

PENGARUH LAJU UMPAN BATUBARA PADA EFEKTIVITAS PROSES PENGERINGAN

The Influence of Coal Feed Rate on the Effectivity of Drying Process

MIFTAHUL HUDA dan DEDY YASKURI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: huda@tekmira.esdm.go.id

SARI

Dalam rangka mendukung program peningkatan nilai tambah batubara, telah dikembangkan *Pilot Plant* (PP) pengeringan batubara menggunakan alat pengering putar (*rotary dryer*) tipe pemanasan langsung dengan aliran *co-current* menggunakan gas panas hasil pembakaran batubara sebagai media proses pengeringan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju alir umpan terhadap efisiensi proses pengeringan dan menguji kestabilan kadar air batubara yang dikeringkan terhadap penyerapan kembali air (*moisture readsorption*) serta mengetahui perubahan distribusi ukuran batubara sebelum dan sesudah proses pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan jumlah air teruapkan meningkat dari 115 menjadi 157 kg/jam atau efisiensi proses pengeringan meningkat dari 36,7% menjadi 50,2% bila laju umpan batubara ditingkatkan dari 336 menjadi 560 kg/jam. Semakin tinggi laju pengumpanan batubara semakin tinggi kadar air total (TM) dalam produk batubara kering, berarti proses pengeringan batubara berlangsung lebih efisien pada tahap awal atau pada saat nilai TM masih tinggi. Hasil uji kualitas produk menunjukkan ukuran batubara makin mengecil setelah proses pengeringan karena adanya proses pengadukan dalam pengering putar sedangkan TM relatif stabil pada kisaran 18-19,5% (Nilai TM sebelum proses 40%). Nilai *inherent moisture* (IM) sebelum proses pengeringan 15%, dan setelah proses pengeringan serta dibiarkan dalam udara terbuka selama 72 jam menjadi 13,9 %, berarti pengeringan menggunakan teknologi ini mampu mengurangi TM tetapi hanya sedikit mengurangi kandungan IM. Selama percobaan tidak terlihat debu (partikulat) pada cerobong dan tidak terjadi penyalaan (*ignition*) batubara dalam pengering putar.

Kata kunci: pengeringan batubara, pengering putar, laju umpan batubara, efisiensi proses

ABSTRACT

In order to support government policy for increasing the added value of coal, a pilot plant (PP) for coal drying has been developed. The PP used direct heated co-current rotary dryer which utilizes hot gas from combustion of coal in cyclone burner as drying media. In this study the effect of coal feed rate on drying efficiency was investigated and the stability of moisture content in the dried coal was tested. In addition, coal particle size distribution before and after drying process was compared. The results show that the number of water evaporated increased from 115 to 157 kg/hr or drying efficiency increased from 36.7 to 50.2% when the coal feed was increased from 336 to 560 kg/hr. However the total moisture (TM) of dried coal increases as the feed rate increase suggesting that coal drying process is more energy efficient in the initial period of drying when TM content of the coal is still high. The results of product characterization showed that TM of dried coal was stable around 18-19.5% (TM of raw coal 40%) and coal size was degraded during drying. Inherent moisture (IM) content of coal before drying process was 15% and after drying process with moisture readsorption test for 72 hrs was 13.9%. It seems that this drying technology is more suitable to reduce TM rather than IM. There was no visible dust in the chimney and no coal ignition occurred in a rotary dryer during the experiments.

Keywords: coal drying, rotary dryer, coal feed rate, process efficiency

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai batubara dengan sumber daya sebesar 161,3 milyar ton dan cadangan sebesar 28,2 milyar ton dengan kualitas sebagian besar berkalori sedang bila mengacu pada Peraturan Pemerintah No. 45 Tahun 2003 tentang PNBPN batubara. Peraturan tersebut mengklasifikasikan batubara menjadi empat jenis berdasarkan nilai kalori yaitu : Batubara kalori rendah dengan nilai kalori < 5100 kal/gr *air dried basis* (adb), batubara kalori sedang 5100 – 6100 kal/gr (adb), batubara kalori tinggi 6100 - 7100 kal/gr (adb) dan batubara kalori sangat tinggi > 7100 kal/gr (adb). Persentase sumber daya batubara Indonesia dengan kalori rendah, sedang, tinggi dan kalori sangat tinggi berturut-turut adalah 24,1; 66,6; 7,8 dan 1,5%. Klasifikasi ini dibuat dengan basis adb oleh sebab itu jumlah batubara kalori rendah hanya sedikit (24,1%). Berdasarkan PP tersebut batubara Muara Wahau yang mempunyai kadar air total 46% (ar) dan air bawaan (*inherent moisture*) 14,4% termasuk batubara kalori sedang karena nilai kalorinya dalam adb adalah 5300 kal/gr walaupun nilai kalor dalam *gross received basis* (gar) sebenarnya hanya 3300 kal/gr (Anonim, 2010). Dengan demikian jumlah batubara kalori rendah Indonesia akan bertambah banyak bila basis klasifikasi yang dipakai adalah gar.

Saat ini penambangan batubara sebagian besar berada di Pulau Kalimantan dengan jumlah produksi sekitar 92% dari total produksi batubara nasional, sisanya berasal dari tambang di Pulau Sumatera. Jumlah produksi batubara di Sumatera relatif sedikit walaupun Sumatera menyimpan sumber daya batubara lebih banyak dibandingkan Kalimantan. Hal ini antara lain karena kualitas batubara Sumatera yang umumnya berkalori rendah dan lokasi tambangnya berada jauh dari sungai/laut. Selain itu penggunaan batubara peringkat rendah mempunyai beberapa kerugian antara lain biaya transportasi yang mahal, menghasilkan efisiensi *thermal* yang rendah dan berpotensi menimbulkan pembakaran spontan selama proses transportasi dan penyimpanan (Jangam dan Mujumdar, 2010). Sebenarnya batubara peringkat rendah juga mempunyai keunggulan dibandingkan batubara peringkat tinggi karena umumnya batubara peringkat rendah mempunyai biaya penambangan lebih murah, mempunyai sifat lebih reaktif dan mempunyai kadar abu dan belerang lebih rendah (Osman dkk., 2011).

Penerapan teknologi pengeringan batubara diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi batubara peringkat rendah karena batubara hasil proses pen-

geringan mempunyai harga persatuan kalori yang lebih tinggi dibandingkan batubara basah (Huda dkk., 2012). Menurut Lucarelli dengan melakukan proses pengeringan, penambang batubara dapat menghemat biaya energi sekitar \$0.19/GJ yang berasal dari peningkatan efisiensi energi proses penyimpanan, *handling* dan *transport*. Pada kasus PLTU kapasitas 600 MW, pengeringan batubara akan menghemat biaya logistik sekitar US\$ 7 juta per tahun meskipun batubara hanya dikeringkan dari kadar air 38 menjadi 25% (Lucarelli, 2008).

Dalam rangka mendukung program peningkatan nilai tambah batubara, telah dikembangkan *Pilot Plant* (PP) pengeringan batubara menggunakan alat pengering putar (*rotary dryer*) tipe pemanasan langsung dengan aliran *co-current* menggunakan gas panas hasil pembakaran batubara sebagai media proses pengeringan. Pengering putar berdasarkan metode transfer panasnya diklasifikasikan sebagai pengering putar dengan pemanasan langsung (*direct heating*) dan pemanasan tidak langsung (*indirect heating*). Pada pemanasan langsung terjadi kontak langsung antara gas panas dengan padatan yang akan dikeringkan. Berdasarkan alirannya pengering putar dibagi menjadi tipe *co-current* dan *counter current*. Pada tipe *co-current* arah aliran gas panas dan padatan yang dikeringkan adalah sama. Pengering putar dalam PP ini adalah jenis pemanasan langsung dengan tipe aliran *co-current*. Secara umum, unit pemanas langsung merupakan unit yang sederhana dan paling ekonomis (Perry dan Green, 1984). Teknologi yang dikembangkan ini ditargetkan menghasilkan batubara dengan kadar air total 15-20% dan nilai kalor 4500-5500 kkal/kg (GAR), juga tidak menghasilkan limbah cair yang mengandung fenol dan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Untuk mencapai target tersebut suhu batubara yang dikeringkan dijaga kurang dari 150°C.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh laju alir umpan batubara ke pengering putar terhadap efisiensi proses pengeringan dan menguji kestabilan kadar air batubara yang dikeringkan terhadap penyerapan kembali air (*moisture readsorption*) serta mengetahui perubahan distribusi ukuran batubara sebelum dan sesudah proses pengeringan. Selain itu kondisi lingkungan kerja juga diamati untuk mengetahui keamanan penerapan teknologi ini.

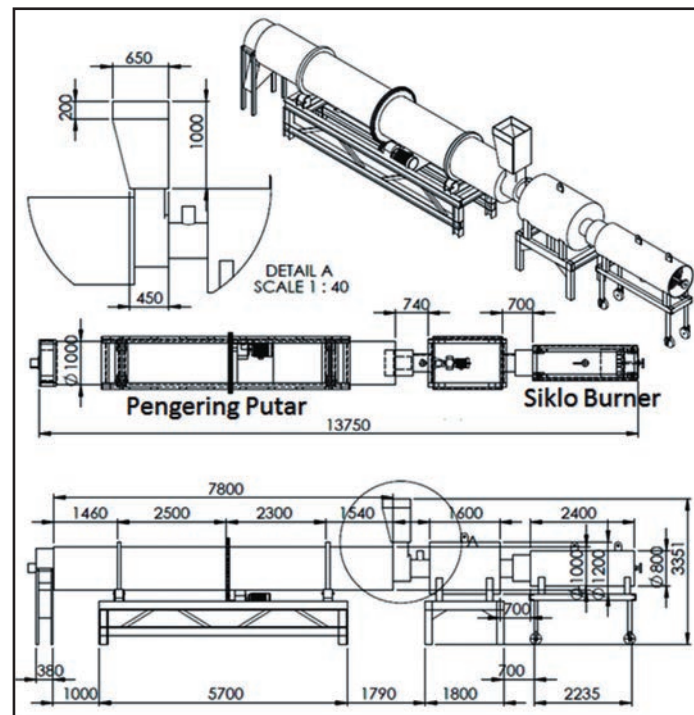
Pengeringan batubara tanpa proses *coating* dapat menghasilkan produk yang stabil terhadap penyerapan kembali uap air bila dilakukan pada suhu yang

tinggi karena setelah perlakuan suhu tinggi pori-pori batubara rusak (*collapse*) dan gugus fungsi karboksil lepas. Merwe dan Campbell (2002) mempelajari pengaruh suhu pengeringan pada penyerapan kembali air setelah proses dan menyimpulkan bahwa pori-pori batubara yang rusak menyebabkan air sulit kembali ke batubara. Mukherjee dkk. (2004) mempelajari pengaruh suhu pengeringan pada jumlah gugus karboksil di dalam batubara. Kenaikan suhu pengeringan batubara dari 200 menjadi 350°C menurunkan jumlah gugus karboksil batubara dari 3,9 menjadi 1,3% sehingga TM batubara dapat diturunkan dari 12,3 menjadi 7,6%. Untuk menghasilkan batubara dengan kadar air yang stabil dan rendah, pengeringan dapat dilakukan pada suhu tinggi dalam kondisi *inert* antara lain dengan proses hidrotermal. Walaupun demikian proses pada suhu lebih tinggi seperti pada proses hidrotermal memerlukan reaktor tahan tekanan tinggi yang mahal. Oleh sebab itu pabrik pengeringan batubara di Serbia yang menggunakan teknologi hidrotermal yang dikembangkan oleh Fleissner (Pronyk dkk., 2005) mempertimbangkan untuk beralih ke pengeringan *thermal* (Djordjevic dkk., 2005). Berdasarkan hal itu teknologi yang di uji coba ini diperkirakan sulit menurunkan *inherent moisture* (IM) karena mempunyai suhu operasi yang rendah dan tidak dilengkapi dengan proses *coating*. Teknologi serupa (suhu rendah dan tanpa proses *coating*) dikembangkan oleh

GTLenergy di Australia (William, 2012). GTLenergy berencana membangun pabrik skala komersial di Indonesia (Mulyono, 2014). Teknologi seperti ini diperkirakan cocok untuk diaplikasikan oleh pe-nambang dengan modal kecil di Indonesia karena prosesnya sederhana sehingga biaya investasinya dapat lebih murah.

METODOLOGI

Gambar 1 menampilkan gambar teknik PP pengering batubara. Peralatan utama PP tersebut adalah pengering putar dan tungku pembakaran batubara yang diberi nama pembakar siklon. Di antara pengering putar dan tungku pembakar siklon dipasang alat pengenceran gas buang/penyesuaian suhu (PS) yang berfungsi untuk menurunkan suhu gas dari pembakar siklon. Batubara untuk pembakar siklon diumpankan menggunakan *screw feeder* sedangkan batubara basah yang akan dikeringkan diumpankan ke pengering putar menggunakan *rotary valve*. Alat pengering putar juga dilengkapi penangkap partikulat yang terdiri dari siklon dan *wet scrubber*. Diameter dan panjang pengering putar berurut-turut 1 dan 8,2 m sedangkan diameter dan panjang pembakar siklon berturut-turut 2,48 dan 0,8 m. Total panjang peralatan tidak termasuk penangkap partikulat adalah 13,75 m.



Gambar 1. Skema peralatan pengering batubara

Dalam percobaan ini digunakan dua jenis batubara dengan kadar air berbeda. Batubara dengan kandungan TM = 26% dipakai sebagai umpan pembakar siklon untuk menghasilkan panas, sedangkan batubara dengan TM = 40% dipakai sebagai umpan untuk proses pengeringan. Batubara sebagai bahan bakar proses pengeringan mempunyai komposisi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Data ini diperlukan untuk menghitung kebutuhan batubara untuk proses pembakaran. Batubara untuk umpan pengering putar diperoleh dari tambang batubara di Sarolangun, Jambi dengan komposisi seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Percobaan pengeringan batubara dilakukan 3 kali berturut-turut. Percontoh batubara produk pengeringan diambil setiap 10 menit untuk analisis kandungan air. Percobaan ke-1 menggunakan batubara dengan laju alir 336 kg/jam dan ukuran batubara 10-50 mm. Setelah percobaan ke-1 selesai, pengering putar dikosongkan dan selanjutnya dilakukan percobaan ke-2 menggunakan batubara ukuran yang sama tetapi dengan laju alir lebih tinggi (560kg/jam). Prosedur yang sama diulang untuk percobaan ke-3 tetapi dengan menggunakan batubara dengan laju alir 560 kg/jam dan ukuran -10 mm. Pada batubara kering hasil proses penge-

Tabel 1. Hasil analisis batubara umpan pembakar siklon dalam *basis as received*

TM	abu	C	H	O	N	S	NK (kal/g)
26,00	1,85	53,39	3,61	14,43	0,65	0,07	5000

Table 2. Hasil analisis proksimat batubara Jambi

TM	M	Abu	Zat terbang atau VM	Karbon tertambat atau FC (% ,adb)
(% ,ar)	(% ,adb)	(% ,adb)	(% ,adb)	
40,00	15,0	2,57	42,79	39,64

Catatan: M = *Moisture*; VM = *Volatile Matter*; FC = *Fixed Carbon*

Percobaan pengeringan batubara dilakukan dengan dua variabel, yaitu ukuran dan laju pengumpanan batubara ke pengering putar. Sebelum dilakukan proses pengeringan terlebih dahulu dilakukan kalibrasi pada *screw feeder* dan *blower* untuk mengetahui laju umpan batubara pada pembakar siklon dan debit udara untuk proses pembakaran sehingga ada kesesuaian antara pasokan batubara dan pasokan udara untuk proses pembakaran batubara pada pembakar siklon. Kalibrasi juga dilakukan pada *belt conveyor* untuk mengetahui laju pengumpanan batubara basah.

Pengoperasian pembakar siklon dimulai dengan melakukan penyalaan kayu bakar sampai mencapai titik nyala batubara yaitu sekitar 400°C. Setelah itu campuran batubara dan udara dimasukkan ke dalam tungku. Sementara menunggu suhu pembakar siklon stabil (sekitar 1000°C) pengering putar dijalankan tanpa input batubara basah. Setelah suhu pembakar siklon dan suhu pengering putar relatif konstan, proses pengeringan dimulai, yaitu dengan mengumpankan batubara basah ke dalam pengering putar.

ringan dilakukan pengujian penyerapan kembali uap air dengan membiarkannya berada dalam udara terbuka. Tingkat penyerapan uap air dihitung dari perubahan berat batubara. Perubahan ukuran butiran batubara sebelum dan sesudah pengeringan diuji dengan melakukan analisis ayak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasokan energi untuk proses pengeringan tidak semuanya digunakan untuk menguapkan air, sebagian hilang bersama gas buang dan sebagian lainnya hilang ke luar sistem melalui dinding-dinding alat pengering. Oleh sebab itu efisiensi panas proses pengeringan perlu diketahui melalui serangkaian pengujian agar kebutuhan energi proses pengeringan dapat dihitung.

Kebutuhan Energi untuk Proses Pengeringan

Energi yang dibutuhkan untuk proses penguapan air dari dalam batubara (Q_1) meliputi energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu batubara (Q_1),

energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu air (Q_2) dan energi yang diperlukan untuk menguapkan air pada titik didih (Q_3). Dengan demikian total energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan batubara (Q_t) (Mercer, 2007) adalah sebagai berikut:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = m_1 C_{p1} dT$$

$$Q_2 = m_2 C_{p2} dT$$

$$Q_3 = m_2 \lambda$$

m_1 = massa batubara
 C_{p1} = kapasitas panas batubara (0,33 kkal/kg-°C)
 m_2 = massa air
 C_{p2} = kapasitas panas air (1 kkal/kg-°C)
 λ = panas latent air (542,18 kkal/kg)

Total kebutuhan energi (Q_t) untuk menguapkan air dalam kondisi ideal (efisiensi 100%) adalah 799 kal/g-air. Tabel 3 menampilkan hasil perhitungan kebutuhan energi (kkal/jam) dan kebutuhan batubara (kg/jam) untuk pembakar siklon pada beberapa laju umpan batubara basah ke pengering putar dengan asumsi efisiensi proses pengeringan 30%, suhu gas masuk ke pengering putar 600°C, suhu gas keluar pengering putar 200°C, suhu batubara masuk pengering putar 30°C, suhu batubara keluar pengering putar 80°C, kadar air batubara sebelum proses pengeringan 40% dan kadar air batubara setelah proses pengeringan 20%.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, diketahui bahwa dibutuhkan pasokan batubara ke tungku pembakaran paling sedikit 40kg/jam untuk mengeringkan batubara dengan laju umpan 300 kg/jam. Laju alir batubara ke tungku pembakaran harus ditingkatkan menjadi 80 kg/jam bila laju umpan batubara basah ditingkatkan menjadi 600 kg/jam. Dengan demikian kemampuan tungku pembakaran perlu diketahui agar kebutuhan energi untuk proses pengeringan tercukupi.

Setelah kebutuhan batubara diketahui selanjutnya dilakukan kalibrasi pada *blower* dan pada *screw feeder*

untuk mengetahui laju alir udara dan batubara ke tungku pembakaran. Gambar 2 dan 3 menampilkan berturut-turut hasil kalibrasi *screw feeder* dan *blower*. *Screw feeder* mempunyai kapasitas maksimum 84 kg batubara/jam sedangkan *blower* mempunyai kapasitas sampai dengan 800 m³-udara/jam. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan udara untuk pembakaran batubara dengan komposisi seperti pada Tabel 1 adalah 6 m³/kg-batubara. Dengan demikian dibutuhkan udara 480 m³/jam untuk membakar 80 kg/jam batubara.

Hasil percobaan pendahuluan menunjukkan bahwa pembakar siklon dapat dioperasikan dengan suhu yang stabil pada *inverter* skala 20 Hz atau laju alir sekitar 50 kg-batubara/jam dengan demikian udara yang dibutuhkan adalah 300m³/jam (skala *inverter* pada *blower* 20Hz). Bila kalori batubara adalah 5000 kal/g maka pasokan energi pada pengering putar ini adalah 250.000 kkal/kg. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3 bila umpan batubara ke pembakar siklon 50 kg-batubara/jam maka umpan batubara ke pengering putar kurang dari 400 kg-batubara/jam. Laju umpan akan meningkat bila efisiensi pengering putar lebih tinggi (> 30%).

Perpindahan Panas pada Pengering Putar

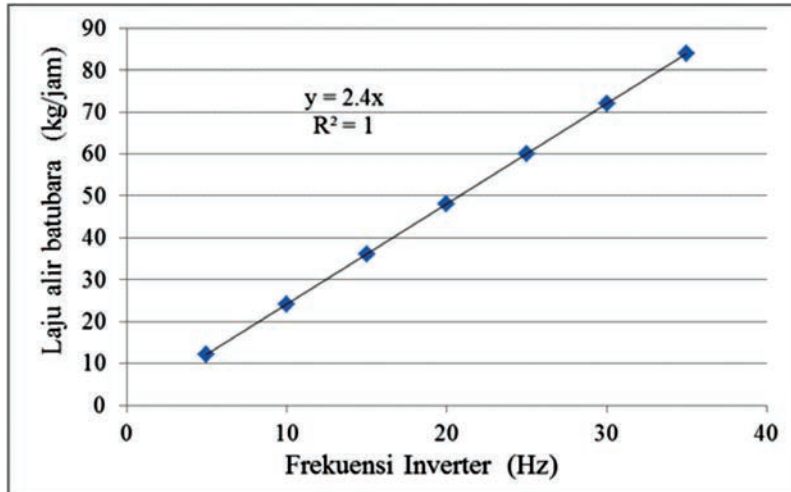
Paramater keefektifan perpindahan panas dari suatu pengering putar dapat diperkirakan dari nilai number of transfer unit (NTU). Semakin besar nilai NTU semakin efektif proses perpindahan panasnya. Umumnya nilai NTU pengering putar adalah 1,5-2,5 (Badger dan Banchemo, 1995). NTU dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$NTU = \ln \left(\frac{T_{G1} - T_2}{T_{G2} - T_w} \right)$$

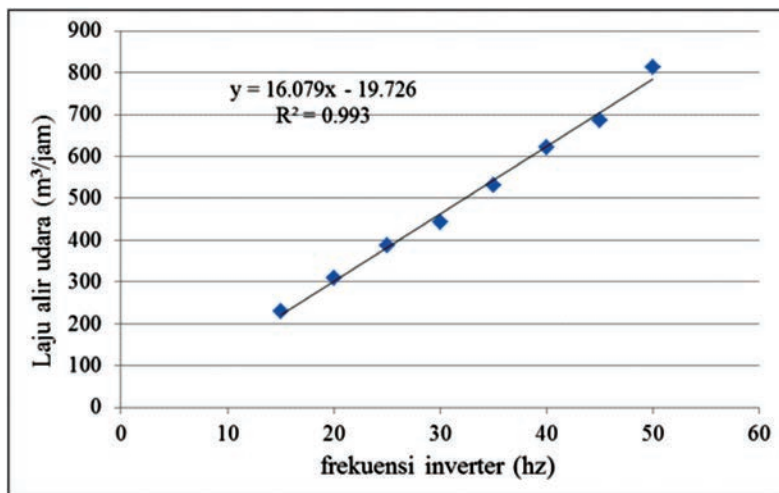
T_{G1} dan T_{G2} berturut-turut adalah suhu gas masuk dan keluar pengering putar sedangkan T_2 dan T_w berturut-turut adalah suhu zat padat masuk dan keluar pengering putar.

Tabel 3. Kebutuhan energi proses pengeringan dan kebutuhan batubara pada tungku pembakaran (pembakar siklon)

Umpan batubara pada pengering putar (kg/jam)	600	500	400	300	200	100
Energi yang dibutuhkan untuk proses pengeringan (kkal/jam)	119.817	99.847	79.878	59.909	39.939	19.970
Kebutuhan energi pada efisiensi 30% (kkal/jam)	399.390	332.823	266.260	199.695	133.130	65.565
Kebutuhan batubara pada tungku (kg/jam)	80	67	53	40	27	13



Gambar 2. Hasil kalibrasi screw feeder

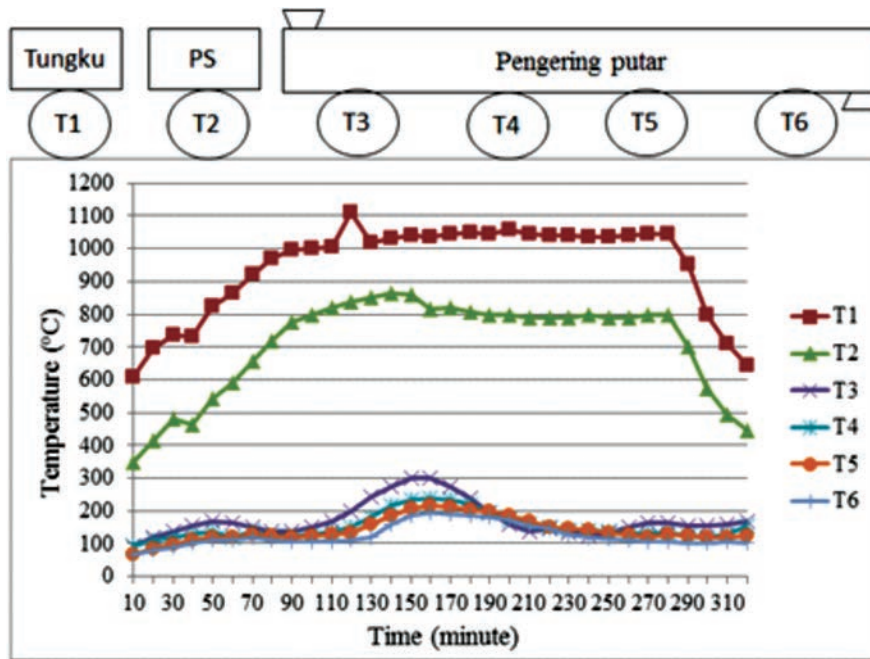


Gambar 3. Hasil kalibrasi blower

Gambar 4 menampilkan profil suhu pada PP yaitu pada pengering putar, pada tungku pembakar siklon dan pada tungku penyesuaian suhu (PS). Suhu pada tungku pembakar siklon (T_1) stabil di atas 1000°C setelah 150 menit. Suhu ini selanjutnya diturunkan menjadi di bawah 800°C (T_2) sebelum masuk ke pengering putar. Suhu pada pengering putar T_3 - T_6 stabil setelah pemanasan lebih kurang 250 menit. Berdasarkan profil suhu tersebut didapatkan nilai $\text{NTU} = 2,25$ bila $T_{G1} = 700^{\circ}\text{C}$, $T_{G2} = 150^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 30^{\circ}\text{C}$ dan $T_w = 80^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian karakteristik pengering putar ini ditinjau dari nilai NTU adalah mirip dengan pengering putar komersial pada umumnya.

Kondisi dan Hasil Percobaan Pengeringan

Gambar 5 menampilkan kondisi percobaan pengeringan dan kandungan air total batubara setelah proses pengeringan. Percobaan tahap 1 menggunakan batubara dengan ukuran 10-50 mm dan laju air 336 kg/jam. Suhu pembakar siklon (T_1) pada 10 menit pertama adalah 971°C dan meningkat menjadi 1029°C pada menit ke-50. Demikian juga suhu di tungku penyesuaian suhu (T_2) meningkat dari 666°C menjadi 709°C . Sebaliknya dengan berjalannya waktu percobaan, semua suhu pada pengering putar (T_3 s/d T_6) cenderung turun dan akibatnya kandungan air batubara hasil proses



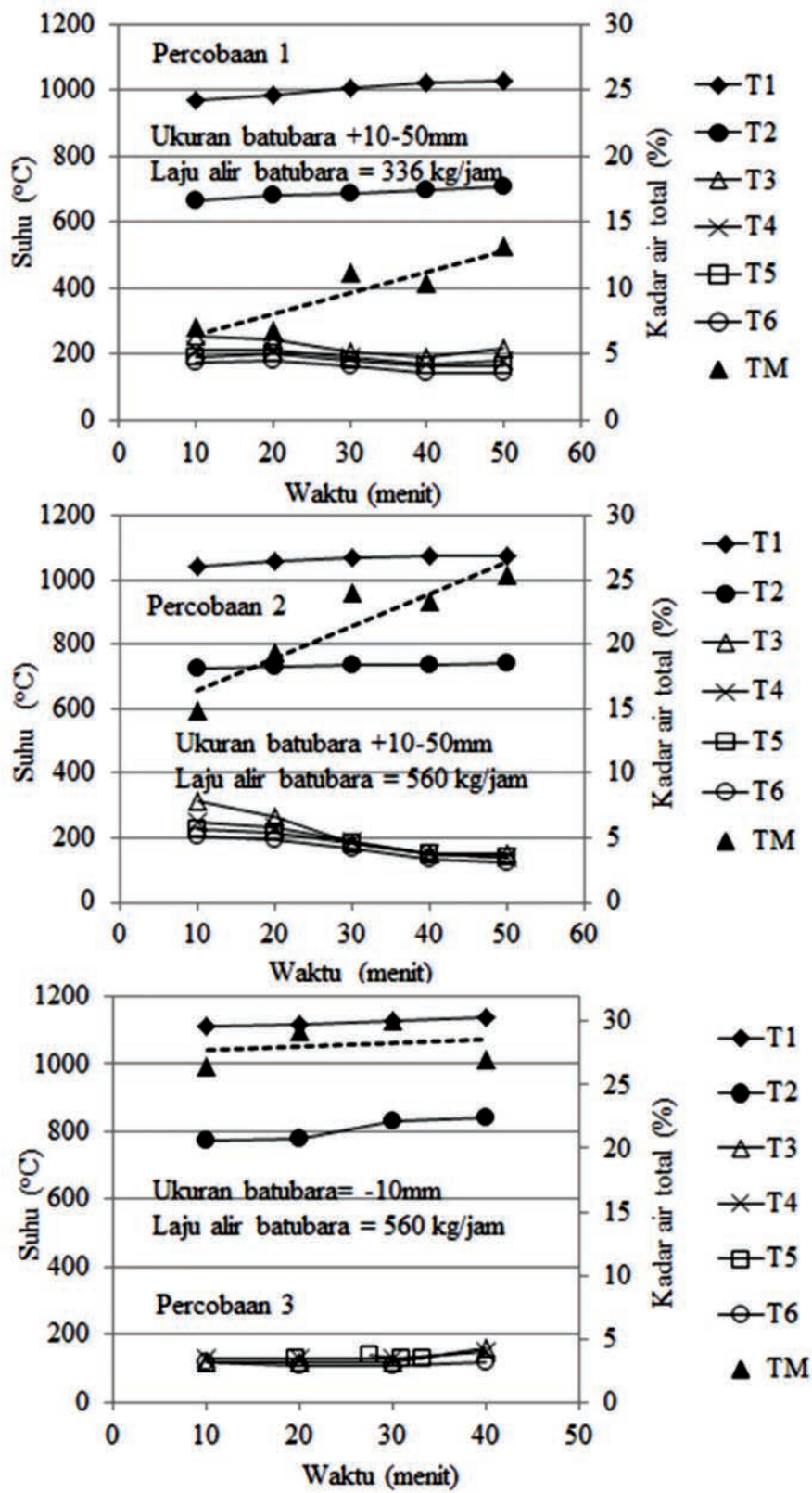
Gambar 4. Profil suhu pada pengering putar

meningkat. Kandungan air pada percontoh batubara yang keluar pada menit ke-10 dan menit ke-50 berturut-turut adalah 7 dan 13% sedangkan suhu pengering putar (T_3) pada pada menit ke-10 dan menit ke 50 berturut-turut adalah 252 dan 218°C. Turunnya suhu pada pengering putar disebabkan oleh masuknya batubara basah yang besuhu lebih rendah (suhu kamar). Suhu akan terus turun sampai terjadi kesetimbangan antara jumlah energi masuk dan jumlah energi yang dibutuhkan untuk pengeringan batubara. Nampaknya suhu pengering putar (T_3) harus dipertahankan pada kisaran 250°C untuk mendapatkan batubara kering dengan kadar air sekitar 7% pada laju alir umpan batubara basah 336 kg/jam.

Percobaan 2 dilakukan menggunakan batubara dengan ukuran yang sama (10-50 mm) tetapi dengan laju alir batubara basah ke pengering yang lebih tinggi (560 kg/jam). Pada percobaan ini suhu T_3 - T_6 turun drastis karena laju alir batubara yang tinggi, akibatnya TM batubara hasil proses pengeringan juga meningkat. Walaupun demikian, dari segi efisiensi proses pengeringan percobaan 2 mempunyai efisiensi lebih tinggi dibandingkan percobaan 1. Jumlah air yang teruapkan pada percobaan 1 sekitar 115 kg/jam (kandungan air rata-rata dari batubara hasil pengeringan sebesar 9.5%) sedangkan jumlah air yang diuapkan pada percobaan 2 sekitar 157 kg/jam (kandungan air rata-rata dari batubara hasil pengeringan sebesar 20%), berarti

efisiensi proses pengeringan meningkat dari 36,7% menjadi 50,2% bila laju umpan batubara ditingkatkan dari 336 menjadi 560 kg/jam. Dalam kondisi ideal (efisiensi 100%), total kebutuhan energi (Q_t) untuk menguapkan air adalah 799 kal/g-air. Bila laju umpan batubara ke pembakar siklon 50 kg/jam dan nilai kalori batubara 5000 kkal/kg maka jumlah air yang teruapkan dalam kondisi ideal adalah 313 kg-air.

Perbedaan efisiensi proses pengeringan pada percobaan 1 dan 2 dapat dijelaskan sebagai berikut. Ada tiga tahapan pengeringan batubara. Tahap pertama (*initial period*) yaitu tahap penghilangan air bebas (*free moisture*) yang ada di permukaan paling luar dari batubara atau bagian yang kontak langsung dengan gas panas. Pada tahap ini laju pengeringan bertambah dengan berjalannya waktu karena meningkatnya suhu batubara dan adanya air yang berada pada permukaan paling luar batubara. Tahap kedua adalah tahap penguapan air yang ada pada pori-pori batubara. Pada tahap ini laju pengeringan relatif cepat tetapi stabil karena suhu batubara tinggi tetapi air di permukaan sudah habis teruapkan. Air yang terlepas adalah air yang berada dalam pori tetapi tidak ada hambatan pergerakan air dari pori ke permukaan batubara. Pengeringan tahap ketiga dimulai setelah permukaan batubara paling luar sudah hampir kering dan air dalam pori sudah berkurang. Pada tahap ini pengeringan berlangsung dengan laju yang semakin lambat karena diperlukan



Gambar 5. Hasil proses pengeringan percobaan ke-1, ke-2 dan ke-3

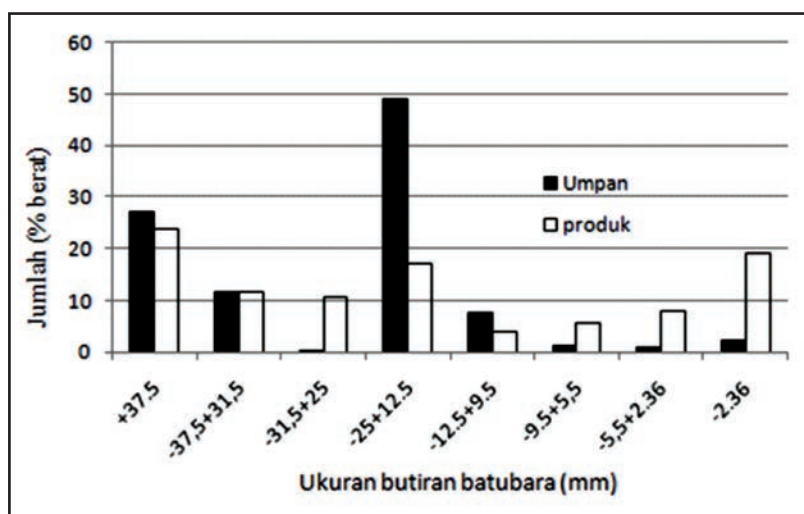
waktu yang lebih lama bagi uap air menuju permukaan batubara. Percobaan ke-1 menghasilkan batubara dengan kadar air lebih rendah dibandingkan percobaan 2. Ini berarti percobaan ke-1 melibatkan air yang lebih jauh dari permukaan batubara sehingga laju penguapannya lebih lambat. Perbedaan laju pengeringan ini menyebabkan perbedaan efisiensi proses pengeringan.

Percobaan ke-3 menggunakan batubara dengan butiran lebih kecil -10 mm dengan laju alir batubara 560 kg/jam. Kadar air batubara produk pengeringan percobaan ke-3 relatif konstan yaitu antara 26,5 - 30%. Secara kualitatif diamati bahwa pada percobaan pengeringan dengan batubara berukuran halus dihasilkan banyak produk batubara kering yang tertangkap pada *cyclone* (penangkap partikulat) dan suhu pengering cepat turun menuju kesetimbangan. Banyaknya partikel halus yang basah dan bersuhu rendah yang ikut terbawa gas mempercepat terjadinya penurunan suhu gas.

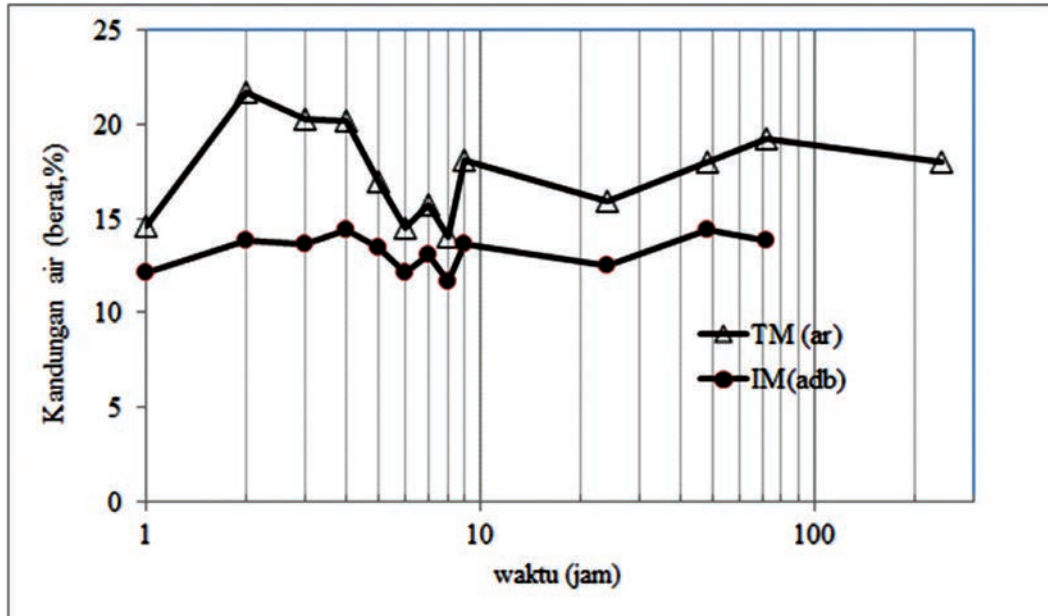
Perubahan ukuran partikel batubara sebelum dan sesudah pengeringan ditampilkan pada Gambar 6. Batubara umpan sebagian besar berukuran -25 + 12,5 mm dan hanya sedikit yang berukuran -31,5 + 25 mm namun setelah proses pengeringan jumlah batubara ukuran -31,5 + 25 mm meningkat sekitar 10% walaupun jumlah batubara ukuran + 37,5 mm hanya turun sekitar 2-3%. Secara kualitatif diamati sebagian batubara halus menempel pada batubara ukuran lebih besar membentuk partikel yang lebih besar dengan bentuk membulat karena putaran pengering putar. Walaupun demikian

secara umum terjadi pengecilan ukuran pada proses pengeringan yang menyebabkan peningkatan jumlah batubara ukuran kecil (< 9,5mm). Hal ini terjadi karena pengering putar ini dilengkapi pengaduk terbuat dari plat besi yang menempel tegak lurus pada dinding. Plat ini berfungsi mengaduk umpan dengan cara mengangkat batubara ke bagian atas dan menjatuhkannya ke bagian bawah pada saat pengering sedang berputar. Akibat pengadukan tersebut batubara hancur dan ukuran batubara terdegradasi.

Gambar 7 menampilkan hasil percobaan penyerapan kembali air lembab di udara oleh batubara kering. Pada jam ke-1 batubara kering keluar pengering putar dengan $TM = 15\%$. Selanjutnya pada jam ke-2 terjadi kenaikan TM menjadi lebih dari 20%. TM relatif stabil setelah 100 jam kontak diudara terbuka yaitu sekitar 18-19,5%. Dengan demikian hanya terjadi penyerapan kembali air sekitar 3-4,5%. Hasil yang agak berbeda dilaporkan oleh Kathikeyan dan Mujumdar (2007), Batubara Bayan (Kalimantan Timur) yang telah dikeringkan sampai habis kandungan airnya menyerap kembali air sampai sekitar 13% setelah dibiarkan kontak dengan udara terbuka selama 2 sampai 4 hari. Profil kurva IM mirip dengan kurva TM . Kadar IM sebelum proses pengeringan adalah 15%, satu jam setelah keluar pengering putar menjadi 12% dan meningkat menjadi menjadi 13,9 % setelah dibiarkan dalam udara terbuka selama 72 jam (Gambar 7). Fakta ini mengindikasikan bahwa pengeringan menggunakan teknologi ini hanya sedikit mengurangi kandungan IM.



Gambar 6. Ukuran butiran batubara sebelum proses pengeringan (umpan) dan setelah proses pengeringan (produk).



Gambar 7. Percobaan penyerapan kembali total moisture (TM) dan inherent moisture (IM)

KESIMPULAN

Penelitian pengeringan batubara telah dilakukan menggunakan pengering putar dengan media pemanas berasal dari gas hasil pembakaran batubara menggunakan pembakar siklon kapasitas 50 kg-batubara per jam dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah air teruapkan meningkat dari 115 menjadi 157 kg/jam atau efisiensi proses pengeringan meningkat dari 36,7% menjadi 50,2% bila laju umpan batubara ditingkatkan dari 336 menjadi 560 kg/jam
2. Degradasi/pengecilan ukuran terjadi pada proses pengeringan yang menyebabkan peningkatan jumlah batubara ukuran kecil (lebih kecil dari 9,5 mm).
3. Kadar air total (TM) sebelum proses pengeringan adalah 40%. Setelah proses pengeringan dan 100 jam kontak dengan udara terbuka TM stabil pada kisaran 18-19,5% (ar).
4. Kadar IM sebelum proses pengeringan adalah 15%, satu jam setelah keluar pengering putar menjadi 12% dan meningkat menjadi menjadi 13,9 % setelah dibiarkan dalam udara terbuka selama 72 jam.
5. Asap yang keluar dari cerobong berwarna putih jernih tidak terlihat adanya debu (partikulat) dan tidak terjadi penyalaan (*ignition*) batubara dalam pengering putar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para teknisi Rudi Saputra, Yusranto, Ropik dan Yudi yang membantu mengoperasikan fasilitas pengeringan dan melakukan analisis batubara kering hasil percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010. Kajian bahan baku batubara dan CO₂ manajemen untuk pengembangan CTL di Indonesia. *Laporan Program Pembinaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara No. 04.06.01.0039.03625D*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "Lemigas" Jakarta, 280 hal.
- Badger, W.L dan Banchemo, J.T., 1995. *Introduction to chemical engineering*, McGraw Hill, Kogakusha, Ltd., Tokyo.
- Djordjevic, Z., Tomanec, R. dan Spasic, A., 2005. Present conditions and trends of the development in coal processing at the Kolubara coal mine – Serbia, *Acta Montanistica Slovaca Ročník 10*, Vol 1, hal. 82-86.
- Huda, M., Hudaya, G.K., Ningrum, N.S. dan Suganal, 2012. Peluang aplikasi teknologi pengeringan batubara dan blending batubara di Infonesia ditinjau dari segi Ekonomi dan lingkungan, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Volume 8*, Nomor 3, hal.152-163.

- Jangam, S.V. dan Mujumdar, A.S., 2010. *Coal dehydration: a compilation of relevant publications and technical report*, NUS Singapore.
- Karthikeyan, M. dan Mujumdar, A.S., 2007. Factors affecting quality of dried low rank coals. *Technical Report*, Department of Mechanical Engineering & Minerals, Metals and Materials Technology Centre (M3TC), National University of Singapore, 28 hal.
- Lucarelli, B., 2008. Benefits of drying Indonesian low rank coals. *Cleaner Coal Workshop*, Vietnam, August 19-21.
- Mercer, D.G., 2007. *An intermediate course in food dehydration and drying*, http://elearning.iufost.org/sites/default/files/Intermediate_Drying_Part_1-1.pdf.
- Merwe, D and Campbell, Q.P., 2002. An investigation into the moisture absorption properties of thermally dried South African fine coal, *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, hal. 417-420.
- Mukherjee, J., Singh, P. dan Sarkar, A., 2004. Studies on the chemistry of thermal drying of lignite in inert atmosphere, *Indian Journal of Chemical Technology*, Vol. 11, p314-316.
- Mulyono, J., 2014. Coal beneficiation through coal upgrading, Presentation material, *IHS Asia Pacific Coal Outlook 2014*, Bali.
- Osman, H., Jangam, S.V., Lease J. D., and Mujumdar, A.S., 2011. Drying of low-rank coal (LRC): A review of recent patents and innovations, *Technical Report*. Minerals, Metals and Materials Technology Centre (M3TC), Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore, 49 hal.
- Perry, R.H. dan Don Green, 1984. *Perry's chemical engineering handbook*, Mc.Graw Hill Book Co., Singapore, hal. 20.29 - 20.44.
- Pronyk, C., Cenkowski, S. dan Muir, W.E., 2005. Superheated steam: Its not just about drying. *Paper No. 05-009*, CSAE/SCGR Meeting Winnipeg, Manitoba, Canada, June 26 - 29, 2005.
- William, B., 2012. Coal upgrading commercialization, Presentation material, *coaltrans emerging Asian coal market conference*, Bangkok.