

Pengeringan Low Rank Coal dengan Menggunakan Metode Pemanasan tanpa Kehadiran Oksigen

Lutfi Al Baaqy, Genta Arias, M. Rachimoellah, dan Romanus Krisantus Tue Nenu
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: prof_rachimoellah@yahoo.com

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari pengaruh ukuran partikel batubara dan kondisi operasi (temperatur) pengeringan terhadap heating value dan persentase removal dari moisture content batubara.

Batubara yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Kelurahan Batuah KM.32 Samarinda Seberang. Penelitian ini dimulai dengan tahap persiapan meliputi penyeragaman ukuran batubara dan persiapan alat pengeringan. Batubara yang telah seragam ditimbang seberat 200 gram, selanjutnya dimasukkan ke dalam tangki pemanas untuk dipanaskan sesuai dengan variabel temperatur. Pemanasan yang dilakukan disertai dengan aliran gas Nitrogen untuk mencegah terjadinya oksidasi. Batubara yang telah dikeringkan selanjutnya dianalisa kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, kadar karbon tetap dan nilai kalornya.

Pada penelitian ini temperatur mempunyai peran penting pada pengurangan moisture content dan kenaikan heating value dari batubara. Batubara dengan ukuran lolos 4-10 mesh memiliki nilai kalor dan moisture removal lebih besar. Temperatur pengeringan yang optimal pada 150°C sedangkan dekomposisi volatile matter mulai terjadi pada temperatur 200°C. Luas permukaan batubara menjadi tidak efektif pada penelitian ini, sedangkan rongga antar partikel batubara menjadi faktor penting dalam transfer massa batubara selama proses pengeringan. Pengurangan moisture content batubara terbukti dapat meningkatkan nilai kalor batubara..

Kata Kunci—Batubara, pengeringan, low rank coal, moisture content, heating value.

I. PENDAHULUAN

BATUBARA di Indonesia, cadangan batubara di Indonesia pada tahun 2013 ini tercatat sebesar 28 miliar ton, dan menurut perhitungan akan habis dalam waktu 71 tahun ke depan. Batubara memiliki kegunaan utama sebagai bahan bakar selain digunakan dalam industri metalurgi. Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar diharapkan memiliki nilai kalor yang tinggi untuk mendapatkan efisiensi pembakaran. Namun kualitas batubara Indonesia pada umumnya didominasi oleh batubara peringkat rendah (low rank coal), yaitu sekitar 70% dari total sumber daya yang tersedia. Batubara jenis ini mempunyai kandungan air (moisture content) yang cukup tinggi yaitu sekitar 15 – 35% dan nilai kalor yang rendah yaitu kurang dari 5000 kcal/kg. Dengan demikian diperlukan teknologi khusus untuk meningkatkan kualitas batubara tersebut agar mendapatkan

efisiensi penggunaan yang baik.

Teknologi peningkatan kualitas yang dimaksud ditujukan untuk menaikkan heating value dari batubara dengan cara menghilangkan kadar air yang terkandung dalam batubara. Metode pemanasan tanpa Oksigen merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas batubara. Metode ini cukup sederhana dan memiliki efisiensi pengeringan yang cukup baik. Kenaikan nilai kalor hasil pengeringan menggunakan metode ini cukup tinggi, yaitu sekitar 2000 – 3000 kcal/kg. Teknologi ini telah dikembangkan dan diaplikasikan secara komersil oleh GB Clean Energy (GBCE) Limited di China [10].

A. Moisture Batubara

Moisture content (kadar air) merupakan salah satu komponen yang penting untuk sebuah batubara, karena semua batubara yang diproduksi dari tambang berada dalam kondisi basah. Air tanah dan sumber moisture lainnya biasa disebut dengan adventitious moisture, artinya moisture tersebut muncul karena proses yang tidak disengaja. Moisture yang berada di dalam batubara disebut dengan inherent moisture, dan moisture inilah yang nantinya akan dianalisa.

Beberapa bentuk moisture yang mungkin terdapat dalam batubara :

a. Surface Moisture

Merupakan air yang terdapat pada permukaan partikel batubara, air ini membentuk sebuah lapisan film pada celah antar partikel. Jumlah air ini tergantung pada ukuran partikel dan struktur permukaan batubara.

b. Hygroscopic Moisture / Capillary Water

Merupakan air yang terdapat karena adanya gaya kapiler di dalam celah batubara yang berukuran sangat kecil (mikro).

c. Decomposition Mixture

Merupakan air yang terdapat dalam senyawa organik yang telah terdekomposisi.

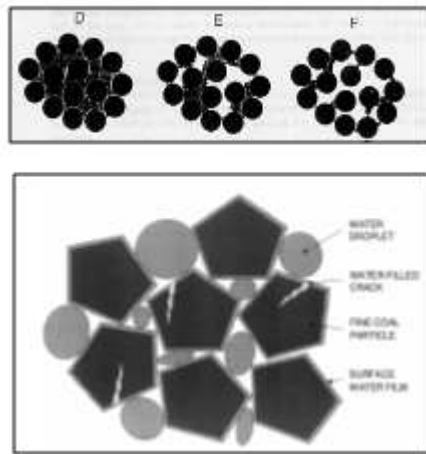
d. Mineral Moisture

Merupakan air yang menyusun sebagian struktur kristal senyawa silica hidrat.

Dalam ilmu yang mempelajari tentang batubara dan mineral slurry, terdapat suatu hubungan antara air dan partikel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

B. Pengeringan Batubara

Salah satu metode yang digunakan dalam peningkatan kualitas (upgrading) dari batubara adalah dengan



Gambar 1. Skema Hubungan Antara Air dengan Partikel Batubara

menggunakan metode pengeringan. Pengeringan batubara (coal drying) bertujuan untuk menghilangkan atau menurunkan kadar air yang terkandung pada batubara, sehingga dengan berkurangnya moisture content ini mampu meningkatkan nilai kalor dari batubara. Penggunaan batubara yang telah dikeringkan juga dapat meningkatkan efisiensi proses operasi, menurunkan biaya perawatan utilitas peralatan, serta mengurangi resiko terjadinya bahaya kebakaran spontan[19][20].

Secara konvensional pengeringan batubara dilakukan dengan cara memanaskan batubara atau mengkontakkan media kering yang telah dipanaskan dengan batubara sehingga mampu menguapkan kandungan air yang terdapat dalam batubara. Namun kekurangan dari pengeringan konvensional ini adalah adanya kandungan oksigen dalam ruang pengeringan atau pada media kering yang dikontakkan dengan batubara. Kehadiran oksigen mampu mengakibatkan terjadinya nyala api (self ignition) apabila pengeringan dilakukan pada suhu yang tinggi. Self ignition ini mengakibatkan batubara terbakar atau teroksidasi, mengurangi kandungan volatile content serta karbon pada batubara sehingga dapat menurunkan nilai kalor dari batubara. Maka dari itu perlu adanya pertimbangan lebih lanjut dalam pemilihan metode pengeringan batubara agar mampu menurunkan kadar air batubara secara maksimal tanpa mengurangi nilai kalor pada batubara. Beberapa metode yang dikembangkan saat ini salah satunya adalah dengan menggunakan gas Nitrogen sebagai media pengering[22].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara praktik di Laboratorium Biomassa dan Konversi Energi Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS. Metode pengeringan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah tangki pemanas berukuran 1 Liter dengan penambahan gas nitrogen untuk mengkondisikan ruang pemanas agar terbebas dari oksigen. Batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara berjenis Low Rank Coal yang berasal dari Penambangan Batubara Kelurahan Batuah KM.32 Samarinda Seberang. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

<i>Variabel Tetap</i>	
Massa Batubara	: 200 gram
Waktu Pengeringan	: 2 Jam
<i>Variabel Berubah</i>	
<i>Temperatur</i>	
100°C, 150°C, 200°C, 250°C, dan 300°C	
<i>Ukuran Partikel</i>	
Lolos 4-10 Mesh	
Lolos 10-20 Mesh	
Lolos 20 Mesh	
<i>Variabel Respon</i>	
Kadar Air (<i>Moisture Content</i>)	
Kadar Zat Terbang (<i>Volatile Matter</i>)	
Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	
Kadar Karbon Tetap (<i>Fixed Carbon</i>)	
Nilai Kalor (<i>Heating Value</i>)	

Spesifikasi batubara yang digunakan,

Sampel	<i>Moisture Content (%)</i>	<i>Volatile Matter (%)</i>	<i>Ash Content (%)</i>	<i>Fixed Carbon (%)</i>
Sampel Awal	18.29%	38.40%	12.544%	30.76%

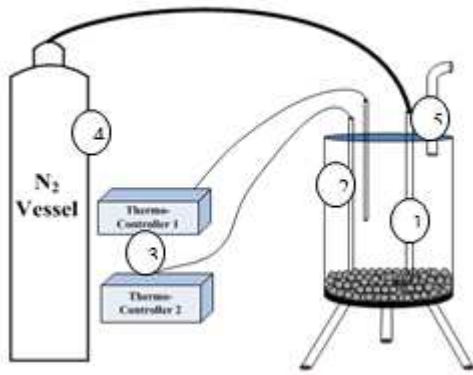
Sampel	Nilai Kalor (<i>kcal/kg</i>)
Sampel Awal	4739.24

A. *Prosedur Penelitian*

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahap, yaitu tahap persiapan bahan baku, tahap pengeringan dan tahap analisa batubara. Tahap persiapan bahan baku meliputi pengadaan sampel batubara dan penyeragaman ukuran partikel batubara menggunakan sieve screen. Batubara yang telah diseragamkan ini selanjutnya diproses dalam tahap pengeringan. Tahap pengeringan dilakukan dengan menyiapkan peralatan pengeringan yang akan digunakan yang dilanjutkan dengan loading sampel batubara seberat 200 gram ke dalam tangki pemanas. Selanjutnya mengalirkan gas nitrogen ke dalam tangki pemanas dengan kecepatan konstan dan mulai memanaskan tangki. Temperatur tangki pemanas dikendalikan menggunakan temperature controller AUTONICS TZN4S sesuai dengan variabel yang telah ditentukan dan selanjutnya dijaga agar konstan selama dua jam. Kemudian mematikan pemanas dan membiarkan tangki hingga temperatur turun mencapai 80°C. Selanjutnya aliran gas nitrogen dimatikan dan melakukan unloading batubara

B. *Tahap Analisa*

Tahap analisa yang dilakukan meliputi Analisa Proximate dan Nilai Kalor. Analisa Proximate terdiri dari Analisa



Gambar 2. Skema alat pengeringan

Keterangan Gambar :

1. Tangki Pemanas
2. Termocouple
3. Temperature Contoller
4. Tabung Nitrogen dan Regulator Nitrogen
5. Pipa Outlet Gas



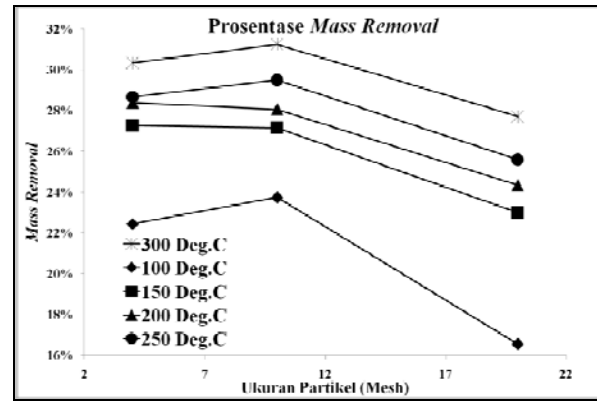
Gambar 3. Bomb Calorimeter PARR 1261

Moisture Content (ASTM D 3173-03), Analisa Volatile Matter (ASTM D 3175-02), Analisa Ash Content (ASTM D 3174-02), dan Fixed Carbon (ASTM D 3172-89 R02). Sedangkan untuk analisa Nilai Kalor menggunakan Bomb Calorimeter PARR 1261 yang dilakukan di Laboratorium Team Afiliasi dan Konsultasi Industri (TAKI), Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

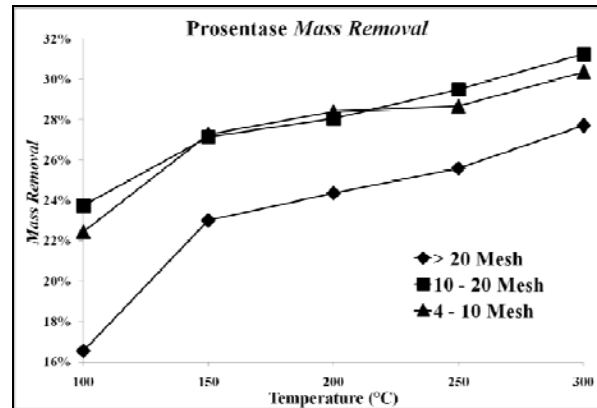
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perubahan Massa Batubara

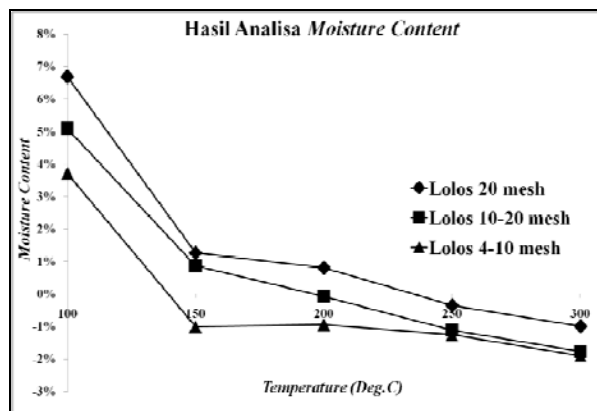
Grafik 1 dan grafik 2 menunjukkan prosentase massa yang hilang pada saat proses pengeringan berlangsung. Temperatur operasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah massa yang hilang pada saat proses pengeringan berlangsung, semakin tinggi temperatur operasi maka akan semakin banyak massa yang hilang. Massa yang hilang ini mengandung sejumlah besar air (*moisture*) dan *volatile matter* yang mengalami dekomposisi thermal. Perubahan massa yang



Grafik 1. Prosentase Perubahan Massa Batubara Berdasarkan Ukuran Partikel Batubara



Grafik 2. Prosentase Perubahan Massa Batubara Berdasarkan Temperatur Operasi Pengeringan

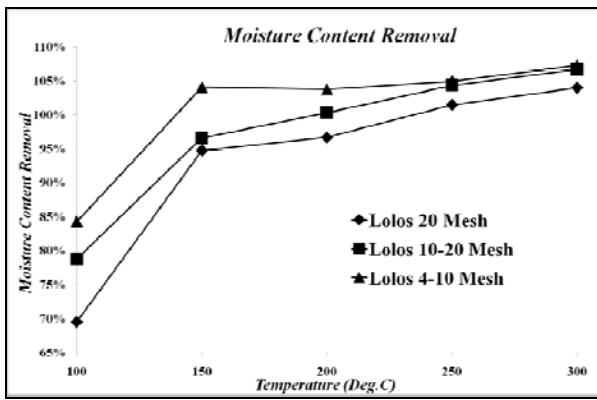


Grafik 3. Hasil Analisa *Moisture Content* Produk Batubara

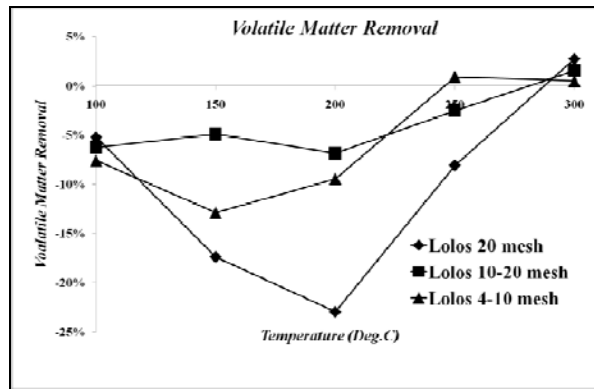
paling besar terjadi pada sampel yang lolos *screen* 10-20 Mesh dengan temperatur operasi 300°C. Untuk perubahan massa pada ukuran 10-20 Mesh dan 4-10 Mesh, tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

B. Pengaruh Terhadap *Moisture Content*

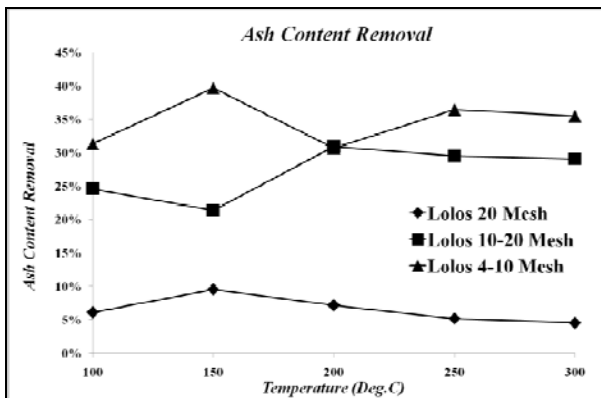
Grafik 4 menunjukkan hasil analisa *moisture content* produk batubara setelah melalui proses pengeringan. Pada grafik tersebut dapat diketahui bahwa *moisture content* batubara mengalami penurunan dengan meningkatnya temperatur operasi pengeringan. *Moisture content* paling



Grafik 4. Prosentase Pengurangan *Moisture Content* Produk Batubara Berdasarkan Temperatur Operasi Pengeringan



Grafik 5. Prosentase Pengurangan *Volatile Matter* Produk Batubara Berdasarkan Temperatur Operasi Pengeringan



Grafik 6. Prosentase Pengurangan *Ash Content* Produk Batubara Berdasarkan Temperatur Operasi Pengeringan

akan mengurangi humidity gas dan panas penguapan gas tersebut, sehingga dapat menaikkan laju pengeringan[8]. Sedangkan temperatur optimal untuk menghilangkan moisture terjadi pada $\pm 150^{\circ}\text{C}$ [2], dimana diatas temperatur tersebut moisture content batubara untuk setiap ukuran partikel cenderung konstan sehingga tidak mengalami perubahan secara signifikan. Pada sampel dengan temperatur operasi 200°C , 250°C dan 300°C , secara berturut-turut memiliki %moisture content yang bernilai negatif. Nilai prosentase negatif ini menunjukkan bahwa terdapat penambahan berat akhir pada saat tahap analisa moisture content yang

menyebabkan nilai akhir menjadi negatif. Sehingga pada kondisi temperatur mulai 200°C , nilai %moisture content batubara dapat dikatakan mendekati $\pm 0\%$ dan mengalami kemungkinan terjadinya reabsorpsi moisture pada saat analisa dilakukan. Reabsorpsi yang mungkin terjadi pada batubara disebabkan oleh afinitas oksigen pada permukaan batubara, dimana afinitas tersebut cukup tinggi pada udara untuk terjadinya oksidasi. Nilai afinitas tersebut lebih tinggi pada Low Rank Coal dibandingkan dengan bituminous coal dan anthracite. Hal ini terjadi karena proses size reduction pada saat penggilingan menyebabkan permukaan batubara bersifat lebih hydrophobic dengan sudut kontak antara 20° sampai 70° . Setelah beberapa lama, oksigen atau senyawa hidroksil ($-\text{OH}$, $-\text{COH}$, $=\text{C}=\text{O}$, $-\text{O}-$) dalam dalam air terbentuk pada permukaan dan menyebabkan partikel menjadi lebih hydrophilic [2]. Selain itu, peningkatan konsentrasi senyawa gugus oksigen yang dihasilkan pada saat proses oksidasi dapat menyebabkan peningkatan daya ikat moisture [9].

Berdasarkan grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa semakin kecil ukuran partikel maka moisture yang terkandung pada batubara akan semakin besar. Hal ini dikarenakan batubara dengan ukuran partikel kecil memiliki volume rongga antar partikel yang lebih kecil dibandingkan batubara dengan ukuran partikel besar. Luas permukaan partikel tidak lagi menjadi efektif dibandingkan kecilnya volume rongga antar partikel yang mampu menghambat perpindahan massa air atau mengakibatkan air terperangkap dalam tumpukan batubara.

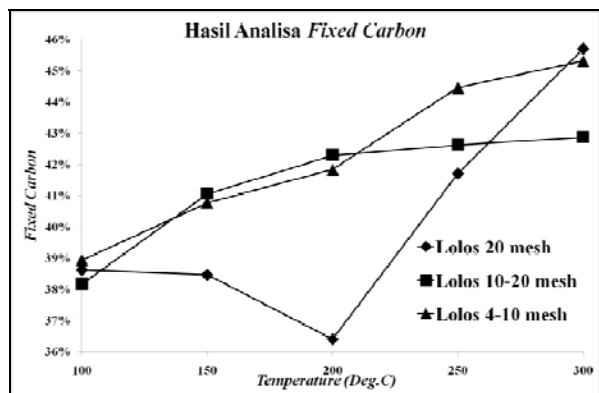
C. Pengaruh Terhadap *Volatile Matter*

Pada penelitian ini temperatur operasi dan ukuran partikel batubara memiliki pengaruh terhadap pengurangan volatile matter yang ditunjukkan pada Grafik 5.

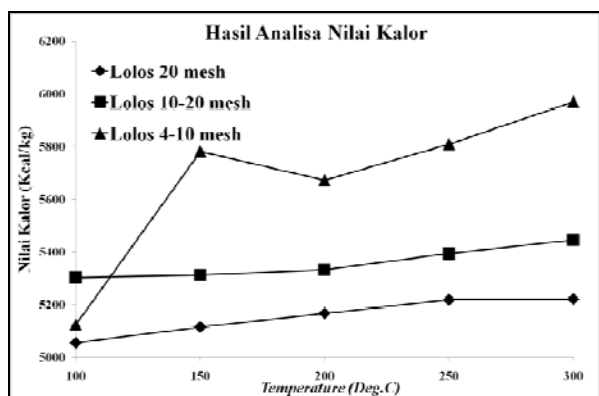
Pengurangan volatile matter mulai terjadi ketika temperatur operasi mencapai 250°C untuk ukuran partikel 4-10 mesh dan $\pm 270^{\circ}\text{C}$ untuk ukuran partikel 10-20 mesh dan kurang dari 20 mesh. Grafik tersebut menunjukkan nilai negatif pada temperatur $100-200^{\circ}\text{C}$, artinya tidak terdapat pengurangan kandungan volatile matter.

Dekomposisi volatile matter disebabkan oleh reaksi oksidasi, dan reaksi tersebut merupakan reaksi yang terjadi di permukaan dengan laju reaksi yang dikendalikan oleh difusivitas oksigen terhadap batubara [5]. Batubara dengan ukuran partikel yang lebih besar memiliki volume rongga yang lebih besar dibandingkan dengan batubara dengan ukuran partikel yang lebih kecil, sehingga oksigen akan memiliki akses lebih banyak untuk bereaksi pada permukaan batubara.

Secara garis besar, pada Grafik 6 menunjukkan bahwa temperatur operasi dan ukuran partikel memberikan sedikit pengaruh terhadap kadar abu batubara. Untuk pengaruh ukuran partikel batubara, dari grafik tersebut dapat diketahui



Grafik 7. Hasil Analisa Fixed Carbon Produk Batubara



Grafik 8. Hasil Analisa Nilai Kalor Produk Batubara

bahwa batubara dengan ukuran partikel besar memiliki ash content yang lebih kecil dibandingkan batubara dengan ukuran partikel kecil. Batubara dengan ukuran lolos 4-10 mesh memiliki kandungan ash content berkisar sekitar 8%-9%, untuk ukuran lolos 10-20 mesh sekitar 10%-11%, dan ukuran lolos 20 mesh sekitar 12%-13%.

Perubahan nilai kadar abu ini perlu diteliti lebih lanjut untuk memastikan pengaruh temperatur operasi dan ukuran partikel batubara terhadap parameter ini, karena secara umum abu terbentuk pada temperatur diatas 400°C hingga 500°C dengan periode pemanasan yang cukup lama.

Temperatur operasi dan ukuran partikel batubara memberikan pengaruh secara tidak langsung terhadap nilai fixed carbon. Dari Grafik 7 dapat dilihat trend kenaikan nilai fixed carbon dengan meningkatnya temperatur operasi pengeringan. Sedangkan pengaruh ukuran partikel batubara menunjukkan trend yang bervariasi untuk setiap ukuran partikel. Hal ini terjadi karena nilai fixed carbon berkaitan erat dengan moisture content, volatile matter dan ash content pada batubara. Apabila parameter-parameter tersebut mengalami penurunan nilai, maka nilai fixed carbon secara otomatis akan mengalami peningkatan prosentase [17]. Berdasarkan hasil analisa uji nilai kalor, peningkatan temperatur operasi pengeringan akan menaikkan nilai kalor dari produk batubara. Peningkatan tertinggi dicapai oleh batubara pada temperatur pengeringan 300°C untuk ukuran partikel lolos 4-10 mesh dengan peningkatan sebesar ±1300 kcal/kg dari nilai kalor awal sebesar 4739,24 kcal/kg dan nilai kalor akhir sebesar

5969,18 kcal/kg. Peningkatan ini didukung oleh berkurangnya kandungan moisture content dan volatile matter batubara tersebut [17].

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari pembahasan hasil dari penelitian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Telah Semakin tinggi temperatur operasi maka semakin besar pula jumlah moisture content yang teruapkan.
2. Temperatur optimal pengurangan moisture content 150°C.
3. Pengurangan kandungan volatile matter mulai terjadi pada temperatur 200°C.
4. Secara keseluruhan batubara dengan ukuran partikel yang lebih besar mengalami pengurangan kandungan moisture content, ash content dan volatile matter yang lebih banyak.
5. Luas permukaan partikel batubara menjadi tidak efektif dibandingkan dengan rongga antar partikel batubara.
6. Rongga antar partikel mempunyai peran penting dalam transfer massa dalam penelitian ini.
7. Peningkatan nilai kalor yang paling besar terjadi pada batubara dengan ukuran partikel lebih besar (Lolos 4-10 Mesh) dan temperatur paling tinggi (300°C).
8. Reduksi moisture content batubara terbukti dapat meningkatkan nilai kalor batubara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan berkah-Nya, kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu penelitian ini khususnya kepada Prof. Dr. Ir. H. M. Rachimoallah, Dipl. EST dan Prof. Dr. Ir. Ali Altway, M.S. atas saran dan bimbingannya selama penelitian ini dilakukan. Serta kepada rekan-rekan Laboratorium Biomassa Dan Konversi Energi Teknik Kimia ITS, rekan-rekan Lintas Jalur Teknik Kimia ITS, dan D3 Tek.Kimia ITS 2008.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdel-Baset, A., Yarzab, R. F., & Given, P. (1978). Dependence of Coal Liquefaction Behavior on Coal Characteristic. *Fuel*, LVII, 89-94.
- [2] Asmatulu, R. (2001). Advanced Chemical-Mechanical Dewatering of Fine Particles. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Materials Science and Engineering, Blacksburg.
- [3] ASTM International. (2002). ASTM D 3172 – 89 Standard Test Method for Proximate Analysis of Coal and Coke. In ASTM.
- [4] ASTM International. (2002). ASTM D 3173 – 03 Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. In ASTM.
- [5] ASTM International. (2002). ASTM D 3174 – 02 Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. In ASTM.
- [6] ASTM International. (2002). ASTM D 3175 – 03 Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke. In ASTM.
- [7] ASTM International. (1999). ASTM D 388 - 99 Standard Classification of Coals by Rank. In ASTM.
- [8] Dawei, W., & Chenglin, Z. (2006). Study on The Coefficient of Heat Transfer of Convection in The Stage of Constant Rate Drying. *Acad Period Farm Production Process*, 40-42.
- [9] Fryer, J. F., & Szladow, A. J. (1973). Storage of Coal Samples. Alberta Geological Survey. Edmonton: Alberta Research.

- [10] GB Clean Energy Limited. (2012). LiMax Coal upgrading Process. 2nd Annual Coal Upgrading and Conversion Conference. Jakarta.
- [11] H. O., Jangam, S. V., Lease, J. D., & Mujumdar, A. S. (2011). Drying of Low-Rank Coal (LRC)-A Review of Recent A Patents and Innovations. National University of Singapore, M3TC and ME Department. Singapore: M3TC.
- [12] Hartiniati. (2010). Proses Peningkatan Mutu Batubara Muda (Lignite) Menjadi Exportable Coal atau Batubara Layak Ekspor/Jual. Laporan Akhir, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Sumber Energi Baru dan Terbarukan, Jakarta.
- [13] Komariah, W. E. (2012). Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah Melalui Penghilangan Moisture Dengan Pemanasan Gelombang Mikro. Universitas Indonesia, Program Studi Magister Teknik Kimia, Depok.
- [14] Mujumdar, A. S., & Jangam, S. V. (2011). Drying of Low Rank Coal. National University of Singapore, Minerals, Metals and Materials Technology Centre (M3TC). Singapore: M3TC.
- [15] Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. (n.d.). Retrieved January 26, 2013, from <http://www.tekmira.esdm.go.id/HasilLitbang/?p=800>
- [16] Sastrawiguna, S., & Ginting, I. (1996, September). Pembriketan Batubara Antrasit dengan Bahan Perikat Bitumen. *berita Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 32.
- [17] Speight, J. G. (2013). *The Chemistry and Technology of Coal* (3rd Edition ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- [18] Tirono, M., & Sabit, A. (2011). Efek Suhu pada Proses Pengarangan Terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Neutrino*, III (2), 143-152.
- [19] Wahyuni, N. D. (2013, February 25). SCTV Multimedia & Liputan6 Website Team. Retrieved July 7, 2013, from [Liputan6.com: http://bisnis.liputan6.com/read/520824/cadangan-batu-bara-ri-habis-71-tahun-lagi](http://bisnis.liputan6.com/read/520824/cadangan-batu-bara-ri-habis-71-tahun-lagi)
- [20] Wikimedia Foundation, Inc. (n.d.). Retrieved January 26, 2013, from http://www.id.wikipedia.org/wiki/Batu_bara
- [21] Yamamoto, S., Sugita, S., Mito, Y., Deguchi, T., Shigehisa, T., & Otaka, Y. (2007). Development of Upgraded Brown Coal Process.
- [22] Yuan, X. Z., Kang, T., Jeon, D., Namkung, H., Jeon, Y., & Kim, H. T. (2013). Experimental Study on Drying of Low Rank Coal by Changed Temperature and Particle Size. *Cleaner Combustion and Sustainable World*, 905.