorific value, so this type of coal is also called as low calorie coal. The use of low-calorie coal currently is still limited, due to its unfavorable characteristics when used as direct fuel. Reducing water content by evaporation method through a heating process followed by coating using petroleum residue, is one way to improve the quality of low-calorie coal. The experiment was carried out on a laboratory scale using an oven and autoclave at temperatures of 100, 125 and 150°C for 30, 60 and 90 minutes. Heating by using an oven coal was heated without pressure, while heating by using an autoclave coal was mixed with kerosene and residue at a maximum pressure of 3 Bar. The results indicate that heating using an oven was able to reduce the total moisture content (total moisture + free moisture) by 95.16% while using an autoclave by 95.12% at the same of temperature and time, which was 150°C for 90 minutes. Heating with an autoclave gave better results than heating using an oven at the same temperature and time conditions. At a temperature of 125°C for 60 minutes, low-calorie coal (<5,100 kcal/kg) heated in an oven rose to medium-calorie coal (5,100-6,100 kcal/kg), while heating using an autoclave the coal rose to high-calorie coal (> 6,100 kcal/kg) in *air dried basis* (adb).*

Keywords: *low rank coal, total moisture content, calorific value, oven, autoclave.*

PENDAHULUAN

Sumberdaya batubara Indonesia mencapai 151,399 miliar ton dengan total cadangan sebesar 39,89 miliar ton yang sebagian besar terdistribusi di Sumatera dan Kalimantan (Wibisono, Dwitama dan Prahesti, 2019). Distribusi kualitas sumberdaya batubara Indonesia berada di kisaran 53,62% termasuk ke dalam kelompok kalori sedang, 36,02% kalori rendah, 8,70% kalori tinggi dan 1,66% kalori sangat tinggi. Cadangan kualitas sedang 54,10%, kualitas rendah 38,46%, kualitas tinggi 6,32% dan 1,12% untuk kualitas sangat tinggi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 45 Tahun 2003 tentang Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak Yang Berlaku Pada Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral, dan Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Juarsa *dkk.*, 2022) batubara kalori rendah adalah batubara dengan nilai kalori dalam *air dried basis* (adb) < 5.100 kkal/kg, batubara kalori sedang 5.100-6.100 kkal/kg, batubara kalori tinggi 6.100-7.100 kkal/kg dan batubara kalori sangat tinggi > 7.100 kkal/kg (Wibowo dan Windarta, 2020).

Pemanfaatan maupun penjualan batubara kalori rendah saat ini masih terbatas, khususnya untuk ekspor hanya diperuntukkan bagi batubara kalori sedang dan tinggi. Salah satu sifat yang tidak menguntungkan dari batubara kalori rendah adalah tingginya kadar air total (air bawaan dan air bebas) yang mencapai 40% (Aswan *dkk.*, 2019). Tingginya kadar air akan menimbulkan masalah dalam proses pemanfaatannya, terutama jika digunakan sebagai bahan bakar langsung. Pada proses pembakaran, air akan mengurangi nilai kalor batubara sehingga jumlah batubara yang diperlukan lebih besar. Kemudian gas CO₂ yang ditimbulkannya akan lebih besar pula. Gas CO₂ yang tinggi akan mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan dengan timbulnya efek rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global (Rao *dkk.*, 2015). Selain itu, batubara peringkat rendah mempunyai kecenderungan untuk terjadinya pembakaran spontan (*spontaneous combustion*) (Mohalik *dkk.*, 2022).

Beberapa teknologi *upgrading* untuk menurunkan kadar air telah diperkenalkan dan dikembangkan (Dlouhý, 2010). Alasan utama

proses ini adalah untuk mengurangi ongkos yang berkaitan dengan pengangkutan, menanggulangi masalah penanganan dan meningkatkan efisiensi pembakaran batubara (Rao *dkk.*, 2015; Zhang *dkk.*, 2016; Lee *dkk.*, 2017). Secara garis besar, proses *upgrading* untuk menurunkan kadar air dalam batubara dibagi dalam 3 bagian, yaitu evaporasi (penguapan), termal/non-evaporasi (pemanasan tanpa penguapan), dan non termal atau pirolisis (Allardice *dkk.*, 2004; Rao *dkk.*, 2015).

Dalam proses evaporasi, batubara dipanaskan baik secara langsung maupun tidak langsung (menggunakan uap panas) sebelum atau selama proses penggilingan (Li *dkk.*, 2016). Penurunan kadar air dengan cara ini, air bawaan yang terlepas akibat pemanasan mempunyai kecenderungan untuk kembali terserap oleh batubara. Metode ini dapat diterapkan jika batubara tersebut akan segera digunakan. Teknologi evaporasi dilakukan dengan cara memanaskan batubara pada suhu < 200°C. Menurut Tsai (1984), pemanasan pada suhu 100- 200° C, terjadi reaksi endotermis penguapan air, dan air yang menguap berupa air bebas, air bawaan yaitu air yang terikat secara fisik dan air yang terjebak pada pori-pori struktur batubara. Beberapa teknologi *upgrading* yang menggunakan metoda ini antara lain *upgraded brown coal* (UBC) yang dikembangkan oleh Kobe Steel Ltd., Jepang (Kinoshita *dkk.*, 2010), *coal upgrading palm oil* (CUPO) yang dikembangkan oleh Korea Institute of Energy Research (KIER) (Lee *dkk.*, 2017), *vacuum drying and tar coating* (Mahidin *dkk.*, 2003).

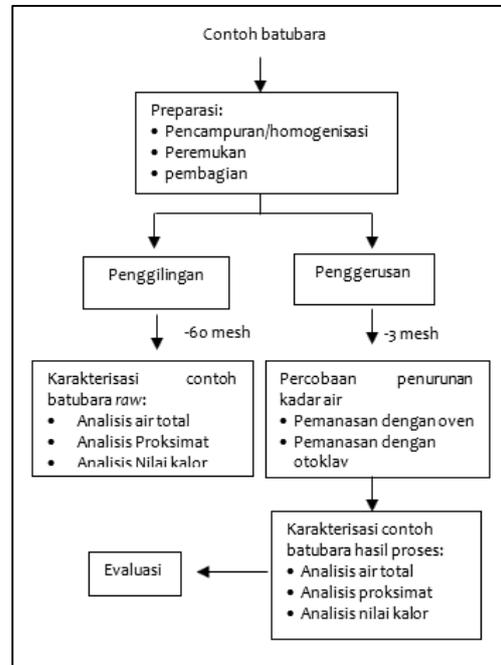
Proses *thermal/non-evaporasi* di antaranya adalah *hydro thermal dewatering* (HTD) dan *steam drying* (SD). Batubara dipanaskan pada suhu >250°C dan tekanan >50 atm baik dengan air panas (HTD) maupun dengan uap (SD). Proses pemanasan menyebabkan terjadinya perubahan komposisi struktur batubara, yaitu keluarnya air bawaan, dekomposisi gugus karboksil, penyusutan gas-gas hidrogen dan oksigen kompleks serta aromatisasi (Chen, 2000; Ge *dkk.*, 2015; Rao *dkk.*, 2015; Liao *dkk.*, 2016).

Proses pirolisis batubara adalah proses pemanasan batubara dengan menggunakan gas *inert* (N₂ atau He) atau dengan pereduksi (gas H₂). Pada pemanasan ini

batubara terdekomposisi menghasilkan gas, produk cair (ter) dan residu batubara dengan nilai kalor tinggi (*char*). Proses pirolisis juga dimaksudkan untuk menghasilkan gas, terutama metana (Andayani, 2019).

Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kualitas batubara peringkat rendah dengan tujuan untuk meningkatkan nilai tambah batubara tersebut melalui proses penurunan kadar air, sehingga batubara yang dihasilkan mempunyai nilai kalori lebih tinggi setara dengan batubara bituminus. Dalam penelitian ini, proses *upgrading* yang diterapkan adalah proses evaporasi dengan memanaskan batubara pada suhu 100-150°C. Untuk membantu kestabilan kadar air bawaan, ditambahkan residu sisa olahan minyak bumi. Residu akan melapisi permukaan batubara sehingga menutup pori-pori batubara yang terbuka akibat proses pemanasan (Mahidin *dkk.*, 2003; Umar *dkk.*, 2005). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas pemanasan batubara peringkat rendah dengan menggunakan oven dan otoklav untuk menurunkan kadar air batubara kalori rendah.

crusher untuk mendapatkan percontoh berukuran -8 mesh (3 mm) tanpa pengeringan pada suhu kamar.



Gambar 1. Rancangan penelitian

METODE

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara berkalori rendah yang berasal dari daerah Berau, Kalimantan Timur. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, metodologi penelitian dirancang seperti terlihat pada Gambar 1.

• Preparasi batubara

Contoh batubara yang didapat dipreparasi sedemikian rupa, sehingga didapat contoh yang dapat mewakili keseluruhan baik untuk analisis/karakterisasi batubara maupun untuk proses percobaan sesuai dengan standar ASTM D 2013/D 2013M-09, *Samples, coal, preparing for analysis* (Thomas, 2013). Percontoh batubara untuk karakterisasi batubara dikeringkan di udara terbuka pada suhu kamar. Peremukan pertama dilakukan menggunakan *jaw crusher* kemudian *hammer mill* dan digiling menggunakan *coffee mill* sampai berukuran -60 mesh sesuai dengan standar ASTM untuk analisis. Sedangkan percontoh untuk percobaan proses pengeringan, langsung diremuk dan digerus menggunakan *roll*

• Karakterisasi batubara

Untuk menunjang keberhasilan penelitian, dilakukan analisis percontoh batubara sebelum proses (*raw*). Analisis yang dilakukan mengikuti standar ASTM yang berlaku (Thomas, 2013), meliputi:

- Air total mengikuti standar D3302/D3302M-2009, *total moisture in coal*.
- Proksimat (air bawaan, abu, zat terbang dan karbon tertambat) dengan standar D3172-2007 *proximate analysis of coal and coke*, dan
- Nilai kalor D5865-2004 *standard test method for gross calorific value of coal and coke*.

• Percobaan penurunan kadar air

Pada dasarnya percobaan dimaksudkan untuk memperoleh data pengaruh suhu dan waktu terhadap penurunan kadar air dengan dua metode pemanasan, yaitu dengan cara pemanasan menggunakan oven dan pemanasan menggunakan otoklav (tekanan maksimal 3 Bar). Data hasil percobaan diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan

metode pemanasan batubara yang paling efektif untuk menurunkan kadar air dalam batubara kalori rendah, sehingga nilai kalor naik secara signifikan.

Pemanasan menggunakan oven dilakukan tanpa tekanan, pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Batubara hasil proses kemudian disemprot dengan residu (0,5%) dalam kerosin untuk melapisi pori-pori batubara yang terbuka akibat pemanasan. Pemanasan menggunakan otoklav, batubara dicampur dengan kerosin yang telah dicampur residu (0,5%). Perbandingan campuran batubara dan kerosin adalah 1:3 (Umar dan Daulay, 2011), kemudian dipanaskan pada suhu dan waktu yang sama dengan pemanasan menggunakan oven, yaitu:

- Suhu: 100, 125 dan 150°C
- Waktu proses: 30, 60 dan 90 menit

Residu yang digunakan dalam percobaan adalah limbah hasil proses pengolahan minyak bumi, yang merupakan fraksi kelima atau fraksi paling bawah dengan titik didih paling tinggi, yaitu > 510°C (Suharto, 2017). Residu berisi hidrokarbon rantai panjang yang mirip dengan batubara, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai aditif dalam proses *upgrading*. Residu kilang minyak tanpa proses pengolahan lebih lanjut, merupakan produk samping atau produk sisa kilang minyak yang murah dan belum dimanfaatkan secara maksimal.

• **Karakterisasi produk**

Produk proses *upgrading*, baik dengan cara pemanasan dengan oven maupun pemanasan dengan otoklav, dianalisis terhadap kadar air total (air bawaan + air bebas) dalam *as received* (AR) menggunakan *moisture balance*, analisis proksimat dan nilai kalor dalam *air dried basis* (adb) menggunakan standar yang sama seperti standar untuk karakterisasi batubara sebelum proses.

• **Evaluasi hasil percobaan**

Evaluasi hasil percobaan dilakukan berdasarkan data kadar air total, proksimat dan nilai kalor. Batubara hasil proses dengan kadar air terkecil dan nilai kalor terbesar pada masing-masing metode pemanasan

kemudian dibandingkan. Hasil evaluasi proses tersebut diasumsikan sebagai proses *upgrading* skala laboratorium yang optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis proksimat (kadar air bawaan, abu, zat terbang dan karbon tertambat) dan nilai kalor, batubara yang berasal dari daerah Berau, Kalimantan Timur termasuk ke dalam batubara berkalori rendah, dengan nilai kalor < 5.100 kkal/kg, yaitu 4.773 kkal/kg (adb). Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis percontoh batubara sebelum proses pemanasan

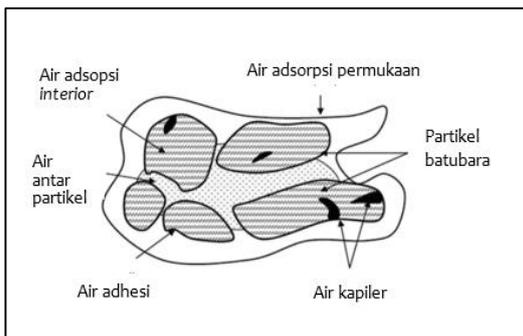
Parameter	Hasil
Air total, % <i>as received</i> (ar)	66,69
Proksimat, % air dried basis (adb)	
• Air bawaan	20,23
• Abu	3,19
• Zat terbang	41,98
• Karbon tertambat	34,60
Nilai Kalori, kkal/kg:	
• <i>Gross</i> air dried basis (adb)	4.773
• <i>Gross</i> <i>as received</i> (ar)	1.997

Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar air total dalam batubara sangat tinggi, yaitu 66,69% (AR) sehingga nilai kalor batubara tersebut dalam *gross as received* (GAR) sangat rendah, yaitu 1.997 kkal/kg. Batubara tersebut jika digunakan sebagai bahan bakar langsung akan mengalami beberapa kendala, seperti biaya transportasi tinggi, jumlah batubara yang dibakar untuk menghasilkan sejumlah energi/daya tertentu besar/banyak, sehingga emisi karbon yang dihasilkannya juga besar serta efisiensi bahan bakar rendah (Lee dkk., 2013). Oleh karena itu, proses *upgrading* untuk menurunkan kadar air diperlukan agar batubara tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai bahan bakar.

Berbagai jenis air yang terdapat dalam batubara ditunjukkan pada Gambar 2 (Rao dkk., 2015), sebagai berikut:

- a. Air adsorpsi permukaan, air yang membentuk lapisan molekul air yang berdekatan dengan molekul batubara tetapi pada partikel permukaan;
- b. Air antar partikel, air yang terbentuk di antara dua atau lebih partikel;

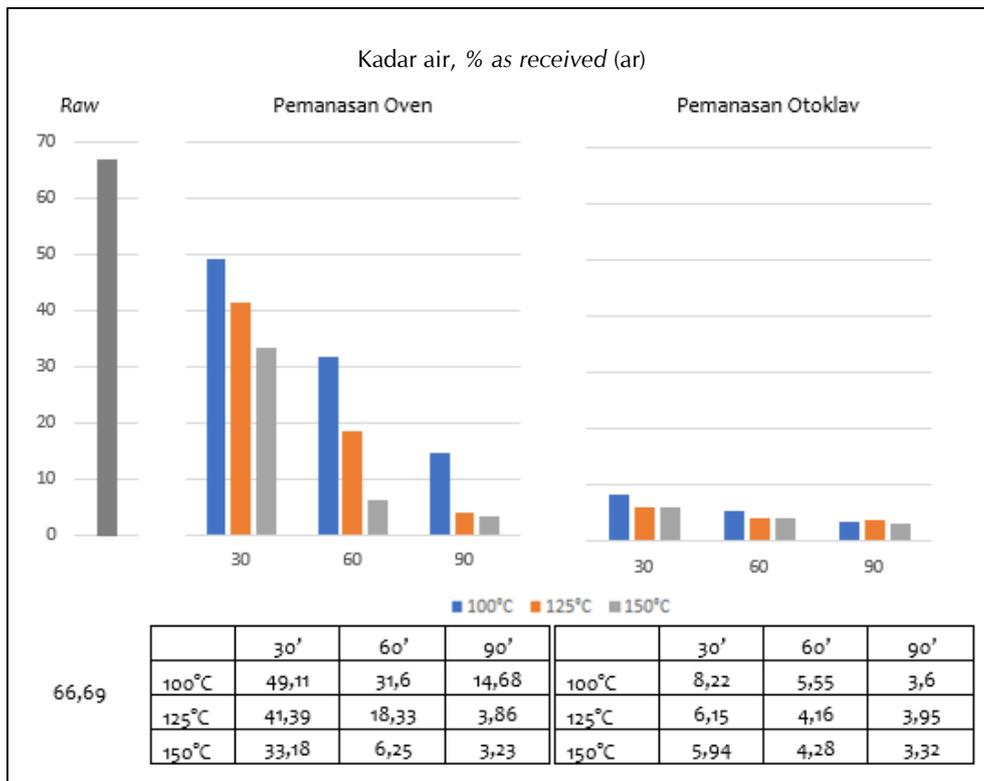
- c. Air adhesi membentuk lapisan atau *film* di sekitar permukaan partikel individu atau partikel yang teraglomerasi
- d. Air kapiler terkandung dalam kapiler dan celah-celah kecil yang ditemukan antara dua atau lebih partikel; dan
- e. Air adsorpsi *interior* dalam mikropori dan mikro-kapiler partikel batubara, yang terendapkan pada saat pembentukan batubara;



Gambar 2. Air dalam batubara (Rao dkk., 2015)

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kadar air total (air bebas + air bawaan) dalam batubara baik dengan pemanasan oven maupun pemanasan menggunakan otoklav menunjukkan penurunan seperti terlihat pada Gambar 3. Semakin tinggi suhu pemanasan dan semakin lama waktu proses, semakin kecil kadar air dalam batubara tersebut.

Pemanasan dengan oven pada suhu 100°C selama 30 menit, air yang keluar baru sebagian berupa air adsorpsi permukaan, air antar partikel dan air adhesi (air bebas) dan sebagian kecil air tipe adsorpsi interior dan air kapiler (air bawaan), sehingga kadar air dari 66,69% turun menjadi 49,11%. Semakin bertambahnya waktu proses, yaitu 60 menit, air bebas yang keluar lebih banyak lagi sehingga kadar air turun menjadi 31,60%. Pada pemanasan selama 90 menit, penurunan kadar air cukup signifikan karena air adsorpsi permukaan dan air adhesi sudah keluar, air antar partikel masih tersisa di antara partikel batubara dan sebagian air adsorpsi interior dan air antar partikel juga ada yang teruapkan.



Gambar 3. Kadar air batubara sebelum dan setelah proses pemanasan (% as received)

Suhu pemanasan 125 °C selama 30 menit, masih mengeluarkan air adsorpsi permukaan, air kapiler dan air adhesi dan pada proses pemanasan pada suhu tersebut kadar air batubara turun menjadi 41,39%. Ketika waktu proses diperpanjang sampai 60 menit, kadar air menjadi 18,33%. Hal ini menunjukkan bahwa selain air adsorpsi permukaan, air kapiler dan air adhesi, sebagian air adsorpsi *interior* dan air kapiler juga sudah mulai menguap. Air bawaan yang menguap pada suhu ini adalah air yang terdapat dalam kapiler dan pori-pori kecil yang terdapat di antara dua atau lebih partikel batubara yang relatif lebih mudah menguap dibandingkan dengan air adsorpsi interior yang terbentuk bersamaan dengan terbentuknya batubara. Setelah waktu proses diperpanjang lagi sampai 90 menit, kadar air turun secara signifikan yaitu 3,86%. Ini berarti hampir semua air bebas telah menguap dan air bawaan sudah jauh berkurang. Air yang tersisa ini (3,86%) diasumsikan sebagai air adsorpsi interior, yaitu air yang terbentuk sejak pembentukan batubara, sehingga sulit untuk dihilangkan dan sedikit air bebas (air yang terdapat di antara partikel batubara).

Waktu pemanasan dengan oven selama 30 menit, merupakan waktu yang relatif pendek untuk menurunkan kadar air. Walaupun suhu sudah ditingkatkan menjadi 150°C, air bebas belum bisa menguap semua karena kadar air masih 33,18%. Setelah waktu diperpanjang, sampai 60 menit, hampir semua air bebas sudah keluar semua dan juga sebagian besar air bawaan berupa air adsorpsi interior dan air kapiler, sehingga kadar air dalam batubara setelah pemanasan pada suhu 150°C selama 60 menit menjadi 6,25 % yang merupakan sebagian air antar partikel dan air adsorpsi interior. Pada pemanasan selama 90 menit, kadar air menjadi 3,23%, yang diasumsikan bahwa semua air bebas sudah keluar dan yang tertinggal adalah air bawaan berupa air adsorpsi interior.

Berbeda dengan pemanasan menggunakan oven, pemanasan dengan otoklav dengan media kerosin, tekanan naik dengan naiknya suhu sampai maksimal ditahan ± 3 Bar, kadar air dalam batubara setelah proses turun secara signifikan. Kadar air batubara setelah proses pada suhu 100, 125 dan 150°C selama 30, 60 dan 90 menit, semua <20,23% yang merupakan kadar air bawaan batubara *raw*. Hal

ini berarti bahwa hampir semua air bebas dan sebagian besar air bawaan telah berhasil dikeluarkan karena adanya proses pemanasan dan tekanan. Pemanasan pada bejana tertutup seperti otoklav, tekanan akan meningkat dengan meningkatnya suhu sehingga air dalam batubara mudah untuk keluar karena adanya perbedaan tekanan uap yang cukup besar (Ullah *dkk.*, 2018). Selain karena suhu dan tekanan, kerosin sebagai media juga lebih mempermudah pengeluaran air dari dalam batubara (Deguchi, Shigehisa dan Shimasaki, 1999). Hasil ini juga sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya dengan menggunakan teknologi *upgraded brown coal* (UBC) yang dikembangkan oleh Kobe Steel Ltd., Jepang (Umar dan Daulay, 2011; Umar, 2015).

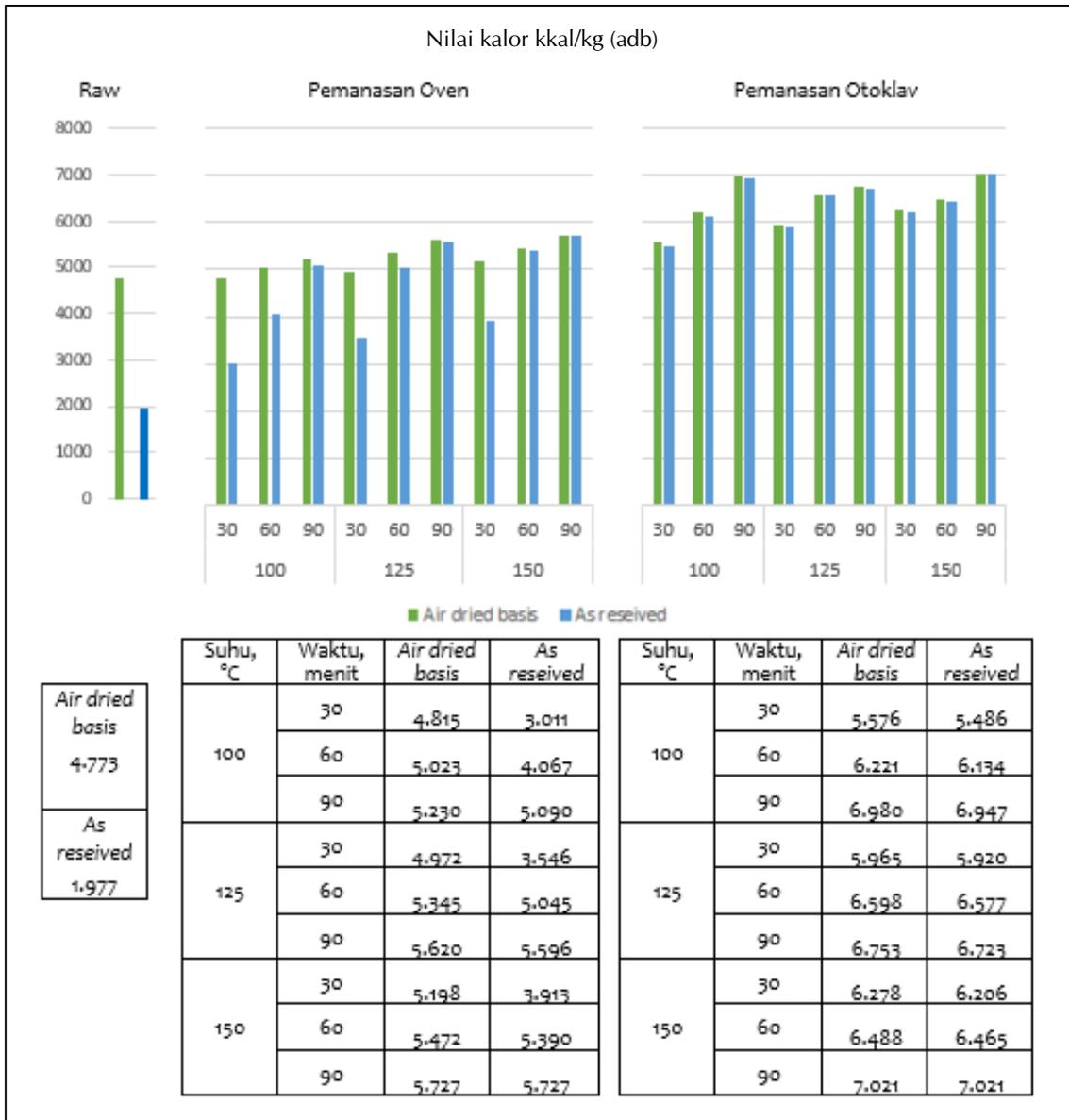
Pemanasan dengan otoklav secara umum memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan pemanasan menggunakan oven. Pemanasan dengan oven pada suhu 150°C selama 90 menit memberikan hasil yang tidak jauh berbeda dengan pemanasan menggunakan otoklav pada suhu dan waktu yang sama, yaitu masing-masing 3,23 dan 3,32% atau penurunan kadar air masing-masing 95,16 dan 95,03%. Hal ini berarti pemanasan dengan oven juga efektif untuk menurunkan kadar air dalam batubara. Untuk mengetahui lebih lanjut efektivitas pemanasan dengan oven maupun dengan otoklav dalam menurunkan kadar air, perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mengetahui kestabilan kadar air tersebut setelah disimpan beberapa minggu (8 sampai 10 minggu).

Berkurangnya kadar air menyebabkan meningkatnya nilai kalor. Hasil analisis nilai kalor sebelum dan setelah proses baik dalam *air dried basis* maupun *as received* ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan klasifikasi batubara berdasarkan nilai kalor yang mengacu pada PP No. 45 Tahun 2004 tentang: Tarif Atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak (Wibowo dan Windarta, 2020) dapat dilihat pada Tabel 2.

Batubara sebelum proses (*raw*) mempunyai nilai kalor 4.773 kkal/kg (adb) atau 1.977 kkal/kg (AR). Setelah proses pemanasan, nilai kalor meningkat. Pemanasan batubara dengan oven pada suhu 100°C selama 30, 60 dan 90 menit belum dapat meningkatkan klasifikasi batubara karena masih <5.100 kkal/kg (adb) yang termasuk ke dalam batubara berkalori

rendah. Pengklasifikasian mengacu pada PP No. 45 Tahun 2004 tentang: Tarif Atas Jenis

Penerimaan Negara Bukan Pajak (Wibowo dan Windarta, 2020),.



Gambar 4. Nilai kalor batubara sebelum dan setelah proses (kcal/kg air dried basis)

Tabel 2. Nilai kalor batubara dan klasifikasi hasil proses

Raw	Suhu °C	Nilai kalor, kkal/kg adb					
		Oven			Otoklav		
		30 menit	60 menit	90 menit	30 menit	60 menit	90 menit
4.773	100	4.815	5.023	5.230	5.576	6.221	6.980
	125	4.972	5.345	5.620	5.955	6.598	6.753
	150	5.198	5.472	5.727	6.278	6.488	7.021

Keterangan: : Kalori rendah : Kalori sedang : Kalori tinggi

Pemanasan pada suhu 125°C selama 90 menit, dan suhu 150°C selama 60 dan 90 menit, nilai kalor setelah proses > 5.100 kkal/kg (adb) dan termasuk ke dalam klasifikasi batubara dengan kalori sedang.

Pemanasan batubara dengan oven selama 30 menit, nilai kalor dalam *air dried basis* dan *as received* perbedaan cukup besar, sedangkan pada pemanasan 60 dan 90 menit, perbedaannya relatif kecil. Hal ini sesuai dengan kadar air batubara tersebut. Pada pemanasan selama 30 menit, batubara masih mengandung air total (air bawaan + air bebas) yang relatif tinggi, sedangkan pada pemanasan selama 60 dan 90 menit (kecuali pemanasan pada suhu 125°C selama 60 menit), kadar air relatif sudah rendah. Dibandingkan dengan batubara sebelum proses yang mempunyai nilai kalor 1.977 kkal/kg (AR), pemanasan dengan oven meningkatkan nilai kalor batubara tersebut cukup signifikan. Peningkatan nilai kalor juga sebagian diakibatkan karena adanya kerosin dan residu yang disemprotkan paska proses.

Nilai kalor batubara setelah proses pemanasan menggunakan otoklav pada semua suhu dan waktu proses yang dicoba, semuanya menunjukkan kenaikan. Batubara yang awalnya termasuk klasifikasi batubara kalori rendah, setelah pemanasan pada suhu 100 dan 125°C selama 30 menit naik menjadi batubara yang berkalori sedang (5.100-6.100 kkal/kg). Ketika waktu ditambah menjadi 60 dan 90 menit, naik menjadi batubara dengan kalori tinggi (> 6.100 kkal/kg). Pada suhu 150°C selama pemanasan 30, 60 menit dan 90 menit menunjukkan sebagai batubara berkalori tinggi.

Tabel 3 menunjukkan nilai kalor batubara sebelum dan setelah proses pemanasan dalam *dry basis* (db), yaitu batubara diasumsikan dalam keadaan kering (bebas air). Pemanasan dengan oven hampir tidak berpengaruh terhadap nilai kalor batubara. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemanasan dengan oven hanya menguapkan air dalam batubara tapi tidak meningkatkan nilai kalor batubara dalam keadaan bebas air. Pemanasan dengan otoklav, menunjukkan peningkatan nilai kalor yang cukup signifikan. Ini berarti bahwa pemanasan batubara dalam otoklav

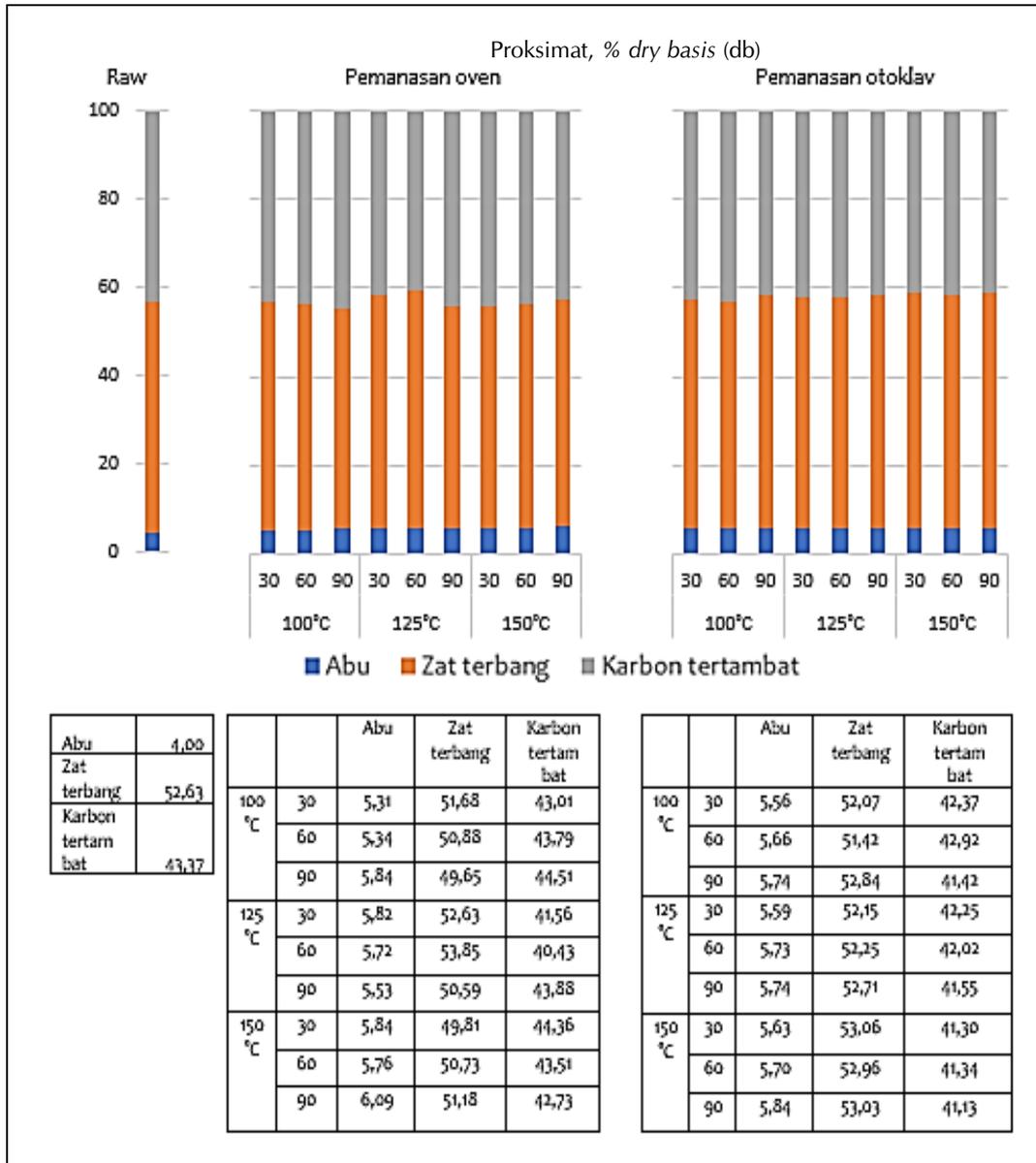
yang bertekanan dengan media kerosin cukup efektif untuk meningkatkan nilai kalor.

Tabel 3. Pengaruh pengeringan terhadap nilai kalor (kkal/kg *dry basis*)

Raw		5.983	
Suhu °C	Waktu, menit	Oven	Otoklav
100	30	5.917	5.978
	60	5.946	6.494
	90	5.966	7.206
125	30	6.050	6.307
	60	6.178	6.862
	90	5.821	6.999
150	30	5.856	6.598
	60	5.750	6.754
	90	5.918	7.262

Hasil analisis proksimat yang terdiri atas air bawaan, abu, zat terbang dan karbon tertambat sebelum dan setelah proses dalam *dry basis* (db) dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil menunjukkan bahwa proses pemanasan baik dengan oven maupun otoklav tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proksimat. Kadar abu terjadi sedikit peningkatan Hal ini disebabkan karena adanya residu yang disemprotkan ke atas permukaan batubara setelah proses pemanasan dengan oven untuk menjaga kestabilan kadar air. Begitu pula pemanasan dengan otoklav, pada saat proses kerosin dan residu digunakan sebagai media, kerosin dan residu yang menempel bersatu dengan batubara. Residu minyak bumi bila dibakar akan meninggalkan abu walau dalam jumlah kecil (Wu *dkk.*, 2017).

Kadar zat terbang dalam batubara setelah proses pemanasan juga meningkat. Kandungan zat terbang dalam batubara memengaruhi kesempurnaan pembakaran dan intensitas api. Batubara yang mempunyai zat terbang yang lebih tinggi akan menghasilkan api dengan lidah api yang lebih panjang dibandingkan dengan batubara yang mempunyai kadar zat terbang rendah. Kenaikan zat terbang setelah proses pemanasan juga sama kondisinya dengan kadar abu yang disebabkan karena adanya kerosin dan residu yang ditambahkan sebagai aditif saat proses. Kerosin dan residu merupakan cairan hidrokarbon yang mempunyai kalori dan zat terbang (Hidayat, 2021).



Gambar 5. Hasil analisis proksimat batubara sebelum dan setelah proses (% dry basis)

Karbon tertambat batubara setelah proses pemanasan dengan oven relatif tidak berubah, sedangkan pemanasan dengan otoklav umumnya mengalami sedikit penurunan. Hal ini disebabkan adanya peningkatan kadar abu dan zat terbang.

Berdasarkan hasil analisis kadar air total, nilai kalor dan proksimat (air bawaan, abu, zat terbang dan karbon tertambat), proses penurunan kadar air dengan cara pemanasan otoklav memberikan hasil yang lebih baik. Kadar air lebih rendah dan nilai kalor lebih

tinggi. Pemilihan metode mana yang akan diterapkan tergantung pada beberapa faktor, seperti kadar air dan nilai kalori yang diinginkan. Jika batubara akan digunakan segera dan kadar air yang diinginkan tidak terlalu rendah (mis < 15%), maka pemanasan dengan oven bisa diterapkan. Jika batubara akan disimpan untuk beberapa lama (tidak segera digunakan) maka dapat diterapkan pemanasan dengan otoklav, karena dengan metode ini penyerapan kembali air ke dalam batubara relatif kecil (Feng *dkk.*, 2019).

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses penurunan kadar air dengan metode evaporasi skala laboratorium menggunakan oven dan otoklav, efektif untuk menurunkan kadar air batubara kalori rendah, sehingga nilai kalor meningkat. Kadar air total batubara dari 66,69% (*as received*), turun menjadi 3,23% pada pemanasan menggunakan oven dan menjadi 3,32 % dengan pemanasan menggunakan otoklav (persen penurunan masing-masing 95,16 dan 95,02%) pada suhu dan waktu yang sama, yaitu suhu 150°C selama 90 menit. Pemanasan dengan oven pada suhu 125°C selama 1 jam dan suhu 150°C selama 30 menit meningkatkan kualitas batubara kalori rendah (< 5.100 kkal/kg) menjadi batubara kalori sedang (> 5,100 kkal/kg). Pemanasan dengan otoklav pada suhu 100°C selama 30 menit meningkatkan batubara kalori rendah menjadi batubara kalori sedang, pemanasan pada suhu 125°C selama 60 menit dan suhu 150°C selama 30 menit, peringkat batubara menjadi batubara kalori tinggi (> 6.100 kkal/kg). Untuk mengetahui lebih lanjut tentang kestabilan kadar air pasca proses pemanasan, perlu dilakukan analisis kadar air dan nilai kalor pada setiap interval waktu tertentu, misalnya setiap minggu sampai ± 8-10 minggu sehingga pemilihan metode pemanasan menjadi lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar tanpa hambatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allardice, D. J., Chaffee, A. L., Jackson, W. R. dan Marshall, M. (2004) "Water in brown coal and its removal," in *Advances in the Science of Victorian Brown Coal*. Elsevier, hal. 85–133. doi: 10.1016/B978-008044269-3/50004-2.
- Andayani, R. D. (2019) "Pengaruh temperatur dan peringkat batubara terhadap konsentrasi produk gas dalam proses pirolisis batubara," *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 6(1), hal. 92–101. doi: 10.35449/teknika.v6i1.107.
- Aswan, A., Effendy, S., Ridwan, K. A., Zurohaina dan Oktarin, O. (2019) "Rekayasa peralatan upgrading batubara peringkat rendah dalam upaya peningkatan nilai kalor menggunakan oli sebagai stabilisator," *Jurnal Kinetika*, 10(2), hal. 14–19.
- Chen, Z. (2000) "Steam-drying of coal. Part 1. Modeling the behavior of a single particle," *Fuel*, 79(8), hal. 961–974. doi: 10.1016/S0016-2361(99)00217-3.
- Deguchi, T., Shigehisa, T. dan Shimasaki, K. (1999) "Study on upgraded brown coal process for Indonesian low rank coals," in *Proc. International Conference on Clean and Efficient Coal Technology in Power Generation*. Indonesia, hal. 176–180.
- Dlouhý, T. (2010) "Low-rank coal properties, upgrading and utilization for improving fuel flexibility of advanced power plants," in *Advanced Power Plant Materials, Design and Technology*. Elsevier, hal. 291–311. doi: 10.1533/9781845699468.3.291.
- Feng, G., Cui, J., Niu, X., Liao, J., Li, W., Bai, Z. dan Han, Y. (2019) "Effect of O-containing functional groups and meso- and micropores on content and re-adsorption behavior of water in upgraded brown coal," *Fuel*, 257, hal. 116100. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116100.
- Ge, L., Zhang, Y., Xu, C., Wang, Z., Zhou, J. dan Cen, K. (2015) "Influence of the hydrothermal dewatering on the combustion characteristics of Chinese low-rank coals," *Applied Thermal Engineering*, 90, hal. 174–181. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.07.015.
- Hidayat, T. (2021) *Analisis hasil nilai viskositas dengan metode pencampuran kerosin pada aspal murni penetrasi 60/70 dengan menggunakan saybolt furol*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kinoshita, S., Yamamoto, S., Deguchi, T. dan Shigehisa, T. (2010) "Demonstration of upgraded brown coal (UBC[®]) process by 600 tonnes/day plant," *Kobelco Technology Review*, (29), hal. 93–98.
- Lee, S., Kim, S., Choi, H., Chun, D., Rhim, Y., Yoo, J. dan Lim, J. (2013) "Efficient use of low rank coal: Current status of low rank coal utilization," in *Cleaner Combustion and Sustainable World*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, hal. 893–895. doi: 10.1007/978-3-642-30445-3_120.
- Lee, S., Kim, S., Chun, D., Choi, H. dan Yoo, J. (2017) "Upgrading and advanced cleaning technologies for low-rank coals," in *Low-Rank Coals for Power Generation, Fuel and*

- Chemical Production*. Elsevier, hal. 73–92. doi: 10.1016/B978-0-08-100895-9.00004-8.
- Li, Y., Yan, M., Zhang, L., Chen, G., Cui, L., Song, Z., Chang, J. dan Ma, C. (2016) "Method of flash evaporation and condensation – heat pump for deep cooling of coal-fired power plant flue gas: Latent heat and water recovery," *Applied Energy*, 172, hal. 107–117. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.017.
- Liao, J., Fei, Y., Marshall, M., Chaffee, A. L. dan Chang, L. (2016) "Hydrothermal dewatering of a Chinese lignite and properties of the solid products," *Fuel*, 180, hal. 473–480. doi: 10.1016/j.fuel.2016.04.027.
- Mahidin, Ogaki, Y., Nakata, Y. dan Usui, H. (2003) "Improvement of devolatilization and control of low-temperature oxidation by vacuum drying and tar coating treatments of low-rank coal," *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 36(7), hal. 769–775. doi: 10.1252/jcej.36.769.
- Mohalik, N. K., Mandal, S., Ray, S. K., Khan, A. M., Mishra, D. dan Pandey, J. K. (2022) "TGA/DSC study to characterise and classify coal seams conforming to susceptibility towards spontaneous combustion," *International Journal of Mining Science and Technology*, 32(1), hal. 75–88. doi: 10.1016/j.ijmst.2021.12.002.
- Nursahan, I., Heditama, D. M., Sunuhadi, D. N., Mulyadi, A. D., Eddy, H. R., Juarsa, A., Wibisono, S. A., Ibrahim, M. A., Oktaviani, P., Hidayat, R., Fatimah, Hermawan, D., Mustofa, S. A., Permana, L. A. dan Rustina, T. S. (2022) *Neraca sumber daya dan cadangan mineral, batubara dan panas bumi Indonesia 2021*. Diedit oleh M. Awaludin, S. S. R. Susilawati, dan A. Munandar. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi.
- Rao, Z., Zhao, Y., Huang, C., Duan, C. dan He, J. (2015) "Recent developments in drying and dewatering for low rank coals," *Progress in Energy and Combustion Science*, 46, hal. 1–11. doi: 10.1016/j.peccs.2014.09.001.
- Suharto (2017) *Bioteknologi dalam bahan bakar non fosil*. 1 ed. Yogyakarta: Andi Offset.
- Thomas, L. (2013) *Coal geology*. 2nd Ed. Wiley-Blackwell.
- Tsai, S. C. (1984) "A review of fundamentals of coal beneficiation and utilization," *Coal Preparation*, 1(1), hal. 111–113. doi: 10.1080/07349348408945542.
- Ullah, H., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., Zhou, C. dan Rashid, A. (2018) "Hydrothermal dewatering of low-rank coals: Influence on the properties and combustion characteristics of the solid products," *Energy*, 158, hal. 1192–1203. doi: 10.1016/j.energy.2018.06.052.
- Umar, D. F., Daulay, B., Usui, H., Deguchi, T. dan Sugita, S. (2005) "Characterization of upgraded brown coal (UBC)," *Coal Preparation*, 25(1), hal. 31–45. doi: 10.1080/07349340590927350.
- Umar, D. F. (2015) "Low rank coal upgrading: Effect of upgrading conditions on characterization of the product," in *Proceedings of BIT's 4th Annual International Symposium of Clean Coal Technology (CCT 2015)*. Xián, China: CCT, hal. 24.
- Umar, D. F. dan Daulay, B. (2011) "Improvement of low rank coal properties by various upgrading processes," *Indonesian Mining Journal*, 14(1), hal. 17–29.
- Wibisono, S. A., Dwitama, E. P. dan Prahesti, I. O. (2019) "Petrografi dan geokimia batubara di daerah Pahirangan dan sekitarnya, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah," *Buletin Sumber Daya Geologi*, 14(1), hal. 65–78. doi: 10.47599/bsdg.v14i1.245.
- Wibowo, S. A. dan Windarta, J. (2020) "Pemanfaatan batubara kalori rendah pada PLTU untuk menurunkan biaya bahan bakar produksi," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 1(3), hal. 100–110. doi: 10.14710/jebt.2020.10029.
- Wu, J., Wang, J., Liu, J., Yang, Y., Cheng, J., Wang, Z., Zhou, J. dan Cen, K. (2017) "Moisture removal mechanism of low-rank coal by hydrothermal dewatering: Physicochemical property analysis and DFT calculation," *Fuel*, 187, hal. 242–249. doi: 10.1016/j.fuel.2016.09.071.
- Zhang, D., Liu, P., Lu, X., Wang, L. dan Pan, T. (2016) "Upgrading of low rank coal by hydrothermal treatment: Coal tar yield during pyrolysis," *Fuel Processing Technology*, 141, hal. 117–122. doi: 10.1016/j.fuproc.2015.06.037.

