

Studi Numerik

Pengaruh Variasi Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada *Fluidized Bed Coal Dryer* dengan *Tube Heater Tersusun Aligned*

Andi Kurniawan 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—Kebijakan pemerintah lewat rencana bauran energi nasional secara jelas memprioritaskan pemakaian batubara hingga 33% untuk pemenuhan kebutuhan energi nasional. Sebagian besar cadangan batubara Indonesia adalah batubara dengan kualitas rendah. Batubara kualitas rendah cenderung memiliki kandungan air yang besar sehingga kurang efektif dalam pemakaiannya sebagai bahan bakar. Penelitian terkait model pengeringan batubara khususnya *fluidized bed coal dryer* menjadi menarik untuk dilakukan sebagai upaya untuk membantu memecahkan masalah terkait energi batubara. Penelitian dilakukan dengan metode numerik berbasis komputasi (CFD). Pemilihan kondisi simulasi digunakan model turbulensi *k-ε* realizable dan skema interpolasi *first-order upwind*. Pemodelan perpindahan massa dilakukan dengan menggunakan model *species transport* dengan melakukan pengaturan *moisture content water* pada permukaan batubara. Pada penelitian ini divariasikan temperatur udara pengering, yaitu 316 K, 327 K, 339 K. Dari penelitian ini dapat diketahui karakteristik pengeringan pada ruang pengering batubara tipe *fluidized bed* dengan *tube heater tersusun aligned*. Hasil *post processing* kuantitatif menunjukkan peningkatan temperatur air heater diikuti dengan peningkatan koefisien perpindahan panas dan massa serta laju perpindahan massa. Pengurangan laju *moisture content* terbesar didapatkan pada temperature air heater 339K diikuti temperature 327K serta 316K. Konfigurasi *tube heater* secara *aligned* menimbulkan proses *heating* dengan *humidifikasi* yang ditandai dengan peningkatan temperatur dan *humidity ratio* serta nilai *relative humidity* udara di sekitar *tube heater* yang lebih rendah daripada batubara di sekitarnya.

Kata Kunci— *Aligned Tube Heater, CFD, Fluidized Bed Coal Dryer, Humidifikasi, Laju Pengeringan, Moisture Content*

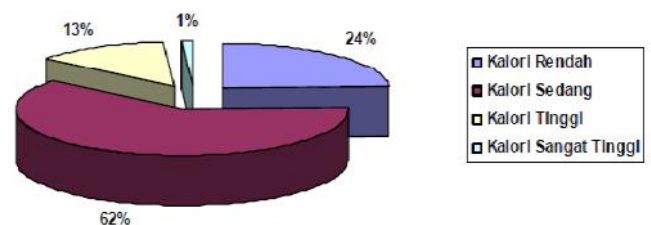
merupakan implikasi diberlakukannya beberapa regulasi pemerintah dalam upaya konversi pemakaian bahan bakar minyak menjadi bauran energi lainnya.

Kebijakan terkait pengaturan bauran energi nasional telah diatur oleh pemerintah dalam beberapa peraturan perundangan. Proporsi pemakaian batubara sebagai sumber energi dalam bauran energi nasional ditargetkan terus meningkat mencapai 33% di tahun 2025 [2]. Batubara dijadikan salah satu prioritas bauran energi yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi dan ketergantungan terhadap pemakaian minyak bumi. Prioritas pemakaian batubara sebagai sumber energi di masa yang akan datang didukung dengan adanya potensi batubara di Indonesia yang mencapai 21,13 miliar ton dari tingkat produksi sebesar 275 juta ton per tahun untuk tambang terbuka [3].

Kualitas batubara di Indonesia didominasi jenis batubara dengan kualitas menengah ke bawah. Sementara batubara dengan kualitas sangat baik dialokasikan untuk ekspor karena dinilai lebih menguntungkan dari sisi ekonomis. Batubara dengan kualitas kurang baik umumnya memiliki nilai kalor yang rendah akibat kandungan air yang cukup tinggi di dalamnya, sehingga dibutuhkan suatu teknologi pengolahan untuk meningkatkan kualitas batubara. Hal ini dikarenakan tingginya permintaan batubara di masa depan untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri.

I. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara yang memiliki potensi sumber daya alam melimpah. Batubara merupakan salah satu komoditi sumber daya alam yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan di Indonesia. Pada tahun 2010 produksi batubara Indonesia mencapai 325 juta ton [1]. Batubara merupakan bahan tambang strategis dalam penyediaan sumber energi suatu negara dikarenakan harga minyak dunia yang semakin tinggi. Produksi batubara Indonesia diperkirakan akan mengalami kenaikan di masa yang akan datang. Prediksi kenaikan produksi batubara di Indonesia



Gambar 1. Perbandingan jumlah batubara Indonesia [4]
Kualitas batubara Indonesia yang pada umumnya

didominasi oleh batubara peringkat rendah (lignit) yaitu sekitar (60-70)% dari total cadangan batubara [4]. Batubara kualitas rendah belum banyak dieksploitasi karena masih mengalami kendala dalam transportasi dan pemanfaatan. Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan air total cukup tinggi sehingga nilai kalor menjadi rendah. Oleh karena itu diperlukan teknologi khusus untuk memanfaatkan batubara peringkat rendah agar dapat digunakan sebagai pengganti batubara peringkat tinggi yang cadangannya sudah mulai menipis.

Berdasarkan kondisi tersebut teknologi peningkatan kualitas batubara rendah menjadi tuntutan untuk dapat diwujudkan keberadaannya. Penelitian terkait teknologi peningkatan kualitas batubara pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. (Suwono, 2000) [5] melakukan kajian terkait teknologi *Upgraded Brown Coal* (UBC) yang merupakan teknologi peningkatan kualitas batubara peringkat rendah melalui penurunan kadar air total yang dikembangkan oleh Kobe Steel Ltd di negara Jepang. Keuntungan teknologi *Upgraded Brown Coal* (UBC) adalah prosesnya yang berlangsung pada temperatur dan tekanan rendah. Untuk mencegah masuknya kembali air ke dalam batubara, maka dalam proses ditambahkan minyak residu untuk melapisi pori-pori pada partikel batubara.

Penelitian terkait dengan teknologi pengeringan batubara pernah dilakukan oleh Levy dkk (2006) [6]. Dalam penelitiannya yang berjudul "*Use Of Coal Drying To Reduce Waterconsumed In Pulverized Coal Power Plants*".

Dalam penelitiannya Levy dkk (2006) [6] merancang sebuah peralatan eksperimental untuk melakukan analisa pengeringan batubara. Pengujian alat eksperimen dilakukan dalam naungan Riset Energi Center Fluidized Bed Laboratory. Ruang pengeringan bertipe *fluidized bed* dengan diameter 6 inci. Udara pemanas dirancang mencapai suhu 150⁰ F dengan kecepatan mencapai 1.6 m/s.

Dari penelitian ini didapatkan hasil penelitian berupa pengaruh pemakaian sistem pengering batubara terhadap keuntungan yang didapatkan dari penghematan yang diciptakan dari proses pengeringan batubara. Kandungan air yang berada di dalam batubara dapat dikurangi dari proses pengeringan. Batubara akan memiliki nilai kalor yang lebih baik dengan berkurangnya kandungan air dalam batubara. Proses pembakaran dengan bahan bakar batubara dalam proses industri akan lebih baik ketika nilai kalor batubara naik. Pembakaran yang lebih efektif akan meningkatkan efisiensi anggaran suatu industri.

Berdasarkan beberapa penelitian dan fenomena aktual diatas, penelitian mengenai karakteristik teknologi *coal dryer* diperlukan sebagai upaya strategis pengembangan teknologi dalam peningkatan kualitas batubara untuk menghadapi tantangan krisis energi dunia.

Dalam karya tulis ilmiah ini akan dibahas karakteristik pengeringan pada ruang pengering batubara tipe *fluidized bed* dengan melakukan analisa secara numerik aliran 2 dimensi sepanjang ruangan pengering. Beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik pengeringan adalah tekanan

operasi ruang pengering, temperatur *tube heater*, temperatur *air heater* dan konfigurasi susunan *tube heater*. Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini, rumusan masalah yang akan dikaji antara lain :

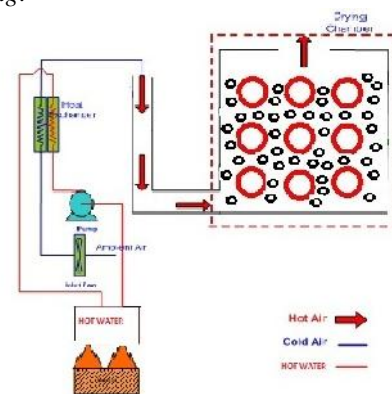
1. Pengaruh konfigurasi susunan *tube heater* yang tersusun secara *aligned* terhadap karakteristik laju pengeringan pada ruang pengering batubara tipe *fluidized bed* .
2. Pengaruh variasi temperatur *air heater* terhadap karakteristik laju pengeringan pada ruang pengering batubara tipe *fluidized bed*.

Pada penelitian ini akan digunakan metode numerik berbasis komputasi dengan melakukan simulasi pada model ruang pengering batubara tipe *fluidized bed*. Hasil simulasi berupa karakteristik aliran yang ditunjukkan dengan data kualitatif berupa kontur distribusi temperatur dan fraksi massa air dalam ruang pengering. Sedangkan data kuantitatif yang berkaitan dengan laju pengeringan adalah perubahan laju pengeringan dan kandungan air produk terhadap waktu.

Secara umum, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik pengeringan pada ruang pengering batubara tipe *fluidized bed* dengan *tube heater* tersusun *aligned*. Variasi temperature Air Heater serta konfigurasi tube heater akan dijadikan fokus utama dalam melakukan analisa karakteristik pengeringan batubara pada *fluidized bed coal dryer* dengan *tube heater* tersusun *aligned*

II. METODE PENELITIAN

Adanya keterbatasan dalam pengambilan data eksperimental serta tuntutan visualisasi dan analisa yang detail pada penelitian, maka dibutuhkan bantuan komputasi dalam metodologi penelitian ini. Pada penelitian ini digunakan metode numerik berbasis komputasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Pada metode numerik dibutuhkan tiga tahapan utama yang harus dilakukan, antara lain: *preprocessing*, *solving* atau *processing*, dan *postprocessing*.



Gambar 2. Skema sistem pengering *fluidized bed coal dryer* dengan *tube heater* tersusun *aligned* skala laboratorium

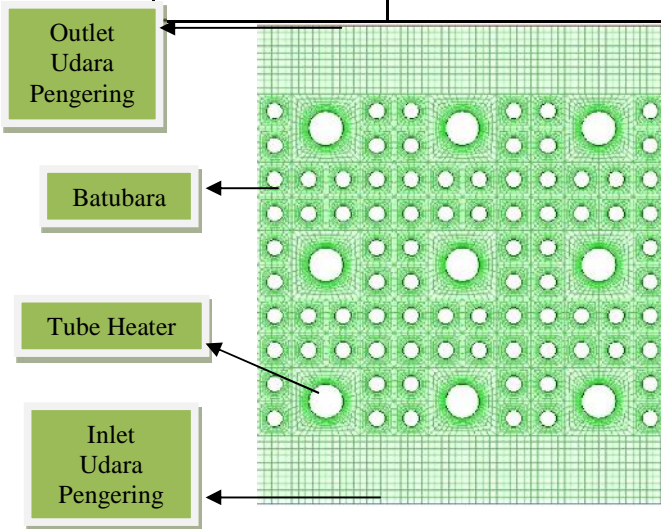
A. Tahap Preprocessing

Preprocessing dilakukan sebagai metode awal dalam penelitian untuk membangun dan menganalisa sebuah model

komputasi (CFD). Tahapan *Preprocessing* terdiri dari beberapa sub-tahapan antara lain: pembuatan geometri, penentuan domain, pembuatan *meshing* dan penentuan parameter-parameter yang digunakan. Geometri yang dibentuk dalam penelitian ini adalah geometri *coal drying chamber* disertai *tube heater* dengan susunan *aligned*. Pemodelan geometri dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis (CFD). Batubara sebagai objek proses pengeringan dimodelkan tersusun secara merata di sekitar *tube heater* yang berada di dalam *coal drying chamber*.

Tabel 1. Geometri Drying Chamber

Drying Chamber	
Parameter	Dimensi (inchi)
Diameter Bed	6
Diameter tube	0.5
Pitch Tube	2
Tinggi	7
Diameter Batubara	0.236



Gambar 3. Geometri 2D fluidized bed coal dryer

B. Tahap Processing

Pada tahapan Processing penelitian dilakukan dengan menggunakan *software berbasis (CFD)* yang terdiri dari tahapan dibawah ini.

• **Memilih Solver**

Pada saat membuka *software* berbasis (CFD) terdapat pilihan untuk menggunakan *solver* 2D/3D dengan keakuratan tunggal atau ganda (*single precision/double precision*). Secara umum, *solver single precision* cukup akurat untuk berbagai kasus sehingga dalam penelitian ini digunakan *solver single precision*.

• **Memilih Formulasi Solver**

Fluent menyediakan tiga formulasi *solver*, yaitu:

- Segregated
- Coupled Implisit
- Coupled Eksplisit

Formulasi *solver segregated* dan *coupled* mempunyai perbedaan pada cara penyelesaian persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. *Solver segregated* menyelesaikan persamaan tersebut secara bertahap (terpisah antara satu persamaan dengan persamaan yang lain), sementara *solver coupled* menyelesaikan semua persamaan tersebut secara bersamaan. *Solver coupled implisit* dan *eksplisit* sendiri mempunyai perbedaan pada cara melinierkan persamaan yang akan diselesaikan. Pada penelitian ini digunakan *solver segregated* untuk menyelesaikan persamaan yang ada.

• **Pemilihan Spesies**

Pada penelitian ini juga digunakan pemodelan spesies transport. Pemodelan Spesies transport digunakan untuk memodelkan kondisi perpindahan massa yang terjadi pada permukaan batubara yang mengandung fraksi massa air (H₂O).

Sementara itu untuk boundary condition lain nilai fraksi massa air (H₂O) juga diatur pada kondisi *Velocity Inlet*. Boundary Condition tube heater dan wall hanya diatur pada kondisi material dan temperturnya.

• **Pemilihan Turbulence Modelling**

Referensi penentuan Turbulence Modelling pada penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sarjono (2007)[7]. Pada penelitian terdahulu digunakan Turbulence modelling *realizable k-epsilon model*. Sehingga model turbulence ini digunakan sebagai acuan peneliti dalam pengambilan data.

• **Pemilihan Operating Condition**

Setelah melakukan pemilihan turbulence modeling, pengaturan operating condition menjadi penting untuk dilakukan pada proses selanjutnya. Kondisi operasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tekanan operasi pada saat fluidized bed dryer digunakan untuk mengeringkan batubara. Pada penelitian ini tekanan operasi yang digunakan adalah 101325 Pa.

• **Boundary Condition**

Dalam mendefinisikan suatu kasus, harus memasukkan informasi pada variabel aliran pada domain kasus tersebut. Data yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas yang digunakan. Dalam simulasi ini menggunakan batas kondisi sebagai berikut :

Tabel 2. Boundary condition drying chamber

Boundary Condition	Keterangan
Inlet	Tipe : Velocity Inlet Temperatur : 316 K, 327 K, 339 K Kecepatan : 14.42 m/s (arah sumbu-y)

¹ Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT (Firman Tuakia., 2008)

Outlet	Tipe : Outflow
Chamber Wall	Tipe : Wall
Wall Tube	Tipe : Wall Temperatur : 348 K
Coal	Tipe : Wall Temperatur : 301 K Fraksi massa : 0.22

Dalam simulasi ini akan divariasikan temperatur inlet sebesar 316 K, 327 K, dan 339 K. Dengan variasi tersebut, diharapkan dapat dilakukan analisa drying rate yang menunjukkan karakteristik sebuah proses pengeringan di dalam *drying chamber* pada *fluidized bed coal dryer* dengan *tube heater* yang tersusun secara *aligned*. Pada kondisi sebelum masuk *air heater*, udara yang disuplai menuju *drying chamber* dalam kondisi udara di wilayah Surabaya dengan temperature 27°C serta kelembaban relatif 73% dan moisture content 0.01659 Kg water / Kg air (BMKG Republik Indonesia).

Dalam penelitian mengenai karakteristik pengeringan pada *drying chamber* kecepatan minimum fluidisasi atau *minimum fluidization velocity* adalah faktor kecepatan yang penting untuk diketahui. Penelitian mengenai kecepatan minimum fluidisasi pernah dilakukan oleh Irhan Febrijanto [8] yang meneliti mengenai pengaruh diameter partikel dan gaya antar partikel terhadap kecepatan minimum fluidisasi. Berdasarkan penelitian yang ada, kecepatan fluidisasi minimum dapat dihitung dengan persamaan :

$$v = \frac{dp^2 (\rho_p - \rho_f) g}{1650 \pi}$$

$$v = \frac{(6 \times 10^{-3})^2 (1350 - 1.062) 9.8}{1650 (2 \times 10^{-5})}$$

$$v = 14.42 \text{ m/s (Kecepatan Fluidisasi Minimum)}$$

• **Intialize**

Initialize merupakan tebakan awal agar lebih memudahkan proses iterasi untuk mencapai kondisi konvergen.

• **Iterasi**

Iterasi adalah proses perhitungan yang berulang-ulang dari kondisi batas yang diberikan sampai konvergensi tercapai. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan kondisi batas dan persamaan-persamaan teoritis. Pada penelitian ini digunakan residual konvergensi 10⁻³ yang diambil berdasarkan penelitian serupa yang terdahulu.

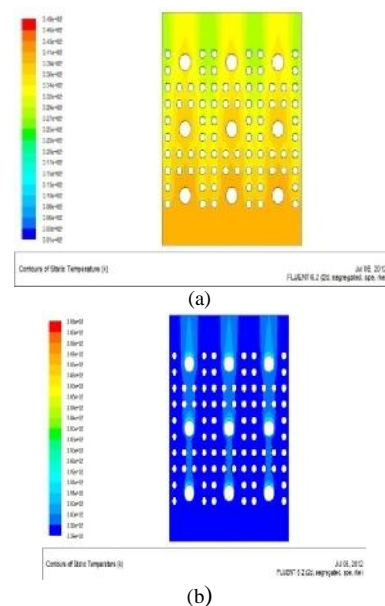
C. Tahap Postprocessing

Setelah solusi numerik didapatkan dapat dilihat data kualitatif berupa kontur temperatur dan kontur fraksi massa dalam *drying chamber fluidized bed coal dryer* dengan *tube heater* yang tersusun secara *aligned*. Data kualitatif yang diperoleh akan dianalisa untuk melihat karakteristik pengeringannya. Data kuantitatif didapatkan dengan melakukan ekstraksi data pada hasil simulasi. Pada penelitian ini data-data yang diperoleh berupa fraksi massa H₂O rata-rata temperatur, koefisien perpindahan panas rerata, koefisien difusi massa, konduktifitas panas fluida), massa jenis dan panas spesifik. Data-data tersebut diolah dengan software Microsoft Excel

2007 untuk mendapatkan laju pengeringan produk dan perubahan *moisture content* produk terhadap waktu.

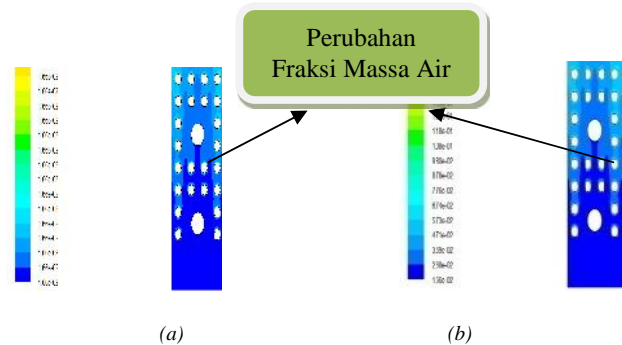
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini didapatkan data yang digunakan untuk menganalisa hasil penelitian secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa data secara kualitatif dilakukan dengan menampilkan kontur perbedaan temperatur dan fraksi massa air dalam chamber *fluidized bed coal dryer*. Sementara, untuk analisa data secara kuantitatif akan membahas mengenai perubahan koefisien perpindahan panas dan massa yang akan diikuti dengan perubahan laju fluks perpindahan massa serta kandungan air dalam batubara. Semua parameter kuantitatif akan dibahas berdasarkan fungsi waktu yang datanya didapatkan dari hasil simulasi penelitian



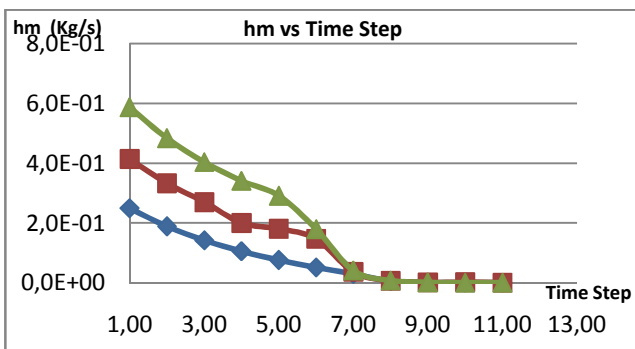
Gambar 4. Kontur temperatur *fluidized bed coal dryer* pada T inlet (339K) (a) Iterasi awal (b) Iterasi akhir

Berdasarkan kontur temperatur terlihat bahwa proses pengeringan uap air yang terkandung dalam batubara menyebabkan udara pengering mengalami penurunan temperatur. Hal ini disebabkan adanya penjuanan secara adiabatik udara pengeringan oleh uap air batubara. Proses penjuanan akan diikuti dengan pengurangan kandungan air dalam batubara dan turunnya temperatur *dry bulb*.



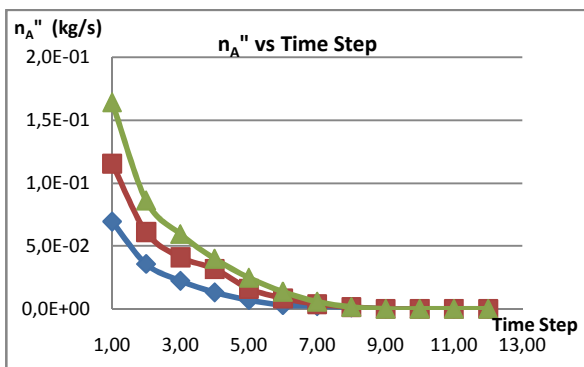
Gambar 5. Kontur fraksi massa air *fluidized bed coal dryer* pada T inlet (339K) (a) Iterasi awal (b) Iterasi akhir

Pada kontur fraksi massa air di sekitar tube heater pada fluidized bed coal dryer dengan temperatur inlet 339 K terjadi pengurangan kandungan air dalam udara pengering. Pengurangan kandungan air terjadi karena proses pengeringan oleh udara pengering yang terjadi secara kontinyu. Pengeringan secara kontinyu akan diikuti dengan berkurangnya kandungan air dalam batubara hingga sama dengan kandungan air pada udara sekitar batubara. Konsentrasi perpindahan massa terjadi pada daerah sekitar *tube heater*. Fenomena ini berlaku pada semua temperatur udara *air heater* yang divariasikan dalam penelitian ini. Konsentrasi perpindahan massa terjadi dikarenakan nilai *relatif humidity* udara sekitar tube heater yang lebih rendah dibandingkan batubara di sekitarnya. Oleh karena itu pada penelitian ini ditemukan fakta bahwa pada daerah sekitar tube heater terjadi proses *heating* disertai *humidifikasi*.



Gambar 6. Perubahan Koefisien Perpindahan Massa terhadap Waktu Pengeringan

Pada analisa data kuantitatif menunjukkan adanya perubahan koefisien perpindahan massa terhadap temperatur *air heater*. Pada temperatur tertinggi yakni 339K nilai koefisien perpindahan massa mencapai nilai tertinggi diikuti temperatur 327K dan 316K. Koefisien perpindahan massa dipengaruhi oleh temperatur *air heater*. Apabila temperatur *air heater* tinggi maka akan diikuti dengan perpindahan massa yang besar. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan konsentrasi massa air batubara dan air dalam udara pemanas yang besar. Oleh karena itu dengan nilai temperatur *air heater* yang tinggi akan dicapai koefisien perpindahan panas yang tinggi.



Gambar 7. Perubahan Fluks Perpindahan Massa terhadap Time Step

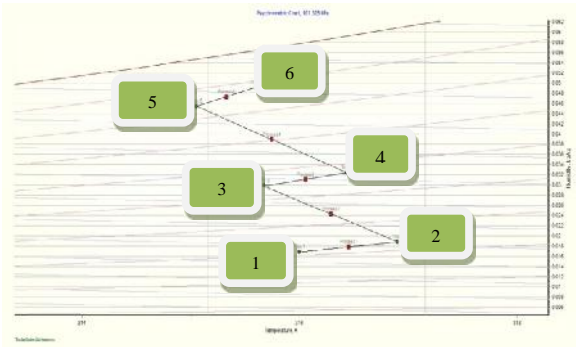
Trend grafik fluks perpindahan massa identik dengan grafik

koefisien perpindahan massa pada fluidized bed coal dryer. Secara teoritis koefisien perpindahan massa akan mempengaruhi nilai fluks perpindahan massa. Nilai koefisien perpindahan massa berbanding lurus dengan perpindahan massa sehingga ketika nilai perpindahan massa meningkat akan diikuti dengan peningkatan fluks perpindahan massa. Secara teoritis keterkaitan antara koefisien perpindahan massa terhadap fluks perpindahan massa dapat dijelaskan berdasarkan persamaan

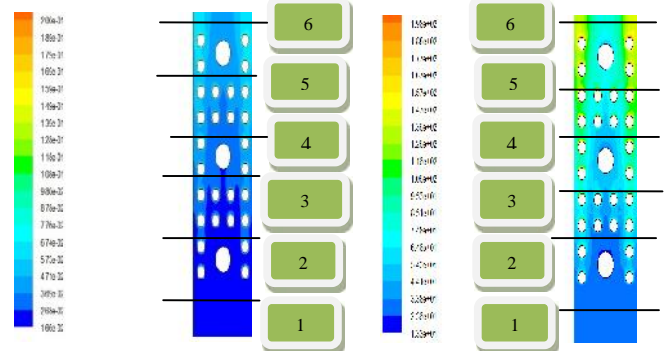
$$n_A'' = h_m \times (\rho_{H_2O,coal} - \rho_{H_2O,inlet})$$

Nilai fluks perpindahan massa terbesar didapatkan pada temperatur inlet 339 K diikuti dengan temperatur inlet 327 K dan 316 K. Nilai koefisien perpindahan massa terbesar dicapai saat temperatur inlet 339 K hal ini dikarenakan adanya perubahan panas yang besar karena selisih temperatur inlet terhadap temperatur batubara bernilai terbesar. Nilai *moisture content coal* juga akan mengalami penurunan yang besar seiring dengan proses perpindahan massa air yang terkandung dalam batubara menuju udara pengering. Perubahan fluks perpindahan massa pada percobaan ketiga hingga keenam terjadi secara linier.

Kondisi koefisien perpindahan massa yang konstan dapat dilihat pengaruhnya pada nilai fluks perpindahan massa yang konstan pada kondisi yang sama. Hal ini diakibatkan karena selisih temperatur inlet dengan temperatur batubara mulai berkurang. Temperatur batubara mulai mendekati temperatur inlet akibat proses pengeringan yang berjalan secara kontinyu. Pengeringan akan berhenti ketika nilai temperatur dan *moisture content* dari batubara mendekati udara pengering.



Gambar 9 Psychrometric Chart Temperatur Inlet 316 K



Gambar 10. Kontur di Daerah Sekitar Tube Heater Temperatur Inlet 316 K
(a)Kontur Moisture Content (b) Kontur Relative Humidity

Proses *psychrometry* pada daerah sekitar tube heater untuk temperature (316,327,339) K memiliki fenomena yang relatif sama.

1. **Proses I** :Proses ini ditandai dengan meningkatnya temperatur udara pengering yang diikuti dengan peningkatan nilai *humidity ratio* dalam udara pengering. (Garis1-Garis 2)
2. **Proses II** :Proses penyerapan moisture content batubara yang diikuti dengan naiknya nilai *humidity ratio* dan turunnya temperatur udara pengering. Proses perpindahan *moisture content* batubara ke udara pengering terjadi akibat *Relative Humidity* dari udara yang lebih kecil dibandingkan batubara. (Garis 2-Garis3)
3. **Proses III** :Proses peningkatan temperatur udara pengering dengan diikuti naiknya nilai *humidity ratio* dalam udara pengering akibat akumulasi *moisture content* batubara. (Garis 3- Garis4)
4. **Proses IV** : Proses penyerapan moisture content batubara yang diikuti dengan naiknya nilai *humidity ratio* dan turunnya temperatur udara pengering. Proses perpindahan *moisture content* batubara ke udara pengering terjadi akibat *Relative Humidity* dari udara yang lebih kecil dibandingkan batubara. (Garis 4-Garis5)
5. **Proses V** : Proses peningkatan temperatur udara pengering dengan diikuti naiknya nilai *humidity ratio* dalam udara pengering akibat akumulasi *moisture content* batubara. (Garis 5-Garis6)

Analisa kondisi udara di sekitar *tube heater* dengan menggunakan *psychrometric chart* menunjukkan adanya fenomena heating dengan humidifikasi. Proses heating, idealnya hanya meningkatkan temperatur udara dan menurunkan *relative humidity*. Pada hasil analisa penelitian dengan menggunakan *psychrometric chart* menunjukkan proses heating diikuti dengan humidifikasi. Hal ini dikarenakan adanya penambahan uap air (*moisture*) dari batubara yang berada di dekat batas sistem yang dianalisa data simulasi numeriknya, mengingat analisa didasarkan pada keseluruhan batubara yang berada dalam chamber dan semula dipandang sebagai sistem dalam *fluidized bed coal dryer*.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan pembahasan serta analisa data pada bab sebelumnya, maka dalam penelitian mengenai studi numerik pengaruh variasi temperatur *air heater* terhadap karakteristik pengeringan batubara dengan tube heater tersusun *aligned* pada temperatur 316K, 327K, 339K dapat diambil kesimpulan bahwa

1. Semakin tinggi temperatur *Air Heater* akan diikuti dengan peningkatan nilai koefisien perpindahan panas dan koefisien perpindahan massa. Pada penelitian ini laju perpindahan massa *Moisture Content* Batubara ke udara pengering mencapai nilai terbesar pada temperatur air heater 339K kemudian 327K dan 316K.

2. Proses *Heating* pada tube heater dengan susunan *aligned* mengakibatkan proses *heating* disertai humidifikasi yang ditandai dengan peningkatan temperatur udara di sekitar tube heater dan diikuti dengan peningkatan nilai *humidity rationya*. Proses *Heating* oleh *tube heater* dengan susunan *aligned* mengakibatkan penurunan *relative humidity* udara di sekitar *tube heater* dan bernilai lebih kecil dibandingkan nilai *relative humidity* batubara di sekitar *tube heater*. Peningkatan *humidity ratio* terjadi akibat konsentrasi perpindahan massa/ *moisture content* batubara di sekitar *tube heater*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Andi Kurniawan mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung hingga penulisan jurnal ilmiah ini. Ucapan terima kasih kepada Dr.Eng.Ir.Prabowo,M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis. Ucapan terima kasih pada kedua orang tua penulis dan segenap kolega yang senantiasa mendukung penulis. Terima kasih kepada yayasan Karya Salemba Empat dan Indofood yang telah menjadi donatur beasiswa selama penulis mengenyam pendidikan di ITS. Ucapan terima kasih dan hormat kepada semua dosen, karyawan dan mahasiswa Teknik Mesin ITS yang telah mengajarkan tentang hidup dan kemahasiswaan yang bermakna selama penulis berkuliah di ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. Jakarta, Indonesia, (2010).
- [2] Blueprint Pengelolaan Energi Nasional, Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006, Jakarta, Indonesia, (2006).
- [3] Kementrian Energi Sumber Daya Mineral. Jakarta, Indonesia, (2011).
- [4] Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Jakarta, Indonesia, (2011).
- [5] Suwono, Kajian teknologi Upgraded Brown Coal (UBC) sebagai teknologi peningkatan kualitas batubara peringkat rendah, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. Jakarta, Indonesia, (2005).
- [6] Edward K. Levy dkk. Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants Final Report . Energy Research Center Lehigh University, Betlehem, (2011).
- [7] Putro, Sarjono Asminto. Simulasi Numerik dan Analisa Performansi Di Ruang Pengering Dengan Variasi Kecepatan Udara Dan Porositas, ITS Surabaya, Indonesia, (2007).
- [8] Febrijanto, Irhan. Efek Gaya Antar Partikel Dan Diameter Partikel Terhadap Kecepatan Minimum Fluidisasi Badan Pengkajian Penerapan Teknologi Jakarta, Indonesia, (2010).