

# Studi Numerik

## Karakteristik Pengeringan Batubara pada Fluidized Bed Coal Dyer Terhadap Pengaruh Variasi Temperatur Air Heater dengan Tube Heater Tersusun Staggered dan Perbandingan Volume Chamber dan Volume Batubara Sebesar 50%

Ayu Sarah Novrizqa, dan Prabowo

Jurusan 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**— Indonesia mempunyai sumber daya batubara yang cukup besar dan sebagian besar sumber daya tersebut termasuk ke dalam batubara peringkat rendah berupa lignit dan sub-bituminus yang memiliki kadar air yang tinggi. Tingginya kadar air menyebabkan rendahnya nilai kalor, sehingga pemanfaatan batubara jenis ini menjadi terbatas dan sulit untuk dipasarkan. Oleh karena itu perlu adanya teknologi pengeringan yang dapat meningkatkan nilai kalor dari batubara tersebut. Dalam proses pengeringan akan melibatkan perpindahan panas dan massa. Proses ini akan didefinisikan dalam suatu studi numerik, dimana penelitian ini dilakukan dengan metode numerik dengan *software Fluent 6.3.26*. Pemilihan kondisi simulasi digunakan model turbulensi  $k-\epsilon$  realizable dan skema interpolasi first-order upwind. Serta mempelajari pengaruh temperatur inlet udara pengering yang divariasikan. Variasi temperatur adalah 316 K, 327 K, 339 K. Dari penelitian ini dapat diketahui nilai drying rate serta pengaruh temperatur dan posisi batubara dalam proses pengeringan pada drying chamber fluidized bed coal dryer dengan tube heater tersusun staggered serta pengaruh dari perbandingan volume batubara dengan volume chamber sebesar 50%. Moisture content batubara yang paling banyak berkurang dialami oleh temperature outlet terbesar yaitu 339 K dari 0,22 hingga 0,0167. Laju pengeringan yang memiliki waktu paling cepat yaitu pada temperatur 339 K, sekitar 1100 detik, sedangkan yang memiliki waktu paling lama yaitu pada temperatur 316 K, sekitar 4600 detik.

**Kata Kunci**— Fluidized Bed Coal Dryer, Staggered Tube Heater, Moisture content, CFD, Pemodelan 2D

### I. PENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya perkembangan ekonomi, pencarian terhadap suatu sistem energi yang ramah lingkungan dan efisien mengharuskan kita untuk melihat sumber energi lain selain minyak dan gas bumi. Penggunaan batubara sebagai sumber energi utama juga semakin hari semakin meningkat di beberapa negara terutama sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik, industri semen, dan industri-industri lainnya. Sesuai dengan kebijaksanaan pemerintah tentang penganekaragaman atau diversifikasi energi, batubara merupakan alternatif energi pengganti minyak bumi dan gas untuk masa kini maupun masa-masa mendatang.

Indonesia mempunyai sumber daya batubara yang cukup besar, yaitu mencapai 105,7 milyar ton. Sebagian besar sumber daya tersebut termasuk ke dalam batubara peringkat rendah berupa lignit dan sub-bituminus. Tingginya kadar air menyebabkan rendahnya nilai kalor, sehingga pemanfaatan batubara jenis ini menjadi terbatas dan sulit untuk dipasarkan

Pada tahun 2011, total produksi batubara di Indonesia meningkat mencapai 353.387.341 ton. Sebelumnya pada tahun 2010, total produksi sebesar 275.164.196 ton.

Tabel 1. Persebaran produksi batubara Indonesia tahun 2004-2012 [1]

Tahun	Produksi	Ekspor	Impor	Ton
				Dalam Negeri
2004	132.352.025	93.758.806	97.183	36.081.734
2005	152.722.438	110.789.700	98.179	41.350.736
2006	193.761.311	143.632.865	110.683	48.995.069
2007	216.946.699	163.000.000	67.534	61.470.000
2008	240.249.968	191.430.218	106.931	53.473.252
2009	256.181.000	198.366.000	68.804	56.295.000
2010	275.164.196	208.000.000	55.230	67.000.000
2011	353.387.341	272.671.351	42.449	79.557.800
2012*	76.816.644	50.262.819		24.690.385

Sumber : Direktorat Jenderal Mineral Batubara, Diolah Pusdatin  
\* Sementara

Batubara umumnya dibagi dalam lima kelas antara lain; antrasit, bituminus, sub-bituminus, lignit dan gambut. [2]

- Antrasit** adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan metalik, mengandung antara 85% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 15%.
- Bituminus** mengandung 45 - 85% unsur karbon (C) dan berkadar air 2-15% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
- Sub-bituminus** mengandung sedikit karbon dan banyak air, oleh karena itu nilai kalornya kurang efisien jika dibandingkan dengan batubara bituminus.
- Lignit** atau batu bara coklat adalah atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 30-60% dari beratnya .

Kualitas batubara Indonesia yang pada umumnya didominasi oleh batubara peringkat rendah (lignit) yaitu sekitar 60-70% dari total cadangan batubara [3]. Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan air total cukup tinggi sehingga nilai kalor menjadi rendah.

Tabel 2. Komposisi Elemen dari Berbagai Tipe Batubara[4]

% weight	Anthracite	Bituminous	Sub-Bituminous	Lignite
Heat Content (Btu/lb)	13,000-15,000	11,000-15,000	8,500-13,000	4,000-8,300
Moisture	< 15%	2 - 15%	10 - 45%	30 - 60%
Fixed Carbon	85 - 98%	45 - 85%	35 - 45%	25 - 35%
Ash	10 - 20%	3 - 12%	≤ 10%	10 - 50%
Sulfur	0.6 - 0.8%	0.7 - 4.0%	< 2%	0.4 - 1.0%

Dengan melihat kualitas batubara di Indonesia yang didominasi jenis batubara dengan kualitas menengah ke bawah, diperlukan teknologi khusus untuk memanfaatkan batubara peringkat rendah agar dapat digunakan sebagai pengganti batubara peringkat tinggi yang cadangannya sudah mulai menipis. Teknologi ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya waktu untuk laju pengeringannya cepat, dapat digunakan pada sistem kontinyu, dan sesuai untuk material yang berbentuk granular, seperti batubara.

**Konsep Perpindahan Panas dan Massa**

Pada proses pengeringan, terjadi perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering, yang terbagi menjadi dua tahap, yaitu perpindahan massa uap air dari dalam ke permukaan batubara dan perpindahan massa uap air dari permukaan batubara ke udara pengering.

- *Perpindahan massa uap air dari permukaan batubara ke udara pengering*

Proses ini berlangsung secara konveksi karena adanya aliran udara pengering yang melewati permukaan batubara.

$$N''_A = h_m \cdot (C_{A,s} - C_{A,\infty})$$

$$n''_A = h_m \cdot (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty})$$

dimana:

$h_m$  = koefisien konveksi, ( $m/s$ )

$C_{A,s}$  = konsentrasi uap air

di permukaan material, ( $kg\ mol/m^3$ )

$C_{A,\infty}$  = konsentrasi uap air

di medium pengering, ( $kg\ mol/m^3$ )

$\rho_{A,s}$  = rapat massa uap air

di permukaan material, ( $kg/m^3$ )

$\rho_{A,\infty}$  = rapat massa uap air

di medium pengering, ( $kg/m^3$ )

Proses ini berlangsung secara simultan antara perpindahan massa dan perpindahan panas. Pada kondisi *steady*, panas yang berpindah digunakan untuk menguapkan air dari batubara menjadi uap air.

$$q'' = h \cdot (T_s - T_\infty)$$

$q''$  = fluks kalor, ( $W/m^2$ )

$h$  = koefisien konveksi, ( $W/m^2 \cdot K$ )

$T_s$  = temperatur permukaan material, ( $K$ )

$T_\infty$  = temperatur infinity, ( $K$ )

**Konsep Psikometrik**

Psikrometrik merupakan kajian tentang sifat-sifat campuran udara dengan uap air, yang mempunyai arti penting dalam proses pengeringan, karena udara pada atmosfer tidak kering tetapi mengandung sejumlah uap air [5].

**Kelembaban Relatif**

Didefinisikan sebagai perbandingan fraksi molekul uap air di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan yang sama. Atau perbandingan antara tekanan uap air parsial dengan tekanan jenuh air murni pada suhu yang sama.

$$\theta = \frac{p_s}{p}$$

dimana:

$\theta$  = kelembaban relatif

$p_s$  = tekanan uap air parsial, ( $kPa$ )

$p$  = tekanan jenuh air murni pada suhu sama, ( $kPa$ )

**Rasio Kelembaban**

Merupakan berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering.

$$W = \frac{m_{uap\ air}}{m_{udara\ kering}}$$

dimana:

$W$  = rasio kelembaban

$m_{uap\ air}$  = massa uap air, ( $kg$ )

$m_{udara\ kering}$  = massa udara kering, ( $kg$ )

**Fraksi Massa**

Merupakan perbandingan antara massa uap air yang terkandung di dalam udara dengan massa uap air tersebut ditambah dengan massa udara itu sendiri.

$$Y = \frac{m_{uap\ air}}{m_{uap\ air} + m_{udara\ kering}}$$

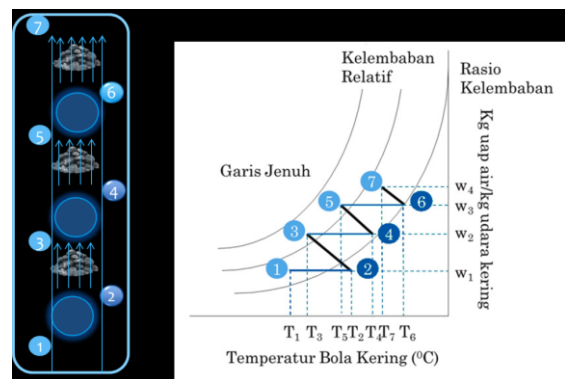
dimana:

$Y$  = fraksi massa

$m_{uap\ air}$  = massa uap air, ( $kg$ )

$m_{udara\ kering}$  = massa udara kering, ( $kg$ )

Pada gambar dibawah ditunjukkan Diagram Psikrometri yang menunjukkan proses pengeringan pada  $T_{wb}$  konstan.



Gambar 1. Proses-proses di dalam diagram Psikrometrik

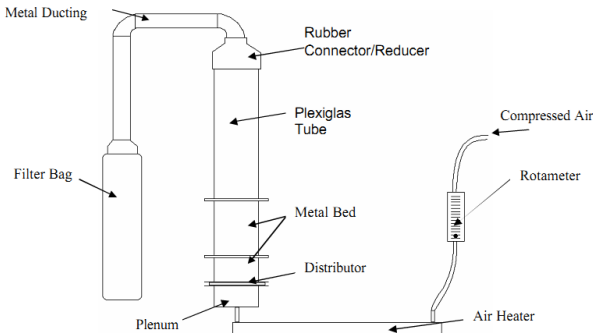
Titik 2-3 menunjukkan udara ketika memasuki ruangan pengeringan dan berinteraksi dengan lapisan batubara. Di antara titik 2 dan 3, udara menyerap air dari lapisan batubara pada temperatur wet bulb ( $T_{wb}$ ) konstan, sehingga terjadi penurunan temperatur bola kering dan terjadi kenabatubara rasio kelembaban, kelembaban relatif, tekanan parsial uap air dan suhu titik embun.

Pada diagram Psikometrik, dikenal 8 proses yang dialami oleh udara, yaitu:

- Proses pemanasan (Heating).
- Proses pendinginan (Cooling).
- Proses pelembaban (Humidifying).
- Proses penurunan kelembaban (Dehumidifying).
- Proses pemanasan dan pelembaban (Heating and humidifying).
- Proses pemanasan dan penurunan kelembaban (Heating and dehumidifying).
- Proses pendinginan dan pelembaban (Cooling and humidifying).

- Proses pendinginan dan penurunan kelembaban (Cooling and dehumidifying).

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.



Gambar 2. Skema Alat Ekperimental Penelitian

Dalam penelitiannya, Levy dkk pada tahun 2006 merancang sebuah peralatan eksperimental untuk melakukan analisa pengeringan batubara [6]. Pengujian alat eksperimen dilakukan dalam naungan Riset Energi Center Fluidized Bed Laboratory. 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.

Udara dan batubara dilewatkan melalui sebuah kotak penyaring sebelum udara dikeluarkan dari apparatus. Udara yang telah dikompresi dialirkan melalui rotameter dan menjadi udara pemanas sebelum memasuki plenum. Dioperasikan pada kecepatan udara 1,6 m/s pada diameter bed 0,152 m (6 in) yang dipanaskan secara elektrik, udara pemanas dapat mencapai keadaan tunak temperatur maksimal 66° C (150° F). Pada percobaan yang dilakukan, diketahui hubungan antara moisture content dengan waktu. Dilakukan 6 kali pengujian yang berbeda tingkat temperatur dan kecepatan udaranya. Semua grafik memperlihatkan karakteristik pengeringan dengan constant slope yang sama, diikuti dengan pengurangan laju pengeringan

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.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan berbasis pada penelitian Edward K. Levy (2006) yang menggunakan tipe pengeringan dengan fluidized bed dryer. Pada penelitian ini, dilakukan 3 variasi temperatur udara pengering yakni sebesar 316 K, 327 K, dan 339 K. Pada simulasi numerik ini terbagi menjadi 3 tahapan, yakni Pre Processing, Processing, dan Post Processing.

1) Pre Processing

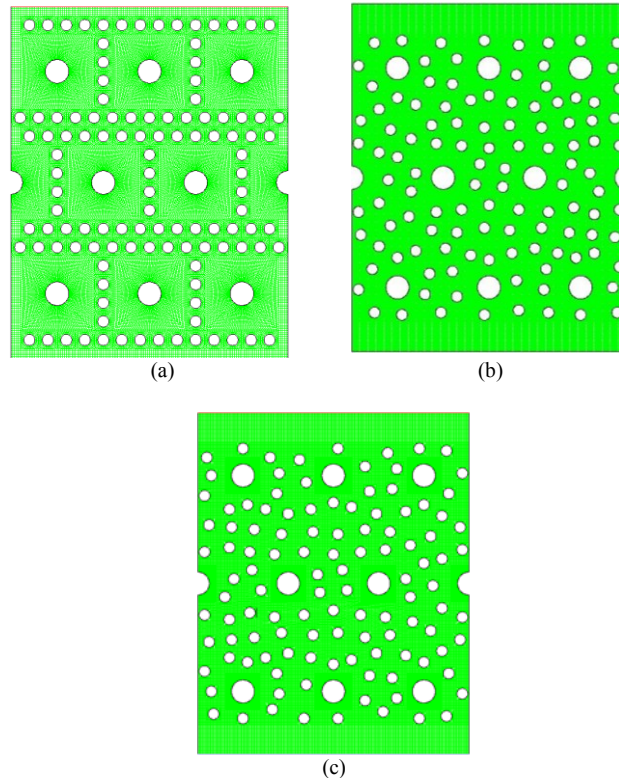
Proses ini merupakan proses awal pemodelan dalam penelitian untuk membuat model yang akan dikomputasi secara numerik. Tahapan dari pre processing terdiri dari

beberapa langkah, yaitu pembuatan geometri, pembuatan meshing, dan penentuan boundary conditions. Pada tahapan ini, digunakan software GAMBIT versi 2.3.6. Model yang dibuat adalah drying chamber, dimana didalamnya terisi batubara yang berjumlah 114 dan terdapat tube heater yang berjumlah 9 tersusun secara staggered.

Tabel 3. Geometri drying chamber

Drying Chamber	
Parameter	Dimensi (inchi)
Diameter Bed	6
Diameter tube	0.5
Pitch Tube	2
Tinggi	7
Diameter Batubara	0.236
Jumlah Batubara	114

Untuk menggambarkan bahwa batubara tersusun merata, maka dibuat 3 susunan batubara dengan letak batubara yang berbeda-beda.



Gambar 4. Susunan batubara (a) Susunan 1 (b) Susunan 2 (c) Susunan 3

Selanjutnya adalah proses meshing dimana model alat yang telah dibuat, dibagi menjadi sel-sel kecil sesuai batas dan parameter yang telah ditentukan. Bentuk mesh yang dipilih adalah quadrilateral map yang memiliki nilai paling signifikan. Setelah melakukan meshing, geometri model disimpan dan diexport ke bentuk format .msh. [7]

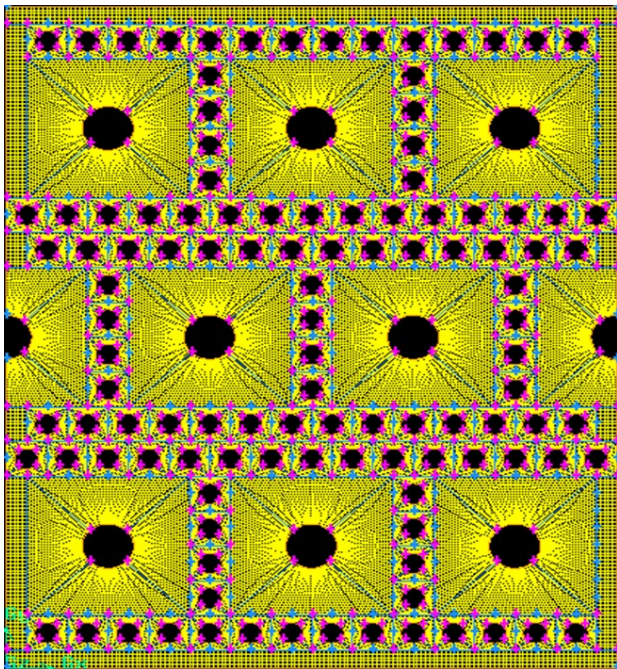
Setelah dilakukan meshing, dilakukan penentuan boundary conditions pada model alat. Boundary conditions digunakan untuk mendefinisikan bagian-bagian dari



geometri model untuk pembacaan pada saat *running* di *Fluent*.

Tabel 4. *Boundary conditions*

Boundary Condition	Keterangan
Inlet	Tipe : Velocity Inlet Temperatur : 316 K, 327 K, 339 K Fraksi massa : 0.01659 Kecepatan : 16,187 m/s (arah sumbu-y)
Outlet	Tipe : Outflow
Wall	Tipe : Wall
Wall Tube	Tipe : Wall Temperatur : 348 K
Coal	Tipe : Wall Temperatur : 301 K Fraksi massa : 0.22



Gambar 5. Meshing geometri *drying chamber* susunan 1

2) *Processing*

Proses ini merupakan kelanjutan dari *Pre Processing*, dimana geometri telah siap untuk *running*. Pada tahapan ini digunakan *software Fluent* versi 6.3.26. Pada awal membuka *Fluent*, terdapat pilihan untuk menggunakan *solver 2D* sesuai batasan masalah.

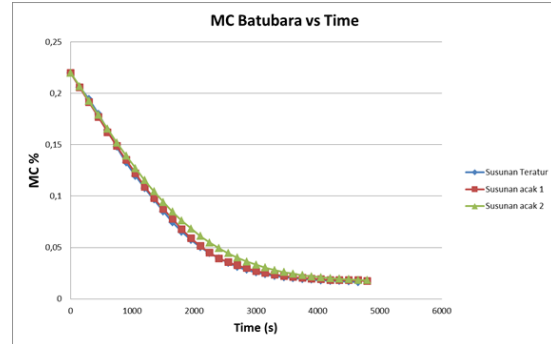
3) *Post Processing*

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 *staggered*. 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 H<sub>2</sub>O rata-rata ( $\bar{Y}$ ), temperatur ( $T$ ), koefisien perpindahan panas rerata ( $\bar{h}$ ), koefisien difusi massa ( $D_{AB}$ ), konduktifitas panas fluida ( $k$ ), massa jenis ( $\rho$ ) dan panas spesifik ( $C_p$ ). Data-data ini diolah dengan *software Microsoft Excel 2010* untuk mendapatkan laju pengeringan produk dan perubahan *moisture content* produk terhadap waktu.

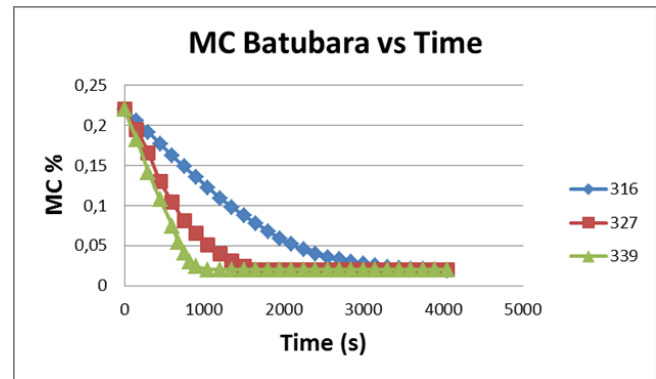
III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data-data yang telah didapatkan dari *software FLUENT*, selanjutnya diolah untuk mendapatkan laju pengeringan dan waktu pengeringannya. Lalu digambarkan dalam grafik *drying rate*. Untuk ketiga susunan batubara didapatkan hasil bahwa ketiganya tidak memiliki perbedaan yang signifikan, terlihat dari grafik di bawah ini.



Gambar 6. Grafik *Drying Rate* Variasi Temperatur 316 K

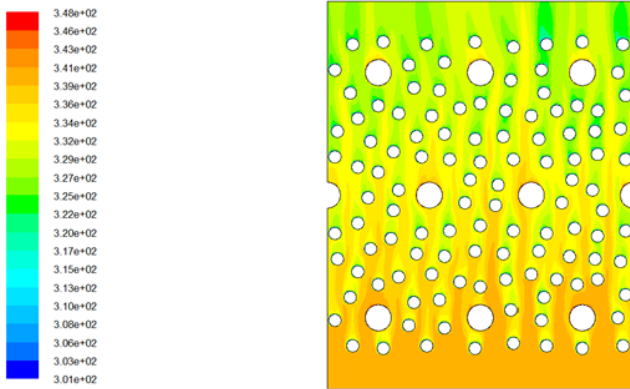
Grafik diatas merupakan grafik laju pengeringan antara ketiga susunan batubara pada variasi temperatur udara pengering 316 K. Tampak bahwa trendline dan karakteristik dari laju pengurangan *moisture content* dari ketiga susunan tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga untuk pembahasan selanjutnya digunakan susunan 2 untuk mewakili susunan lainnya.



Grafik 7. *Drying Rate* Susunan 2

Nilai *moisture content* mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pengeringan atau dapat dikatakan bahwa nilai *moisture content* berbanding terbalik dengan waktu pengeringan. Pada variasi temperatur udara pengering 316 K, memiliki waktu pengeringan yang paling lama mencapai 4600 detik dengan pengurangan *moisture content* yang paling sedikit hanya mencapai 10,9%, diikuti variasi temperatur udara pengering 327 K sebesar 2000 detik dengan penurunan *moisture content* hingga 1,7%, dan variasi temperatur udara pengering 339 K memiliki waktu pengeringan yang paling cepat, yakni 1100 detik dengan penurunan *moisture content* terbanyak mencapai 1,6%.

Sehingga seiring berjalannya waktu maka semakin besar perubahan *moisture content* yang terjadi pada batubara. Penurunan *moisture content* akan berhenti pada saat udara pengering tidak dapat mengambil kadar air dari batubara tersebut.



Gambar 8. Kontur temperatur variasi Temperatur 339 K

Pada kontur temperatur dari inlet 339 K memiliki persebaran temperatur yang paling tinggi dibandingkan kontur temperatur dari temperatur inlet lainnya. Hal tersebut terjadi pada seluruh kontur temperatur pada temperatur inlet 339 K di semua variasi susunan batubara. Terlihat dari gambar di sekitar *tube heater* udara pengering tampak memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada udara pengering sekitarnya. Kontur pada bagian batubara terjadi perbedaan temperatur yang sangat kecil sekali.

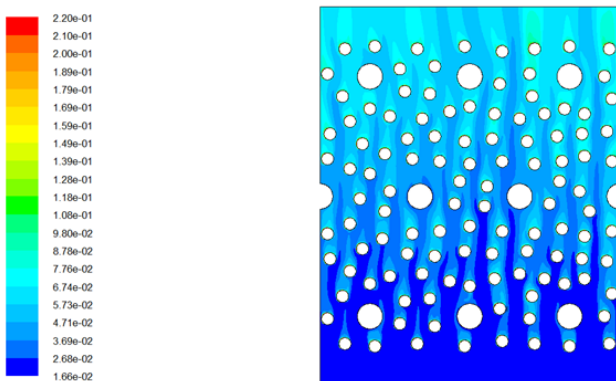
Sesuai dengan perumusan,

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$q = h \cdot A \cdot (T_{a,in} - T_c)$$

Tentunya nilai  $q$  bertambah besar karena nilai  $\Delta T$  semakin besar. Pada proses iterasi terakhir memiliki nilai  $\Delta T$  yang paling rendah, sehingga terjadi perpindahan panas kecil. Maka nilai koefisien perpindahan panas secara konveksi ( $h$ ), semakin besar

Pada sisi *inlet*, perbedaan temperatur antara udara pengering dengan temperatur *coal* sangat besar, sedangkan pada sisi *outlet*, perbedaan temperatur antara keduanya tidaklah terlalu besar. Dibandingkan dengan variasi temperatur udara pengering 316 K dan 327 K, variasi temperatur udara pengering 339 K memberikan nilai perpindahan panas yang lebih besar, karena perbedaan temperatur antara udara pengering 339 K dan *batubara* yang lebih besar.



Gambar 9. Kontur fraksi massa variasi Temperatur 339 K

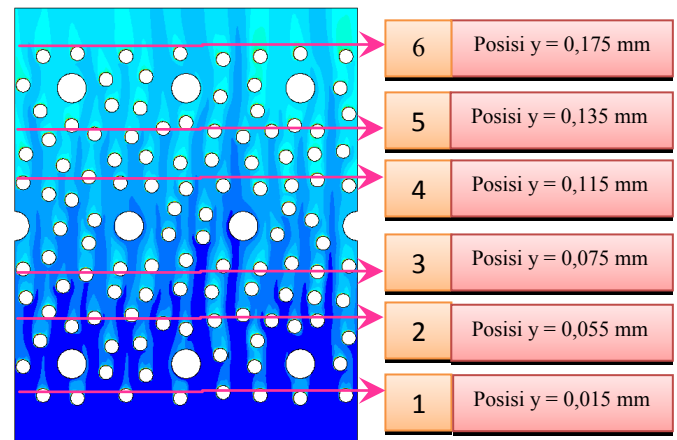
Pada sisi outlet pada kontur fraksi massa H<sub>2</sub>O tersebut menunjukkan kandungan air pada udara pengering yang lebih tinggi dibandingkan daerah sisi inlet. Hal ini disebabkan karena kandungan air di dalam batubara telah terbawa oleh udara pengering menuju ke sisi outlet sehingga semakin ke bagian atas chamber kandungan airnya akan semakin banyak.

Pada proses pengeringan ini juga terjadi proses penurunan *moisture content* pada batubara, dimana udara pengering membawa kadar air pada batubara. Kadar air dalam udara

akan naik sesaat setelah melewati dinding batubara. Perubahan moisture content adalah penurunan kadar air pada permukaan batubara dikarenakan aliran udara yang membawa kadar air tersebut. Hal tersebut terjadi pada seluruh kontur fraksi massa H<sub>2</sub>O pada temperatur inlet 339 K di semua variasi susunan batubara. Sehingga susunan peletakan batubara tidak mempengaruhi kontur fraksi massa H<sub>2</sub>O udara pengering di dalam ruang pengering.

Proses udara pengering ketika melewati *drying chamber* dapat digambarkan dalam diagram psikometrik. Dalam mengolah psychometric chart digunakan software psychart 1.1.6.0. Data yang digunakan sebagai input dalam psychometric chart didapatkan dari hasil running dalam software Fluent 6.3.26 dari pemodelan susunan batubara acak 1 yang kemudian diperoleh dari beberapa titik di sepanjang Drying Chamber.

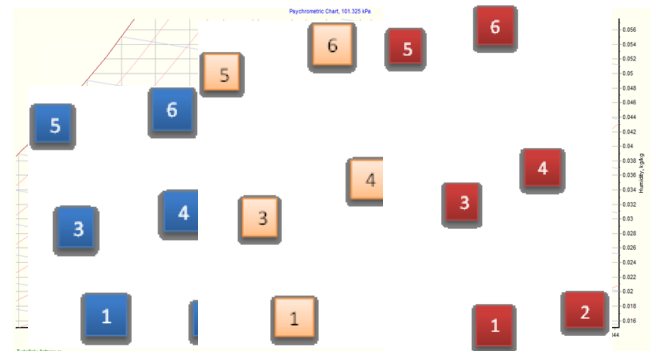
Berikut adalah posisi titik pengambilan data pada ruang pengering batubara.



Gambar 10. Posisi pengambilan data input untuk *psychometric chart*

Tabel 5. Data hasil *iso-surface drying chamber*

No	316 K		327 K		339 K	
	T (K)	RH (%)	T (K)	RH (%)	T (K)	RH (%)
1	315,83	31,6	326,87	18,3	338,87	10,4
2	318,12	28,4	329,05	17,1	340,05	10,6
3	314,5	55,1	325,3	35,2	336,76	22,1
4	316,89	50,4	327,26	33,7	338,21	21,6
5	313,31	80,9	323,42	56,9	333,89	38,4
6	316,08	73,3	325,54	54	335,48	37,3
7	315,83	31,6	326,87	18,3	338,87	10,4
8	318,12	28,4	329,05	17,1	340,05	10,6



Gambar 11. Diagram psikometrik udara pengering

Gambar di atas merupakan diagram Psikrometrik dari udara pengering, pada masing-masing variasi temperatur. Proses 1-2 merupakan proses *cooling* dan *humidifying*, yaitu udara pengering selain melewati *tube heater* juga melewati batubara, yang menyebabkan turunnya temperatur namun

kelembaban meningkat. Proses ini terjadi juga pada proses 7-8. Sedangkan proses 2-3 adalah proses ketika udara pengering melewati *tube heater* dan beberapa batubara, sehingga terjadi proses *heating humidifying*, yaitu udara pengering mengalami pemanasan dan peningkatan kelembaban. Proses ini terjadi pula pada proses 4-5 dan proses 6-7. Proses 3-4 merupakan proses dimana udara pengering menyerap fraksi massa air pada batubara sehingga temperaturnya turun dan kelembabannya meningkat, atau disebut juga proses *cooling humidifying*. Proses ini hampir sama seperti proses 1-2 namun yang membedakannya adalah proses 3-4 telah mengalami pemanasan oleh *tube heater* dan jumlah batubara yang diserap lebih banyak. Proses ini terjadi pula pada proses 5-6.

Dari hasil analisa psychrometric chart terdapat fenomena yang terjadi pada proses *heating* hasil pemanasan *tube heater*. Pada umumnya proses *heating* tidak diikuti dengan proses peningkatan *humidity ratio*, akan tetapi dalam penelitian ini didapatkan fakta bahwa terjadi peningkatan *humidity ratio* akibat akumulasi dari *moisture content* batubara di sekitar *tube heater*.

Nilai massa jenis berbanding terbalik dengan temperatur. Semakin besar temperatur udara pengering, maka semakin rendah massa jenisnya. Nilai massa jenis udara yang rendah membuat selisihnya dengan massa jenis *coal* semakin besar. Temperatur *air heater* 339 K memberikan nilai massa jenis udara yang rendah tapi selisih massa jenis *coal* dengan udara akan besar, sehingga memberikan laju perpindahan massa yang besar. Dengan kata lain, temperatur *air heater* 339 K memiliki laju perpindahan panas sekaligus laju perpindahan massa yang paling besar. Sebaliknya, temperatur *air heater* 316 K memiliki laju perpindahan panas dan massa yang paling rendah.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan, maka dalam penelitian studi numerik ini, diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Posisi peletakan batubara pada ruang pengering tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap laju pengeringan batubara, hal ini terlihat dari perbandingan kontur temperature, kontur fraksi massa H<sub>2</sub>O, dan juga grafik laju penurunan moisture content antara 3 variasi susunan batubara tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.
- 2) Grafik laju pengeringan pada temperature udara inlet 339 K memiliki trendline yang paling baik dengan penurunan moisture content hingga 1,6 % diikuti dengan grafik laju pengeringan temperature inlet 327 K dengan penurunan moisture content sampai 1,7% dan temperatur inlet 316 K memiliki grafik laju pengeringan terendah dimana penurunan moisture contentnya hanya sampai 10,9% pada waktu yang sama.
- 3) Semakin besar nilai temperatur inlet, maka nilai laju perpindahan massa semakin baik. Hal ini dibuktikan dengan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan lebih rendah pada temperatur inlet 339 K yaitu 1100 sekon, sedangkan pada Temperatur inlet 327 K lama waktu pengeringan yang dibutuhkan 2000 sekon,

dan temperature inlet 316 K memiliki waktu yang paling lama yaitu 4600 sekon.

- 4) Pada grafik laju pengeringan terlihat bahwa grafik bergerak secara signifikan ke bawah sampai pada titik tertentu, kemudian grafik bergerak konstan. Pada posisi ini, dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk menghentikan proses pengeringan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Ayu Sarah Novrizqa mengucapkan terima kasih Bapak Dr.Ir. Prabowo, M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah memberi bimbingan dan dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Mineral Batubara. 2011. *Pasokan Batubara (2004-2012)*. Indonesia.
- [2] Kementerian ESDM, Badan Geologi. 2011. Peta Lokasi Penyebaran Sumber Daya dan Cadangan Batubara Status Desember (2011). Indonesia.
- [3] Tim Kajian Batubara Nasional. 2006. Batubara Indonesia. Pusat Litbang Teknologi Mineral dan Batubara. Indonesia.
- [4] Bowen, Brian H., Irwin. 2008. *Coal Characteristics*. Purdue University. West Lafayette.
- [5] Stoecker, Wilbert F., Jones. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning*, 2<sup>nd</sup> Edition. McGraw-Hill Inc. Urbana-Champaign.
- [6] 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.
- [7] Yilmazoglu, M. Zeki, Amirabedin. 2012. *3E Analysis of Solar Assisted Rotary Type Coal Dryer*. Gazi University. Turkey.