

Studi Eksperimen Karakteristik Pengeringan Batubara dengan Variasi Beban Pengeringan pada *Cyclone Coal Dryer*

Adi Krisnawan dan Prabowo

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: Prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—Batubara merupakan salah satu sumber bahan bakar yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Agar didapatkan efisiensi yang tinggi pada PLTU maka batubara harus memiliki nilai kalor tinggi. Indonesia sendiri merupakan salah satu negara penghasil batubara terbesar di dunia. Namun hampir 80% batubara yang dihasilkan tergolong batubara rendah dan sedang. Untuk meningkatkan nilai kalor atas batubara perlu dilakukan pengeringan untuk mengurangi kadar air dalam batubara. Eksperimen dilakukan menggunakan batubara dengan *moisture content* awal 25%. Batubara dikeringkan dalam chamber cyclone coal dryer dengan kecepatan udara dan temperature udara panas 55°C. Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit sekali dengan pengambilan sampel batubara selama 30 menit proses pengeringan. Untuk 5 menit pertama interval waktu pengambilan dilakukan selama 1 menit. Data yang diperoleh berupa *relative humidity* udara, temperatur, berat basah dan berat kering. Pengambilan data berat sampel kering dilakukan berdasarkan standart ASTM D5142 dengan pengeringan pada temperatur 105°C selama 3 jam. Percobaan dilakukan dengan variasi beban pengeringan 300gr, 600gr, 900gr. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa pada 5 menit pertama proses pengeringan batubara memiliki *drying rate* paling cepat hal ini ditandai dengan penurunan *moisture content* yang tajam. Temperatur udara outlet chamber untuk beban 900gr memiliki nilai paling rendah dibandingkan beban pengeringan yang lain yaitu 39.9°C. Hal ini dikarenakan massa air pada beban 900 gr lebih banyak sehingga udara pengering mengalami proses pendinginan paling besar. Pada 5 menit pertama terjadi perubahan *relative humidity* terbesar untuk masing masing beban pengeringan, dimana untuk beban pengeringan 900 gr memiliki nilai *relative humidity* terbesar pada menit pertama yaitu 35.47 %. Kenaikan *Relative humidity* ini dikarenakan massa air yang dilepaskan beban 900gr lebih banyak dari beban 600 gr dan 300 gr.

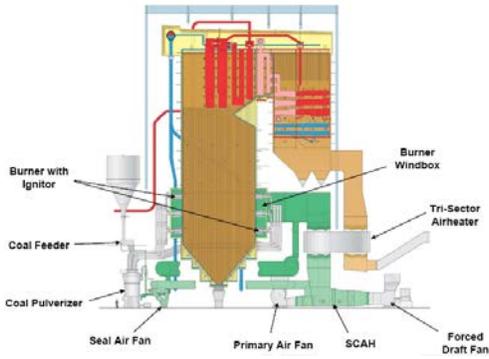
Kata Kunci—*Cyclone coal dryer, drying rate, psychrometric chart.*

I. PENDAHULUAN

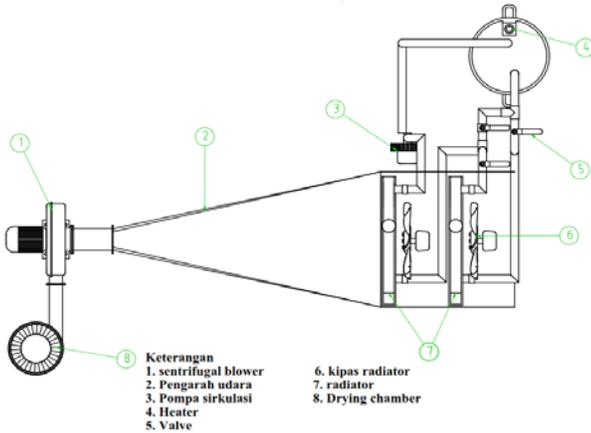
PEMBANGKIT listrik tenaga uap (PLTU) adalah salah satu sumber energi utama di Indonesia, PLTU digolongkan sebagai pembangkit listrik tenaga *thermal* yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Bahan bakar pada PLTU dapat berupa bahan bakar padat (batubara), cair (BBM) serta gas. Bahan bakar ini berfungsi untuk memanaskan *boiler* untuk mengubah air menjadi uap bertekanan. Uap air bertekanan ini yang digunakan sebagai penggerak turbin uap untuk menggerakkan generator listrik.

Boiler sebagai komponen utama pada pembangkit listrik biasanya dirancang dengan nilai *heating value* yang tinggi hal ini bertujuan supaya dapat menghasilkan listrik secara optimal dan efisien. Pada *boiler* sendiri terdapat *Pulverizer* yang berfungsi untuk menghaluskan batubara sebelum masuk *boiler*. Untuk menjamin sistem pembangkit dapat beroperasi secara kontinyu, biasanya dipasang standby *pulverizer* untuk menggantikan fungsi *pulverizer* yang mengalami kerusakan. *Pulverizer* juga berfungsi untuk membantu *boiler* apabila *heating value* pada *boiler* masih rendah dengan cara menambah pasokan batubara yang masuk *boiler*. Dengan menggunakan batubara dibawah spesifikasi *boiler* maka suplai batubara yang dibutuhkan untuk memanaskan *boiler* akan semakin tinggi, imbasnya *pulverizer* akan digunakan secara maksimum untuk memenuhi kapasitas batubara pada *Boiler*. Masalah yang timbul adalah jika terjadi kerusakan pada salah satu *pulverizer* maka kapasitas *mill* dari batubara akan berkurang dan mengakibatkan suplai batubara ke *boiler* juga ikut berkurang, sehingga berdampak pada *performance* dari PLTU. Secara spesifik pemakaian batubara dengan kelembaban 25% sd 40 % akan menyebabkan rendahnya *heating value*, efisiensi pembangkit turun, berkurangnya kapasitas *mill*, serta naiknya biaya pemeliharaan.

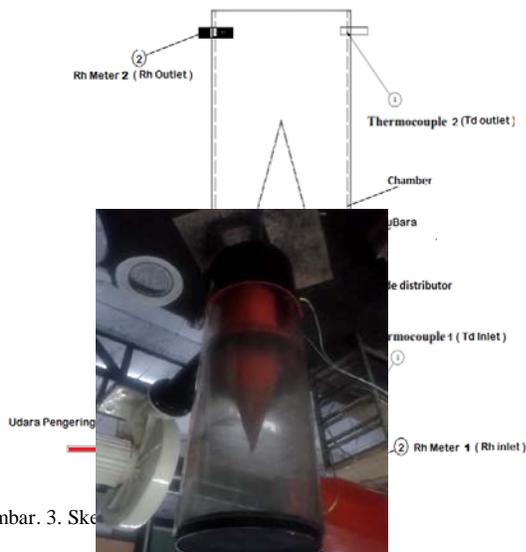
Batubara yang dihasilkan oleh tambang di Indonesia memiliki nilai *moisture* yang sangat tinggi sehingga digolongkan sebagai *low rank coal*. Produksi batubara dengan kadar air yang rendah (*high rank coal*) kebanyakan diekspor untuk memenuhi pasar luar negeri. Hal ini menyebabkan PLTU harus menggunakan batubara tipe *low rank coal* sebagai sumber bahan bakar *boiler*. Salah satu upaya untuk meningkatkan nilai kalor pada batubara adalah dengan proses pengeringan. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar air pada batubara. Dengan menurunnya kadar air pada batubara diharapkan akan meningkatkan nilai kalor atas dari batubara tersebut. Dalam penelitiannya yang berjudul “*Use Of Coal Drying To Reduce Waterconsumed In Pulverized Coal Power Plants*” levy melakukan penelitian terhadap efek pengeringan batubara dalam upaya untuk mengurangi kandungan air dalam batubara [1]. Penelitian terhadap beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap laju pengeringan batubara juga dilakukan [1]. Ukuran partikel batubara, kecepatan udara pemanas, suhu *tube heater* dan kandungan air dalam udara pemanas merupakan beberapa variable yang coba diteliti pengaruhnya terhadap laju pengeringan batubara.



Gambar. 1. Sistem pada boiler.



Gambar. 2. Skema alat eksperimen.



Gambar. 3. Skema

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan Levy dkk 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 apabila kecepatan ditingkatkan hingga nilai tertentu.

Pengaruh dari temperatur udara pemanas yang akan dilewatkan pada ruangan pengering. Dalam penelitian ini divariasikan temperatur udara pemanas dari suhu 43°C hingga 66°C [1]. Batubara yang digunakan dalam pengambilan data adalah batubara jenis *lignite* dan *batubara subbituminous* dari *powder river basin* (PBR) Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa kenaikan temperatur udara pemanas akan meningkatkan laju pengeringan batubara.

II. METODE PENELITIAN

A. Skema peralatan dan Peletakan alat ukur

Batubara merupakan obyek dari proses pengeringan pada *cyclone coal dryer*. Udara pengering merupakan udara lingkungan yang dipanaskan melalui sistem pemanas udara menggunakan *compact heat exchanger*. Udara yang telah melalui proses pemanasan kemudian akan dihembuskan ke *drying chamber* menggunakan *blower*.

Agar terjadi proses *cyclone* (angin yang bersirkulasi), maka pada *chamber* dipasang *distributor* berbentuk *turbin* yang berfungsi sebagai pengarah aliran udara. Dengan terjadinya proses *cyclone* ini diharapkan proses pengeringan batubara menjadi optimal karena aliran udara menjadi turbulen sehingga akan meningkatkan koefisien perpindahan panas dari udara dengan batubara. Dari sisi batubara sendiri akan terjadi proses olakan pada batubara sehingga seluruh permukaan batubara dapat terkena udara pengering, sehingga dapat meningkatkan laju pengeringan.

Penelitian ini dikhususkan pada proses pengeringan pada batubara. Pada eksperimen ini akan ditinjau proses perpindahan massa air dari permukaan batubara dan dari udara pengering. Untuk itu perlu dilakukan pengambilan data dari udara pengering dan dari batubara. Untuk menganalisa proses perpindahan massa dari udara pengering maka diperlukan data berupa *temperature dry bulb* dan nilai *relative humidity*. Untuk posisi alat ukur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan untuk massa air yang lepas dari batubara dicari dengan menimbang penyusutan massa yang terjadi pada batubara tersebut.

Keterangan gambar :

1. *Chamber* merupakan tempat terjadinya pengeringan
2. *Blade distributor* berfungsi untuk mengarahkan aliran udara pengering
3. Termocouple untuk membaca temperatur *dry bulb* udara pengering
4. Rh meter berfungsi untuk membaca nilai *relative humidity* udara pengering.
5. Anemometer untuk menghitung kecepatan angin saat keluar dari distributor.
6. *Td inlet* : *Thermocouple 1*, mengukur temperatur *dry bulb* udara saat masuk *chamber*
7. *Td outlet* : *Thermocouple 2*, mengukur temperatur *dry bulb* udara saat keluar dari *chamber*.

Gambar. 4. Pengeringan pada Chamber.

8. Rh inlet : Rh meter 1, mengukur nilai *relative humidity* udara saat masuk *chamber*.
9. Rh outlet : Rh meter 2, mengukur nilai *relative humidity* udara saat keluar dari *chamber*.

B. Prosedur Eksperimen

Ekperimen dilakukan dengan menggunakan batubara berbentuk *granular* dengan diameter rata-rata 6 mm. Massa beban pengeringan yang telah ditentukan yaitu 300 gr, 600gr, dan 900gr kemudian dimasukan dalam *chamber* pengering. Agar terjadi *cyclone* pada saat proses pengeringan maka, kecepatan angin harus diatur agar didapatkan kecepatan lairan fluidasi minimum. Kecepatan aliran udara ini dapat diatur dengan mengatur putaran *blower* menggunakan *voltange regulator*.

Proses pengambilan data dilakukan saat proses pengeringan dengan interval waktu 5 menit selama 30 menit. Untuk 5 menit pertama pengambilan data dilakukan dengan interval waktu 1 menit. Pada batubara pengambilan data dilakukan dengan cara *sampling*, dimana diambil sampel sebanyak 2 gr selama interval waktu pengeringan. Data yang didapatkan dari batubara berupa berat basah masing-masing sampel dan berat kering sampel yang telah dikeringkan. Standar pengeringan yang digunakan menggunakan standar ASTM D5142 dengan pemanasan selama 3 jam pada temperatur 105°C. Dari sisi udara data yang didapat berupa temperatur *dry bulb* dan *relative humidity* pada udara pengering saat masuk dan keluar dari *chamber*.

C. Pengukuran dan Perhitungan Data

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 para meter yang dari campuran tersebut seperti *enthalphi*, rasio kelembaban, *relative humidity*, *temperature dry bulb* dan *temperature wet bulb*.

Untuk mencari besarnya massa uap air dalam udara maka dapat dicarai dari rasio kelembaban, sedangkan untuk mencari besarnya massa uap air yang dipindahkan oleh udara pengering dapat ditentukan dari persamaan:

$$n_A = (w_1 - w_2) \cdot \dot{m}_{udara}$$

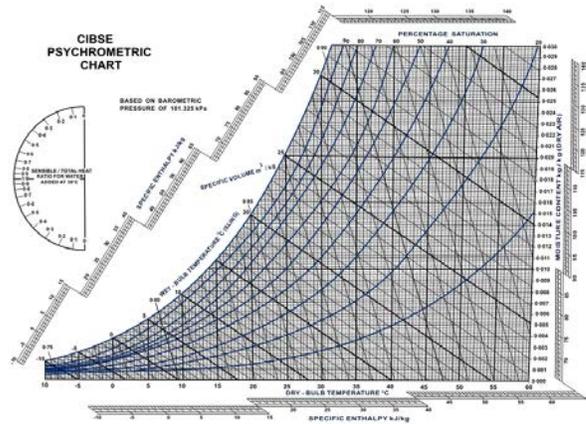
Pada eksperimen ini besarnya nilai *ratio humidity* didapatkan dari grafik *psychrometric chart* dengan membandingkan dua parameter lain yaitu *temperature dry bulb* dan *relatif humidity* udara. Data *temperature Dry bulb* dan *relative humidity* diukur pada udara yang keluar dari *chamber*.

Sebagai pembanding maka perlu dilakukan permabingan antara besarnya massa air pada udara dengan massa air yang dilepas dari batubara. Untuk membandingkan besarnya massa uap air ini maka dilakkukan proses penimbangan agar diketahui besarnya pengurangan massa dari batubara. Dari data penimbangan ini maka akan diketahui nilai *moisture content* untuk masing masing sampel pengeringan. *Moisture conten* sendiri dapat ditentukan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$MC(\%)_{wb} = \frac{mp_{basah} - mp_{kering}}{mp_{basah}} \times 100\%$$



Gambar. 5. a.) Sampel batubara, b.) Pengeringan sampel



Gambar. 6. Grafik *psychrometric*

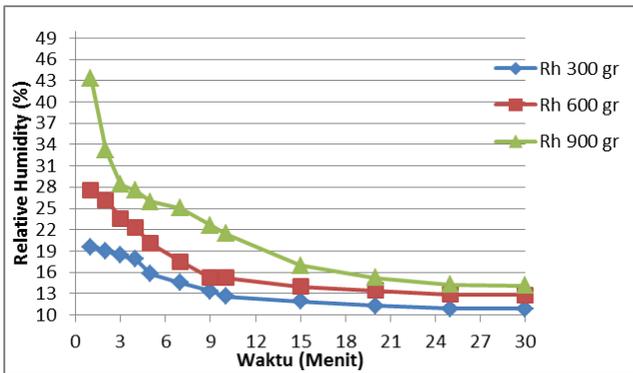


Gambar. 7. Penimbangan sampel.

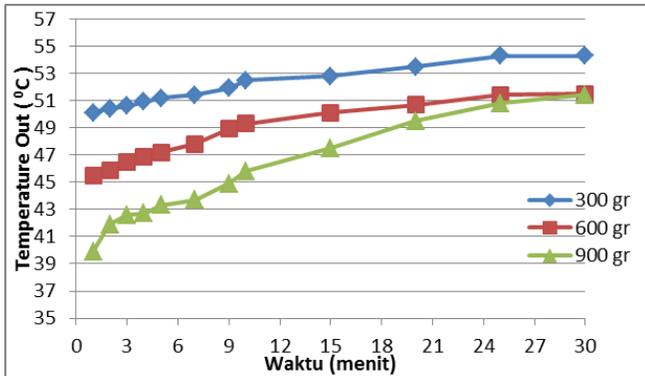
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Relative Humidity fungsi Waktu

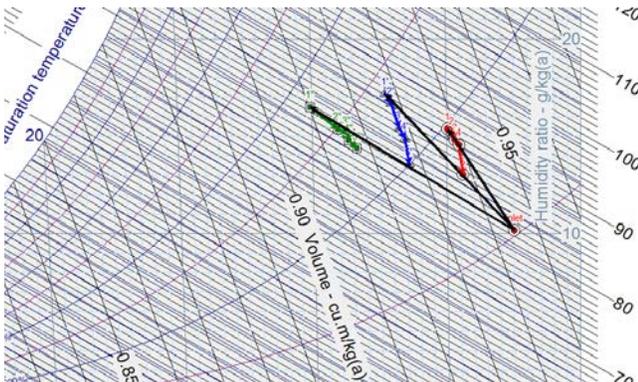
Relative humidity merupakan perbandingan antara mass uap air dengan massa uap air jenuh pada temperatur tertentu. Pada waktu 1 menit pertama proses pengeringan dengan beban pengeringan sebanyak 900 gr diperoleh *relative humidity* udara pengering keluar sebesar 43,35 %. Tingginya nilai *relative humidity* ini dikarenakan jumlah massa batubara yang tinggi. Banyaknya batubara menandakan kandungan uap air pada beban pengeringan banyak. Hal ini berbeda apabila dibandingkan dengan jumlah beban pengeringan yang lebih kecil yaitu 600 gr dan 300 gr. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada lima menit pertama terjadi penurunan *relative humidity* paling tajam. Sedangkan setelah lewat dari 10 menit perubahan *relative humidity* pada udara pengering relatif cukup kecil dan konstan. Dari fenomena ini dapat diketahui bahwa laju perpindahan massa paling cepat terjadi pada waktu 5 menit pertama. Kemudian diikuti perpindahan massa secara konstan mulai menit ke 10.



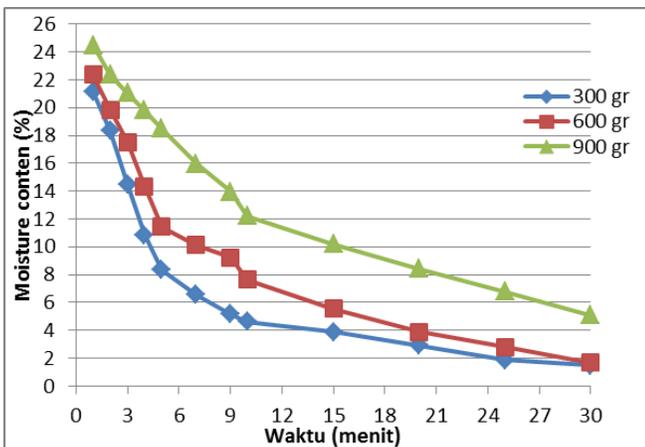
Gambar 8. Relative humidity fungsi waktu



Gambar 9. Temperatur dry bulb outlet fungsi waktu.



Gambar 10. Psychrometrik udara pengering.



Gambar 11. Grafik drying rate.

B. Temperature Dry Bulb Output Fungsi Waktu

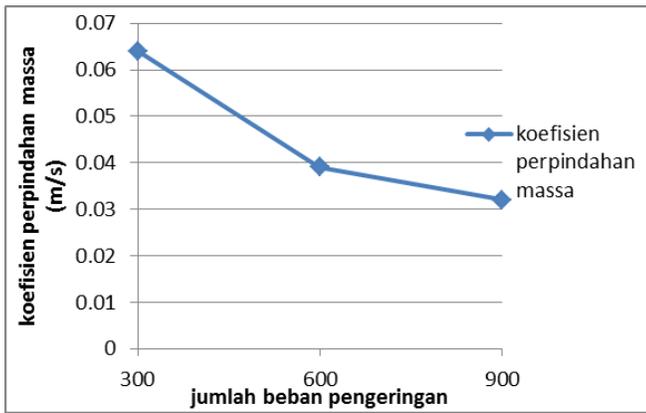
Pada Gambar 9 hubungan antara temperatur dan waktu dapat diamati bahwa untuk ketiga variasi beban pengeringan diatas terdapat perbedaan. Untuk beban pengeringan paling kecil yaitu 300 gr memiliki nilai temperatur keluaran paling tinggi apabila dibandingkan dengan beban pengeringan 600 gr dan 900 gr. Tinggi rendahnya temperatur keluaran dari chamber dipengaruhi oleh kadar air pada batubara. Hal ini menyebabkan temperatur yang diterima oleh batubara menjadi lebih banyak.

Penurunan temperatur pada udara pengering dikarena adanya transfer panas dari udara pengering dengan permukaan batubara. Berdasarkan dari perumusan dimana $q = m C_p (T_{\infty} - T_s)$. Nilai kalor pada permukaan batubara berbanding lurus dengan selisih temperatur permukaan batubara dengan temperatur udara pengering. Pada saat awal pengeringan kalor yang diterima oleh batubara cukup besar karena ada 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 yang meningkat ini maka kalor yang ditransferkan oleh udara pengering pada menit-menit berikutnya menjadi lebih sedikit. Hal ini menyebabkan temperatur outlet udara pengering pada awal pengeringan menjadi lebih rendah dan meningkat seiring waktu pengeringan.

C. Psychrometric Udara Pengering

Hubungan antara temperature dry bulb dan relative humidity udara pengering dapat diketahui melalui karakteristik campuran uap air pada udara. Untuk mengetahui campuran antara uap air dan udara dapat dilihat pada psychrometric chart. Dari psychrometric chart ini akan dapat diketahui beberapa parameter yang terkait dengan udara pengering seperti ratio humidity. Ratio Humidity merupakan perbandingan antara massa uap air dengan massa udara pengering. Apabila diplotkan hubungan antara temperatur dry bulb dan nilai relative humidity untuk interval waktu pengeringan pada masing-masing beban makan akan didapatkan grafik seperti Gambar .

Pada grafik psychrometric diatas diketahui bahwa untuk beban pengeringan 900 gr udara pengering memiliki trend yang lebih landai dibandingkan dibandingkan beban 600 gr dan 300 gr. Hal ini menandakan bahwa udara pengering yang masuk chamber mengalami proses pendinginan lebih besar. Rendahnya temperatur dry bulb saat keluar chamber pada beban 900gr dikarenakan massa air yang terkandung dalam beban 900 gr lebih banyak sehingga banyak kalor yang terserap oleh air. Sedangkan apabila dilihat dari ratio humiditinya beban pengeringan 900gr cenderung memiliki grafik yang lebih tinggi dari beban 600gr dan 300gr pada tiap menit. Hal ini berarti bahwa udara pengering yang keluar dari chamber saat pembebanan 900gr memiliki kandungan uap air paling tinggi. Tingginya uap air pada udara saat keluar chamber pada beban 900gr dikarenakan massa air yang terkandung dalam beban 900 gr lebih banyak, sehingga uap air yang terserap oleh udara pengering juga ikut meningkat.



Gambar. 12. Grafik Koefisien perpindahan massa fungsi beban.

D. Drying Rate Masing-Masing Beban Pengeringan

Grafik *drying rate* merupakan grafik *moisture content* fungsi waktu, dimana pada grafik ini menunjukkan perubahan *moisture* pada batubara tiap waktu tertentu. Pada Gambar 11 diatas menunjukkan grafik *drying rate* untuk ketiga variasi beban pengeringan yaitu 300 gr, 600 gr, dan 900 gr. Trend grafik diatas memperlihatkan terjadi penurunan yang signifikan pada perubahan *moisture content* pada batubara terhadap waktu pengeringan. Pada grafik jumlah batubara 300 gr mengalami penurunan *moisture content* terhadap waktu yang paling cepat, diikuti dengan temperatur 600 gr dan 900 gr. Pada lima menit pertama untuk masing-masing variasi beban pengeringan memperlihatkan penurunan *moisture* yang cukup signifikan. Akan tetapi setelah menit kesepuluh penurunan *moisture* pada batubara cenderung lebih kecil.

E. Koefisien Perpindahan Massa Fungsi Beban

Grafik 12 merupakan grafik hubungan antara koefisien perpindahan massa dengan variasi beban. Grafik 12 diatas menjukkan bahwa nilai koefisien perpindahan massa memiliki trend yang menurun terhadap varisasi beban pengeringan. Pada beban pengeringan paling kecil yaitu 300 gr memiliki nilai koefisien perpindahan massa paling besar yaitu sebesar $h_m = 0.064$ m/s. Nilai koefisien perpindahan massa paling kecil adalah pada beban 900 gr sebesar $h_m = 0.032$ m/s.

Dari persamaan laju perpindahan massa dimana nilai laju perpindahan massa:

$n_A = h_m \cdot A \cdot n \cdot (\rho_{c,s} - \rho_{a,in})$. Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa nilai laju perpindahan massa berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa. Sehingga semakin menurunnya koefisien perpindahan massa akan mengurangi laju perpindahan massa uap air pada batubara. Nilai koefisien perpindahan massa sendiri merupakan fungsi dari kecepatan bukan fungsi beban. Secara tidak langsung perubahan variasi beban pengeringan akan mempengaruhi nilai koefisien perpindahan massa.

IV. KESIMPULAN

Dari eksperimen yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan berdasarkan hasil pembahasan pembahasan yang telah dilakukan.

1. *Drying rate* untuk ketiga variasi beban didapatkan bahwa, pada 5 menit pertama memiliki proses pelepasan

- massa uap air paling besar yang ditandai dengan penurunan *moisture content* paling besar.
2. Semakin besar jumlah beban pengeringan maka temperatur *outlet* dari udara pengering akan semakin kecil. Temperatur paling rendah saat keluar dari *chamber* adalah sebesar 39.9°C untuk beban pengeringan 900 kg.
3. Nilai *Relative humidity* Udara pengering output dipengaruhi oleh jumlah beban pengeringan, Pada 5 menit pertama terjadi peruhanan *relative humidity* terbesar dimana untuk beban pengeringan 900 gr memiliki nilai *relatie humidity* terbesar pada menit pertama yaitu 43.3 %.
4. Ketika udara pengering melewati batubara, terjadi proses *cooling humidifying*, dimana *air heater* mengalami penurunan temperatur dan peningkatan kelembaban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Edward K. Levy dkk. *Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants Final Report* . 2011. Energy Research Center Lehigh University. Betlehem.
- [2] Bowen, Brian H., Irwin. 2008. *Coal Characteristics*. Purdue University. West Lafayette.
- [3] Incropera, Frank P., De Witt, David P. 2002. *Fundamental of Heat and Mass Transfer. 5th Edition*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- [4] Mohd Faizal Mohideen dkk. *Drying of Oil Palm Frond via Swirling Fluiization Technique*. 2011. Universiti Tun Hussein Onn. Malaysia.
- [5] Pita, Edward G., Jones, Jerold W. 1981. *Air Concitioning Principles and Systems energy Approach*. John Wiley & Sons Inc. New York.