

Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Blade Tipe Single Row Distributor pada Swirling Fluidized Bed Coal Dryer terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara

Afrizal Tegar Oktianto, dan Prabowo

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

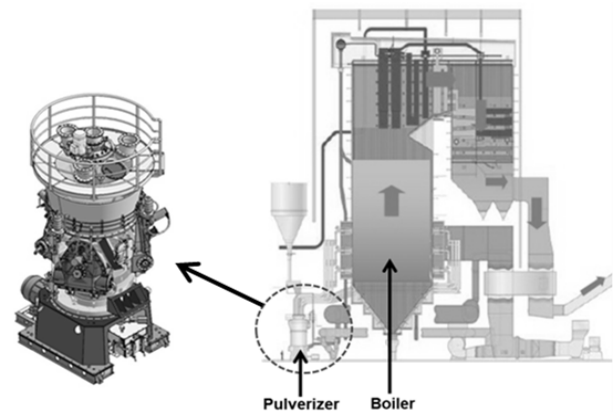
e-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—Penggunaan batubara dengan nilai kalori rendah pada PLTU dapat berpengaruh terhadap kinerja *pulverizer*. Kinerja *pulverizer* akan semakin berat dikarenakan kapasitas batubara yang dibutuhkan untuk pembakaran semakin banyak. Hal tersebut terjadi karena kualitas batubara yang tersedia tidak sesuai dengan spesifikasi desain awal *boiler*. Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu teknologi yang dapat meningkatkan kualitas batubara, berupa *swirling fluidized bed coal dryer*. Penelitian dilakukan dengan studi eksperimen menggunakan model skala alat percobaan, yang dirancang oleh peneliti sebelumnya yaitu *swirling fluidized bed coal dryer*. Udara panas dengan temperatur 55°C dihisap oleh blower ke dalam chamber dengan melewati *distributor bed* berupa *blade* yang membentuk sudut sehingga menyebabkan *swirling* didalam *chamber*. Pengambilan data dilakukan dengan menimbang massa sampel batubara basah setiap 1 menit sebanyak 5 kali, 2 menit sebanyak 3 kali, dan 5 menit sebanyak 4 kali sehingga total waktu pengeringan 31 menit.. Percobaan dilakukan dengan variasi sudut *blade* 10°, 20°, dan 30° dengan massa batubara 600 gram dan ukuran partikel 10 mm, pengeringan dilanjutkan menggunakan oven dengan temperatur 105°C selama 180 menit untuk mendapatkan massa sampel batubara kering. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa pada sudut *blade* 10°, 20° dan 30° didapat *moisture content* batubara terendah berturut-turut sebesar 6,8 %; 7,6 %; dan 8 %. Untuk laju pengeringan berturut-turut sebesar 0,00767 kg/menit; 0,0059 kg/menit; dan 0,00452 kg/menit.

Kata Kunci—Batubara, Laju Pengeringan, Sudut *Blade*, *Swirling*

I. PENDAHULUAN

Listrik adalah bentuk energi sekunder yang paling praktis penggunaannya oleh manusia, dimana listrik dihasilkan dari proses konversi energi sumber energi primer seperti, potensial air, energi angin, minyak bumi, gas dan batubara. Salah satu sumber penghasil energi listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Sebagian besar PLTU di Indonesia menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. *Boiler* PLTU didesain untuk menggunakan batubara dengan kadar air (*moisture*) rendah dan nilai kalor (*heating value*) tinggi. Jika digunakan batubara dengan kadar air dan nilai kalor di bawah spesifikasi pembangkit, maka akan berpengaruh pada performa *pulverizer* dan emisi yang dihasilkan [1]. *Pulverizer* berfungsi untuk menghaluskan batubara sebelum masuk *boiler*. Untuk menjamin sistem pembangkit dapat beroperasi secara kontinyu, biasanya dipasang *standby pulverizer* yang



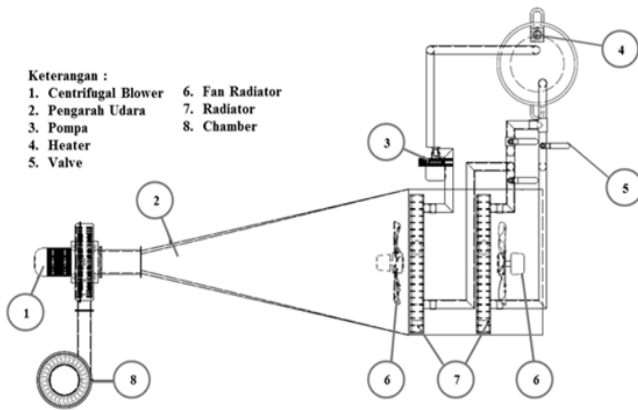
Gambar 1. *Boiler dan pulverizer*

digunakan untuk menggantikan fungsi *pulverizer* yang mengalami kerusakan. Dengan menggunakan batubara dibawah spesifikasi *boiler* maka suplay batubara yang dibutuhkan untuk memanaskan *boiler* akan semakin tinggi, imbasnya *pulverizer* akan beroperasi secara maksimum sehingga *reliability* dari *pulverizer* akan turun. Untuk memenuhi kapasitas yang diinginkan dari *boiler* tersebut, masalah yang timbul adalah jika terjadi kerusakan pada salah satu *pulverizer* maka kapasitas mill dari batubara akan berkurang, yang akibatnya suplay batubara ke *boiler* juga ikut berkurang, hal ini akan berdampak pada performa dari PLTU [2].

Penelitian terkait dengan teknologi pengeringan batubara pernah dilakukan oleh Levy, Edward K., Sarunac, Bilirgen, Caram (2006). Dalam penelitiannya yang berjudul “*Use Of Coal Drying To Reduce Waterconsumed In Pulverized Coal Power Plants*” melakukan penelitian terhadap efek pengeringan batubara dalam upaya untuk mengurangi kandungan air dalam batubara.

Dalam penelitiannya Levy, Edward K., Sarunac, Bilirgen, Caram (2006) juga melakukan penelitian terhadap beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap laju pengeringan batubara. Ukuran partikel batubara, kecepatan udara pemanas, temperatur *air heater* dan kandungan air dalam udara pemanas merupakan beberapa variabel yang diteliti pengaruhnya terhadap laju pengeringan batubara.

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukannya didapatkan bahwa kecepatan udara pemanas pada sisi masuk ruangan pengering berpengaruh terhadap laju pengeringan batubara. Pada penelitian ini kecepatan udara pemanas pada sisi *inlet* akan meningkatkan laju pengeringan batubara



Gambar 2. Swirling fluidized bed coal dryer

apabila kecepatan ditingkatkan hingga nilai tertentu [3].

II. METODOLOGI

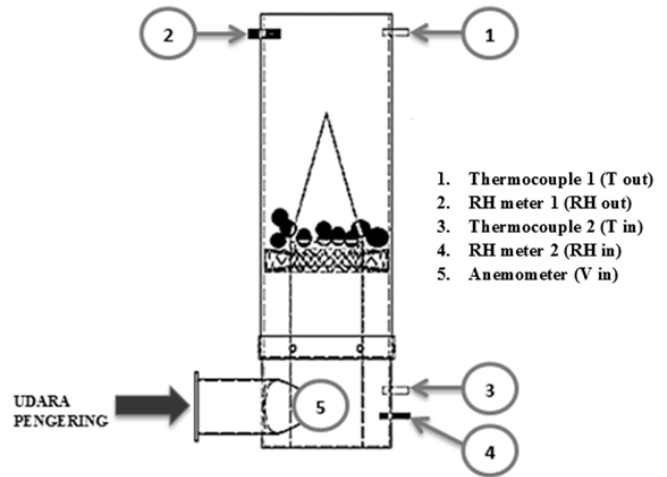
A. Metode Eksperimen

Berikut adalah skema alat *swirling fluidized bed coal dryer* ditunjukkan pada gambar 1.

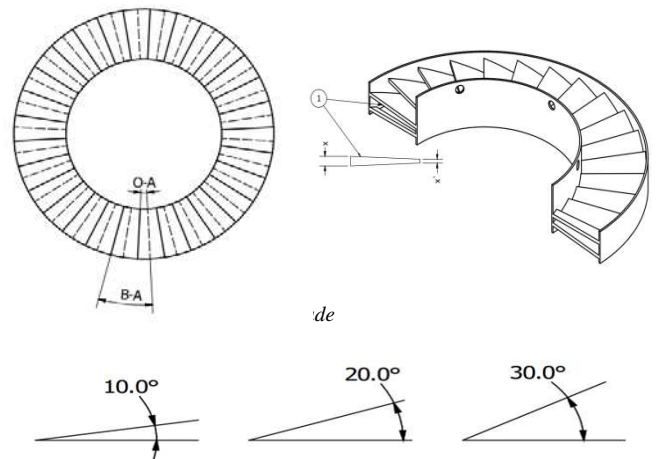
Cara kerja alat dari gambar 1 dimana alat ini terdapat 2 bagian yaitu bagian penghasil udara pengering dan aliran fluidisasi. Bagian penghasil udara pengering terdapat 2 radiator sebagai peralatan *heat exchanger* antara air (aquades) dengan udara. Awalnya air dipanaskan di tangki reservoir menggunakan *electric heater* hingga temperatur air 90°C kemudian disirkulasikan oleh pompa menuju radiator dan kembali lagi ke tangki reservoir. Untuk aliran udara pada radiator menggunakan 2 buah fan radiator 12 V. Dari sistem radiator maka terjadi perpindahan panas dari air ke udara. Karena proses itu terbentuklah udara pengering. Udara pengering tersebut akan dihembuskan oleh blower menuju *chamber* dengan kecepatan tertentu. Kecepatan udara diukur menggunakan anemometer pada keluaran blower sesuai dengan kecepatan fluidisasi. *Chamber* ini terdapat *bed distributor* berupa susunan *blade* dengan arah sudut tertentu. *Bed distributor* ini bertujuan untuk mengarahkan aliran udara pengering, sehingga terjadi fluidisasi menyerupai gerakan *cyclone*. Dalam *chamber* ini terjadilah proses perpindahan panas secara konveksi antara batubara dengan udara pengering. Dimana air yang ada didalam batubara akan keluar berupa uap air bersama udara pengering.

Selama proses pengujian tersebut terdapat parameter-parameter yang diukur yaitu :

1. T out menggunakan *Thermocouple 1* type K, mengukur temperatur *dry bulb* udara keluaran *chamber*
2. RH out menggunakan RH meter 1, mengukur nilai *relative humidity* udara saat keluar *chamber*.
3. T in menggunakan *Thermocouple 2* type K, mengukur temperatur *dry bulb* udara masuk *chamber*
4. RH in menggunakan RH meter 2, mengukur nilai *relative humidity* udara saat masuk *chamber*.
5. Anemometer untuk menghitung kecepatan udara saat masuk *chamber*.



Gambar 3. Posisi alat ukur



B. Variasi Blade

Pada penelitian ini yang divariasikan adalah sudut kemiringan dari *blade* dengan variasi 10°, 20°, dan 30° dengan *overlapping angle* (O-A) sebesar 6°, *blade angle* (B-A) sebesar 18°, dan total *blade* yang digunakan adalah 30 *blade*.

C. Analisa Perpindahan Panas dan Perpindahan Massa

Analisa yang digunakan untuk menghitung proses perpindahan panas antara udara pengering dan batu bara adalah [4]:

$$q = h \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) \tag{1}$$

Koefisien perpindahan panas secara konveksi (h), dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$h = Nu \cdot \frac{D}{k} \tag{2}$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien perpindahan massa secara konveksi (h_m) ditentukan dari persamaan sebagai berikut [4]:

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \tag{3}$$

Sherwood Number (Sc)

$$Sh = 0.037 \cdot Re_D^{\frac{4}{5}} \cdot Sc^{\frac{1}{3}} \tag{4}$$

Jadi,

$$h_m = Sh \cdot \left(\frac{D_{AB}}{D}\right) \tag{5}$$

Dari persamaan di atas, Maka perpindahan massa yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$n_A = h_m \cdot A \cdot (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \tag{6}$$

D. Prosedur Eksperimen

Penelitian dilakukan dengan variasi sudut *blade* 10°, 20° dan 30°, dan menggunakan batubara dengan ukuran diameter 10 mm. Massa batubara yang dikeringkan sebesar 600 gram. Sebelum proses pengeringan dimulai, lakukan pengukuran kecepatan udara pada keluaran blower sesuai dengan kecepatan fluidisasi kemudian pasang *bed distributor*. Proses pengeringan dimulai setelah temperatur udara masuk chamber steady 55°C. Setelah itu masukan batubara 600 gram. Untuk mengetahui perubahan *moisture content* selama proses pengeringan diambil massa sampel batubara basah dengan interval waktu untuk 1 menit 5 kali, 2 menit 3 kali, dan interval 5 menit 4 kali, setiap sampel di timbang, kemudian untuk semua massa sampel batubara basah dilakukan pengovenan selama 180 menit dengan temperatur 105°C dan hasil setelah dilakukan proses tersebut sampel kemudian di timbang kembali untuk mengetahui perbedaannya. Dari penelitian didapatkan massa sampel batubara kering, massa batubara basah, T_{DB} dan *relative humidity*.

Dari hasil penimbangan massa sampel batubara basah ($m_{S_c,basah}$) dan massa sampel batubara kering ($m_{S_c,kering}$), maka dapat diketahui *moisture content* batubara dengan persamaan, sebagai berikut:

$$MC (\%) \text{ wb} = \frac{m_{S_c,basah} - m_{S_c,kering}}{m_{c,basah}} \times 100\% \tag{7}$$

E. Psychrometric Chart

Proses perpindahan massa dari sisi udara pengering dapat ditentukan dari *psychrometric chart*. *Psychrometric chart* merupakan grafik yang menampilkan campuran antara uap air dengan udara. Didalam *psychrometric chart* sendiri terdapat beberapa parameter yang dari campuran tersebut seperti *enthalpy*, *humidity ratio*, *relative humidity*, *temperature dry bulb* dan *temperature wet bulb* [5].

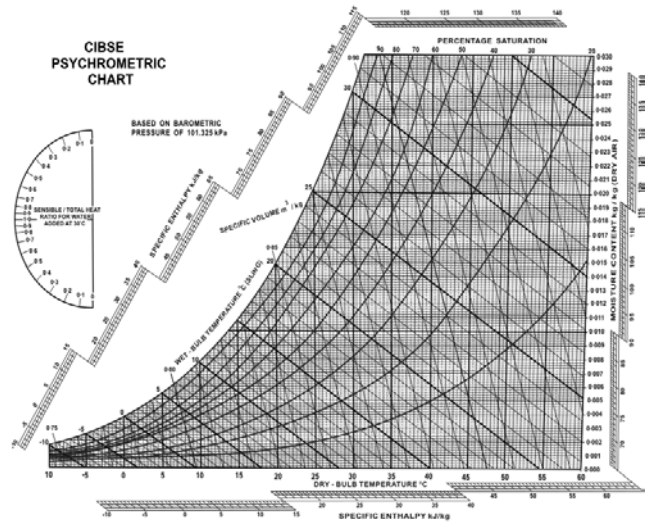
Untuk mencari besarnya massa uap air dalam udara maka dapat dicari dari selisih *humidity ratio* udara pengering masuk chamber dengan *humidity ratio* udara keluar chamber setelah melewati batubara, sedangkan untuk mencari besarnya massa uap air yang dipindahkan oleh udara pengering dapat ditentukan dari selisih *moisture content*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

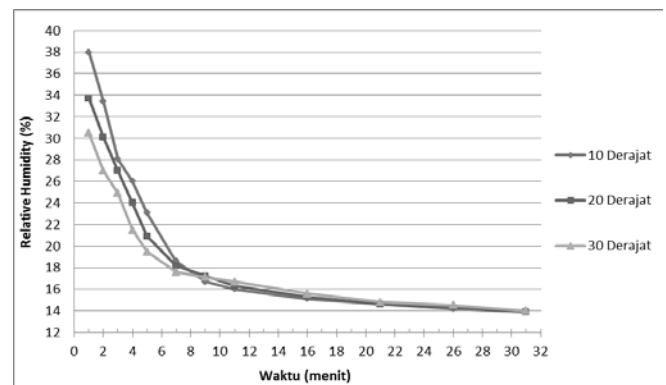
Pada penelitian eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer* dengan variasi sudut *blade* didapatkan beberapa analisa untuk mengetahui pengaruh sudut *blade* terhadap karakteristik pengeringan batubara. Dari sisi batubara dapat dilihat dari grafik *moisture content*, sedangkan dari sisi udara dapat dilihat dari *psychrometric chart* dengan parameter temperatur udara keluar *chamber* dan *relative humidity* keluar *chamber*.

A. Pengaruh Sudut Blade terhadap Relative Humidity

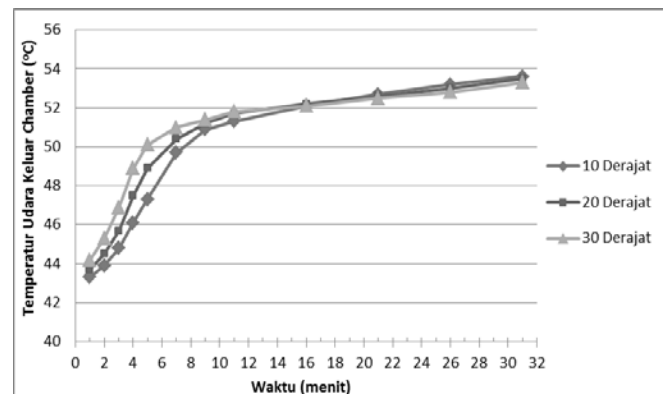
Relative humidity adalah perbandingan antara jumlah uap air yang ada di dalam udara dengan jumlah uap air maksimum pada suhu tertentu. Pada gambar 6 menunjukkan



Gambar 5. Psychrometric Chart



Gambar 6. Pengaruh sudut blade terhadap relative humidity



Gambar 7. Pengaruh sudut blade terhadap temperatur udara keluar chamber

besarnya nilai *relative humidity* pada udara pengering keluaran chamber (*chamber out*) dengan variasi sudut *blade* 10°, 20°, dan 30°. Perubahan nilai *relative humidity* dengan sudut *blade* 10° dari 38 % menjadi 13,9 %, sudut *blade* 20° dari 33,7 % menjadi 13,9 %, dan sudut *blade* 30° dari 30,5% menjadi 14 %. Nilai *relative humidity* tiap variasi sudut *blade* cenderung mendekati *relative humidity* udara pengering. Perbedaan nilai *relative humidity* antar variasi sudut *blade* tersebut menandakan perbedaan massa air yang ada di udara pengering *chamber out*. Terjadinya penurunan *relative humidity* pada tiap menitnya disebabkan *moisture content* batubara semakin rendah sehingga uap air yang terlepas dari batubara semakin rendah.

B. Pengaruh Sudut Blade terhadap Temperatur Udara Keluar Chamber

Pada gambar 7 dapat diamati bahwa untuk ketiga variasi

sudut *blade* memiliki kenaikan trendline dengan nilai temperatur udara keluaran *chamber* lebih rendah dari temperatur udara masuk *chamber*. Pada menit 1 untuk sudut *blade* 10° memiliki nilai temperatur sebesar 43,3 °C, sudut *blade* 20° sebesar 43,7 °C, dan sudut *blade* 30° sebesar 44,2 °C. Tinggi rendahnya temperatur keluaran dari *chamber* dipengaruhi oleh *moisture content* pada batubara.

Penurunan temperatur pada udara pengering dikarena adanya transfer panas dari udara pengering dengan permukaan batubara. Pada saat awal pengeringan kalor yang diterima oleh batubara cukup besar karena perbedaan temperatur permukaan batubara dengan udara pengering cukup besar. Kalor yang diterima oleh batubara kemudian akan disimpan pada batubara yang menyebabkan temperatur permukaan batubara menjadi meningkat. Karena temperatur permukaan meningkat menyebabkan selisih temperatur antara permukaan batubara dengan udara pengering menjadi lebih kecil. Semakin kecil perbedaan antara permukaan batubara dengan udara pengering menyebabkan kalor yang ditransfer dari udara pengering ke permukaan batubara menjadi lebih kecil. Hal inilah menyebabkan temperatur udara keluar *chamber* pada awal pengeringan menjadi lebih rendah dan meningkat seiring waktu pengeringan.

C. Pengaruh Sudut Blade terhadap Moisture Content Batubara

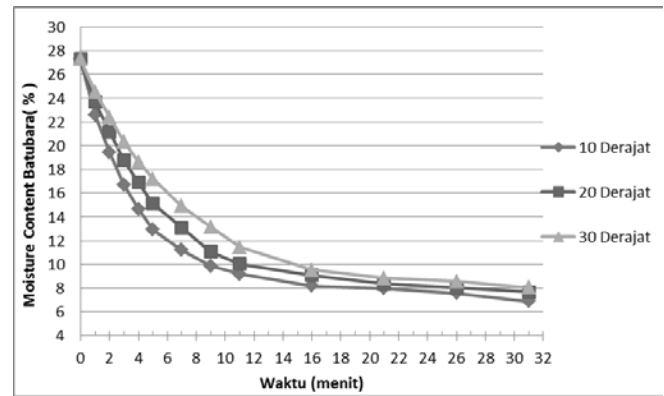
Proses pengeringan merupakan proses penyerapan atau perpindahan massa uap air dari batubara menuju udara pengering. Gambar di atas menunjukkan kemampuan untuk mengeringkan batubara dengan variasi sudut *blade*. Dimana pada sudut *blade* 10° mengeringkan batubara dari *moisture content* 27,3 % menjadi 6,8 %. Sudut *blade* 20° dari *moisture content* 27,3 % menjadi 7,6 %. Dan sudut *blade* 30° dari *moisture content* 27,3 % menjadi 8 %.

Gambar di atas sesuai dengan teori dimana semakin tinggi kecepatan (*v*) maka *reynolds number* (*Re*) semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin tinggi *reynolds number*, berarti suatu aliran itu semakin turbulen apabila aliran itu semakin turbulen maka perpindahan panas yang terjadi semakin tinggi.

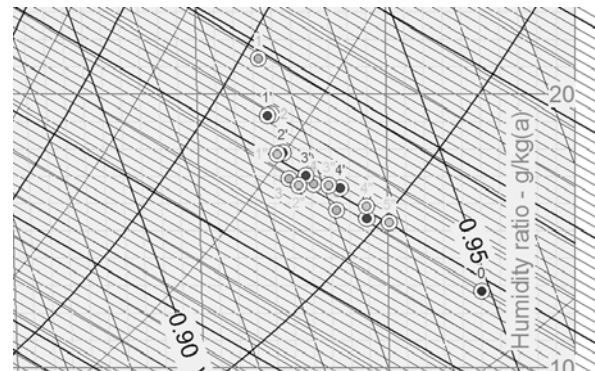
D. Psychrometric Chart

Berdasarkan nilai temperatur dan *relative humidity* yang diperoleh dari hasil eksperimen diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan udara pengering maka nilai *relative humidity* pada udara keluar akan semakin tinggi. Proses yang terjadi dalam *psychrometric chart* dengan sudut *blade* 10°, 20°, dan 30° antara lain:

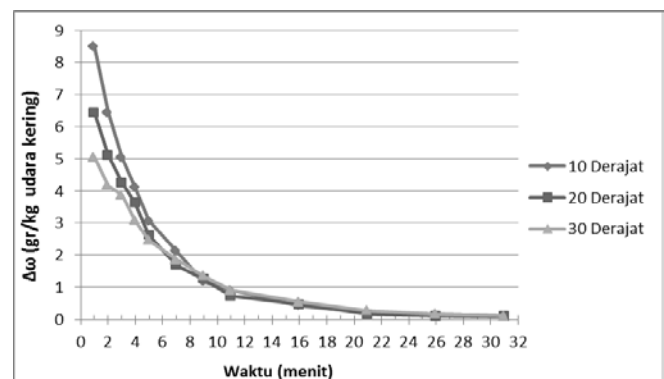
1. Proses pertama : Proses pengeringan (*cooling dan humidifying*) dimana terjadi penyerapan *moisture content* batubara yang diikuti dengan naiknya nilai *humidity ratio* dan turunnya temperatur udara pengering, perpindahan massa air dari batubara ke udara pengering terjadi akibat *relative humidity* dari udara lebih kecil dibandingkan batubara. (Titik 0-1)
2. Proses kedua : Proses (*Heating dan dehumidifying*) dimana terjadi peningkatan temperatur udara *chamber* out dengan diikuti menurunnya nilai *humidity ratio* dalam udara pengering. Hal ini disebabkan semakin berkurangnya *moisture content* yang terkandung didalam batu bara. (Titik 1-5).



Gambar 8. Pengaruh sudut *blade* terhadap *moisture content* batubara



Gambar 9. Pengaruh sudut *blade* terhadap udara pengering dalam *psychrometric chart*

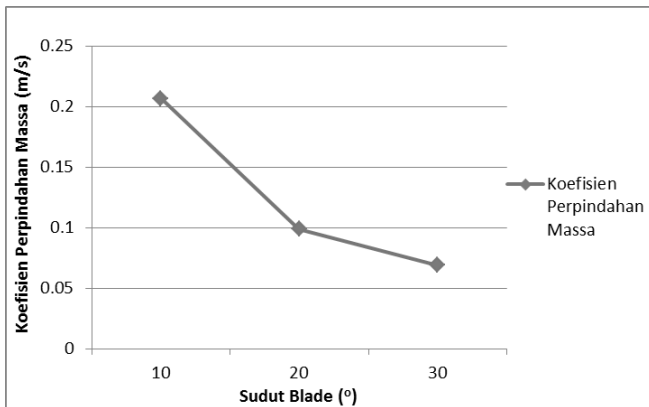


Gambar 10. Pengaruh sudut *blade* terhadap Selisih Humidity Ratio ($\Delta\omega$)

E. Pengaruh Sudut Blade Terhadap Selisih Humidity Ratio ($\Delta\omega$)

Humidity ratio massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Pada gambar 4.9 menunjukkan besarnya nilai selisih *humidity ratio* ($\Delta\omega$) antara *humidity ratio* tiap waktu dengan *humidity ratio* udara pengering. Pada gambar dapat dilihat nilai $\Delta\omega$ memiliki *trendline* menurun. Pada 5 menit pertama diketahui nilai $\Delta\omega$ pada sudut *blade* 10° memiliki nilai yang lebih tinggi daripada variasi sudut lainnya. Pada menit 1 sudut *blade* 10°, nilai $\Delta\omega$ sebesar 8.51 gr/kg udara kering. Untuk sudut *blade* 20° dan sudut *blade* 30°, nilai $\Delta\omega$ sebesar 6.44 gr/kg udara kering dan 5.05 gr/kg udara kering.

F. Pengaruh Sudut Blade Terhadap Koefisien Perpindahan Massa



Gambar 11. Pengaruh sudut *blade* terhadap koefisien perpindahan massa

Pada gambar 10 adalah menunjukkan koefisien perpindahan massa tiap variasi sudut, *trendline* dari gambar di atas terlihat menurun seiring dengan pertambahan nilai dari sudut kemiringan *blade*. Nilai koefisien perpindahan massa pada sudut *blade* 10° sebesar 0,2067 m/s, sudut *blade* 20° sebesar 0,0986 m/s dan sudut *blade* 30° sebesar 0,069 m/s. Hal ini dikarenakan pengaruh kecepatan yang lebih tinggi pada variasi tersebut.

Kecepatan berhubung langsung dengan *reynolds number*, semakin tinggi *reynolds number* maka nilai *sherwood number* semakin tinggi (Sh). Nilai *sherwood number* semakin naik maka koefisien perpindahan massa konveksi semakin naik pula.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dalam menguji alat *swirling fluidized bed coal dryer* dapat disimpulkan:

1. Dari ketiga variasi sudut *blade*, sudut *blade* 10° memiliki hasil temperatur *chamber out* paling rendah dengan nilai pada menit 1 sebesar 43,3 °C dan nilai *relative humidity* 38 %. Penurunan temperatur dan nilai *relative humidity* tinggi dikarenakan massa air yang keluar dari batubara lebih tinggi daripada sudut *blade* 20°, dan 30°.
2. Dengan *moisture content* batubara awal sebesar 27,3 %, sudut *blade* 10°, 20°, dan 30° dapat mengurangi *moisture content* batubara pada akhir pengeringan berturut-turut sebesar 6,8 %, 7,6 %, dan 8 %.
3. Dari ketiga variasi sudut *blade*, pada menit 1 sudut *blade* 10° memiliki laju pengeringan sebesar 7,67 gr/menit. Sudut *blade* 20° memiliki laju pengeringan sebesar 5,9 gr/menit. Sudut *blade* 30° memiliki laju pengeringan sebesar 4,52 gr/menit.
4. Dari hasil eksperimen, dengan kecepatan udara *blower* sebesar 9,26 m/s maka kecepatan udara dengan sudut *blade* 10° sebesar 31.5 m/s, sudut *blade* 20° memiliki kecepatan udara sebesar 12.5 m/s dan sudut *blade* 30° memiliki kecepatan udara sebesar 8 m/s.
5. Dari ketiga variasi sudut *blade*, sudut *blade* 10° memiliki koefisien perpindahan massa sebesar 0,2067 m/s, koefisien perpindahan massa pada sudut *blade* 20° sebesar 0,0986 m/s dan koefisien perpindahan massa pada sudut *blade* 30° sebesar 0,069 m/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi masukan dan bimbingan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Dan juga penulis berterima kasih pula terhadap Ir. Sudjud Darsopuspito, MT., Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc., dan Ir. Kadarisman selaku dosen penguji tugas akhir, atas masukan dan saran terhadap tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.brighthubengineering.com/marine-engines-machinery/72870-inspection-carried-out-in-boiler-economizer>
- [2] <http://www.deryckgibson.com/energy-services/babcock>
- [3] Levy, Edward K., Sarunac, Bilirgen, Caram. 2006. *Use of Coal Drying To Reduce Water Consumed in Pulverized Coal Power Plants*. Energy Research Center Lehigh University. Bethlehem.
- [4] Incropera, Frank P., DeWitt, Bergman, Lavine. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- [5] Stoecker, Wilbert F., Jones. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Edition*. McGraw-Hill Inc. Urbana-Champaign.