

## PENGARUH PROSES *UPGRADING* TERHADAP KUALITAS BATUBARA BUNYU, KALIMANTAN TIMUR

Oleh: Datin Fatia Umar

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman No. 623 Bandung 40211

Email: [datinf@tekmira.esdm.go.id](mailto:datinf@tekmira.esdm.go.id)

### Abstrak

Cadangan batubara Indonesia saat ini mencapai  $\pm 104,8$  milyar ton yang pada umumnya tersebar di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Namun, cadangan batubara tersebut pada umumnya termasuk batubara peringkat rendah dengan kadar air yang tinggi, sehingga biaya transportasi per satuan kalori menjadi tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dilakukan penelitian untuk menurunkan kadar air dalam batubara tersebut, terutama air bawaan (*inherent moisture*).

Penelitian dilakukan dengan menerapkan teknologi *upgraded brown coal* (UBC), *hot water drying* (HWD) dan *steam drying* (SD) dengan menggunakan batubara peringkat rendah yang berasal dari Bunyu, Kalimantan Timur. Batubara sebelum dan setelah proses *upgrading* dianalisis terhadap proksimat (air bawaan, zat terbang, abu dan karbon padat), ultimat (karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur dan oksigen) dan nilai kalor. Sifat pembakaran batubara diuji dengan menggunakan metoda *differential thermal analysis thermo gravimetry* (DTA-TG).

Berdasarkan hasil analisis dan uji pembakaran, proses *upgrading* yang paling baik untuk batubara Bunyu adalah proses SD. Dengan proses tersebut, batubara Bunyu yang semula kadar air bawaannya 17,41% adb dapat diturunkan menjadi 1,81% atau terjadi tingkat penurunan sebesar 89,60%. Sedangkan dengan proses UBC dan HWD kadar air masing-masing menjadi 4,71 dan 3,43% adb atau tingkat penurunan 72,95 dan 80,30%. Dengan turunnya kadar air, maka nilai kalor batubara tersebut meningkat dari 4.697 kal/g adb menjadi 5.752 kal/g dengan proses UBC, menjadi 6.261 kal/g dengan proses HWD dan menjadi 6.500 kal/g dengan proses SD atau masing-masing terjadi peningkatan sebesar 22,46, 33,30 dan 38,39%.

Dari hasil uji pembakaran dengan DTA-TG, batubara Bunyu hasil proses SD mempunyai nilai  $T_{ig}$  (*temperature ignition* = temperatur pembakaran awal) yang tertinggi, yaitu 260°C dibandingkan dengan batubara hasil proses UBC dan HWD yang masing-masing 190 dan 255 °C. Hal ini menunjukkan bahwa batubara hasil proses SD mempunyai kecenderungan terhadap terjadinya pembakaran spontan yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara hasil proses UBC dan HWD.

Kata kunci: batubara peringkat rendah, proses *upgrading*, air bawaan, nilai kalor

### 1. PENDAHULUAN

Cadangan batubara Indonesia diperkirakan mencapai 104,8 milyar ton (Sumber Daya Geologi, 2007), hanya sedikit batubara tersebut yang memiliki peringkat antrasit dan bituminus yaitu masing-masing 0,3% dan 14,3%. Sebagian besar batubara tersebut termasuk kedalam peringkat sub-bituminus dan lignit masing-masing 26,7% dan 58,7%. Batubara antrasit dan bituminus dikelompokkan sebagai batubara peringkat tinggi, sedangkan sub-bituminus dan lignit termasuk kedalam batubara peringkat rendah.

Cadangan batubara peringkat rendah saat ini belum diminati karena sulit dipasarkan, khususnya untuk ekspor hanya diperuntukkan bagi batubara peringkat tinggi (bituminus). Salah satu sifat yang tidak menguntungkan dari batubara peringkat rendah adalah tingginya kadar air total (air bawaan dan air bebas) yang mencapai 40%. Tingginya kadar air akan menimbulkan masalah dalam proses pemanfaatannya, terutama jika digunakan sebagai bahan bakar langsung. Pada proses pembakaran, air bawaan akan mengurangi nilai kalor batubara sehingga jumlah batubara yang diperlukan akan lebih besar. Kemudian gas CO<sub>2</sub> yang ditimbulkannya akan lebih besar pula. Gas CO<sub>2</sub> yang tinggi akan mempunyai dampak negatif terhadap lingkungan dengan timbulnya efek rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Selain itu, batubara peringkat rendah mempunyai kecenderungan untuk terjadinya pembakaran spontan (*spontaneous combustion*).

Beberapa teknologi pengeringan batubara untuk menurunkan kadar air batubara telah diperkenalkan sejak tahun 1920-an (Suwono, 2000). Alasan utama proses ini adalah untuk mengurangi ongkos yang berkaitan dengan pengangkutan, menanggulangi masalah penanganan dan meningkatkan efisiensi pembakaran batubara. Secara garis besar, proses pengeringan dibagi dalam 3 bagian, yaitu evaporasi, pengeringan dengan air panas atau dengan uap (tanpa penguapan, dengan tekanan) dan non termal atau pirolisis (Baker et al, 1986). Dalam proses evaporasi, batubara dipanaskan baik secara langsung maupun tidak langsung (dengan menggunakan uap panas) sebelum atau selama proses penggilingan. Dengan cara ini, air bawaan mempunyai kecenderungan untuk kembali terserap oleh batubara. Metode ini dapat diterapkan jika batubara tersebut akan segera digunakan. Proses evaporasi dengan perlakuan minyak (residu) paska proses, akan membantu kestabilan kadar air bawaan karena residu akan melapisi permukaan batubara sehingga menutup pori-pori batubara tersebut (Syamsudin, 1996).

Tulisan ini akan membahas proses *upgrading* dengan berbagai teknologi, yaitu *upgraded brown coal* (UBC), *hot water drying* (HWD) dan *steam drying* (SD), untuk mengetahui karakteristik batubara Bunyu sebelum dan setelah proses *upgrading* berdasarkan hasil analisis kimia dan sifat pembakarannya.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Air yang terkandung dalam batubara terdiri dari air bebas (*free moisture*) dan air bawaan (*inherent moisture*). Air bebas adalah air yang terikat secara mekanik dengan batubara pada permukaan dalam rekahan atau kapiler yang mempunyai tekanan uap normal. Sedangkan air bawaan adalah air yang terikat secara fisik pada struktur pori-pori bagian dalam batubara dan mempunyai tekanan uap yang lebih rendah daripada tekanan uap normal. Kandungan air dalam batubara baik air bebas maupun air bawaan merupakan faktor yang merugikan karena memberikan pengaruh yang negatif terhadap biaya transportasi dan proses pembakarannya. Penurunan kadar air dalam batubara dapat dilakukan dengan cara mekanik atau perlakuan panas. Kadar air bebas dapat dikurangi secara efektif dengan cara mekanik, sedangkan penurunan kadar air bawaan harus dilakukan dengan cara pemanasan.

Proses pemanasan batubara sampai tempertur tertentu menyebabkan terjadinya perubahan komposisi struktur batubara. Dengan memanaskan batubara, terjadi perubahan kimia karena menguapnya air bawaan, dekomposisi gugus karboksil, penyusutan gas-gas hidrogen dan

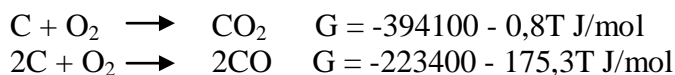
oksigen kompleks serta aromatisasi. Komposisi dan sifat produk akhir akan bervariasi tergantung pada temperatur pemanasan.

Selama proses pemanasan akan terjadi reaksi kimia yang menghasilkan produk gas atau cairan yang banyak berhubungan dengan sistem pori-pori batubara (Samsudin, 1996). Kehilangan sejumlah massa bahan-bahan penyusun batubara melalui pori-pori, menyebabkan terjadi kekosongan pori-pori tersebut. Oleh sebab itu sifat fisik yang memegang peranan penting pada proses pemanasan adalah porositas. Porositas batubara tersebut menyangkut sistem pori-pori yang dimiliki. Porositas batubara dapat menyebabkan terjadinya difusi keluar uap air, metana dan zat lain yang mudah menguap dari batubara selama terjadi pemanasan. Dalam proses UBC, batubara dicampur dengan minyak residu kemudian dipanaskan pada tekanan dan temperatur yang relatif rendah. Dengan minyak residu tersebut, maka pori-pori batubara yang terbuka akan diisi oleh residu dan menutup permukaan batubara sehingga air yang telah keluar tidak akan terserap kembali.

Menurut Tsai (1982), pada temperatur 100 - 120°C terjadi reaksi endotermis. Pada reaksi ini terjadi penguapan air, dimana air yang menguap berupa air bebas, air terikat secara fisik dan air yang terjebak dalam struktur pori-pori batubara. Penguapan air bebas akan berperilaku sama dengan pengeringan secara umum, sedangkan penguapan air bawaan dianalogikan dengan air kristal atau hidroksida dengan reaksi sebagai berikut:



Secara termodinamika, reaksi antara batubara dengan oksigen adalah:



Adanya reaksi seperti di atas pada proses pengeringan batubara tidak dikehendaki, oleh karena itu diperlukan suatu kondisi pemanasan yang *inert*. Secara termodinamika, reaksi ini berlangsung pada berbagai temperatur, tetapi perlu aktivasi yang cukup besar, maka reaksi berlangsung harus pada temperatur di atas 120°C.

Dalam melakukan pemanasan batubara terdapat tiga daerah (pemanasan) yang berpengaruh terhadap terjadinya dekomposisi, yaitu pemanasan di bawah temperatur dekomposisi, daerah dekomposisi aktif dan pemanasan di atas temperatur dekomposisi. Dekomposisi aktif disini adalah terdekomposisinya maceral penyusun batubara menjadi tar dan penguapan air.

Pemanasan batubara pada temperatur dekomposisi aktif, yaitu >200 C, menyebabkan terjadinya penguapan air bebas, air bawaan/terikat secara kimia, tar, hydrogen, CO<sub>2</sub>, CO dan hidrokarbon. Pada proses pengeringan batubara dengan temperatur pemanasan sekitar 150°C, pengeluaran tar dari batubara belum sempurna sehingga perlu ditambahkan zat aditif sebagai penutup permukaan batubara seperti kanji, tetes tebu (*mollase*) dan minyak residu. Untuk proses UBC sebagai aditif digunakan minyak residu yang merupakan suatu senyawa organik yang beberapa sifat kimianya mempunyai kesamaan dengan batubara. Dengan kesamaan sifat kimia tersebut, minyak residu yang masuk ke dalam pori-pori batubara akan kering kemudian bersatu dengan batubara. Lapisan minyak ini cukup kuat dan dapat menempel pada waktu yang cukup lama sehingga batubara dapat disimpan di tempat terbuka untuk jangka waktu cukup lama (Couch, 1990).



SEMINAR REKAYASA KIMIA DAN PROSES 2010  
ISSN : 1411-4216

### 3. KEGIATAN PERCOBAAN

Batubara yang digunakan dalam percobaan *upgrading* adalah batubara Bunyu, Kalimantan Timur. Contoh batubara yang didapat dari lapangan dicampur dan dikeringkan di udara terbuka pada temperatur kamar. Penggilingan pertama dilakukan dengan menggunakan *jaw crusher* kemudian *hammer mill*. Contoh kemudian dibagi dua untuk analisis kimia batubara serta untuk percobaan proses *upgrading*.

Dalam proses UBC, batubara digerus sampai berukuran  $< 3$  mm, kemudian dibuat *slurry* dengan menggunakan minyak tanah yang dicampur dengan minyak residu kemudian dipanaskan pada temperatur  $150^{\circ}\text{C}$  dan tekanan sekitar 3,5 atm (Shigehisa, et.al, 2000). Batubara hasil proses dipisahkan, dikeringkan dan dibuat briket, sedangkan campuran minyak tanah dan residu digunakan kembali untuk proses selanjutnya. Penambahan minyak residu diperlukan untuk menutup pori-pori batubara yang terbuka sehingga air yang telah keluar tidak akan terserap kembali.

Proses HWD dilakukan dengan memanaskan batubara ( $< 3\text{mm}$ ) yang telah dicampur dengan air membentuk *slurry* (persen solid 30%). *Slurry* dimasukkan ke dalam otoklav (kapasitas 1 liter), lalu dipanaskan pada temperatur  $>300^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $>80$  atm, biarkan pada temperatur tersebut selama 1 jam (Umar, et al, 2004). Dinginkan, keluarkan dari otoklav, keringkan sampai beratnya tetap, kemudian giling untuk karakterisasi.

Proses SD dilakukan dengan menggunakan batubara yang berukuran sekitar 2,5 cm sebanyak  $\pm 500$  gram dan disimpan di atas sarangan dan dimasukkan ke dalam otoklav yang telah diisi air. Panaskan otoklav pada temperatur  $>300^{\circ}\text{C}$  dan tekanan  $>80$  atm, biarkan pada temperatur tersebut selama 1 jam. Dinginkan, keluarkan dari otoklav, keringkan sampai beratnya tetap, kemudian giling untuk karakterisasi.

Untuk menunjang keberhasilan pengkajian, maka perlu didukung dengan analisis contoh batubara sebelum dan setelah proses *upgrading*. Analisis yang dilakukan meliputi:

- Proksimat yang terdiri atas: air bawaan (IM), abu, zat terbang (VM) dan karbon padat (FC),
- Ultimat yang terdiri atas: karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), total sulfur (S), dan oksigen (O),
- Nilai kalor, dan
- Karakteristik pembakaran dengan *Differential thermal analysis thermo gravimetry* (DTA-TG)

Analisis proksimat, analisis ultimat serta nilai kalor dilakukan berdasarkan standar ASTM. Karakterisasi pembakaran dilakukan dengan *differential thermal analysis-thermo gravimetry* (DTA-TG). Dari hasil pengujian ini dapat diketahui nilai Tig (*temperature ignition*), yaitu temperatur pembakaran awal, Tmax, kenaikan temperatur pembakaran maksimum, Rmax, kecepatan pembakaran maksimum, Tbo, *temperature char burn out* dan kadar abu. Pengujian dilakukan menggunakan alat Shimadzu DTG-60. Batubara seberat 5 mg dengan ukuran partikel  $< 75\ \mu\text{m}$  (lolos saringan 200 mesh) dipanaskan sampai temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  dengan kenaikan temperatur  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  dan kecepatan aliran udara 25 ml/menit. Kenaikan temperatur terhadap panas dan berat yang hilang diamati.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalor

Hasil analisis kimia (proksimat, ultimat dan nilai kalor) batubara Bunyu, sebelum dan setelah proses UBC, HWD dan SD dapat dilihat pada Tabel 1.

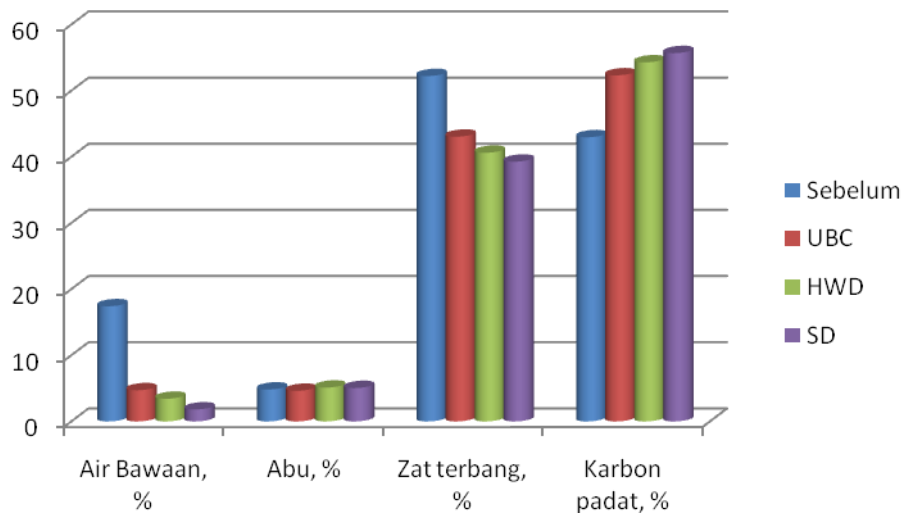
Tabel 1. Hasil analisis kimia batubara Bunyu.

	Air bawaan % (adb)	Abu % (db)	Zat terbang % (db)	Karbon padat % (db)	C % (daf)	H % (daf)	N % (daf)	S % (daf)	O % (daf)	Nilai kalor kal/g (adb)
Sebelum	17,41	4,82	52,22	42,96	60,09	3,27	0,77	0,41	35,46	4.697
UBC	4,71	4,63	43,05	52,32	67,87	5,45	0,76	0,29	25,64	5.752
HWD	3,43	5,11	40,61	54,28	73,47	5,29	0,90	0,49	19,85	6.261
SD	1,81	5,05	39,27	55,68	74,60	5,66	0,89	0,54	18,32	6.500

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa batubara sebelum proses mengandung kadar air bawaan sebesar 17,41%. Setelah proses *upgrading* dengan proses UBC menjadi 4,71% dan dengan HWD dan SD masing-masing 3,43% dan 1,81%. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kadar air terbesar dicapai oleh proses *upgrading* dengan proses SD dengan tingkat penurunan sebesar 89,6% sementara proses UBC menunjukkan penurunan yang terendah yaitu hanya 72,9%. Hal ini disebabkan karena proses UBC dilakukan pada temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur pada proses SD.

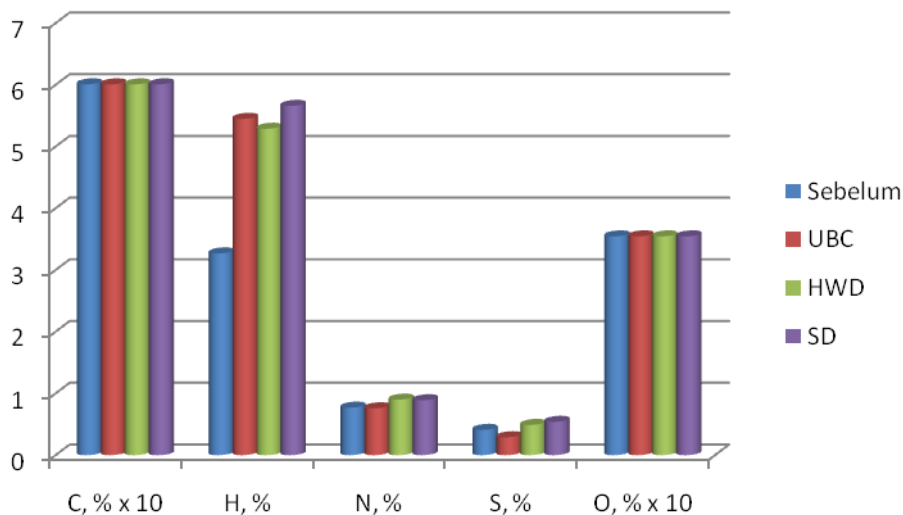
Batubara hasil proses UBC menghasilkan kadar abu yang terendah dibandingkan dengan proses HWD maupun SD. Hal ini disebabkan pada proses UBC digunakan minyak tanah sebagai bahan untuk pembuatan *slurry*, sehingga sebagian pengotor (pengotor dari luar) dapat terlarutkan yang menyebabkan turunnya kadar abu. Sementara pada proses HWD dan SD, kadar abu sedikit mengalami peningkatan karena adanya pengurangan massa batubara akibat turunnya kadar air.

Zat terbang batubara hasil proses UBC tertinggi dibandingkan dengan zat terbang hasil proses HWD dan SD. Hal ini disebabkan karena pada proses ditambahkan residu dan sebagian residu masih tersisa. Pada saat penentuan zat terbang, residu tersebut terdeteksi sebagai zat terbang. Kadar karbon padat batubara hasil proses semuanya menunjukkan peningkatan karena adanya penurunan kadar air yang dapat menyebabkan meningkatnya nilai kalor. Gambar 1 menunjukkan grafik perubahan kadar air, abu, zat terbang dan karbon padat batubara sebelum dan setelah proses *upgrading* dengan UBC, HWD dan SD.



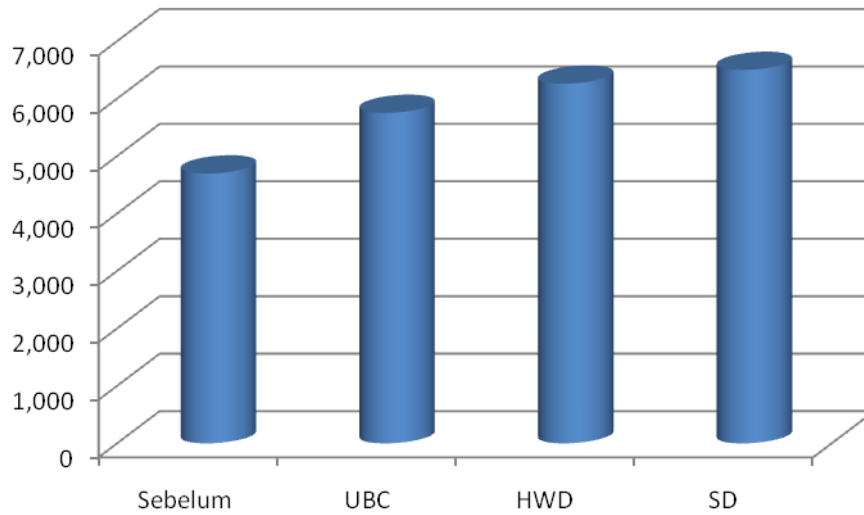
Gambar 1. Perubahan kadar air, abu, zat terbang dan karbon padat sebelum dan setelah proses *upgrading*

Hasil analisis ultimat, kadar karbon dan hidrogen batubara setelah proses semuanya meningkat karena meningkatnya kadar karbon padat. Sedangkan kadar nitrogen dan sulfur tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Kadar oksigen menurun seiring dengan turunnya kadar air. Grafik perubahan kadar karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur dan oksigen batubara sebelum dan setelah proses *upgrading* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan kadar C, H, N, S dan O sebelum dan setelah proses *upgrading*

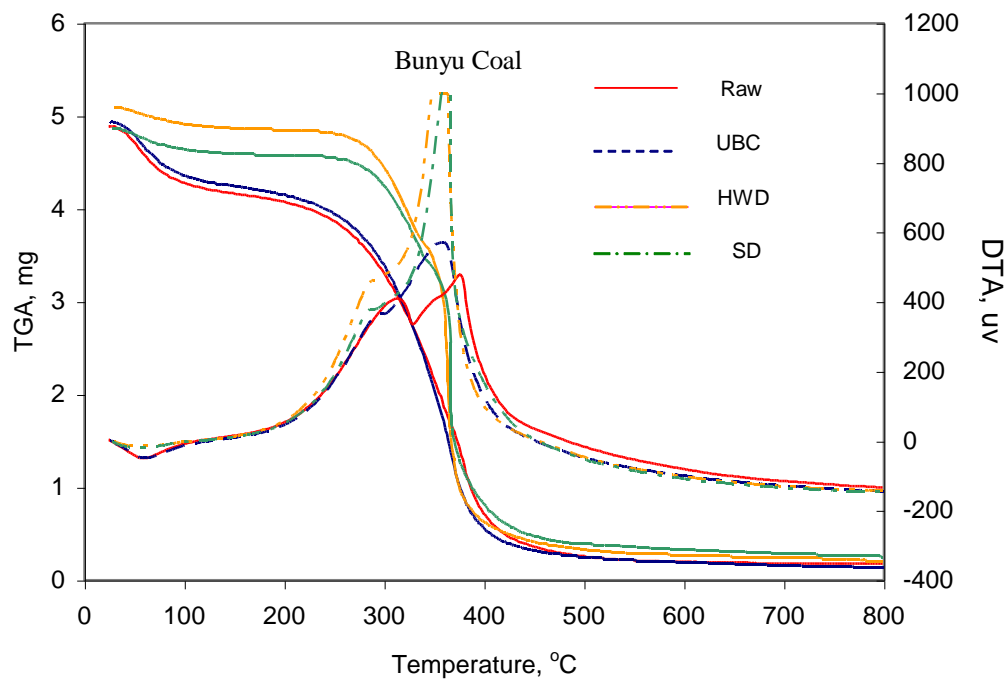
Nilai kalor batubara hasil proses UBC menunjukkan peningkatan yang terkecil, yaitu dari 4.697 kal/g menjadi 5.752 kal/g. Hal ini seiring dengan penurunan kadar air bawaan. Proses SD menghasilkan batubara dengan nilai kalor tertinggi, yaitu 6.261 kal/g. Peningkatan nilai kalor dengan proses UBC, HWD dan SD masing-masing sebesar 22,46, 33,30 dan 38,39% (Gambar 3).



Gambar 3. Nilai kalor batubara sebelum dan setelah proses upgrading

#### 4.2. Karakteristik Pembakaran dengan DTA-TG

Grafik hasil uji pembakaran batubara sebelum dan setelah proses *upgrading* dengan DTA-TG dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Karakteristik pembakaran batubara sebelum dan setelah proses *upgrading*



Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa masing-masing grafik terdapat 3 puncak baik untuk batubara sebelum proses maupun batubara hasil proses UBC, HWD dan SD. Puncak yang pertama pada temperatur sekitar 60°C (endotermis), yaitu karena menguapnya air dalam batubara. Batubara sebelum proses mempunyai puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara hasil proses *upgrading*. Hal ini disebabkan kadar air batubara hasil proses *upgrading* lebih rendah daripada kadar air batubara sebelum proses. Puncak yang kedua terjadi pada temperatur sekitar 330°C (eksotermis) menunjukkan panas yang hilang dan yang diperlukan sebagai akibat terjadinya dekomposisi, kondensasi produk pirolisa dan pembakaran zat terbang. Proses UBC yang dilakukan pada temperatur relatif rendah, perubahan puncak yang kedua ini tidak begitu signifikan dibandingkan dengan puncak proses HWD dan SD. Puncak yang ketiga, yang terjadi pada temperatur sekitar 430-450°C (eksotermis), akibat dari pembakaran char. Batubara hasil proses *upgrading* mempunyai puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara sebelum proses, batubara hasil proses HWD dan SD mempunyai puncak yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan puncak untuk batubara hasil proses UBC sesuai dengan nilai kalor yang didapat dari hasil analisis kimia. Tabel 2 menunjukkan parameter hasil uji pembakaran.

Tabel 2. Parameter hasil uji pembakaran batubara Bunyu.

	$T_{ig}$ °C	$T_{max}$ °C	$T_{bo}$ °C	$R_{max}$ mg/min	Abu, wt%
Sebelum	148	375	789	0,27	3,68
UBC	190	360	786	0,30	5,13
HWD	255	363	783	0,72	5,06
SD	260	368	785	0,58	4,12

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa  $T_{ig}$  batubara hasil proses SD lebih besar dibandingkan dengan  $T_{ig}$  batubara sebelum proses, UBC maupun SD. Hal ini berarti bahwa batubara hasil proses SD mempunyai kecenderungan untuk terjadinya pembakaran spontan jauh lebih kecil dibandingkan dengan batubara sebelum proses (Ohki, 1999). Begitu pula dengan batubara hasil proses HWD. Untuk batubara hasil proses UBC, nilai  $T_{ig}$  sedikit berubah, sehingga pembakaran spontan masih mungkin untuk terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai  $T_{ig}$  meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur dan tekanan proses *upgrading*.

$T_{max}$ , yang berhubungan erat dengan sifat reaktifitas, batubara hasil proses *upgrading* mempunyai nilai  $T_{max}$  yang lebih kecil dibandingkan dengan batubara sebelum proses. Hal ini berarti bahwa batubara hasil proses *upgrading* tidak begitu reaktif sehingga tidak mudah untuk bereaksi dengan oksigen yang dapat mengakibatkan terjadinya reaksi oksidasi untuk selanjutnya terjadi pembakaran spontan.

Nilai  $R_{max}$  yang berarti kecepatan terjadinya pembakaran, batubara hasil proses HWD dengan temperatur tertinggi mempunyai nilai  $R_{max}$  yang lebih tinggi pula. Ini menunjukkan bahwa batubara tersebut apabila telah menyala, pembakaran berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan batubara sebelum proses, maupun setelah proses dengan UBC dan HWD. Sedangkan  $T_{bo}$  yang menunjukkan temperatur *burn out* tidak memperlihatkan penurunan yang berarti.

Kadar abu batubara hasil analisis dengan DTG-TA menunjukkan adanya sedikit perbedaan dengan hasil analisis abu menurut ASTM (Tabel 1), walaupun menunjukkan kecenderungan yang sama. Batubara sebelum proses mempunyai kadar abu yang lebih rendah dari batubara hasil proses *upgrading*. Dilihat dari kenaikan kadar abu yang jumlahnya relatif sedikit tidak akan merugikan, karena kenaikannya masih dalam batasan normal.

## 5. KESIMPULAN

1. Penurunan kadar air terbesar batubara setelah proses *upgrading*, dicapai melalui proses *upgrading* dengan proses *steam drying* (SD) dengan tingkat penurunan sebesar 89,6%. Sementara proses UBC menunjukkan penurunan yang terendah yaitu hanya 72,9%.
2. Batubara hasil proses UBC menghasilkan kadar abu yang terendah dibandingkan dengan proses HWD maupun SD.
3. Zat terbang batubara hasil proses UBC tertinggi dibandingkan dengan zat terbang hasil proses HWD dan SD.
4. Kadar karbon padat batubara hasil proses semuanya menunjukkan peningkatan karena adanya penurunan kadar air yang dapat menyebabkan meningkatnya nilai kalor.
5. Hasil analisis ultimat, kadar karbon dan hidrogen batubara setelah proses UBC, HWD dan SD, semuanya meningkat karena meningkatnya kadar karbon padat. Sedangkan kadar nitrogen dan sulfur tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Kadar oksigen menurun seiring dengan turunnya kadar air.
6. Nilai kalor batubara hasil proses UBC menunjukkan peningkatan yang terkecil, yaitu dari 4.697 kal/g menjadi 5.752 kal/g. seiring dengan tingkat penurunan kadar air bawaan. Proses SD menghasilkan batubara dengan nilai kalor tertinggi, yaitu 6.261 kal/g. Peningkatan nilai kalor dengan proses UBC, HWD dan SD masing-masing sebesar 22,46, 33,30 dan 38,39%
7. Hasil uji pembakaran dengan DTG-TGA menunjukkan bahwa nilai *Tig* batubara hasil proses *upgrading* lebih besar dibandingkan dengan *Tig* batubara sebelum proses. Hal ini berarti bahwa batubara hasil proses *upgrading* mempunyai kecenderungan untuk terjadinya pembakaran spontan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan batubara sebelum proses sesuai dengan nilai *Tmax*, yang berhubungan erat dengan sifat reaktifitas. Batubara hasil proses *upgrading* mempunyai nilai *Tmax* yang lebih kecil dibandingkan dengan batubara sebelum proses. Hal ini berarti bahwa batubara hasil proses *upgrading* tidak begitu reaktif.
8. Nilai *Rmax* yang berarti kecepatan terjadinya pembakaran, batubara hasil proses *upgrading* mempunyai nilai *Rmax* yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara sebelum proses. Sedangkan *Tbo* yang menunjukkan temperatur *burn out* tidak memperlihatkan penurunan yang berarti.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anderson B., Hydrothermal Drying of Brown Coal, First Japan/Australia Joint Technical Meeting on Coal, Melbourne, 1991
2. Baker, G. G., Sears, R. E., Maas, D. J., Potas, T.A., and Willson, W. G., Hydrothermal Preparation of Low Rank Coal-Water Fuel Slurries, Energy Vol 11/12, pp 1267-1280, 1986.
3. Couch. G. R., Lignite Up-Grading, IEA Research, 1990



4. Mahidin, Ogaki, J., Usui, H., and Okuma, O., The Advantages of Vacuum Treatment in The Thermal Upgrading of Low Rank Coals on The Improvement of Dewatering and Devolatilization, *Fuel Processing Technology*, 1663, pp. 1-14, 2003.
5. Ohki A., Xiao, F.X., F. X.T. Nakajima, T. Itahara and S. Maeda, Change in Property and Combustion Characteristics of an Indonesian Low Raw Coal Due to Hydrothermal Treatment, *Coal Preparation*, 21, pp. 23-24, 1999.
6. Suwono A dan Hamdani, Upgrading the Indonesian's Low rank Coal by Superheated Steam Drying with Tar Coating Process and its Application for Preparation of CWM, *Coal Preparation*, 21, pp. 141-153, 1999.
7. Syamsuddin, A., Studi Pengaruh Proses Carbonec Drying Terhadap Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah, Tugas Sarjana Institut Teknologi Bandung, 1996.
8. Tsai S. C., Fundamental of Coal Beneficiation and Utilization, Coal Science and Technology 2, Elsevier Publishing Company, 1982.
9. Umar D. F., Usui H. and Daulay B., Upgrading of Low Rank Coal by Steam Drying Method, a Process Study, Prosiding 10<sup>th</sup> the APCCHE Congress, October 17-21, Kitakyushu, Jepang, 2004.
10. Umar, D. F., Daulay, B., Suganal dan Rijwan, I., 2004, Pengujian Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah Dengan proses UBC (Upgraded Brown Coal) Skala Pilot, Laporan Litbang tekMIRA No. 35.
11. \_\_\_\_\_, Pusat Sumber Daya Geologi, 2007.