

Studi Eksperimen Pengaruh Kecepatan Fluidisasi Terhadap Unjuk Kerja *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer*

Alim Jabbar Ibrahim dan Prabowo

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—Batubara dengan *moisture content* yang tinggi menyebabkan nilai kalor batubara menjadi rendah, selain itu juga menyebabkan beban *pulverizer* pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) meningkat. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibahas tentang eksperimen pengeringan batubara dengan memvariasikan kecepatan udara pengering pada 75%, 100%, dan 125% dari kecepatan minimum fluidisasi. Untuk mendapatkan aliran *swirl*, udara di hembuskan oleh *centrifugal blower* menuju *vane* pengarah aliran dengan sudut 10°. Batubara yang akan dikeringkan berbentuk *granular* dengan diameter rata-rata sebesar ± 6 mm. Beban awal pengeringan di setiap variasi kecepatan adalah 600 gram. Pada setiap menit pengeringan, dicatat *temperature* dan *relative humidity* dari udara pengering. Diambil pula sampel batubara sebanyak ± 3 gram untuk menghitung *moisture content* batubara pada beberapa menit pengeringannya. Dari penelitian ini didapatkan bahwa *drying rate* rata-rata pada kecepatan 15.9 m/s, 21.21 m/s, dan 25.61 m/s berturut-turut adalah 5.63 gr/min, 7.17 gr/min, dan 7.714 gr/min. Berdasarkan waktu pengeringan, pada menit ke-1 hingga menit ke-6 *drying rate* terbesar dicapai oleh kecepatan fluidisasi 25.61 m/s (125% U_{mf}), pada menit ke-6 hingga menit ke-14 *drying rate* terbesar dicapai oleh kecepatan fluidisasi 21.21 m/s (100% U_{mf}), sedangkan pada menit ke-14 hingga menit ke-22 *drying rate* terbesar dicapai pada kecepatan fluidisasi 15.9 m/s (75% U_{mf}).

Kata Kunci—*Swirling fluidized bed coal dryer*, 75%;100%; dan 125% kecepatan minimum fluidisasi, *drying rate*.

I. PENDAHULUAN

NILAI kalor batubara merupakan faktor terpenting dalam penentuan kualitas dari suatu jenis batubara. Nilai kalor batubara sangat ditentukan oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah *moisture content*. *Moisture content* batubara berbanding terbalik dengan nilai kalornya, batubara akan memiliki nilai kalor yang tinggi jika ber-*moisture content* rendah. Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai kalor batubara cenderung lebih tinggi jika memiliki *moisture content* yang rendah [1].

Salah satu pengguna batubara ber-*moisture content* tinggi adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). *Boiler* pada PLTU yang merupakan alat utama pengkonversi energi *fossil* menjadi energi *thermal*, seharusnya dioperasikan dengan batubara ber-nilai kalor tinggi. Namun bertolak belakang dengan hal tersebut, umumnya PLTU di Indonesia menggunakan batubara dengan nilai kalor rendah. Salah satu metode yang berguna untuk menaikkan nilai kalor batubara adalah dengan mengeringkan batubara sebelum dimasukkan ke dalam *boiler*. Namun pada kenyataannya, sebagian besar

pembangkit listrik di Indonesia tidak memiliki fasilitas pengeringan batubara tersebut.

Tabel 1.

Komposisi dan parameter fisik beberapa jenis batubara

	Antrachite	Subbituminous	Lignite
Moisture (%)	3 - 6	10 - 25	25 - 45
Volatile matter (%)	2 - 12	28 - 45	23 - 32
Fixed carbon (%)	75 - 85	30 - 57	25 - 30
Ash (%)	4 - 15	3 - 10	3 - 15
Sulfur (%)	0.5 - 2.5	0.3 - 1.5	0.3 - 2.5
Carbon (%)	75 - 85	55 - 70	35 - 45
Oxygen (%)	5.5 - 9	15 - 30	38 - 48
Density (g/mL)	1.35 - 1.7	1.35 - 1.4	1.4 - 1.45
Calorific value (kJ/kg)	28,000 - 31,500	17,500 - 23,000	14,000 - 17,500

Penelitian tentang pengeringan batubara pernah dilakukan oleh Dicky Permana dengan judul “Studi Eksperimen Pengaruh Kecepatan Fluidisasi Terhadap Unjuk Kerja *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer*” pada tahun 2016. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kecepatan fluidisasi pada 100%, 125%, dan 150% dari kecepatan minimum fluidisasi. Berdasarkan hasil eksperimen, didapat bahwa kecepatan yang tinggi memiliki kinerja pengeringan lebih baik [2].

Studi numerik pada *bed* batubara dengan menggunakan pengarah aliran berbentuk *cone* dilakukan oleh Melvin E Simanjuntak dengan judul “*Transient 3D Modelling of Swirl Fluidized Bed Coal Dryer: The Effect of Different Angles of Guide Vane*” pada tahun 2016. Melalui hasil penelitian ini diketahui bahwa distribusi *bed* batubara cenderung tersebar merata pada *drying chamber* dan juga terdapat beberapa *pathline* udara pengering yang berada di sekitar *cone* pengarah aliran [3].

Melvin E Simanjuntak juga melakukan studi eksperimen pada *swirling fluidized bed coal dryer* dengan pengarah aliran berbentuk *cone* yang berjudul “*Experimental Study The Effect of Angle of Blade Inclination on Coal Swirl Fluidized Bed Drying*” pada tahun 2016. Selama 5 menit pengeringan, *moisture content* batubara berubah dari 25.17% menjadi 10.28%, 11.47%, dan 13.67% masing masing pada sudut *vane* 10°, 20°, dan 30°. Sedangkan *drying rate* rata-rata pada ketiga variasi berturut-turut adalah 2.97 m⁻¹, 2.73 m⁻¹, dan 2.29 m⁻¹ [4].

Penelitian serupa yang berjudul “*Experimental Study on The Effect of Temperature and Fluidization Velocity on Coal Swirl Fluidized Bed Drying with 10° Angle of Blade Inclination*” dilakukan oleh Melvin E Simanjuntak pada tahun 2016. Kinerja

pengeringan *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer* dengan *cone* pengarah aliran dianalisa dengan memvariasikan kecepatan fluidisasi dan *temperature inlet* udara pengering. Setelah 7 menit pengeringan berlangsung, *moisture content* batubara berkurang sebanyak 24.73%, 23.6%, dan 21.32% masing-masing pada variasi *inlet temperature* 50°C, 45°C, dan 40°C. *Drying rate* rata-rata pada ketiga variasi *temperature* berturut-turut adalah 23.08, 21.65, dan 19.88 gr/min [4].

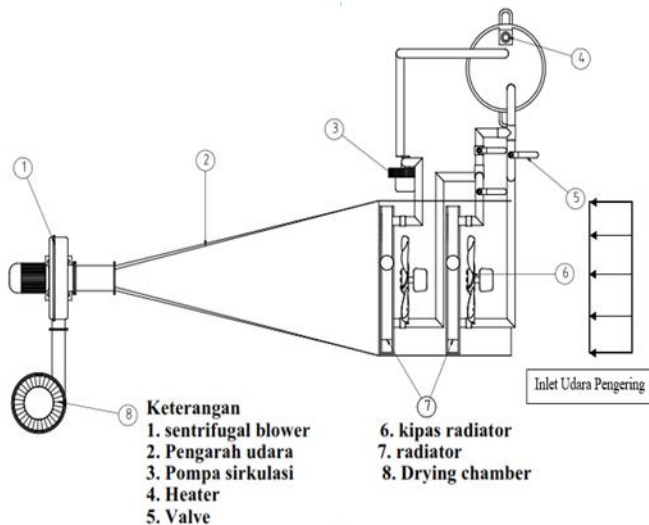
Lalu pada penelitian ini akan dianalisa proses pengeringan batubara pada *swirling fluidized bed coal dryer* tanpa pengaruh aliran berbentuk *cone*, yang sebelumnya digunakan pada penelitian [2][3][5][4]. Kecepatan fluidisasi akan divariasikan pada 75%, 100%, dan 125% dari kecepatan minimum fluidisasi yang berturut-turut bernilai 15.9 m/s, 21.21 m/s, dan 25.61 m/s.

II. METODOLOGI

A. Metode Eksperimen

Skema alat *swirling fluidized bed coal dryer* ditunjukkan oleh gambar 1. Udara pengering dipanaskan melalui *heat exchanger* tipe *compact*. Air yang melewati *heat exchanger* telah terlebih dahulu dipanaskan oleh *heater* yang dipasang di beberapa titik pada tangki air. Proses sirkulasi pada sisi fluida panas dialirkan dengan menggunakan pompa menuju *heat exchanger* dan kembali menuju tangki air, sedangkan aliran pada sisi udara digerakkan oleh sebuah *sentrifugal blower* menuju *bed* batubara.

Batubara seberat 600 gram dengan diameter ± 6 mm ditempatkan diatas *vane* pengarah aliran udara pengering bersudut 10° dengan temperatur 54 ± 1 °C. Kecepatan udara pengering disesuaikan dengan melakukan kalibrasi terlebih dahulu pada *voltage regulator* dengan menggunakan *pitot tube* dan *manometer*.

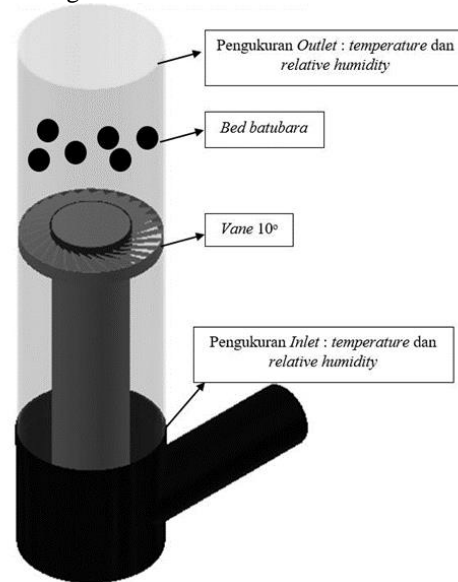


Gambar 1. Skema alat *swirling fluidized bed coal dryer*

B. Pengambilan Data

Pada eksperimen ini didapatkan 2 jenis data pengeringan, yaitu data dari sisi batubara dan sisi udara. Data pada sisi batubara didapatkan melalui proses *sampling* yang dilakukan dengan selang waktu 1 menit selama 10 menit pertama dan dilanjutkan dengan selang waktu 2 menit selama 12 menit

berikutnya. Data pada sisi udara didapatkan melalui pengukuran *relative humidity* dengan RH meter dan *dry-bulb temperature* dengan *thermocouple* tipe K yang ditempatkan pada *inlet* dan *outlet* dari *drying chamber*, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. Posisi pengambilan data pada *drying chamber*

Data kualitatif berupa *foto* juga didapatkan selama proses pengeringan berlangsung. *Foto* diambil pada tampak samping dari *drying chamber*.

C. Prosedur Penelitian (Sisi Batubara)

Pada sisi batubara, kecepatan pengeringan (*drying rate*) didapatkan dengan menghitung perbedaan *moisture content* batubara antar waktu pengeringan. *Moisture content (wet-basis)* batubara dihitung seperti pada (1).

$$\%MC_t = \frac{w_{b,t} - w_{k,t}}{w_{b,t}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan %MC_t merupakan *moisture content* batubara setelah *t* menit pengeringan berlangsung, *w_{b,t}* dan *w_{k,t}* adalah berat sampel batubara basah dan batubara kering pada menit ke-*t*. Berat kering batubara didapatkan dengan memanaskan sampel basah batubara pada suhu 110°C selama 3 jam dalam 3 tahapan, sesuai dengan ASTM D 5142 [6]. Laju pengeringan atau *drying rate* pada sisi batubara dihitung pada (2).

$$\left(\frac{dw}{dt}\right)_t = \frac{(\%MC)_{t-1} - (\%MC)_t}{\Delta t} \times (600 - \sum_{n=1}^{t-1} w_{b,n}) \text{gram} \quad (2)$$

Dengan $\left(\frac{dw}{dt}\right)_t$ adalah *drying rate* pada menit ke-*t* (gr/min) , *t* adalah selang waktu pengambilan data, dan beban awal pengeringan adalah 600 gram. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi dari proses penimbangan berat batubara basah ataupun batubara kering.



Gambar 3. Penimbangan sampel batubara

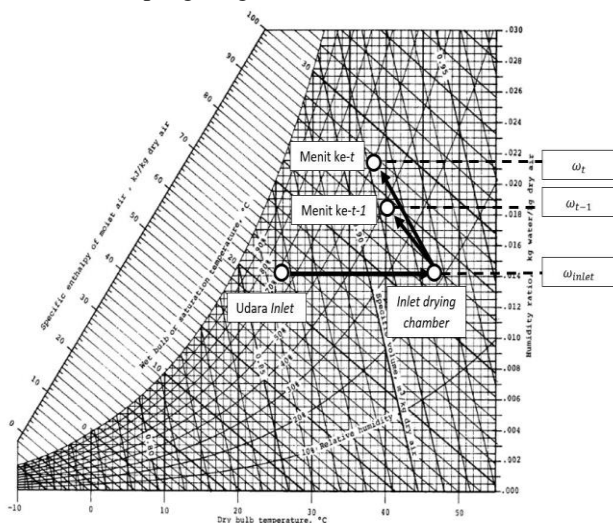
D. Prosedur Penelitian (Sisi Udara)

Data berupa *relative humidity* dan *dry-bulb temperature* diplotkan pada *psychrometric charts* untuk mengetahui karakteristik proses pengeringan.. Pada sisi udara, laju pengeringan (*drying rate*) didapatkan dengan mengurangkan *humidity ratio* udara antar waktu pengeringan. Gambar 3 menunjukkan grafik *psychrometric chart* udara pada tekanan 1 atm dengan simbol yang sesuai dengan (3). *Drying rate* pada sisi udara dihitung pada (3).

$$\left(\frac{dw}{dt}\right)_t = \frac{(\omega_t - \omega_{t-1}) \times m_{dry}}{t} \quad (3)$$

Dengan ω_t adalah *humidity ratio outlet drying chamber* pada menit ke- t dan t adalah selang waktu pengambilan data.

Selama melewati alat *swirling fluidized bed coal dryer* udara melewati 2 proses termodinamika, yaitu *sensible heating* dan *humidifying*. Proses *sensible heating* terjadi pada saat udara melewati *heat exchanger*, sedangkan proses *humidifying* terjadi pada saat udara pengering melewati *bed* batubara.



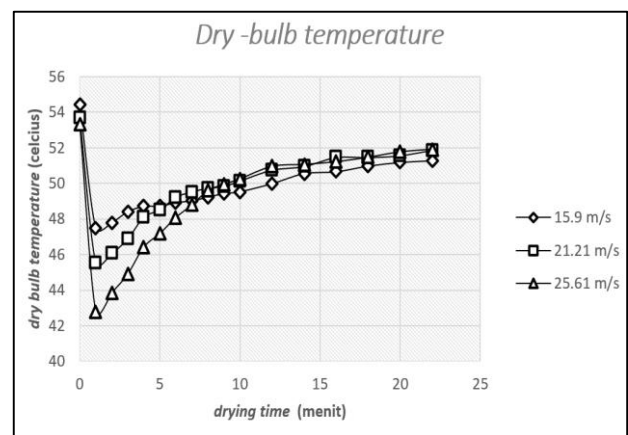
Gambar 4. Psychrometric charts

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa pada sisi udara akan dibahas terlebih dahulu, dan dilanjutkan dengan analisa dari sisi batubara. Kedua analisa tersebut akan dibandingkan satu sama lain untuk memvalidasi penelitian ini. Setelah itu akan dibahas pula pergerakan batubara melalui *foto* saat proses pengeringan berlangsung.

A. Perubahan Outlet Dry-bulb Temperature Terhadap Waktu Pengeringan

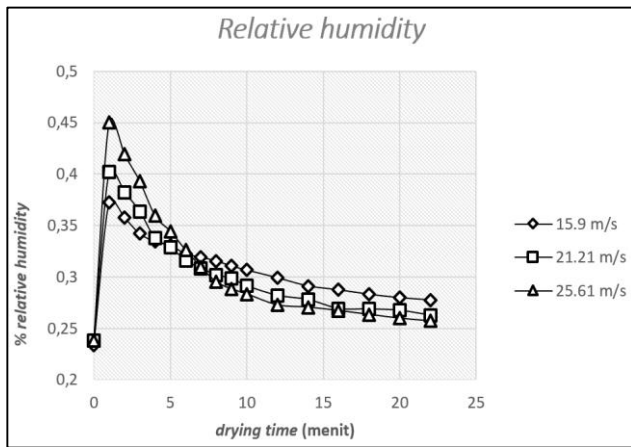
Memiliki bilangan Reynolds terbesar, variasi kecepatan 25.61 m/s mengalami proses perpindahan panas rata-rata terbesar dibandingkan variasi lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 3 dengan besarnya ΔT , yaitu penurunan temperatur antara *inlet* dan *outlet drying chamber* pada variasi 25.61 m/s. Melalui gambar 3 pula dapat diketahui bahwa temperatur *dry-bulb* udara jatuh secara drastis pada menit ke-1, dan berangsur naik secara perlahan pada menit berikutnya. Hal ini karena pada awal proses pengeringan, temperatur permukaan batubara berada pada nilai terendahnya. Perbedaan temperatur antara permukaan batubara dan udara yang besar menyebabkan perpindahan panas terbesar terjadi pada menit-menit awal proses pengeringan pada ketiga variasi kecepatan.



Gambar 5. Outlet dry-bulb temperature vs waktu.

B. Perubahan Outlet Relative Humidity Terhadap Waktu Pengeringan

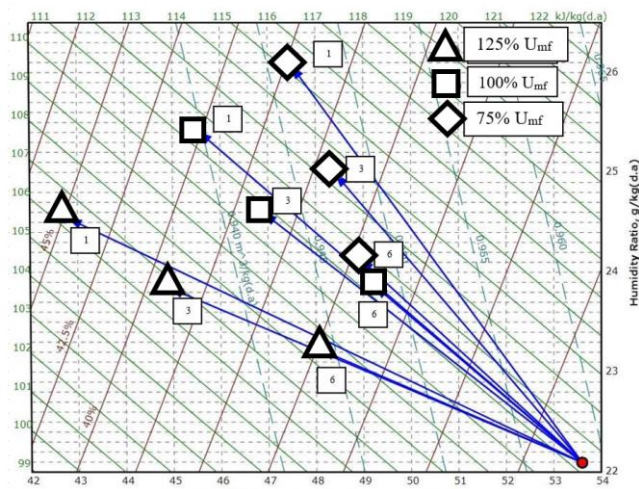
Gambar 4 menunjukkan bahwa variasi 25.61 m/s memiliki *relative humidity* tertinggi pada menit ke-1 hingga menit ke-6, sedangkan pada menit ke-6 hingga menit ke-22 variasi 15.9 m/s memiliki *relative humidity* yang tertinggi. Hal ini disebabkan oleh kandungan air tersisa pada batubara yang masih cukup tinggi pada variasi 15.9 m/s. *Relative humidity* udara pada variasi kecepatan 25.61 m/s dan 21.21 m/s menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi pada awal proses pengeringan dibandingkan dengan kecepatan 15.9 m/s. Hal ini menandakan besarnya laju perpindahan massa air yang terjadi pada menit awal pengeringan dari variasi 25.61 m/s dan 21.21 m/s. *Relative humidity* udara pada variasi kecepatan 25.61 m/s dan 21.21 m/s mengalami penurunan yang sangat drastis pada 8 menit pertama, sedangkan variasi 15.9 m/s cenderung memiliki nilai *relative humidity* yang lebih konstan.



Gambar 6. Outlet relative humidity vs waktu

C. Analisa Udara Pengering Pada Psychrometric chart

Perubahan kondisi udara pengering pada saat melalui bed batubara pada menit ke-1, menit ke-3, dan menit ke-6 digambarkan oleh panah pada gambar 5. Titik yang bergeser lebih jauh ke kiri menandakan proses *sensible cooling* yang lebih besar telah terjadi, sedangkan titik yang bergeser lebih jauh keatas menandakan proses *humidifying* yang lebih tinggi telah terjadi. Sehingga berdasarkan gambar 5, diketahui bahwa variasi 15.9 m/s mengalami proses *sensible cooling* terkecil dan proses *humidifying* terbesar, sedangkan variasi 25.61 m/s mengalami proses *sensible cooling* terbesar dan proses *humidifying* terkecil.



Gambar 7. Proses pengeringan pada psychrometric chart

D. Analisa Moisture Content Batubara Terhadap Waktu

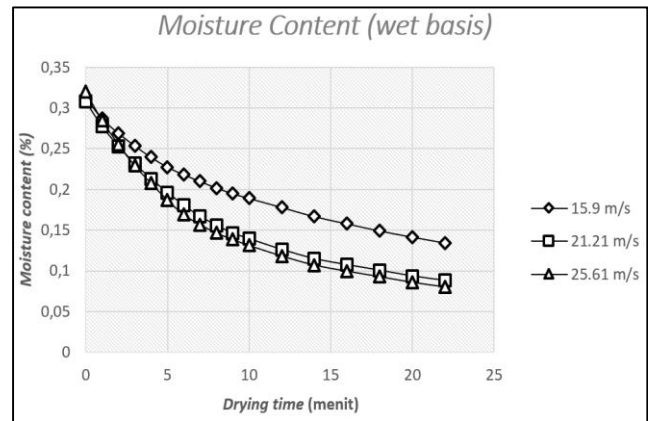
Gambar 6 menunjukkan distribusi nilai *moisture content* batubara terhadap *drying time* pada ketiga variasi kecepatan. Secara garis besar, penurunan *moisture content* terkecil terjadi pada kecepatan 15.9 m/s (75% U_{mf}) dan penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada kecepatan 25.61 m/s (125% U_{mf}). Sedangkan penurunan *moisture content* pada variasi kecepatan 21.21 m/s (100% U_{mf}) memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan kecepatan 25.61 m/s. Hal tersebut dikarenakan oleh kondisi *bed* batubara keduanya yang sudah merupakan jenis *fluidized bed*. Namun setelah 10 menit pengeringan berlangsung, kecepatan 15.9 m/s mengalami penurunan *moisture content* yang lebih tinggi dibandingkan kedua variasi lainnya.

E. Analisa Drying Rate Terhadap Waktu Pengeringan

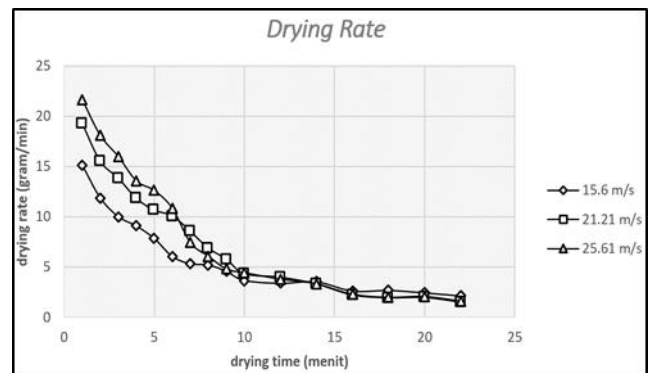
Drying rate rata-rata pada variasi kecepatan 15.9 m/s, 21.21 m/s, dan 25.61 m/s berturut-turut adalah 5.63 gr/min, 7.17 gr/min, dan 7.714 gr/min. Berdasarkan waktu pengeringan, *drying rate* terbesar pada menit ke-1 hingga menit ke-6 dicapai oleh kecepatan fludisasi 25.61 m/s (125% U_{mf}), pada menit ke-6 hingga menit ke-14 dicapai oleh kecepatan fludisasi 21.21 m/s (100% U_{mf}), sedangkan pada menit ke-14 hingga menit ke-22 dicapai pada kecepatan fludisasi 15.9 m/s (75% U_{mf}).

F. Validasi Perpindahan Massa Air dari Sisi Batubara dan Sisi Udara

Secara teori seharusnya massa air yang diterima oleh udara dan massa air yang dilepas oleh batubara bernilai sama, tetapi dikarenakan banyak nya faktor eksternal yang mempengaruhi penelitian ini, kondisi tersebut tidak dapat tercapai secara sempurna. Dengan mengasumsikan perpindahan massa air pada sisi batubara memiliki *error* yang lebih kecil dibandingkan pada sisi udara, maka *error* rata-rata (berbasis batubara) dari variasi 15.9 m/s adalah 2.17%, variasi 21.21 m/s adalah 2.816%, dan dari variasi 25.61 m/s adalah 7.01%.



Gambar 8. Perubahan moisture content terhadap waktu pengeringan



Gambar 9. Perubahan drying rate terhadap waktu pengeringan

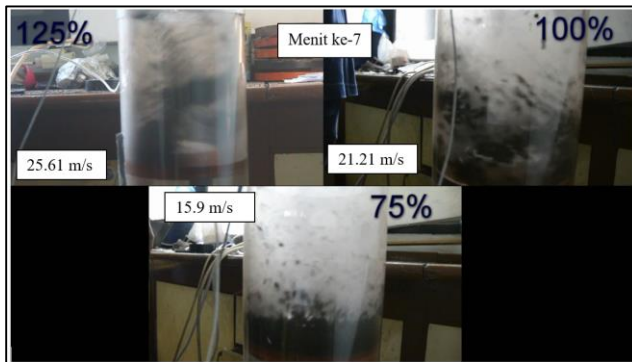
G. Analisa Pergerakan Batubara

Sesuai dengan gambar 8, dapat diketahui bahwa *bed* batubara telah terfluidisasi pada variasi kecepatan 21.21 m/s dan 25.61 m/s. Sedangkan pada kecepatan 15.9 m/s, *bed* batubara tidak terfluidisasi karena gaya *drag* dari udara tidak mampu untuk melawan gaya berat dari batubara.

Pada proses pengeringan dengan kecepatan 15.9 m/s terdapat sejumlah batubara yang terkumpul pada bagian tengah dari

vane pengarah aliran. Mengingat lubang laluan pada *vane* pengarah aliran hanya terdapat pada bagian pinggir saja, maka jika *bed* batubara tidak terfluidisasi akan terdapat sejumlah batubara yang berada pada bagian tengah dari *drying chamber*. Hal ini lah yang terjadi pada pengeringan batubara dengan kecepatan 15.9 m/s.

Sedangkan pada variasi 21.21 m/s dan 25.61 m/s, *bed* batubara telah terfluidisasi, sehingga partikel batubara terdistribusi hanya pada bagian pinggir dari *drying chamber* dan tidak terdapat batubara yang menempati posisi tengah dari *drying chamber*. Hal ini karena aliran udara yang berpola *swirling* memberikan gaya sentripetal dan mendorong *bed* batubara untuk tetap berada pada posisi pinggir dari *drying chamber*.



Gambar 8. Foto Tampak samping *drying chamber*

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen dan analisa yang telah dilakukan, kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- 1) Total massa air yang berpindah terbesar setelah 22 menit proses pengeringan jatuh pada variasi kecepatan 25.61 m/s ($125\% U_{mf}$) yaitu sebesar 146.39 gram, sedangkan pada variasi 21.21 m/s ($100\% U_{mf}$) dan 15.9 m/s ($75\% U_{mf}$) total

massa air yang berpindah adalah 137.01 gram dan 112.7 gram.

- 2) Pada menit ke-1 hingga menit ke-6, kecepatan 25.61 m/s memiliki *drying rate* tertinggi. Lalu pada menit ke-6 hingga menit ke-12, kecepatan 21.21 m/s memiliki *drying rate* tertinggi, sedangkan pada menit ke-12 hingga menit ke-22 *drying rate* tertinggi jatuh pada kecepatan 15.9 m/s.
- 3) Perbedaan data perpindahan massa yang didapatkan antara sisi udara dan sisi batubara pada variasi 15.9 m/s, 21.21 m/s dan 25.61 m/s berturut-turut adalah 2%, 2.9%, dan 7.01%.
- 4) Pada pengeringan batubara dengan kecepatan 15.9 m/s, *bed* batubara tidak dapat terfluidisasi. Sedangkan pada kecepatan 21.21 m/s dan 25.61 m/s *bed* batubara terfluidisasi secara *swirl* pada bagian pinggir dari *drying chamber*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. G. Speight, *Handbook of Coal Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [2] D. Permana, "Studi Eksperimen Pengaruh Kecepatan Fluidisasi Terhadap Unjuk Kerja Swirling Fluidized Bed Coal Dryer," *J. Tek. ITS*, vol. 4, 2016.
- [3] W. A. W. M. E. Simanjuntak, Prabowo, D. Ichani, "Transient 3D Modelling of Swirl Fluidized Bed Coal Drying: The Effect of Different Angles of Guide Vane," *JP J. Heat Mass Transf.*, vol. 13, no. 4, pp. 497–510, 2016.
- [4] W. A. W. M. E. Simanjuntak, Prabowo, D. Ichani, "Experimental Study on The Effect of Temperature and Fluidization Velocity on Coal Swirl Fluidized Bed Drying with 10o Angle of Blade Inclination," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 21, pp. 1004–1009, 2016.
- [5] W. A. W. M. E. Simanjuntak, Prabowo, D. Ichani, "Experimental Study on The Effect of Angle of Blade Inclination on Coal Swirl Fluidized Bed Drying," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 2, pp. 12499–12505, 2016.
- [6] A. D. 5142, *Standard Test Method for Proximate Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures*. West Conshohocken: ASTM International, 2009.