

Pengeringan dengan Udara Sekeliling sebagai Pengeringan Awal Batubara untuk Proses Penggilingan di Pabrik Semen

Adjar Pratoto dan Edo Gusti Ramanda

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia
E-mail: adjar.pratoto@ft.unand.ac.id

Abstrak

Pada banyak pabrik semen, penggilingan dan pengeringan batubara dilakukan secara bersamaan di dalam mesin penggiling (*coal mill*). Bila batubara kotor, perlu dilakukan pengeringan awal agar tidak terjadi penyumbatan pada sisi masuk mesin penggiling. Penelitian ini berkenaan dengan pengeringan batubara dengan menggunakan aliran udara sekeliling dengan tujuan untuk mengurangi risiko pembakaran spontan dan menekan konsumsi energi untuk pengeringan. Penelitian ditekankan pada kajian empirik terhadap karakteristik pengeringan batubara dengan aliran udara melintasi permukaan *bed* batubara (*cross flow drying*). Pengujian dilakukan dengan menerapkan rancangan percobaan Taguchi dengan tiga faktor, yaitu kecepatan aliran udara, ukuran butir batubara, dan ketebalan *bed*. Masing-masing faktor divariasikan sebanyak dua level, yaitu kecepatan aliran udara (1 m/s dan 2 m/s), ukuran butir (1 inchi dan 1,5 inchi), dan ketebalan *bed* (10 cm dan 20 cm). Hasil pengujian memperlihatkan bahwa kadar air batubara pada akhir pengeringan tergantung pada kombinasi dari ketiga faktor di atas. Penggunaan aliran udara sekeliling dapat menurunkan kandungan air dalam batubara hingga 20%. Kurva karakteristik pengeringan yang dihasilkan dari pengujian tidak memperlihatkan fase laju turun. Hal ini menyiratkan bahwa proses perpindahan massa dikendalikan oleh keseimbangan antara permukaan dengan tekanan parsial uap air di udara.

Keywords: pengeringan, batubara, udara sekeliling, *cross flow*

Pendahuluan

Pabrik semen merupakan industri yang intensif dalam pemakaian energi. Sumber energi utama dalam pabrik semen adalah batubara. Batubara digunakan terutama dalam proses kalsinasi, yaitu mengubah campuran bahan baku semen menjadi klinker di dalam suatu tanur putar. Proses kalsinasi memerlukan suhu tinggi, yaitu sekitar 1600°C. Suhu tinggi ini diperoleh dari pembakaran batubara yang telah diserbukkan (*pulverized coal*). Agar proses pembakaran batubara berlangsung efisien, batubara disyaratkan memiliki kadar air yang rendah.

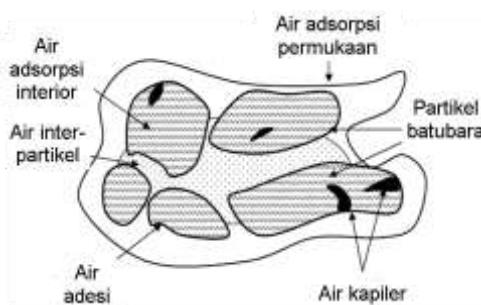
Pada banyak pabrik semen, proses pengeringan batubara dilakukan secara bersamaan dengan proses penggilingan di dalam suatu perangkat yang disebut *coal mill*. Batubara diumpulkan ke dalam raw mill melalui suatu saluran masuk (*feed inlet*). Namun, bila batubara kotor oleh, misalnya tanah liat, dan kadar airnya tinggi, seringkali batubara tertahan di saluran masuk sehingga menyumbat saluran tersebut. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan mengeringkan batubara terlebih dahulu. Selain itu, agar kinerja penggilingan memuaskan, kadar air batubara diusahakan rendah. Bila kadar air batubara

berkisar 25% - 35%, perlu dilakukan pengeringan awal (Pikoń, 1995).

Pengeringan batubara dapat dilakukan secara konvektif dengan menggunakan media pengering udara panas (Çalban, 2006), uap air (Agraniotis, *et al.*, 2012; Potter, *et al.*, 1983) ataupun gabungan penekanan mekanik dan pemanasan (Clayton, *et al.*, 2006; Yuliartanto & Chaffee, 2005). Penggunaan uap sebagai media pengering memungkinkan pengeringan dilakukan pada suhu tinggi hingga di atas 270°C tanpa risiko terbakar sendiri (Karthikeyan, *et al.*, 2007). Berbagai perangkat pengering telah dikembangkan, misalnya sistem ungun (fluidisasi), sistem getar (*vibrating dryers*), pneumatik, pengering ulir (*screw dryers*) dan lain-lain (Pikoń, 1995; Jangam, *et al.* 2011). Kelebihan dan kelemahan masing-masing perangkat pengering tersebut telah diuraikan oleh Jangam, *et al.* (2011). Selain pengeringan konvensional, beberapa teknik pengeringan yang baru juga dikembangkan, misalnya pengeringan dengan gelombang mikro, baik sebagai sumber energi utama maupun sumber energi parsial. Namun demikian, belum ada laporan mengenai kelayakan biaya pengeringan yang menggunakan gelombang mikro.

Pada Gb.1 diperlihatkan berbagai jenis keterikatan air di dalam batubara. Air dapat terikat pada partikel batubara secara adsorpsi (di permukaan maupun di pedalaman), terikat di dalam rongga-rongga kapiler, terikat secara

adesi di permukaan partikel ataupun mengisi rongga pori-pori antar partikel. Pengeringan umumnya berlangsung mula-mula dari air yang berada di permukaan partikel kemudian diikuti dengan air yang berada di dalam partikel melalui difusi.



Gambar 1 Jenis-jenis air yang terikat pada batubara menurut Karr (Kartikheyen, *et al.*, 2009)

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian pengeringan batubara untuk mengidentifikasi karakteristik pengeringan bila digunakan udara sekeliling sebagai media pengering. Penggunaan udara sekeliling dalam pengeringan awal batubara dilakukan untuk melihat peluang dalam efisiensi energi.

Bahan dan Metoda

Bahan

Sampel batubara yang digunakan adalah jenis sub-bituminous dengan nilai kalor sekitar 5500 - 6500 kkal/kg. Ukuran partikel batubara diperkecil dengan cara menumbuk bongkahan batubara sedemikian rupa sehingga diperoleh ukuran yang sesuai dengan ukuran yang sering ditemui di lapangan. Sortir ukuran partikel batubara dilakukan dengan menggunakan sebuah *sieve shaker machine*.

Rancangan Percobaan

Pengujian pengeringan dilakukan secara *cross flow* (aliran udara pengering melintasi permukaan tumpukan batubara). Ini dilakukan untuk simulasi pengeringan batubara yang berada dalam silo atau penyimpanan terbuka (*open storage*).

Dalam pengujian, digunakan tiga faktor (P1 - ukuran partikel batubara, P2 - kecepatan aliran udara, dan P3 - ketebalan tumpukan batubara) dan masing-masing faktor diragamkan sebanyak dua level sebagai berikut:

- kecepatan aliran udara: 1 m/s, 2 m/s

- ukuran partikel batubara: 1 inchi; 1,5 inchi
- ketinggian tumpukan batubara: 10 cm, 20 cm

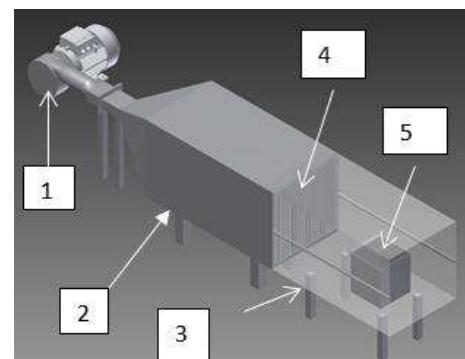
Untuk pelaksanaan pengujian, digunakan rancangan percobaan Taguchi dengan skema *orthogonal array* L4 seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Dalam tabel tersebut, P menyatakan faktor dan angka di dalam sel menyatakan level. Jadi, pada nomor percobaan 1, skema percobaannya adalah sebagai berikut: ukuran partikel batubara 1 inchi, kecepatan aliran udara 1 m/s, dan ketinggian tumpukan batubara 10 cm.

Tabel 1 Orthogonal array L4

No. Percobaan	P1	P2	P3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Perangkat Percobaan

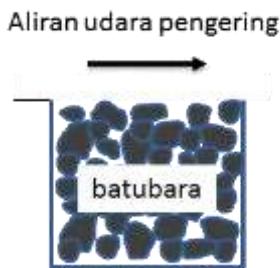
Secara garis besar, perangkat uji terdiri dari dua komponen utama, yaitu saluran uji dan blower (Gb.2). Saluran uji terdiri dari dua bagian, yaitu ruang plenum dan seksi uji. Pada sisi hilir ruang plenum, dipasang kasa-kasa yang digunakan untuk menyeragamkan aliran.



Gambar 2 Perangkat uji

Keterangan: 1. blower, 2. ruang plenum, 3. seksi uji, 4. kasa, 5. sampel

Wadah sampel batubara berbentuk kotak dengan alas berukuran 10 cm x 10 cm dengan bagian atas terbuka. Sedangkan, ketinggiannya disesuaikan dengan rancangan percobaan. Untuk memastikan bahwa pengeringan berlangsung secara *cross flow*, yaitu aliran udara melintasi permukaan dan bukannya menyusup melalui rongga-rongga antarpartikel, wadah dibuat dari bahan yang kedap terhadap aliran udara. Pada sisi atas permukaan wadah yang menghadap aliran udara ditambahkan plat tipis untuk menghindari timbulnya lapisan batas pada daerah ujung sampel (Gb.3).



Gambar 3 Model pengeringan *cross flow*

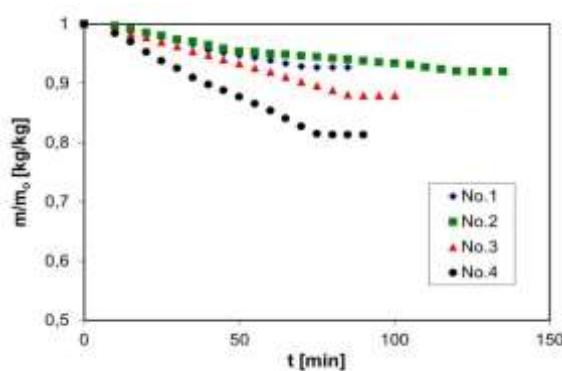
Hasil dan Pembahasan

Selama pengujian, suhu dan kelembaban relatif udara pengering tidak dikontrol dan dalam kurun waktu tersebut tidak ada perubahan yang berarti terhadap nilai kedua parameter tersebut. Pada Tabel 2 diperlihatkan besaran suhu dan kelembaban relatif udara sekeliling selama pengujian.

Tabel 2 Suhu dan kelembaban relatif udara sekeliling

	Percobaan			
	No.1	No.2	No.3	No.4
Suhu (°C)	30	28	29	29
Kelembaban relatif (%)	66	70	67	69

Pada Gb.4 diperlihatkan perubahan massa sampel atau kandungan air dalam sampel selama proses pengeringan. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa penurunan massa selama pengeringan kurang dari 10% untuk pengujian No.1 dan No.2, sekitar 10% untuk No.3, dan mendekati 20% untuk No.4.

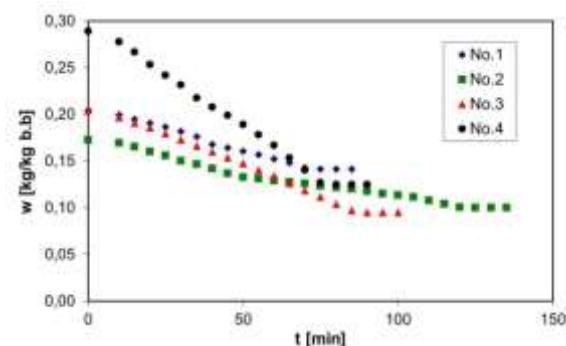


Gambar 4 Perubahan massa sampel selama pengeringan

Percobaan No.1 dan No.2 memiliki kesamaan dalam parameter kecepatan, yaitu kecepatan rendah (1 m/s). Sedangkan, variasi dari kedua percobaan tersebut terletak pada ukuran partikel dan ketinggian bed. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran udara

memiliki pengaruh yang nyata. Perbedaan parameter pada percobaan No.3 dan No.4 terletak pada ukuran diameter partikel dan ketebalan bed. Secara kualitatif, dapat disimpulkan bahwa ketebalan bed lebih berpengaruh dibandingkan dengan ukuran partikel dengan batasan untuk kisaran parameter yang dikaji.

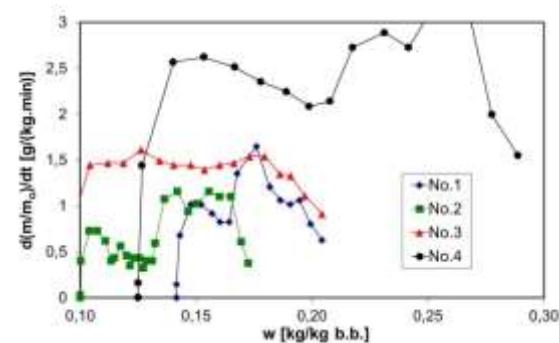
Pada Gb.5 diperlihatkan perubahan kadar air sampel selama proses pengeringan. Perubahan kadar air berlangsung relatif secara linier, kecuali percobaan No.2, hingga mencapai harga konstan pada harga kadar air tertentu. Pada saat kurva mulai mendatar, proses pengeringan tidak berlanjut lagi, artinya telah terjadi kadar air keseimbangan di permukaan partikel dengan udara sekeliling.



Gambar 5 Perubahan kadar air sampel selama pengeringan

Penurunan kadar air secara linier menyiratkan laju pengeringan yang konstan. Fase pengeringan laju konstan ini terjadi bilamana permukaan partikel masih mengandung air permukaan dan difusi internal masih intensif sedemikian rupa sehingga mampu mempertahankan permukaan agar tetap basah.

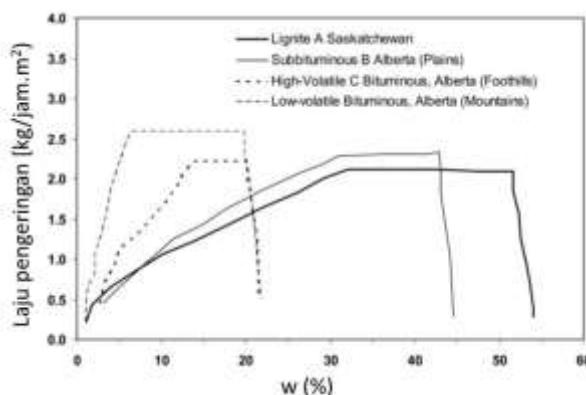
Pada Gb.6 diperlihatkan hubungan antara laju pengeringan dengan kadar air. Pada kadar air yang tinggi, laju pengeringan mula-mula meningkat, kemudian relatif konstan. Setelah mencapai kadar air tertentu, laju pengeringan turun secara drastis dan akhirnya mencapai nol.



Gambar 6 Laju pengeringan sebagai fungsi dari kadar air

Pada pengeringan konvektif dengan udara panas, laju pengeringan dapat dibedakan menjadi tiga fase. Pada

fase pertama, terjadi peningkatan suhu partikel yang disertai dengan peningkatan suhu air yang dikandungnya. Sementara itu, di permukaan partikel telah terjadi proses pengeringan. Laju pengeringan akan meningkat hingga mencapai harga tertentu, kemudian konstan (fase kedua), dan selanjutnya mulai menurun (fase ketiga). Pada Gb. 7 diperlihatkan kurva laju pengeringan yang dilaporkan oleh Rozgonyi dan Szigeti (Karthikeyan, *et al.*, 2009).



Gambar 7 Kurva laju pengeringan batubara dari Rozgonyi & Szigeti (Karthikeyan, *et al.*, 2009)

Pada pengeringan dengan udara sekeliling, fase ketiga, yaitu fase laju turun (*falling-rate period*), tidak ditemui. Pengeringan dengan udara sekeliling merupakan pengeringan isothermal dimana proses perpindahan terjadi oleh mekanisme perpindahan massa, yaitu di permukaan partikel oleh perbedaan antara tekanan permukaan jenuh dengan tekanan parsial uap air di udara dan di dalam partikel oleh perpindahan diffusional air dari pedalaman partikel menuju permukaan partikel. Proses perpindahan massa baik pada permukaan maupun di pedalaman partikel akan berhenti bila di permukaan telah tercapai kadar air keseimbangan. Dengan demikian, perpindahan massa lebih dikendalikan di permukaan daripada di pedalaman.

Kesimpulan

Suatu model pengeringan secara *cross flow* untuk batubara telah dilakukan secara empirik untuk mendapatkan karakteristik pengeringan dengan udara sekeliling sebagai media pengering. Pengeringan dengan aliran udara sekeliling dapat menurunkan kandungan air hingga 20% dalam batas-batas parameter yang diuji. Adapun, laju pengeringan dikendalikan oleh keseimbangan kandungan cairan di permukaan dengan tekanan parsial atau kelembaban relatif udara sekeliling. Hasil dari pengujian ini dapat dimanfaatkan sebagai masukan dalam desain pengering awal

batubara dengan menggunakan udara sekeliling sebagai media pengering.

Nomenklatur

m	massa (kg)
P	faktor dalam rancangan percobaan
t	waktu (menit)
w	kadar air (kg/kg)

Subscripts

b.b.	basis basah
o	awal

Referensi

Agraniotis, M., Karella, S., Violidakis, I., Doukelis, A., Grammelis, P., & Kakaras, E. (2012), Investigation of Pre-Drying Lignite in an Existing Greek Power Plant *Thermal Science* **16** (1), pp. 283-296

Çalban, T. (2006), The effect of bed height and initial moisture concentration on drying lignit in a batch fluidized bed, *Energy Sources Part A* **28**, pp. 479 - 485

Çalban, T. & Erşahan, H. (2003), Drying of a Turkish lignite in a batch fluidized bed, *Energy Sources* **25**, pp.1129 – 1135

Clayton, S. A. , Scholes, O. N., Hoadley, A. F. A., Wheeler, R. A., McIntosh, M. J., & Huynh, D. Q. (2006), Dewatering of Biomaterials by Mechanical Thermal Expression, *Drying Technology: An International Journal* **24**, pp. 819 – 834

Jangam, S.V. Kuma, J.V.M. & Mujumdar, A.S. (2011), Critical assessment of drying of low rank coal, *Drying of Low Rank Coal* (Ed. Mujumdar, A.S & Jangam, S.V.), M3TC-2011-01 Technical Report, National University of Singapore, Singapore

Karthikeyan, M., Kuma, J.V.M., Hoe, C.S., & Ngo, D.L.Y. (2007), Factors Affecting Quality of Dried Low-Rank Coals, *Drying Technology: An International Journal* **25**, pp. 1601 – 1611

Karthikeyan, M., Zhonghua, W., & Mujumdar, A.S. (2009), Low-Rank Coal Drying Technologies – Current Status and New Developments, *Drying Technology: An International Journal* **27** (3), pp. 403-415

Pikoń, J. (1995), Drying of coal, *Handbook of Industrial Drying* (Ed. A.S. Mujumdar), 2nd Edition, Marcel Dekker, New York

Potter, O.E., Beeby, C.J., Fernando, W.J.N., & Ho, P. (1983), Drying Brown Coal in Steam-Heated, Steam-Fluidized beds, *Drying Technology: An International Journal* **2** (2), pp. 219 - 234

Yuliartanto & Chaffee, A.L. (2005), Dewatering low rank coals by mechanical thermal expression (MTE) and its influence on organic carbon and inorganic removal, *Coal Preparation* **25**, pp. 251 – 267