



TUGAS AKHIR (KONVERSI ENERGI) – TM141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH
KECEPATAN UDARA PENDINGIN *INLET*
CHAMBER PADA *SWIRLING FLUIDIZED*
BED DRYER TERHADAP KARAKTERISTIK
PENDINGINAN BATUBARA**

Dicky Permana
NRP. 2112100026

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR (KONVERSI ENERGI) - TM141585

***EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF
AIR DRYER INLET CHAMBER VELOCITY
USING SWIRLING FLUIDIZED BED DRYER ON
CHARACTERISTICS OF COAL DRYING***

Dicky Permana
NRP. 2112100026

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KECEPATAN UDARA
PENGERING INLET CHAMBER PADA SWIRLING
FLUIDIZED BED DRYER TERHADAP KARAKTERISTIK
PENGERINGAN BATUBARA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dicky Permana
Nrp. 2112 100 026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng (Pembimbing)
NIP. 196505051990031005
2. Ary Bachtiar K. P., ST, MT, PhD (Penguji I)
NIP. 197105241997021001
3. Prof. Dr. Ir. Djamiko Ichsan, M.eng (Penguji II)
NIP. 195310191979031002
4. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT (Penguji III)
NIP. 197301161997021001

SURABAYA
Juli, 2016

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KECEPATAN UDARA
PENGERING INLET CHAMBER PADA SWIRLING
FLUIDIZED BED DRYER TERHADAP KARAKTERISTIK
PENGERINGAN BATUBARA**

Nama : Dicky Permana
NRP : 2112 100 026
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng

ABSTRAK

Energi listrik merupakan energi yang dominan dibutuhkan pada kehidupan sehari-hari dan mudah untuk diubah menjadi bentuk energi lain. Salah satu jenis pembangkit listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mayoritasnya menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. Desain boiler yang ada kebanyakan untuk penggunaan batubara dengan kalor yang tinggi sedangkan batubara yang banyak tersedia adalah yang berkalori rendah. Penggunaan batubara yang dibawah spesifikasi boiler akan mempengaruhi kinerja PLTU. Untuk memenuhi kapasitas pembangkitan digunakan semua *pulverizer* yang tersedia di PLTU sehingga tidak ada *pulverizer* yang tersedia sebagai cadangan. Akibatnya ketika terjadi kerusakan pada salah satu *pulverizer* akan berakibat pada turunnya kapasitas produksi listrik sehingga dapat menimbulkan kerugian financial yang besar pada PLTU. Untuk menghindari hal tersebut digunakan batubara yang memenuhi spesifikasi boiler yaitu yang memiliki kalori tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut diperlukan teknologi yang dapat meningkatkan nilai kalori batubara. *Swirling fluidized bed coal dryer* merupakan salah satu teknologi model pengeringan batubara.

Penelitian dilakukan dengan studi eksperimen menggunakan alat percobaan yaitu *swirling fluidized bed coal dryer*. Eksperimen ini dilakukan dengan cara menghembuskan udara panas dengan blower menuju *drying chamber* yang melewati distributor bed berupa blade dengan sudut inklinasi 20⁰ sehingga

membentuk aliran *swirl*. Pengambilan data *moisture content* dilakukan dengan menimbang batubara setelah proses pengeringan untuk setiap 1 menit sebanyak 15 kali, 2 menit sebanyak 8 kali. Percobaan dilakukan menggunakan batubara *low rank*, massa sebanyak 600 gram, ukuran diameter ± 6 mm dengan memvariasikan kecepatan udara pengering inlet chamber. Untuk mendapatkan *moisture content* sisa, pengeringan dilanjutkan menggunakan *oven electric* dengan temperatur 105° C selama 180 menit (menurut standart ASTM D 5142).

Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini adalah temperatur dan *relative humidity* pada inlet dan outlet chamber serta massa batubara basah dan kering. Dari data tersebut akan dianalisa dari sisi batubara didapatkan nilai *drying rate* pada kecepatan 2 m/s, 2,5 m/s dan 3 m/s berturut-turut sebesar 1,9806 % per menit, 2,638 % per menit dan 3,1182 % per menit. Untuk koefisien perpindahan massa berturut-turut sebesar 0,65203 m/s, 0,072052 m/s dan 0,078264 m/s.

Kata kunci : *Swirling Fluidized Bed Coal Dryer, Perpindahan Panas dan Massa, Psychrometric Chart.*

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF AIR
DRYER INLET CHAMBER VELOCITY USING SWIRLING
FLUIDIZED BED DRYER ON CHARACTERISTICS OF
COAL DRYING**

Name : Dicky Permana
Registration No. : 2112 100 026
Department : Teknik Mesin FTI – ITS
Academic Advisor : Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng

ABSTRACT

Electrical energy is the dominant energy needed on daily basis and easy to be converted into other forms of energy. One type of power plant is Steam power plan that the majority were using coal as the main fuel. Most existing boiler design for the use of coal with high calorific whereas coal widely available is low calorie. The use of coal under the boiler specification will affect the performance of the plant. To meet the generation capacity pulverizer used all available at the power plant so that no pulverizer is available as a backup. As a result, when there is damage to one of the pulverizers it will result in a decrease electricity production capacity that can be causing any great financial losses at the plant. To avoid the use of coal boilers which meet the specifications that have high calories. Based on these conditions needed technology that can increase the calorific value of coal. Swirling fluidized bed coal dryer is one of the models coal drying technology.

Research carried out by experimental studies using a laboratory scale experiments that have been designed by previous researchers that is swirling fluidized bed coal dryer. This experiment was carried out by blowing hot air to the drying chamber with a blower which passes through a distributor bed in the form of a blade with an inclination angle of 20° thus forming a swirl flow of air inside the drying chamber. Data retrieval is done

by weighing the moisture content of coal after the drying process for every 1 minute 15 times, 2 minutes 8 times. The experiments were performed by varying the velocity of inlet drying chamber of 2 m/s, 2.5 m/s and 3 m/s, low rank coal, a mass of 600 grams, with a diameter of ± 6 mm. To get the rest of the moisture content, the drying is continued using electric oven with a temperature 105°C for 180 minutes (according to ASTM D 5142 standard).

Results obtained from this experiment is the temperature and relative humidity at the inlet and the outlet chamber and the mass of wet and dry coal . From these data will be analyzed in terms of coal drying rate values obtained at the velocity of 2 m / s , 2.5 m / s and 3 m / s , respectively for 1.9806 % per minute , per minute 2.638 % and 3.1182 % per minute. For the mass transfer coefficient row of 0.65203 m / s , 0.072052 m / s and 0.078264 m / s .

Keywords: Swirling Fluidized Bed Coal Dryer, Heat and Mass Transfer, Psychrometric chart.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II DASAR TEORI	9
2.1 Prinsip Pengeringan.....	9
2.1.1 Mekanisme Pengeringan	9
2.1.2 Periode Laju Pengeringan.....	11
2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan.....	13
2.1.3.1 Pengaruh Dimensi Partikel	13
2.1.3.2 Pengaruh Kelembaban Udara (RH).....	14
2.1.3.3 Pengaruh Kadar Air Dalam Batubara.....	14
2.1.3.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida.....	15
2.1.3.5 Pengaruh Temperatur Pengeringan	17
2.2 Prinsip Perpindahan Massa.....	18
2.3 <i>Swirling Fluidized Bed Dryer</i>	20
2.4 Prinsip <i>Psychrometric Chart</i>	22
2.5 Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	33
3.1 Model Alat Pengeringan.....	33
3.2 Skema peralatan.....	34

3.3	Variabel Penelitian.....	35
3.4	Peralatan Penunjang Eksperimen	36
3.5	Metodologi Eksperimen.....	44
3.5.1	Tahap Persiapan.....	44
3.5.2	Tahap Pengambilan Data.....	47
3.5.3	Tahap Analisa Data Eksperimen.....	48
3.5.4	Tahap Analisa Data Eksperimen.....	50
3.6	Lembar Pengambilan	50
3.7	<i>Flowchart</i> Pengambilan Data	52
3.7.1	<i>Flowchart</i> Pengambilan Data	52
3.7.2	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data Dari Batubara ...	54
3.7.3	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data Dari Udara.....	55
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Data Hasil Percobaan.....	57
4.2	Analisa dan Contoh Perhitungan	57
4.2.1	Contoh Perhitungan Laju Alir Massa	57
4.2.2	Contoh Perhitungan Kalibrasi Pitot Tube	58
4.2.3	Contoh Perhitungan Humidity Ratio Pada Sisi Udara	61
4.2.4	Contoh Perhitungan Moisture Content Pada Sisi Batubara.....	62
4.2.5	Contoh Perhitungan Drying Rate.....	63
4.2.6	Contoh Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas dan Massa.....	64
4.3	Analisa Hasil dan Pembahasan Dari Sisi Udara	66
4.3.1	Analisa Udara Pengering Pada <i>Psychrometric Chart</i>	66
4.3.2	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap <i>Relative Humidity</i> Fungsi <i>Drying Time</i>	69
4.3.3	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Temperatur Udara Keluar Chamber Fungsi <i>Drying Time</i>	71

4.3.4	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Selisih Ratio Humidity ($\Delta\omega$) Fungsi Drying Time.....	73
4.4	Analisa Hasil dan Pembedahan Dari Sisi Batubara.....	74
4.4.1	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Moisture Content Fungsi Drying Time	74
4.4.2	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Drying Rate Fungsi Drying Time.....	76
4.5	Analisa Perbandingan Massa Uap Air yang Dilepas Batubara dan Diterima Udara pada Kecepatan 2 m/s	77
4.6	Analisa Perbandingan Massa Uap Air yang Dilepas Batubara dan Diterima Udara pada Kecepatan 2,5 m/s	79
4.7	Analisa Perbandingan Massa Uap Air yang Dilepas Batubara dan Diterima Udara pada Kecepatan 3 m/s	81
4.8	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Drying Rate Fungsi Moisture Content.....	83
4.9	Analisa Pengaruh Kecepatan terhadap Koefisien Perpindahan Panas	85
4.10	Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Massa	87
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1	Kesimpulan.....	89
5.2	Saran.....	90
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Alur proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap Paiton unit 1	1
Gambar 1.2	Proses konversi energi dari batubara menjadi energi listrik.....	2
Gambar 1.3	(a) <i>Pulverizer</i> (b) Skema <i>pulverizer</i>	3
Gambar 2.1	Proses pengeringan.....	10
Gambar 2.2	Proses pengeringan pada diagram psikometrik.....	11
Gambar 2.3	(a) Grafik fungsi <i>free moisture</i> terhadap waktu, (b) Grafik fungsi <i>drying rate</i> terhadap <i>free moisture</i>	12
Gambar 2.4	Faktor yang mempengaruhi proses pengeringan.....	13
Gambar 2.5	Plot <i>drying rate</i> dengan variasi <i>Relative Humidity</i>	14
Gambar 2.6	Skema <i>swirling fluidized bed dryer</i>	21
Gambar 2.7	Aliran fluida pengering	21
Gambar 2.8	<i>Psychrometric chart</i>	23
Gambar 2.9	Proses udara berdasarkan <i>Psychrometric Chart</i>	25
Gambar 2.10	Skema alat percobaan Levy dkk (2006)	27
Gambar 2.11	Pengaruh Kecepatan terhadap Pengeringan Batubara	28
Gambar 2.12	Grafik pengaruh temperatur terhadap Pengeringan Batubara yang berbeda ...	29

Gambar 2.13	Skema percobaan Stevanus Fransiskus (2015)	30
Gambar 2.14	Pengaruh kecepatan terhadap drying rate	30
Gambar 2.15	Pengaruh kecepatan terhadap <i>moisture content</i>	31
Gambar 3.1	Model alat pengering swirling fluidized bed dryer.....	34
Gambar 3.2	Skema peralatan (a) 3D, (b) 2D.....	35
Gambar 3.3	Skema peletakan alat ukur.....	35
Gambar 3.4	Profil blade	35
Gambar 3.5	Sudut blade.....	35
Gambar 3.6	<i>Thermocouple</i>	37
Gambar 3.7	Data logger	37
Gambar 3.8	Thermocontrol digital.....	38
Gambar 3.9	RH meter	38
Gambar 3.10	Anemometer	39
Gambar3.11	Voltage regulator.....	39
Gambar 3.12	Kompor dan gas elpiji	40
Gambar 3.13	Heater	40
Gambar 3.14	Oven	41
Gambar 3.15	Penyaring batubara	41
Gambar 3.16	Sarung tangan karet.....	42
Gambar 3.17	Timbangan digital.....	42
Gambar 3.18	Masker.....	43

Gambar 3.19	<i>Pitot static tube</i>	43
Gambar 3.20	DAQ data logger dan differential pressure transmitter	44
Gambar 3.21	Manometer	44
Gambar 3.22	Proses pemecahan batubara menjadi ukuran kecil.....	45
Gambar 3.23	Proses penyaringan batubara untuk mendapatkan ukuran $\pm 6\text{mm}$	45
Gambar 3.24	Proses penimbangan batubara pada kitchen scales	46
Gambar 3.25	Memastikan sudut blade 20° pada <i>drying chamber</i>	46
Gambar 3.26	Memasukan akuades dalam tangki.....	46
Gambar 3.27	Batubara terfluidisasi	47
Gambar 3.28	Menghubungkan data logger ke komputer	48
Gambar 3.29	Peletakan batubara pada aluminium foil	49
Gambar 3.30	Proses pengeringan batubara menggunakan <i>oven electric</i>	49
Gambar 3.31	Proses penimbangan batubara	50
Gambar 3.32	<i>Flowchart</i> pengambilan data.....	53
Gambar 3.33	<i>Flowchart</i> pengolahan data dari batubara.....	54
Gambar 3.34	<i>Flowchart</i> pengolahan data dari udara	55
Gambar 4.1	Grafik hubungan perbedaan ketinggian manometer (h) dengan volt dinamis pada DAQ data logger.....	61

Gambar 4.2	<i>Psychrometric chart</i> untuk mencari ratio humidity % per menit.....	62
Gambar 4.3	Proses pengeringan pada batubara daam grafik <i>psychrometric chart</i>	68
Gambar 4.4	Grafik pengaruh kecepatan terhadap <i>relative humidity</i> fungsi <i>drying time</i>	69
Gambar 4.5	Grafik pengaruh kecepatan terhadap temperatur udara keluar chamber fungsi <i>drying time</i>	71
Gambar 4.6	Grafik pengaruh kecepatan terhadap <i>humidity ratio</i> ($\Delta\omega$) fungsi <i>drying time</i>	73
Gambar 4.7	Grafik pengaruh kecepatan terhadap <i>moisture content</i> fungsi <i>drying time</i>	74
Gambar 4.8	Grafik pengaruh kecepatan terhadap <i>drying rate</i> fungsi <i>drying time</i>	76
Gambar 4.9	Grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap udara fungsi <i>drying time</i> pada kecepatan 2 m/s	78
Gambar 4.10	Grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap udara fungsi <i>drying time</i> pada kecepatan 2,5 m/s	80
Gambar 4.11	Grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap udara fungsi <i>drying time</i> pada kecepatan 3 m/s	82
Gambar 4.12	Grafik pengaruh kecepatan <i>drying rate</i> fungsi <i>moisture content</i>	84

Gambar 4.13	Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Panas	86
Gambar 4.14	Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Massa	87

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Pengelompokan jenis batubara berdasarkan nilai kalorinya	3
Tabel 3.1	Lembar Data Percobaan	50
Tabel 4.1	Hasil perhitungan laju alor massa	58
Tabel 4.2	Hasil perhitungan kecepatan pada selongsong.....	59
Tabel 4.3	Data perhitungan kalibrasi	59
Tabel 4.4	Hasil kalibrasi.....	60
Tabel 4.5	Data perhitungan <i>moisture content</i> batubara.....	63
Tabel 4.6	Data perhitungan koefisien perpindahan panas dan massa	64
Tabel 4.7	Temperatur dan RH out pada kecepatan 3 m/s, 2,5 m/s dan 2 m/s.....	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

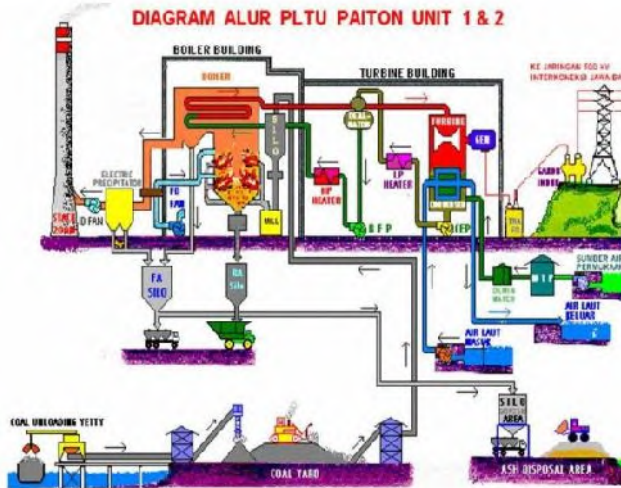


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi yang dibutuhkan oleh peralatan listrik untuk menghasilkan bentuk energi yang lain. Energi listrik termasuk bentuk energi sekunder yang dihasilkan dari proses konversi sumber energi primer seperti energi surya, energi angin, panas bumi, minyak bumi, gas dan batubara. Salah satu sumber penghasil listrik yaitu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang bekerja dengan mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik. Pada umumnya PLTU menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. Hal ini dikarenakan batubara tersedia cukup banyak di Indonesia.

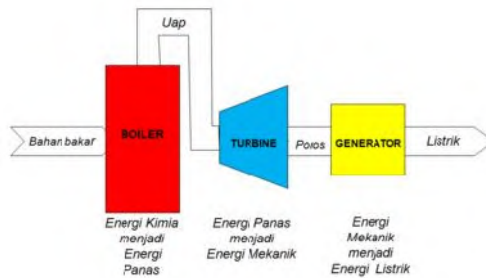


Gambar 1.1 Alur proses pembangkit listrik tenaga uap Paiton unit 1 dan 2

Pada PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara, proses konversi energi untuk menjadi listrik dibagi dalam 3 tahap :



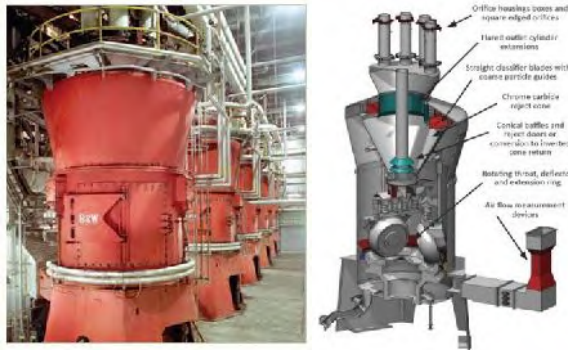
1. Energi kimia dalam batubara diubah menjadi energi panas di boiler dalam bentuk uap bertekanan dan bertemperatur tinggi.
2. Energi panas berupa uap diubah menjadi energi mekanik di turbin dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik di generator.



Gambar 1.2 Proses konversi energy dari batubara menjadi energi listrik

Karakteristik pembakaran batubara dalam sebuah pembangkit listrik tenaga uap di pengaruhi oleh beberapa hal yaitu kualitas batubara, batasan yang ditentukan oleh desain boiler, posisi *burner*, konfigurasi fisik dan perpindahan panas dalam boiler serta kondisi operasional. Dengan adanya pengaruh tersebut maka PLTU mendesain boiler sesuai dengan spesifikasi tertentu. Kurangnya pasokan batubara yang sesuai dengan spesifikasi menyebabkan digunakannya batubara jenis lain yang kualitasnya tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini dapat mempengaruhi optimalisasi dan efisiensi PLTU dalam menghasilkan listrik.

Penggunaan batubara yang tidak sesuai spesifikasi pada pembangkit yang telah ada (*existing*) dapat mempengaruhi kinerja mesin komponen PLTU. Penggunaan batubara dengan kelembaban 25% sampai dengan 40% akan menyebabkan rendahnya *heating value*, efisiensi turun pada pembangkit, berkurangnya kapasitas *mill pulverizer* dan naiknya biaya pemeliharaan.



Gambar 1.5 (a) Pulverizer (b) Skema Pulverizer

Mesin penggerus (*pulverizer*) berfungsi untuk menghancurkan dan menghaluskan batubara sebelum digunakan dalam boiler. Mesin ini bekerja secara kontinu untuk dapat mengoptimalkan pembangkit, biasanya dipasang *standby pulverizer* untuk menggantikan jika ada *pulverizer* yang rusak. Batubara dengan spesifikasi dibawah ketentuan boiler akan berakibat dibutuhkannya pasokan yang lebih untuk bisa memanaskan boiler. Hal ini berdampak pada *pulverizer* yang harus beroperasi secara maksimum agar dapat memenuhi kapasitas yang diinginkan dari boiler tersebut. Masalah akan timbul jika terjadi kerusakan pada salah satu pulverizer, maka kapasitas mill dari batubara akan berkurang, yang berakibat *supply* batubara ke boiler juga akan berkurang. Boiler akan berkerja kurang maksimal dan akan berdampak pada performance PLTU.

Berdasarkan nilai kalorinya batubara dikelompokkan menjadi empat jenis. Pengelompokan ini menunjukkan kualitas batubara yang akan memberitahukan perbedaan nilai ekonomis dan kegunaan batubara tersebut. 4 jenis batubara tersebut ditunjukkan secara singkat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 1.1 Pengelompokan batubara berdasarkan nilai kalorinya



Class	Grup	Fixed Carbon, % dmmf		Volatile Matter Limits, % , dmmf		Calorific Value Limits BTU per pound (mmmf)		
		Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	Agglomerating Character
I Anthracite*	1 Meta-anthracite	98			2			nonagglomerating
	2 Anthracite	92	98	2	8			
	3 Semicanthracite C	86	92	8	14			
II Bituminous	1 Low volatile bituminous coal	78	86	4	22			
	2 Medium volatile bituminous coal	86	78	22	31			
	3 High volatile A bituminous coal		69	31		14000 ^D		commonly
	4 High volatile B bituminous coal					15000 ^J	14000	agglomerating ^{TE}
	5 High volatile C bituminous coal					11500	10000	
III Subbituminous						10500	11500	agglomerating
	1 Subbituminous A coal					10800	11600	
	2 Subbituminous B coal					9500	10000	
IV Lignite	3 Subbituminous C coal					8500	9000	nonagglomerating
	1 Lignite A					8000	8000	
	1 Lignite B					6300		

Sumber Klasifikasi batubara berdasarkan tingkatnya (ASTM, 1981, *op cit* Wood *et al.*, 1983).

Jika dilihat dari tabel 1.1, antrasit merupakan kelas batubara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik. Batubara ini mengandung antara 86-98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%. Nilai *heating value* yang dihasilkan hampir 15000 BTU per pon. Yang kedua bituminous, mengandung 68-86 unsur karbon (C) dengan kadar air 8-10%. Nilai *heating value* yang dihasilkan antara 11500-14000 Btu per pon. Yang ketiga subbituminous mengandung sedikit karbon dan banyak air. Oleh karena itu akan menjadi sumber panas yang kurang efisien di banding dengan bituminous. Batubara jenis ini mempunyai karbon 35-45% dengan kadar air 10-45% dan menghasilkan *heating value* antara 8300 hingga 11500 Btu per pon. Kemudian yang keempat lignit, biasa dikenal dengan nama *brown coal*. Batubara jenis ini



mempunyai tekstur yang lunak dengan mengandung kadar air sebesar 30-60%, lignit merupakan batubara geologis muda yang memiliki kandungan karbon terendah, yaitu hanya 25-35%. *Heating value* yang dihasilkan berkisar antara 6300 hingga 9500 Btu per pon.

Batubara dengan nilai kalori tinggi akan membuat boiler dapat bekeja secara optimal sehingga *pulverizer* tidak akan bekerja ekstra untuk bisa memenuhi kapasitas diboiler. Batubara yang banyak tersedia di Indonesia tergolong jenis batubara dengan kalori rendah. Teknologi untuk meningkatkan nilai kalori batubara sudah banyak dikembangkan sehingga batubara dengan nilai kalori rendah dapat menjadi batubara dengan nilai kalori tinggi.

Salah satu teknologi yang digunakan untuk meningkatkan nilai kalori batubara adalah *swirling fluidized bed dryer*. Teknologi ini memanfaatkan udara panas sebagai udara untuk pengeringan batubara. *Swirling fluidized bed dryer* dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, diantaranya proses pengeringan yang berlangsung kontinu, sesuai untuk material berbentuk granular seperti batubara dan waktu pengeringannya yang cepat.

1.2 Rumusan Masalah

Proses pengeringan batubara dalam penelitian *swirling fluidized bed dryer* di pengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya temperatur udara pengeringan, sudut dan jumlah blade, dimensi dan berat dari spesimen yang digunakan. Berdasarkan hal beberapa faktor tersebut, rumusan masalah yang akan di kaji antara lain :

1. Bagaimana pengaruh dari variasi kecepatan udara pengering *inlet chamber* terhadap laju pengeringan.
2. Bagaimana hubungan perpindahan panas dan massa terhadap pengeringan batubara.
3. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara pengering *inlet chamber* terhadap perubahan temperatur , *relative humidity* dan rasio kelembaban sisi udara pengering *psychrometric chart*



1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian *swirling fluidized bed dryer* adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara pengering inlet chamber terhadap laju pengeringan.
2. Mengetahui hubungan perpindahan panas dan massa terhadap pengeringan batubara.
3. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara pengering inlet chamber terhadap perubahan temperatur , *relative humidity* dan rasio kelembaban sisi udara pengering *psychrometric chart*

1.4 Batasan Masalah

Terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan agar analisa dan kajian yang dilakukan lebih terarah. Batasan masalah tersebut antara lain yaitu :

1. Massa batubara yang dikeringkan sebesar 600 gram.
2. Ukuran batubara yang digunakan berdiameter ± 6 mm.
3. Sudut blade yang digunakan yaitu 20° .
4. Menggunakan *heat exchanger* berupa radiator yang disusun seri.
5. Dinding *drying chamber* yang digunakan terisolasi sempurna.
6. Kecepatan *inlet drying chamber* yang digunakan adalah 100%, 125% dan 150% dari kecepatan fluidisasi minimum pada perhitungan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan tentang eksperimen proses pengeringan batubara menggunakan teknologi *swirling*



fluidized bed dryer sebagai cara untuk menaikkan nilai kalori batubara.

2. Memberikan data hasil perhitungan dari eksperimen untuk dapat dilakukan perkembangan untuk kedepannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat dari penelitian yang dilakukan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini terdiri dari 2 bagian, yaitu dasar teori dan penelitian terdahulu yang sudah pernah dilakukan. Dasar teori berisi tentang hal yang menunjang dalam penganalisaan hasil penelitian. Sedangkan penelitian terdahulu berisi tentang hasil penelitian yang sudah dilakukan yang memiliki korelasi dan menunjang dalam analisa data pada penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan skema alat percobaan dan langkah-langkah percobaan dan pengambilan data dari penelitian.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data hasil percobaan, contoh perhitungan dari data percobaan, grafik yang sudah dihitung kemudian dianalisa dan didiskusikan lebih lanjut.

BAB V PENUTUP

Bab penutup ini, terdiri dari kesimpulan hasil percobaan dan saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II DASAR TEORI

2.1 Prinsip Pengeringan

Proses pengeringan adalah proses perpindahan panas dan uap air secara simultan. Sejumlah energi diperlukan untuk dapat menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas. Kandungan air memiliki pengaruh sifat dari suatu bahan. sebagai contoh, batubara memiliki kandungan kadar air tertentu. Kadar air ini menentukan golongan dari batubara tersebut.

Tujuan dari proses pengeringan adalah mengurangi kadar air suatu bahan sampai batas tertentu, dalam hal ini bahan yang digunakan ialah batubara. Kandungan kadar air yang tinggi dalam batubara *low rank* menyebabkan batubara memiliki *heating value* yang rendah, sehingga apabila digunakan sebagai bahan bakar akan menghasilkan energi yang kurang optimal dan efisien. Perlu dilakukan proses pengeringan terlebih dahulu untuk menurunkan kadar air yang terlalu banyak pada batubara tersebut.

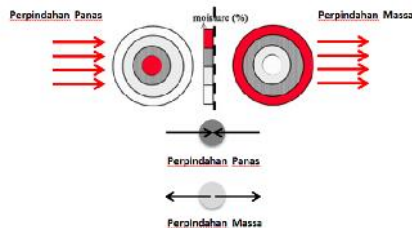
2.1.1 Mekanisme Pengeringan

Pada proses pengeringan terjadi perpindahan panas antara bahan dengan udara pengering yang diakibatkan adanya perbedaan suhu antara keduanya. Suhu dari udara pengering lebih tinggi daripada temperatur bahan sehingga panas akan dialirkan ke bahan yang menyebabkan temperaturnya menjadi naik. Meningkatnya temperatur pada bahan menyebabkan tekanan uap air dalam bahan lebih tinggi daripada tekanan uap air di udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari bahan ke udara yang merupakan perpindahan massa. Perpindahan massa uap air berlangsung secara kapiler melalui celah-celah kecil pada batubara. Pada saat moisture content batubara besar proses perpindahan massa uap air akan besar. Hal ini dikarenakan konsentrasi uap air pada batubara masih tinggi sehingga laju perpindahan massa yang terjadi juga akan semakin besar. Begitu



juga sebaliknya ketika konsentrasi uap air pada batubara sedikit maka laju perpindahan massa yang terjadi juga akan kecil.

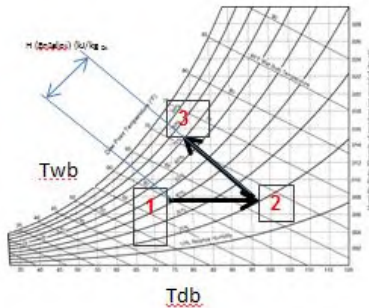
Saat proses pengeringan belum berlangsung, tekanan uap air didalam batubara berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap di udara sekitar. Kemudian saat mulai terjadi proses pengeringan akan mengalami dua tahap yang diilustrasikan pada gambar sebagai berikut :



Gambar 2.1 Proses pengeringan

- a. Proses perpindahan panas, yaitu proses perpindahan panas dari udara pengering ke dalam batubara yang terjadi secara konveksi.
- b. Proses perpindahan massa, yaitu proses perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering.

Proses pengeringan pada batubara oleh udara panas yang dialirkan dapat dianggap sebagai suatu proses adiabatik. Hal ini menunjukkan bahwa panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air dari batubara hanya berasal dari udara pengering tanpa adanya tambahan energi dari luar.



Keterangan :

1-2 : proses pemanasan udara

2-3 : proses pengeringan udara

Tdb: temperature dry bulb

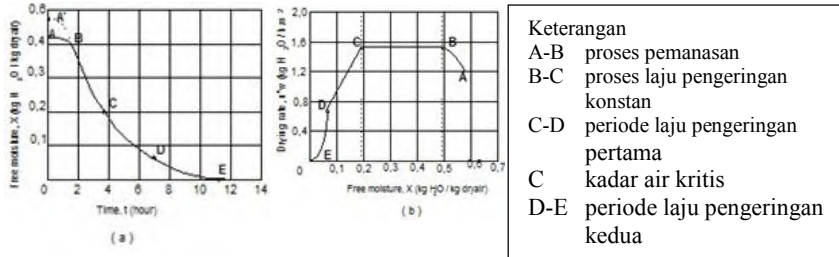
Twb: Temperatur wet bulb

Gambar 2.2 Proses pengeringan pada diagram psikometrik

Proses pengeringan dapat digambarkan pada diagram psikometrik untuk memudahkan dalam menganalisa. Dari gambar (2.2) terlihat bahwa selama proses pengeringan terjadi penurunan temperatur *dry bulb* (Tdb) disertai dengan kenaikan kelembaban mutlak, kelembaban nisbi, tekanan uap dan temperatur pengembunan udara pengering. Entalpi dan temperatur *wet bulb* tidak menunjukkan perubahan.

2.1.2 Periode Laju Pengeringan

Proses pengeringan mempunyai dua periode utama yaitu periode dengan laju pengeringan tetap dan periode dengan laju pengeringan menurun. Kedua periode utama ini dibatasi oleh kadar air kritis. Kadar air kritis adalah kadar air terendah saat laju air bebas dari dalam batubara ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air maksimum dari batubara tersebut.



Gambar 2.3 (a) Grafik fungsi *free moisture* terhadap waktu, (b) Grafik fungsi *drying rate* terhadap *free moisture*

Proses pengeringan pada suatu bahan terjadi dalam beberapa tahap, seperti terlihat pada gambar (2.3). Proses pertama adalah pergerakan air menuju permukaan bahan yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu selama pemanasan saat proses pengeringan. Setelah beberapa saat akan terjadi proses kedua, yaitu kandungan air bahan akan menguap dan bercampur dengan udara pemanas hingga kandungan air (*free moisture*) bahan hilang sampai batas tertentu. Telihat seperti pada gambar (2.3 a) titik E. kemudian untuk periode laju pengeringan yang terlihat pada gambar (2.3 b) dibedakan menjadi tiga yaitu :

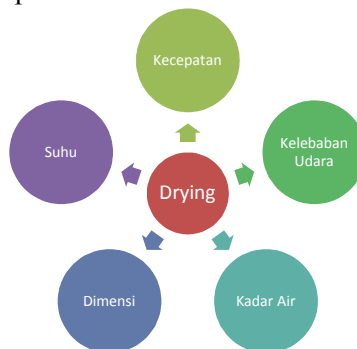
- Periode laju pengeringan naik
Grafik menunjukkan kenaikan pada titik A-B , terjadi saat bahan menerima panas dari udara pengering. Temperatur bahan akan naik hingga menyamai temperatur udara pengering untuk mencapai keseimbangan.
- Periode laju pengeringan konstan
Saat periode ini (B-C) temperatur uap air pada permukaan sama dengan T_{wb} udara pengering. Selama proses berlangsung kecepatan air dari dalam bahan yang berpindah akan sama dengan kecepatan air yang diuapkan. Proses ini akan berakhir saat kadar air dalam bahan mencapai titik kritis.
- Periode laju pengeringan turun



Periode ini bermula pada titik C yang menunjukkan kadar air kritis. Pada titik ini permukaan bahan tidak mampu mempertahankan lapisan air yang *continue*. Seluruh permukaan akan terus mengering (titik E).

2.1.3 Faktor Yang Mempengaruhi Proses Pengeringan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pengeringan yang dibedakan menjadi dua golongan besar yaitu yang berhubungan dengan udara pengeringan dan faktor yang berhubungan dengan sifat batubara yang dikeringkan. Faktor yang tergolong primer dalam proses pengeringan diantaranya adalah suhu, kecepatan volumetrik aliran udara dan kelembaban udara. Faktor yang tergolong sekunder yaitu ukuran bahan, kadar air awal dan tekanan parsial dalam batubara.



Gambar 2.4 Faktor yang mempengaruhi proses pengeringan

2.1.3.1 Pengaruh dimensi partikel

Dimensi dari partikel dapat dibedakan menjadi ukuran partikel, luas penampang partikel dan berat partikel. Dengan beban material yang sama, partikel dengan ukuran yang kecil akan lebih mudah untuk kehilangan kadar airnya. Hal tersebut terjadi karena luas permukaan ukuran partikel kecil lebih besar sehingga bagian yang mengalami kontak langsung dengan udara pengering akan semakin banyak. Semakin luas permukaan yang terkena udara pengering maka bahan akan lebih cepat kering.

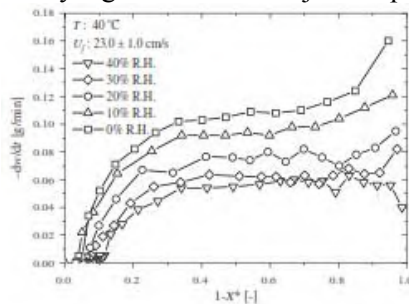


Berat partikel merupakan hal yang juga berpengaruh dalam proses pengeringan. Dengan ukuran partikel yang sama, proses pengeringan pada partikel yang ringan memiliki nilai *drying rate* yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan besar uap air yang harus diuapkan oleh udara semakin sedikit sehingga proses pengeringan akan berlangsung lebih cepat.

2.1.3.2 Pengaruh Kelembaban

Terdapat sejumlah air dalam batubara yang tidak dapat dihilangkan dengan pengeringan udara panas atau gelembung gas, yang disebut keseimbangan kelembaban. Setiap jenis batubara memiliki batas keseimbangan kelembabannya masing-masing. Kadar air yang keluar dari batubara tidak dapat kurang dari keseimbangan kadar air dalam batubara.

Dengan kata lain, setelah kadar air batubara mencapai keseimbangan sebagai padatan berpori. Tidak banyak air yang dapat keluar dari batubara melalui pengeringan *fluidized* yang diakibatkannya kelembaban gas menolak pengeringan. Meskipun ada perbedaan dalam laju pengeringan dan temperatur yang digunakan, kadar air yang dilepas batubara yang berada dalam kondisi kelembaban kurang lebih sama. Kesamaan dan perbedaan yang signifikan diamati dalam keseimbangan saat kondisi kelembaban pengeringan relatif yang bervariasi ditunjukkan pada gambar (2.5).



Gambar 2.5 Plot *drying rate* dengan variasi *Relative Humidity*



2.1.3.3 Pengaruh Kadar Air Batubara

Pada dasarnya kadar air atau *moisture content* pada batubara dapat dibagi menjadi beberapa kategori diantaranya yaitu *inherent moisture*, *surface moisture*, *hydration water of mineral water* dan *decomposition moisture*. *Inherent moisture* ialah *moisture* yang dianggap terdapat di dalam rongga-rongga kapiler dan pori-pori batubara yang relatif kecil, dimana tingkat kelembaban udara 100%. Banyaknya jumlah *inherent moisture* dalam suatu batubara dapat dipergunakan sebagai tolak ukur tinggi rendahnya tingkat *rank* batubara tersebut. Semakin tinggi nilai *inherent moisture* suatu batubara, maka semakin rendah tingkat *rank* batubara tersebut.

Surface moisture merupakan kadar air yang ada pada permukaan batubara yang sering disebut juga *free water*. *Surface moisture* memiliki tekanan uap air yang sama dengan temperatur *existing*. Terdapat 2 hal yang mempengaruhi jumlah *surface moisture* yaitu luas permukaan dan kekasaran permukaan. Semakin luas permukaan batubara maka semakin besar juga nilai *surface moisture*, ini berarti semakin halus permukaan batubara maka semakin besar pula nilai *surface moisture*.

Hydration water of mineral water ialah bagian dari struktur kristal dalam anorganic material mineral batubara. Dibutuhkan energi yang tinggi untuk dapat menguap. Contohnya pada *kaolinite*, *hydration water* tidak bisa menguap meskipun dipanaskan hingga suhu 500°C. *Decomposition moisture* berasal dari bagian organik dari batubara. Pada umumnya tidak bisa diperlakukan dengan analisa batubara biasa.

Kadar air pada batubara menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan berat batubara. Terdapat dua cara untuk menentukan kadar air tersebut berdasarkan bobot kering (*dry basis*) dan berdasarkan bobot basah (*wet basis*). Dalam penentuan kadar air batubara biasanya dilakukan berdasarkan bobot basah. *Moisture content* dihitung berdasarkan selisih batubara basah dan kering yang kemudian dibandingkan dengan batubara basah.



2.1.3.4 Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida

Kecepatan *volumetric* udara panas akan berpengaruh pada laju penguapan. Terjadi perpindahan panas secara konveksi antara batubara dengan udara panas. Kadar air dalam batubara akan dipindahkan ke atmosfer oleh udara panas. Semakin besar kecepatan *volumetric* yang digunakan laju pengeringan batubara akan semakin banyak dan cepat. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan persamaan Reynolds berikut :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (2.1)$$

Dimana :

- Re = bilangan Reynolds
- ρ = massa jenis (kg/m^3)
- V = kecepatan aliran fluida (m/s)
- D = diameter (m)
- μ = viskositas absolut (m^2/s)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan aliran fluida berbanding lurus dengan bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds digunakan untuk menghitung *Nusselt Number* seperti pada persamaan berikut :

$$Nu = f(x^*, Re) Pr^n \quad (2.2)$$

Prandlt Number merupakan perbandingan antara kapasitas panas dengan konduktivitas termal yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Pr = \frac{c_p}{k} = \frac{v}{\alpha} \quad (2.3)$$

Nilai koefisien konveksi (h) sebanding dengan *Nusselt Number* yang ditunjukkan pada persamaan (2.4). semakin besar nilai koefisien konveksi (h) maka nilai heat rate (q) akan semakin besar, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.5) yang berdampak pada proses perpindahan panas yang semakin cepat.



$$Nu = \frac{h \cdot L}{k_f} \quad (2.4)$$

Dimana :

- Cp = spesifik *heat* (J/kg K)
k = konduktivitas termal (W/m K)
L = panjang permukaan (m)
h = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² K)

Pada aliran yang melewati permukaan bola memiliki nilai *Nusselt Number* dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

$$Nu_D = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Pr^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4} \quad (2.5)$$

2.1.3.5 Pengaruh Temperatur Pengeringan

Laju penguapan air dalam pengeringan sangat ditentukan oleh perbedaan temperatur. Semakin besar perbedaan temperatur antara media pemanas dengan batubara yang dikeringakan, semakin besar pula kecepatan perpindahan panas yang terjadi antara keduanya. Hal ini mengakibatkan penguapan air dari batubara akan semakin banyak dan lebih cepat.

Semakin tinggi temperatur udara yang digunakan untuk pengeringan semakin cepat proses terjadinya pengeringan. Hal ini di akibatkan energi yang dibawa udara semakin besar sehingga jumlah massa air yang diuapkan akan semakin besar. Namun perlu diperhatikan juga jika suhu terlalu tinggi dan waktu pengeringan yang tidak sesuai maka dapat mengakibatkan *self-ignition*. Perpindahan panas terjadi antara bahan dengan udara pengeringan. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan persamaan perpindahan panas sebagai berikut :

$$Q = h \cdot A \cdot (T_\infty - T_S) \quad (2.6)$$

Dimana :

- Q = *heat rate* (W)
h = koefisien konveksi (W/m² K)



- A = luas permukaan benda (m^2)
 T_s = temperatur permukaan bahan (K)
 T_∞ = temperatur *infinity* fluida (K)

Dari persamaan (2.6) dapat disimpulkan bahwa nilai *heat rate* berbanding lurus dengan koefisien konveksi fluida, luas permukaan dan perbedaan suhu antara fluida dengan bahan. koefisien konveksi fluida dipengaruhi oleh kecepatan dari fluida itu sendiri, semakin cepat fluida itu bergerak maka koefisien konveksi akan semakin besar.

2.2 Prinsip Perpindahan Massa

Proses pengeringan bahan dilakukan dengan mengalirkan udara panas yang dianggap suatu proses adiabatik. Hal ini menunjukkan bahwa panas yang dibutuhkan bahan untuk menguapkan air hanya berasal dari panas udara pengering. Uap berasal dari dalam bahan kemudian naik menuju permukaan dan akhirnya menguap bercampur dengan udara pengering. Perpindahan massa uap air dari bahan ke udara dapat dikaitkan dengan persamaan Sherwood (*Handbook Fundamental of Heat and Mass Transfer, P. Incropera*) sebagai berikut :

$$Sh = \frac{hm \cdot L}{D_{AE}} \quad (2.7)$$

Bilangan Sherwood didapatkan dari nilai fungsi bilangan Reynolds dan bilangan Schmith. Hubungan persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Sh = f(x^*, Re_L) Sc^n$$

Pada aliran fluida yang melewati permukaan bola memiliki nilai *Sherwood Number* yang dapat ditentukan pada persamaan Sherwood yang sudah diubah sebagai berikut :



$$Sh = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Sc^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4} \quad (2.8)$$

Nilai *Schmith Number* merupakan perbandingan antara antara momentum dan difusivitas massa. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Sc = \frac{v}{D_{AE}} \quad (2.9)$$

Dimana :

Hm = Koefisien perpindahan massa (m/s)

L = panjang permukaan

Dab = difusivitas

Dari persamaan (2.6) dapat diketahui nilai koefisien perpindahan massa. Nilai ini digunakan untuk mencari nilai laju perpindahan massa yang dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$N''_A = h_m \cdot (C_{A,S} - C_{A,\infty}) \quad (2.10)$$

Persamaan lain yang dapat digunakan untuk mencari nilai laju perpindahan massa dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$n''_A = h_m \cdot (\rho_{A,S} - \rho_{A,m}) \quad (2.11)$$

Dimana :

N''_A = laju perpindahan massa (kg s/m²)

h_m = koefisien konveksi perpindahan massa (m/s)

$C_{A,S}$ = konsentrasi uap air permukaan bahan (kg mol/m³)

$C_{A,\infty}$ = konsentrasi uap air medium pengering (kg mol/m³)

$\rho_{A,S}$ = massa jenis uap air jenuh (kg/m³)

$\rho_{A,\infty}$ = massa jenis uap air mean (kg/m³)

Hubungan antara nilai koefisien konveksi perpindahan panas dan koefisien konveksi perpindahan massa dapat dinyatakan



dengan menggunakan *Stanton Number* untuk *heat and mass transfer*. Berikut adalah persamaan yang menghubungkan keduanya.

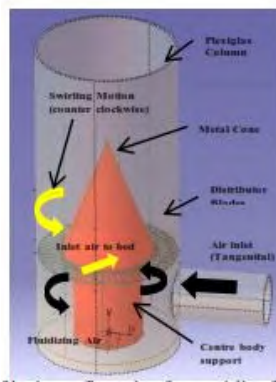
$$St Pr^{2/3} = St_m Sc^{2/3}$$

$$\left(\frac{h}{\rho v C_p} \right) Pr^{2/3} = \left(\frac{hm}{v} \right) Sc^{2/3} \quad (2.12)$$

Dari persamaan (2.12) dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien konveksi perpindahan panas berbanding lurus dengan nilai koefisien konveksi perpindahan massa. Sehingga apabila nilai koefisien konveksi perpindahan bertambah besar maka nilai koefisien konveksi perpindahan massa akan semakin semakin besar.

2.3 Swirling Fluidized Bed Dryer

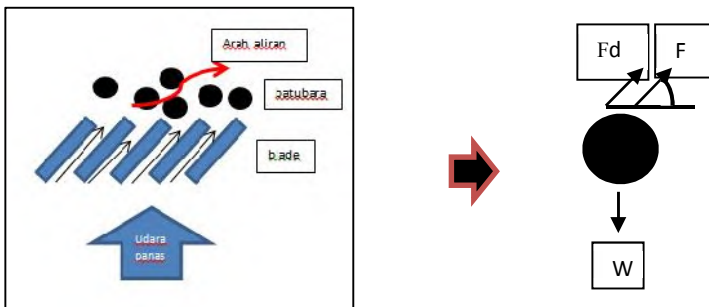
Fluidisasi adalah suatu proses mengkontakkan fluida dengan partikel benda dalam ukuran tertentu. Fluida yang umum digunakan adalah udara yang biasa dimanfaatkan untuk proses pengeringan. Cara ini digunakan karena dapat meningkatkan laju pengeringan. Ketika udara dikontakkan dengan partikel tertentu maka akan timbul *drag force*. Apabila nilai *drag force* lebih besar dari berat partikel maka partikel akan melayang.



Gambar 2.6 Skema *swirling fluidized bed dryer*



Udara pengering di alirkan pada bagian bawah sisi pinggir *drying chamber*. Hal ini dimaksudkan agar udara dapat bergerak *swirl* naik hingga bagian atas *chamber*. Pada bagian tengah *chamber* terdapat *blade* dengan sudut tertentu. Sudut pada *blade* mempengaruhi arah dan kecepatan dari udara yang dialirkan. Kecepatan fluida pengering didasarkan pada kecepatan fluida minimum, dimana keadaan batubara dalam posisi melayang. Kecepatan fluidisasi minimum batubara didapatkan dari persamaan berikut :



Gambar 2.7 Aliran fluida pengering

$$\sum F = 0$$

$$F_{drag} + F_{buoyancy} \sin \theta - W = 0$$

$$Fd = W$$

$$\frac{1}{2} Cd \rho_{udara} V^2 A \sin \theta = \rho_{batubara} \forall g$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \rho_{batubara} \forall g}{Cd \rho_{udara} A \sin \theta}}$$

(2.13)

Dimana :

Fb = Buoyancy Force (diabaikan karena kecil)

Fd = Drag Force (kg m/s²)

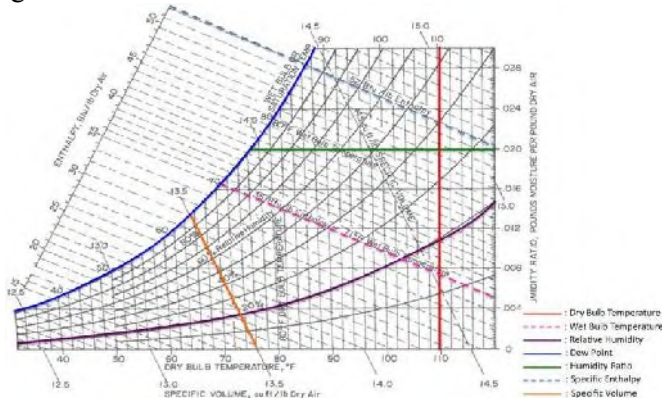
W = Berat batubara (kg m/s²)



- Cd = Koefisien drag batubara
- A = Luas permukaan batubara (m²)
- V = Kecepatan fluidisasi minimum (m/s)
- ∇ = Volume batubara (m³)
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)

2.4 Prinsip Psychrometric Chart

Psychrometric adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat termodinamika dari udara basah. Secara umum digunakan untuk mengilustrasikan dan menganalisis perubahan sifat termal dan karakteristik dari proses dan siklus sistem penyejaran udara (*air conditioning*). Diagram psikometrik adalah gambaran dari sifat-sifat termodinamika dari udara basah dan variasi proses sistem penyejaran udara dan siklus sistem penyejaran udara. Dari *Psychrometric chart* akan membantu dalam perhitungan dan menganalisis kerja dan perpindahan energi dari proses dan siklus sistem penyejaran udara. *Psychrometric chart* dapat ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.8 Psychrometric chart

Beberapa istilah-istilah yang sering digunakan dalam proses pengeringan (*Handbook Refrigeration and Air Conditioning, Stoecker, Wilbert F., Jones.*) antara lain yaitu :



a. *Moisture Content*

Wet basis

Kadar air (*Moisture Content*) adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam suatu bahan dengan berat kering bahan tersebut. Untuk menentukan berat kering suatu bahan, penimbangan dilakukan setelah bobot tersebut tidak berubah lagi selama pengeringan. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$MC (\%) \text{ wb} = \frac{m_{c,basah} - m_{c,kering}}{m_{c,basah}} \times 100\% \quad (2.14)$$

Dimana :

MC (%) wb = kadar air bahan basis basah (%)

$m_{c, \text{ basah}}$ = massa basah sampel bahan (kg)

$m_{c, \text{ kering}}$ = massa kering sampel bahan (kg)

b. Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah uap air yang terkandung di dalam campuran air-udara dalam fase gas. Kelembaban relatif dari suatu campuran udara air didefinisikan sebagai rasio tekanan partial uap air dalam campuran terhadap tekanan uap jenuh air pada temperature tertentu. Untuk menghitung nilai kelembaban relatif dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\Phi = \frac{P_{uap}}{P_s} \times 100\% \quad (2.15)$$

dimana :

P_{uap} = tekanan uap air

P_s = tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama

c. Rasio Kelembaban



Rasio kelembaban (ω_{ud}) adalah massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Rasio kelembaban udara ditentukan berdasarkan 1 kg udara kering. Persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya nilai rasio kelembaban yaitu :

$$\omega_{udara} = \frac{m_{uap\ air}}{m_{udara\ kering}} \quad (2.16)$$

dimana :

ω_{udara} = rasio kelembaban udara (kg/kg)

$m_{uap\ air}$ = massa uap air yang terkandung (kg_{uap air})

$m_{udara\ kering}$ = massa udara kering (kg_{udara kering})

d. Fraksi Massa

Fraksi massa adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan perbandingan antara massa uap air yang terkandung di dalam udara dengan massa uap air tersebut yang ditambah dengan massa udara kering. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

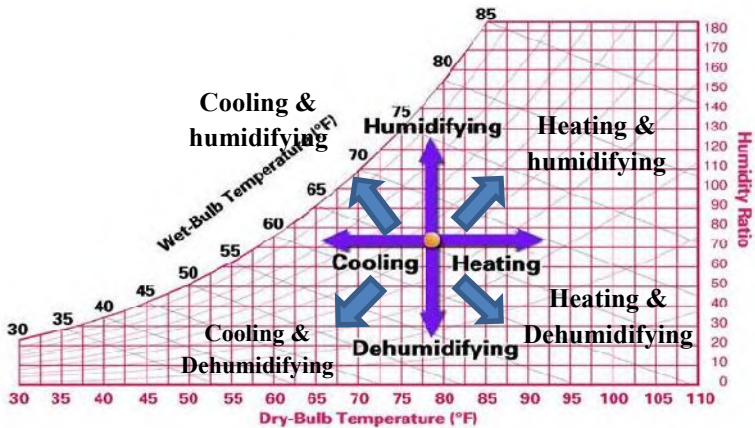
$$Y = \frac{m_{uap\ air}}{m_{uap\ air} + m_{udara\ kering}} \quad (2.17)$$

dimana:

Y = fraksi massa

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

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



Gambar 2.9 Proses udara berdasarkan *Psychrometric Chart*

a. Proses Pendinginan (*Cooling*)

Proses pendinginan adalah proses pengambilan kalor sensibel dari udara sehingga temperatur udara tersebut mengalami penurunan. Proses ini hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara tanpa perubahan rasio kelembaban. Garis proses pada *Psychrometric chart* adalah garis horizontal ke arah kiri.

b. Proses Pelembaban (*Humidifying*)

Proses pelembaban adalah proses penambahan kandungan uap air ke udara sehingga terjadi kenaikan entalpi dan ratio kelembaban. Pada proses ini terjadi perubahan kalor laten tanpa disertai perubahan kalor sensibel. Garis proses pada *Psychrometric chart* adalah garis vertikal ke arah atas.

c. Proses Pemanasan (*Heating*)

Proses pemanasan adalah proses penambahan kalor sensibel ke udara sehingga temperatur udara tersebut naik. Proses ini hanya disebabkan oleh perubahan temperatur bola kering udara tanpa perubahan rasio



kelembaban. Garis proses pada *Psychrometric chart* adalah garis horizontal ke arah kanan.

d. Proses Penurunan Kelembaban (*Dehumidifying*)

Proses penurunan kelembaban adalah proses pengurangan kandungan uap air ke udara sehingga terjadi penurunan entalpi dan ratio kelembaban. Pada proses ini terjadi perubahan kalor laten tanpa disertai perubahan kalor sensibel. Garis proses pada *Psychrometric chart* adalah garis vertikal ke arah bawah.

e. Proses Pendinginan dan Pelembaban (*Cooling and Humidifying*)

Proses ini dilakukan dengan melewati udara pada ruangan semburan air yang temperaturnya lebih rendah dari temperatur udara, tetapi lebih tinggi dari titik embun udara sehingga temperatur akan mengalami penurunan dan rasio kelembaban akan mengalami peningkatan.

f. Proses Pemanasan dan Pelembaban (*Heating and Humidifying*)

Pada proses ini udara dipanaskan disertai dengan penambahan uap air, yaitu dengan mengalirkan udara melewati ruangan semburan air atau uap yang temperaturnya lebih tinggi dari temperatur udara, sehingga didapatkan peningkatan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan. Pada proses ini terjadi kenaikan rasio kelembaban, entalpi, T_{db} , T_{wb} dan kelembaban relatif. Garis proses pada *Psychrometric chart* adalah garis ke arah kanan atas.

g. Proses Pemanasan dan Penurunan Kelembaban (*Heating and Dehumidifying*)

Pada proses ini udara mengalami pendinginan dahulu sampai temperaturnya dibawah titik embun udara, pada temperatur ini udara mengalami pengembunan sehingga kandungan uap air akan berkurang, kemudian udara dilewatkan melalui koil pemanas sehingga

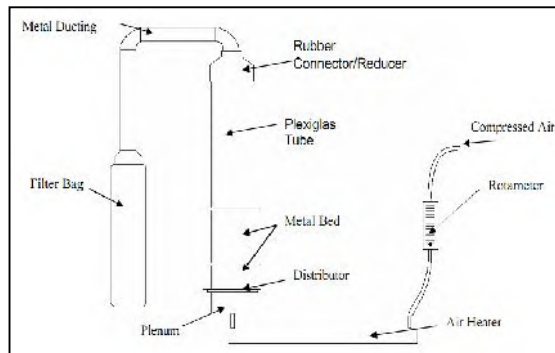


temperatur udara akan meningkat. Proses ini terjadi pada alat pengering udara (*dehumidifier*). Pada proses ini terjadi penurunan rasio kelembaban, entalpi, T_{wb} , entalpi dan kelembaban relatif tetapi terjadi peningkatan T_{db} . Garis proses pada *psychrometric chart* adalah garis kearah kanan bawah.

- h. Proses Pendinginan dan Penurunan Kelembaban (*Cooling and Dehumidifying*)

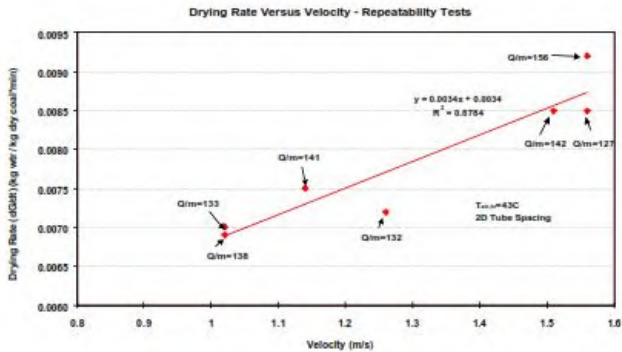
Proses ini dilakukan dengan cara melewatkan udara pada koil pendingin atau ruangan semburan air dimana temperaturnya lebih rendah dari temperatur udara sehingga terjadi penurunan kalor laten dan kalor sensibel.

2.5 Penelitian Terdahulu



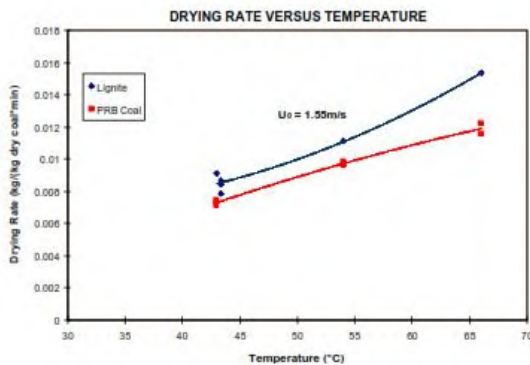
Gambar 2.10 Skema alat percobaan Levy dkk (2006)

Dalam penelitiannya **Levy dkk (2006)**, terdapat beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap laju pengeringan batubara. Faktor tersebut antara lain ukuran partikel batubara, kecepatan udara pemanas, suhu *tube heater* dan kandungan air dalam udara pemanas. Dalam penelitiannya hal tersebut merupakan variable yang di uji. Pada gambar 2.11 terlihat pengaruh kecepatan terhadap laju pengeringan.



Gambar 2.11 Grafik pengaruh kecepatan terhadap Pengeringan Batubara

Berdasarkan data eksperimen pada gambar 2.11, penelitian yang dilakukan **Levy dkk (2006)**, didapatkan bahwa kecepatan udara pemanas pada sisi masuk ruangan pengering dapat 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.

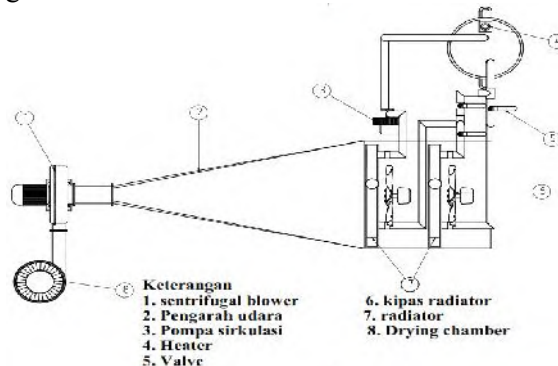


Gambar 2.12 Grafik pengaruh temperatur terhadap pengeringan batubara yang berbeda



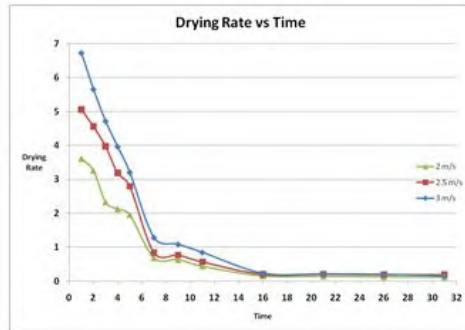
Pada penelitian yang dilakukan oleh **Levy dkk (2006)**, gambar 2.12 juga didapatkan pengaruh dari temperatur udara pemanas yang akan dilewatkan pada ruangan pengering. Dalam penelitian ini divariasikan temperatur udara pemanas dari suhu 43°C hingga 66°C.

Batubara yang digunakan dalam pengambilan data adalah batubara jenis *lignite* dan *batubara subbituminous* dari *powder basin river* (PBR) Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa kenaikan temperatur udara pemanas akan meningkatkan laju pengeringan batubara.



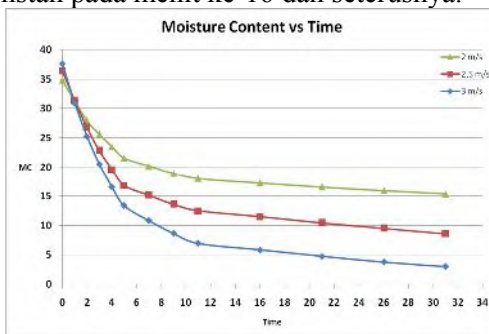
Gambar 2.13 Skema percobaan Stevanus Fransiskus(2015)

Penelitian yang dilakukan **Fransiskus** dilakukan dengan menggunakan system *cyclone fluidized bed dryer*. Alat yang digunakan yaitu pompa, *heater*, *heat exchanger*, *blower*, dan *blade* sudut 10°. Skema susunan alat yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2.13. Udara panas berasal dari air panas yang kemudian dialirkan ke *heat exchanger* sehingga panas air akan berpindah ke udara.



Gambar 2.14 Pengaruh kecepatan terhadap drying rate

Gambar (2.14) menunjukkan bahwa kecepatan memiliki pengaruh terhadap *drying rate*. Kecepatan 2 m/s memiliki nilai *drying rate* paling rendah dibandingkan dengan variasi kecepatan yang lain. Grafik menunjukkan nilai penurunan yang ekstrim hingga menit ke 7, setelah itu penurunan grafik mulai landai hingga akhirnya konstan pada menit ke-16 dan seterusnya.



Gambar 2.15 Pengaruh kecepatan terhadap moisture content

Proses pengeringan merupakan proses perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering. gambar (2.15) menunjukkan bahwa kecepatan memiliki pengaruh terhadap moisture content yang berkurang tiap menitnya. Grafik menunjukkan penurunan yang signifikan hingga menit ke 7.



Tugas Akhir

Kecepatan 2 m/s memiliki grafik yang lebih landai dibandingkan yang lain, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin cepat udara pengering yang mengalir maka *moisture content* yang dapat diuapkan akan semakin tinggi.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Model Alat Pengeringan

Penelitian ini dilakukan dengan berbasis pada penelitian Stevanus Fransiskus, yang menggunakan penelitian dengan tipe *Swirling Fluidization Technology*. Penelitian terdahulu dari Wei-Cheng Wang juga dijadikan sebagai pedoman. Tipe alat ini didesain untuk material berbentuk granular yang dapat diaplikasikan pada batubara. Pengeringan batubara dilakukan didalam chamber berbentuk silinder yang ditengahnya terdapat cone yang berguna untuk mengarahkan aliran fluida.

Pada selang waktu tertentu, batubara akan berada di dala chamber untuk di keringkan. Udara pengeringan merupakan udara lingkungan yang dipanaskan menggunakan *compact heat exchanger*. Udara yang telah dipanaskan kemudian di alirkan menuju *chamber* dengan menggunakan *blower*. Udara panas masuk melalui sisi pinggir *chamber* dan akan melewati blade yang bertujuan untuk membentuk aliran *swirl* (melingkar). Udara dengan kontur *swirl* akan mengubah aliran udara pengering menjadi tubulen. Saat aliran udara ini mengenai batubara, akan terjadi olakan pada batubara sehingga udara pengering dapat mengenai seluruh permukaan batubara. Ini diharapkan akan meningkatkan koefisien perpindahan panas dari udara pengering. Model alat pengering batubara yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.1



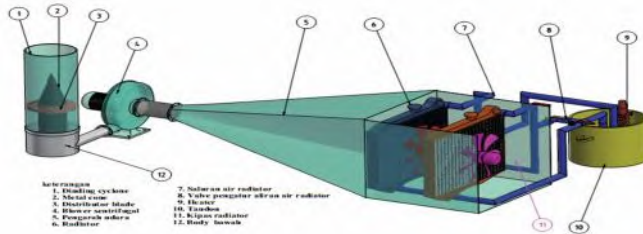


Gambar 3.1 model alat pengering swirling fluidized bed dryer

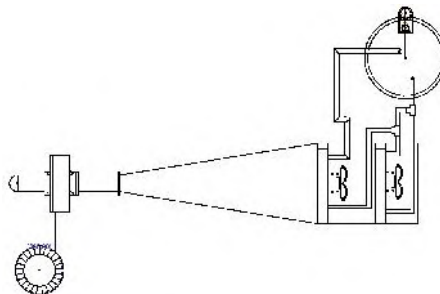
Alat ini merupakan alat eksperimen untuk skala laboratorium. Penggunaan dengan ruang dan kapasitas yang terbatas. Untuk selanjutnya diharapkan alat ini dapat digunakan untuk menunjang sistem yang sudah ada pada sistem pembangkit dengan cara menaikkan nilai kalor batubara. Dengan menaikkan nilai kalor akan mempermudah boiler untuk mencapai kapasitasnya sehingga kapasitas pembangkit dapat terjaga pada posisi optimum.

3.2 Skema Peralatan

Alat yang digunakan adalah tipe alat pengering *swirling fluidized bed dryer*. Aliran *swirl* disebabkan oleh blade diletakkan pada bagian inlet dari *drying chamber* skema peralatan yang digunakan pada eksperimen ini dapat dilihat pada gambar 3.2



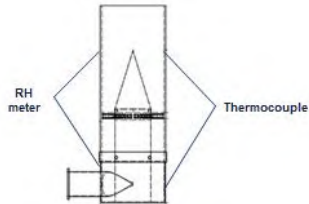
(a)



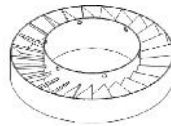


(b)

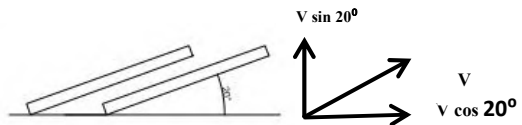
Gambar 3.2 Skema peralatan (a) 3D, (b) 2D



Gambar 3.3 Skema peletakan alat ukur



Gambar 3.4 Profil blade



Gambar 3.5 Sudut blade

3.3 Variabel penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini sudah ditentukan sebagai berikut :

- Variabel bebas : kecepatan *inlet* udara pengering
- Variabel terkontrol : blade 20°, diameter batubara, massa batubara, *drying chamber*, temperature
- Supply* udara : menggunakan blower sentrifugal dengan daya 750 watt. Pengaturan



	kecepatan dilakukan dengan menggunakan <i>voltage regulator</i>
Batubara	: batubara dengan ukuran rata-rata dianggap 6mm didapatkan dengan ayakan 10 mm dan 5mm, batubara diasumsikan berbentuk granular (butiran)
<i>Water tank</i>	: kapasitas \pm 40 liter
<i>Water heater</i>	: menggunakan <i>heater</i> dengan daya total mencapai 4600 watt dengan jumlah <i>heater</i> 500watt sebanyak 8 dan <i>heater</i> 600 watt sebanyak 1 buah.
<i>Heat exchange</i>	: 2 buah radiator diseri, 1 kipas indoor, 1 kipas <i>outdoor</i>
Dimensi <i>chamber</i>	: diameter dalam 190 mm Diameter luar 200 mm Tinggi 650 mm

3.4 Peralatan penunjang eksperimen

Beberapa peralatan penunjang yang diperlukan untuk eksperimen antara lain :

1. *Thermocouple*

Thermocouple adalah alat ukur temperature pada suatu titik yang diamati. Dalam eksperimen ini digunakan *thermocouple* spesifikasi K yang memiliki range temperatur -40°C sampai 750°C . *thermocouple* di pasang pada 4 titik yang berbeda yaitu titik 1 untuk mengukur suhu air, titik 2 untuk mengukur suhu udara daerah *heat exchanger*, titik 3 mengukur suhu udara pada inlet drying chamber, dan titik 4 mengukur suhu udara pada *outer drying chamber*.



Gambar 3.6 Thermocouple

Tipe	: thermocouple tipe K
Bahan sisi positif	: Nikel dan kromium
Bahan sisi negatif	: Nikel dan aluminium
Range pengukuran	: 0 – 1100 °C

2. Data Akuisisi

Alat yang digunakan mengakuisisi data dari *thermocouple* yang di rekap secara otomatis berdasarkan waktu. Waktu tersebut dapat diatur pada *software* yang sudah harus terinstal di laptop atau PC. Input *thermocouple* dapat lebih dari sepuluh, namun dalam penelitian ini hanya digunakan empat *thermocouple* yang masing-masing menunjukkan temperature air, udara di sekitar radiator, udara masuk *chamber* dan udara keluar *chamber*.



Gambar 3.7 Data logger

Merk	: Daqwork Yokogawa
Type	: MX 100

3. *Thermocontrol* digital

Thermocontrol digital adalah alat untuk mengontrol temperatur agar selalu tetap. Prinsip alat ini adalah



berdasarkan temperatur yang dikehendaki. *Thermocontrol* akan menyala apabila suhu turun kurang dari batas yang sudah ditentukan dan akan mati apabila sudah mencapai temperatur yang diinginkan.



Gambar 3.8 Thermocontrol digital

Spesifikasi

Merk : XingHe

Tipe : W2020

Range : -55 s/d +120°C

Akurasi: 0,1 °C

4. RH meter

Rh meter adalah alat untuk mengukur kelembaban relatif udara. Pada penelitian ini RH meter digunakan untuk mengukur kelembaban udara yang keluar dari *drying chamber*.



Gambar 3.9 RH meter

Spesifikasi

Merk : Omega

Tipe : RH-32



Akurasi RH : 0,001%
Akurasi suhu : 0,1 °C

5. Anemometer

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan udara pada saat masuk *drying chamber*.



Gambar 3.10 Anemometer

Spesifikasi
Merk dan tipe : Mini digital anemometer
Speed range : 1 – 25 m/s
Accuracy : $\pm 3\% \pm 0,2$ m/s

6. Voltage regulator

Voltage regulator digunakan untuk mengatur volt yang akan diberikan pada blower. Volt memiliki pengaruh terhadap putaran *blower*, semakin besar volt yang diberikan maka putaran dari blower semakin tinggi, begitu pula sebaliknya jika volt yang diberikan rendah maka putaran blower akan rendah. Putaran *blower* berbanding lurus dengan kecepatan udara pada *inlet drying chamber*.





Gambar 3.11 Voltage Regulator

7. Kompor dan gas elpiji

Kompor dan gas elpiji digunakan untuk memanaskan aquades yang ada pada drum. Heater yang digunakan tidak mampu menjaga suhu agar tetap konstan, sehingga diperlukan energi panas tambahan berupa api dari kompor.



Gambar 3.12 Kompor dan gas elpiji

8. Heater

Heater digunakan untuk memanaskan aquades yang ada pada drum. Selain itu heater di sambungkan dengan thermostat agar temperatur aquades pada drum konstan.



Gambar 3.13 Heater

9. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan sample batubara yang sudah melewati tahap pengeringan dengan *swirling fluidized bed dryer*. Pengeringan oven dilakukan selama 180 menit dengan temperatur 105°C. Hal ini



bertujuan untuk mendapatkan berat kering dari batubara yang nantinya dapat digunakan untuk mengukur *moisture content* yang ada dalam batubara.



Gambar 3.14 Oven Electric

10. Penyaring batubara

Saringan digunakan untuk menyaring batubara yang sudah dipecehkan. Terdapat dua ukuran saringan yang digunakan yaitu ukuran 5 dan 10mm. Diharapkan ukuran batubara setelah penyaringan mendapatkan ukuran rata-rata $\pm 6\text{mm}$.



Gambar 3.15 penyaring batubara

11. Sarung tangan karet

Sarung tangan karet berfungsi untuk menghindari kontak langsung batubara dengan tangan ketika batubara diambil. Karena ketika bersentuhan langsung dengan tangan tidak diharapkan *moisture* dari tangan akan pindah ke batubara.



Gambar 3.16 Sarung tangan karet

12. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang batubara yang sudah mengalami penyaringan. Berat batubara sebelum dilakukan percobaan dan sesudahnya. Diharapkan ketelitian dari timbangan digital lebih akurat.



Gambar 3.17 Timbangan digital

Spesifikasi

Merk dan tipe : Digital Scale PS38

Range : 0,01 – 200 gram

Ketelitian : 0,01 gram

13. Masker

Masker digunakan untuk menghindari masuknya debu ke pernapasan. Debu yang keluar saat batubara mengalami fluidisasi sangat halus, tidak diinginkan debu tersebut menimbulkan masalah terhadap kesehatan sehingga diperlukan masker ketika mengambil data percobaan.



Gambar 3.18 Masker

14. Pitot static tube

Pitot static tube adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan tekanan pada aliran fluida. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur tekanan stagnasi dan tekanan dinamis yang kemudian dapat digunakan untuk mencari kecepatan menggunakan persamaan Bernoulli.



Gambar 3.19 Pitot static tube

15. DAQ data logger dan Differential pressure transmitter

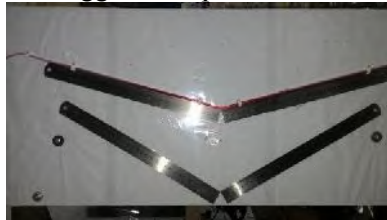
DAQ data logger adalah alat yang digunakan untuk merecord data yang outputnya berupa tegangan (volt). Pressure transducer merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengirim signal pengukuran dari suatu alat ukur tekanan diferensial, dimana dalam eksperimen ini differential pressure transmitter akan mengirimkan signal pengukuran dari pitot static tube menuju DAQ data logger.



Gambar 3.20 DAQ data logger dan Differential pressure transmitter

16. Manometer

Manometer adalah yang berfungsi untuk mengukur tekanan dalam ruang tertutup, dimana pada eksperimen ini tekanan yang diukur adalah pada selongsong dari blower. Tekanan ini diukur untuk mencari kecepatan yang nantinya akan menggunakan persamaan Bernoulli.



Gambar 3.21 Manometer

3.5 Metodologi eksperimen

3.5.1 Tahap persiapan

1. Mempersiapkan dan memeriksa peralatan eksperimen berada dalam kondisi baik, yaitu *thermocouple*, *thermocontrol*, RH meter, *Anemometer*, Timbangan digital, *voltage regulator*, kompor gas, heater, dan *oven electric*.
2. Memastikan *moisture content* batubara berada pada golongan *low rank* yang memiliki *moisture content* antara 30% sampai 45%.



3. Memecah batubara menjadi butiran-butiran kecil dengan menggunakan palu dan tang.



Gambar 3.22 Proses pemecahan batubara menjadi ukuran kecil

4. Menyaring batubara menggunakan dua buah ayakan ukuran 5mm dan 10mm sehingga diharapkan hasil saringan batubara memiliki rata-rata diameter sebesar 6mm.



Gambar 3.23 Proses penyaringan batubara untuk mendapatkan ukuran ± 6 mm

5. Menimbang batubara menggunakan timbangan beban “*kitchen scales*” dengan massa 600 gram untuk satu kali variasi. Dalam eksperimen ini diperlukan 3 variasi sehingga dibutuhkan batubara dengan massa total 1800 gram.





Gambar 3.24 proses menimbang batubara pada kitchen scales

6. Memastikan *thermocouple* terpasang pada titik-titik yang telah di tentukan dan telah terhubung pada *data logger* sehingga data bisa terbaca pada laptop yang sebelumnya telah terinstal *software MX100*.
7. Memastikan blade dengan sudut 20° dalam kondisi baik dan terpasang dengan benar pada *drying chamber*.



Gambar 3.25 Memastikan sudut blade 20° pada drying chamber

8. Menghitung kecepatan dengan pitot static tube.
9. Memasukkan aquades ke dalam *water tank* hingga terisih $\frac{3}{4}$ bagian. Hal ini dilakukan agar waktu yang digunakan untuk memanaskan aquades tidak terlalu lama dan lebih mudah untuk dijaga keteraturan suhunya.



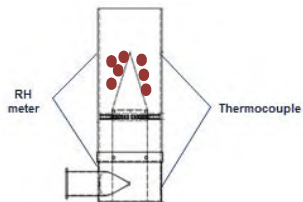
Gambar 3.26 Memasukkan aquades dalam tangki

10. Memasang *heater* pada *water tank* dengan pemakaian sesuai dengan kebutuhan. 1 heater di pasang pada *thermocontrol* untuk menjaga kestabilan temperatur. Temperatur air yang diinginkan sebesar 75°C .
11. Menyalakan pompa untuk mensirkulasikan aquades panas menuju radiator. Sistem pemanas udara pengeringan batubara menggunakan *heat exchanger* yang terdiri dari 2 buah radiator tersusun seri. Pada masing-masing bagian radiator terdapat *fan* yang



dipasang dengan tujuan mempercepat terjadinya penukaran panas.

12. *Blower* dinyalakan sesuai dengan kecepatan fluidisasi yang telah dihitung. Pengaturan kecepatan udara menggunakan *voltage regulator*. Kecepatan udara dari perhitungan di sesuaikan dengan kecepatan udara yang ada pada *drying chamber*. Terdapat ketentuan untuk terjadi fluidisasi sehingga perlu dipastikan terlebih dulu batubara terfluidisasi seperti yang terlihat pada gambar 3.28.



Gambar 3.27 batubara terfluidisasi

3.5.2 Tahap Kalibrasi Pitot Static Tube

1. Mempersiapkan dan memeriksa alat untuk kalibrasi pitot static tube berada dalam kondisi baik, yaitu manometer, *pitot static tube*, *differential pressure transmitter* dan DAQ data logger.
2. Menghubungkan manometer dengan pitot static tube untuk melakukan tahap pengambilan data berupa perbedaan tekanan. Pengambilan data dimulai dengan menyalakan blower dengan 30 volt pada voltage regulator untuk data awal dan untuk selanjutnya dengan kenaikan tiap 10 volt.
3. Perbedaan tekanan ini di catat pada tabel yang telah dibuat dan matikan blower.
4. Setelah selesai, lepaskan manometer dan hubungkan *pitot static tube* ke *differetial pressure transmitter*. Selang dari tekanan stagnasi dihubungkan ke high pada Kemudian hubungkan *differential pressure transmitter* ke DAQ data logger.



5. DAQ data logger dan blower dinyalakan dengan 30 volt pada voltage regulator sebagai data awal dan selanjutnya dengan kenaikan tiap 10 volt. Data yang dihasilkan berupa tegangan (volt) dari DAQ data logger.
6. Didapatkan persamaan hubungan yang dapat dinyatakan dalam grafik antara data dari manometer berupa perbedaan tekanan dan dari DAQ data logger.
7. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk mencari kecepatan yang diinginkan untuk pengambilan data.

3.5.3 Tahap pengambilan data

1. Setelah semua alat nyala, ditunggu beberapa saat hingga temperatur udara menunjukkan nilai yang stabil (kondisi *steady* pada *drying chamber*).
2. Batubara diambil sebanyak ± 3 gram untuk diukur terlebih dulu beratnya menggunakan timbangan digital. Hasilnya dicatat sebagai massa sampel batubara basah awal.
3. Nilai temperature dan *relative humidity* dicatat daam drying chamber (Tin dan RH in).
4. Menjalankan *software* MX 100 pada komputer bersamaan dengan memasukkan batubara ukuran ± 6 mm dengan berat 600 gram ke dalam *chamber*.



Gambar 3.28 Menghubungkan data logger ke komputer

5. Pengambilan sampel batubara sebanyak ± 3 gram dengan interval waktu selama 1 menit sebanyak 15 menit kemudian 2 menit sebanyak 8 kali.



6. Setiap pengambilan sample, dicatat terlebih dulu nilai kelembaban relatif menggunakan RH meter kemudian sampel ditaruh pada plastik dan diberi tanda sesuai dengan urutan.
7. Setelah pengambilan data semua selesai maka sampel ditimbang menggunakan timbangan digital dan di catat.
8. Setelah semua pengambailan data selesai, dilakukan *blower*, pompa, kipas radiator, *heater*, dan kompor dimatikan.
9. Kemudian sampel batubara diletakkan dalam wadah alumunium foil yang sebelumnya sudah diberikan penanda waktu.



Gambar 3.29 Peletakan batubara pada aluminium foil

10. Setelah itu batubara dikeringkan lebih lanjut menggunakan *oven electric*. Proses pengeringan menggunakan standart ASTM D 5142 dimana untuk menghilangkan *moisture* secara keseluruhan pada batubara perlu dilakukan pemanasan dengan temperature 105°C selama 3 jam.



Gambar 3.30 Proses pengeringan batubara menggunakan oven electric

11. Setelah selsai dioven, batubara ditimbang lagi menggunakan timbangan digital dan dicatat sebagai massa sampel batubara kering.



Gambar 3.31 Proses penimbangan batubara

12. Selesai.

3.5.4 Tahap analisa data eksperimen

Setelah penganbilan data dilakukan analisa guna mendapatkan nilai-nilai seperti *moisture content* batubara, *drying rate*, koefisien perpindahan panas dan massa serta karakteristik udara dalam *psychrometric chart*.

3.6 Lembar penganbilan data

Untuk mempermudah dalam mencatat data percobaan yang akan dilakukan, maka dibuat tabel yang berisi variabel yang diperlukan dari percobaan. Lembar data percobaan ditunjukkan pada gambar berikut :

Tabel 3.1 Lembar Data Percobaan

Waktu menit	Tin	Tout	RHin	RHout	Massa bb basah	Massa bb kering
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						



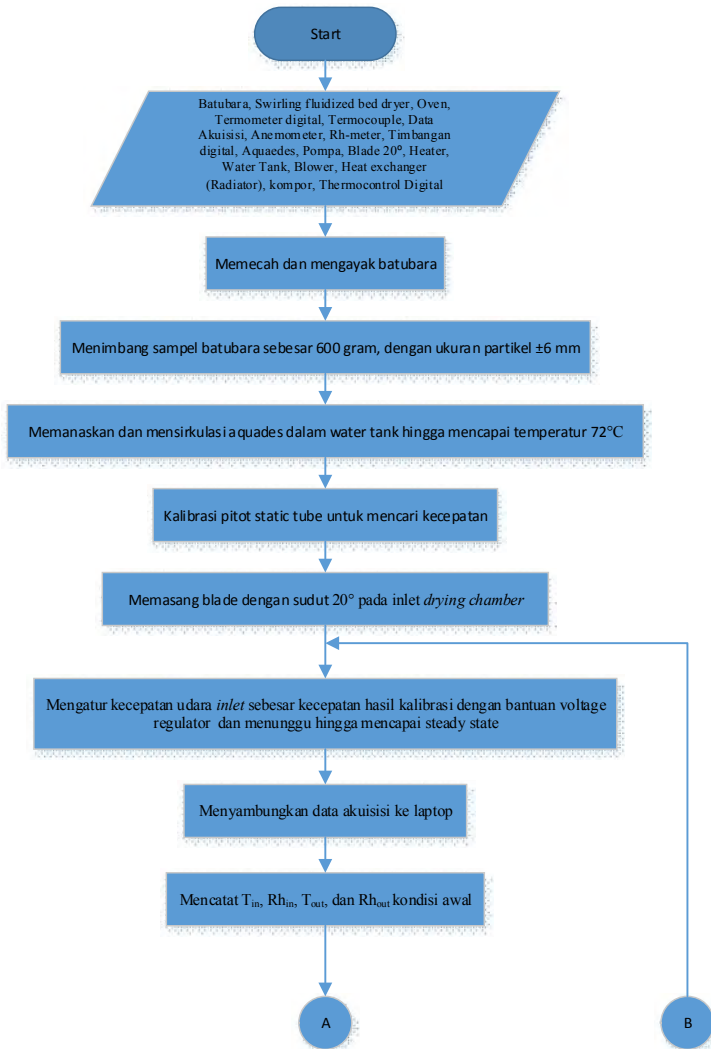
Tugas Akhir

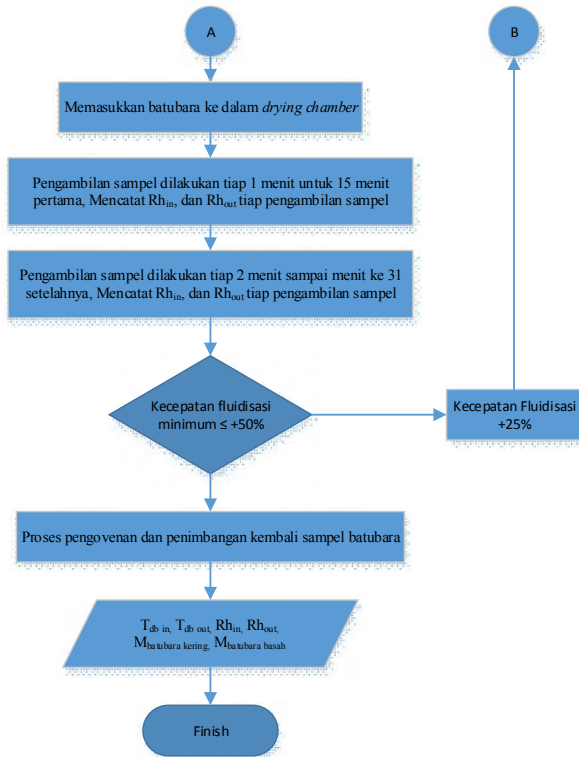
11						
12						
13						
14						
15						
17						
19						
21						
23						
25						
27						
29						
31						



3.7 Flowchart eksperimen

3.7.1 Flowchart pengambilan data

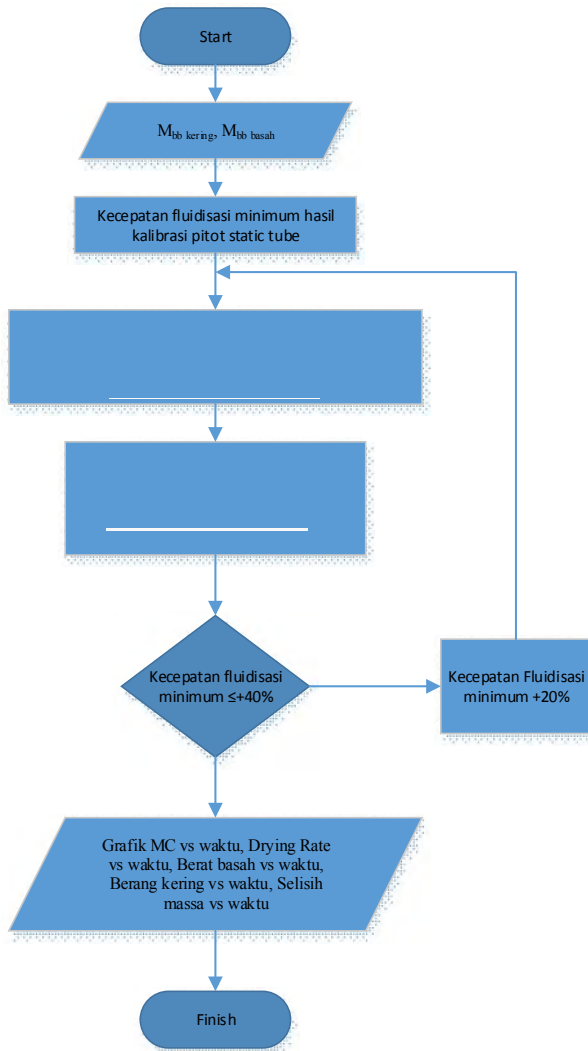




Gambar 3.32 *Flowchart* pengambilan data



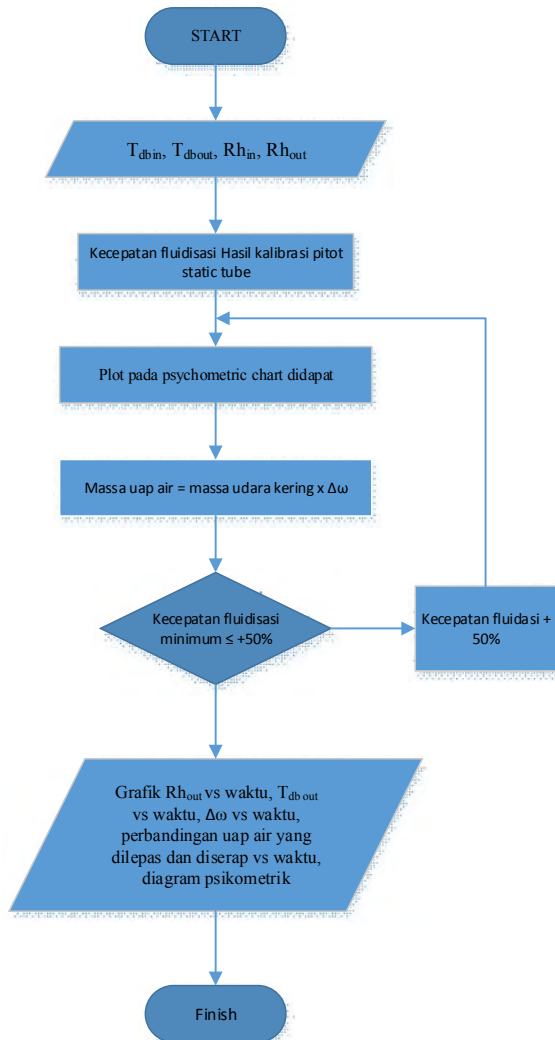
3.7.2 Flowchart pengolahan data dari batubara



Gambar 3.33 Flowchart pengolahan data dari batubara



3.7.3 Flowchart pengolahan data dari udara



Gambar 3.34 Flowchart pengolahan data dari udara



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada eksperimen dan pengambilan data mengenai pengeringan batubara *jenis low rank* dengan metode *swirling fluidized bed coal dryer* dengan variasi kecepatan 2 m/s ; 2,5 m/s dan 3 m/s untuk sudut blade 20°, menghasilkan tabel data. Data-data yang telah didapat berfungsi sebagai input, akan diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan output dalam bentuk grafik dan psychrometric chart. Nilai relative humidity (RH) dan temperatur outlet dari chamber (tdb) akan dijadikan acuan untuk mencari *ratio humidity* yang nantinya akan digunakan untuk mencari nilai *moisture content*. Diharapkan besar jumlah moisture content yang dilepas batubara akan sama dengan yang diterima oleh udara.

Proses perpindahan uap air yang terjadi antara batubara dan udara melalui proses perpindahan panas dan massa yang berurutan antara lain :

1. Perpindahan panas antara udara pengering dengan permukaan batubara terjadi secara konveksi.
2. Perpindahan panas dari permukaan menuju ke dalam batubara terjadi secara konduksi.
3. Perpindahan massa uap air dari dalam batubara menuju ke permukaan terjadi secara difusi atau kapiler.
4. Perpindahan uap air dari permukaan batubara ke udara pengering.

4.1 Data Hasil Percobaan

Data hasil percobaan terdapat pada lampiran laporan hasil eksperimen pengeringan batubara ini.

4.2 Analisa dan Contoh Perhitungan

4.2.1 Contoh Perhitungan Laju Alir Massa

Laju alir massa adalah banyaknya volume suatu fluida per satuan waktu. Perhitungan laju alir massa dilakukan berdasarkan



laju alir massa pada kecepatan 2 m/s ; 2,5 m/s dan 3 m/s dengan luasan yang digunakan yaitu pada blade. Berikut perhitungan laju alir massa :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad &: \quad v_1 = 2 \text{ m/s} \\ & \quad A = \pi(0,090^2 - 0,055^2)m^2 \\ & \quad = 0,01594 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan nilai laju alir massa

$$\begin{aligned} Q_1 &= v_1 A \\ &= 2 \frac{\text{m}}{\text{s}} (0,01594 \text{ m}^2) \\ &= 0,03188 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Kemudian perhitungan laju alir massa dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan laju alir massa

No	v (m/s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)
1	2	0,01594	0,03188
2	2,5	0,01594	0,03985
3	3	0,01594	0,04783

4.2.2 Contoh Perhitungan Kalibrasi Pitot Tube

Perhitungan kalibrasi pitot tube digunakan untuk mencari kecepatan pada selongsong yang memiliki luasan penampang yang berbeda. Berikut perhitungan kecepatan pada selongsong :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} \quad & Q_1 = 0,03188 \text{ m}^3/\text{s} \\ & A = \frac{\pi}{4} 0,0762^2 \\ & \quad = 0,00456 \text{ m}^2 \\ & v_1 = \frac{Q_1}{A} \\ & \quad = \frac{0,03188 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00456 \text{ m}^2} \\ & \quad = 7 \text{ m/s} \end{aligned}$$



Kemudian perhitungan kecepatan pada selongsong dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil perhitungan kecepatan pada selongsong

No	Q (m ³ /s)	A (m ²)	v (m/s)
1	0,03188	0,01594	7
2	0,03985	0,01594	8,89
3	0,04783	0,01594	10,5

Kecepatan pada selongsong akan digunakan untuk menghitung kalibrasi pitot tube sehingga nilai volt pada voltage regulator dapat diketahui. Perhitungan kalibrasi pitot tube menggunakan alat sebagai berikut :

1. Pitot tube
2. Manometer
3. Different pressure transmitter
4. DAQ data logger

Perhitungan dilakukan dengan kalibrasi antara manometer dengan pressure transducer yang dihubungkan dengan DAQ data logger. Berikut data yang diketahui :

Tabel 4.3 Data perhitungan kalibrasi

Tstandar	pstandar	Tudara	pdudara	gravitasi	pair	Dsilinder	SGred oil	b	S	αmano	μudara
K	kg/m ³	°C	kg/m ³	m/s ²	kg/m ³	mm	-	g/m.s.K ¹	K	deg	kg/m.s
300	1,225	27	1,178	9,81	996	25	0,827	1,46E-06	110,4	15	1,84E-05

Diketahui

$$\text{Voltage} = 60$$

$$Y_{\text{awal}} = 8,3 \text{ cm}$$

$$Y_{\text{akhir}} = 8,9 \text{ cm}$$

Sehingga didapatkan nilai (h) perubahan ketinggian manometer

$$h = (Y_{\text{akhir}} - Y_{\text{awal}}) \sin 15 (0,01) \\ = 0,003 \text{ m}$$



Nilai h digunakan untuk menghitung tekanan dinamis (P_d) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_d &= SG_{red\ oil} \rho_{udara} g raitasi (h) \\ &= (0,827)(996)(9,81)(0,003) \\ &= 25,0964 Pa \end{aligned}$$

Nilai P_d digunakan untuk menghitung kecepatan pada selongsong hasil kalibrasi sebagai berikut :

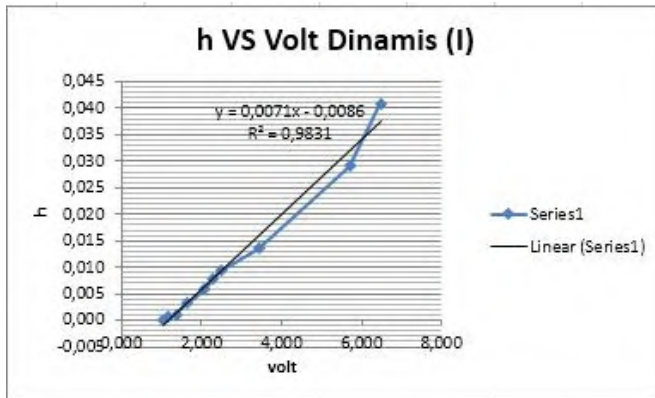
$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2P_d}{\rho_{udara}}} \\ &= \sqrt{\frac{2(25,0964)}{996}} \\ &= 3,76866\ m/s \end{aligned}$$

Sehingga hasil kalibrasi dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil kalibrasi

Voltage	Y awal	Y akhir	h	Volt	Pd	V	Re
30	8,3	8,30	0,000	1,060	0	0	0,00E+00
40	8,3	8,40	0,001	1,184	4,182732	2,664848	1,37E+05
50	8,3	8,50	0,001	1,379	8,365465	3,768664	1,94E+05
60	8,3	8,90	0,003	1,629	25,09639	6,527517	3,36E+05
70	8,3	9,40	0,006	2,086	46,01006	8,8383	4,55E+05
80	8,3	9,80	0,008	2,265	62,74099	10,32091	5,31E+05
90	8,3	10,10	0,009	2,483	75,28918	11,30599	5,82E+05
100	8,3	10,90	0,013	3,427	108,751	13,58811	7,00E+05
110	8,3	13,90	0,029	5,703	234,233	19,94189	1,03E+06
120	8,3	16,20	0,041	6,477	330,4359	23,68568	1,22E+06

Berikut adalah grafik hubungan antara h dengan volt pada DAQ data logger yang nilainya nanti akan di masukkan ke persamaan grafik untuk mendapatkan kecepatan pada selongsong :



Gambar 4.1 Grafik hubungan perbedaan ketinggian manometer (h) dengan volt dinamis pada DAQ data logger

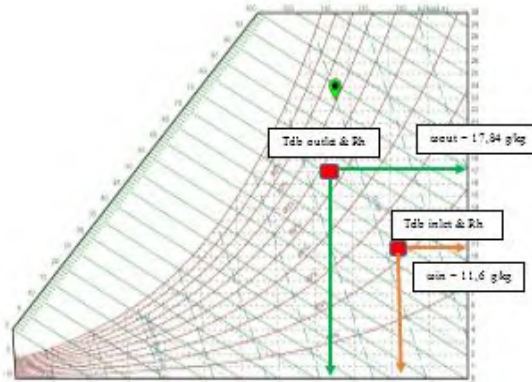
Pada gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara ketinggian manometer (h) dengan volt dinamis yang ada pada DAQ data logger. Semakin besar nilai ketinggian manometer (h) maka nilai volt yang dihasilkan akan semakin tinggi. Nilai volt pada DAQ data logger menunjukkan besarnya nilai kecepatan yang diukur. Hubungan tersebut berbanding lurus, sehingga semakin besar nilai volt pada DAQ data logger maka akan semakin besar nilai kecepatan yang diukur.

4.2.3 Contoh Perhitungan *Humidity Ratio* Pada Sisi Udara

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan data *relatif humidity* (RH) outlet dan temperatur outlet (tdb) yang akan digunakan untuk mencari rasio kelembaban pada menit tertentu. Dalam mencari rasio humidity digunakan *psychrometric chart*. *Ratio humidity* digunakan untuk menghitung massa uap air yang diterima oleh udara selama proses pengeringan berlangsung yang nantinya akan dibandingkan dengan massa uap air yang dilepas oleh batubara.



T_{out1}	33,1
Rh_{out1}	55,6



Gambar 4.2 Psychrometric chart untuk mencari ratio humidity % per menit

$$\begin{aligned}\Delta\omega &= \omega_{out} - \omega_{inlet} \\ &= 17,84 \frac{g}{kg} - 11,6 \text{ g/kg} \\ &= 6,24 \frac{g}{kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{massa udara} &= m \times \text{interval pengeringan} \\ &= 0,052836 \text{ kg/s} \times 60 \text{ s} \\ &= 3,1701 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{massa uap air diterima udara} &= \Delta\omega \times \text{massa udara} \\ &= 6,24 \frac{g}{kg} \times 3,1701 \text{ kg} \\ &= 19,7817 \text{ g}\end{aligned}$$

4.2.4 Contoh Perhitungan Moisture Content Pada Sisi Batubara

Dari percobaan yang telah dilakukan didapatkan data yang dapat digunakan untuk menghitung *moisture content*. *Moisture content* merupakan perbandingan berat air yang terkandung dalam suatu bahan dengan berat kering bahan tersebut. Untuk menentukan



berat kering suatu bahan, penimbangan dilakukan setelah bobot tersebut tidak berubah lagi selama pengeringan. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%). Berikut merupakan contoh perhitungan untuk mencari *moisture content* dengan menggunakan data pada menit ke-0 dan ke-1 :

Tabel 4.5 Data untuk perhitungan *moisture content* batubara

Keterangan	Satuan	Nilai
Waktu pengeringan	Menit	1
Sudut blade	Angle	20
Kecepatan inlet chamber	m/s	3
Massa batubara basah menit ke 0	Gram	3,69
Massa batubara kering menit ke 0	Gram	2,66
Massa tempat untuk pengeringan	Gram	0,88
Massa batubara basah menit ke 1	Gram	4,17
Massa batubara kering menit ke 1	Gram	3,07

$$MC0 = \frac{(mb0 - mk0)}{mk} \times 100\%$$

$$MC0 = \frac{(3,69 - 2,66)}{2,66} \times 100\%$$

$$MC0 = 36,655 \%$$

$$MC1 = \frac{(mb - mk)}{mk} \times 100\%$$

$$MC1 = \frac{(4,17 - 3,07)}{3,07} \times 100\%$$

$$MC1 = 33,537 \%$$

4.2.5 Contoh Perhitungan *Drying Rate*

Drying rate merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan *moisture content* pada batubara pada waktu tertentu. Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui *moisture content* yang hilang dari batubara per satuan waktu yang nantinya akan dibuat dalam bentuk grafik. Variasi kecepatan pengeringan menggunakan contoh dari perhitungan *moisture content* dengan



menggunakan data dari perhitungan *moisture content* (4.2.5) sebagai berikut :

$$MC 0 = 36,655 \%$$

$$MC 1 = 33,537 \%$$

$$Drying Rate = \frac{MC 0 - MC 1}{t_1 - t_0}$$

$$Drying Rate = \frac{36,655 - 33,537}{1} = 3,1182 \%/menit$$

4.2.7 Contoh Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas dan Massa

Proses perpindahan panas adalah proses perpindahan panas dari udara pengering ke dalam batubara yang terjadi secara konveksi sedangkan perpindahan massa adalah proses perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering. Pada masing-masing proses tersebut terdapat koefisien yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya panas maupun massa yang berpindah antara batubara dan udara pengering. Saat proses pengeringan berlangsung perpindahan panas dan massa berlangsung secara simultan dan hampir bersamaan. Untuk menghitung koefisien perpindahan panas dan massa digunakan data sebagai berikut :

Tabel 4.6 Data perhitungan koefisien perpindahan panas dan massa

Keterangan	satuan	nilai
Kecepatan	m/s	3
Ukuran partikel	mm	± 6
Sudut blade	derajat	20
Beban pengeringan	gr	600

a. Menghitung Reynolds Number (Re_D)

$$Re_D = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$



$$Re_D = \frac{1,1052 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,006 \text{ m}}{193,33 \times 10^{-7} \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}} = 1029$$

b. Menghitung Nusselt Number (Nu_D)

$$\begin{aligned} Nud &= 2 + 0,6 \times Re_D^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \\ &= 2 + 0,6 \times 1029^{1/2} \times 0,705^{1/3} \\ &= 2 + 19,247 \times 0,89 \\ Nud &= 19,12983 \end{aligned}$$

c. Nilai koefisien perpindahan panas (h)

$$\begin{aligned} h &= Nu_D \times \frac{k}{D} \\ h &= 19,12983 \times \frac{27,3 \times 10^{-3}}{0,006} \\ h &= 87,041 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

d. Menghitung Schmidt Number (Sc)

$$\begin{aligned} Sc &= \frac{\nu}{D_{AB}} \\ Sc &= \frac{17,375 \times 10^{-6}}{24,5 \times 10^{-6}} \\ Sc &= 0,709126 \end{aligned}$$

e. Menghitung Sherwood Number (Sh)

$$\begin{aligned} Nud &= 2 + 0,6 \times Re_D^{\frac{1}{2}} \cdot Sc^{\frac{1}{3}} \\ Sh &= 0,037 \times 1029^{\frac{1}{2}} \times 0,704^{\frac{1}{3}} \\ Sh &= 19,16521 \end{aligned}$$

f. Nilai koefisien perpindahan massa konveksi (h_m)

$$\begin{aligned} h_m &= Sh \cdot \left(\frac{D_{AB}}{D} \right) \\ h_m &= 19,16521 \cdot \left(\frac{24,5 \times 10^{-6}}{0,006} \right) \end{aligned}$$



$$h_n = 0,078264 \text{ m/s}$$

4.3 Analisa Hasil dan Pembahasan dari Sisi Udara

4.3.1 Analisa udara Pengering Pada *Psychrometric Chart*

Tabel 4.7 Temperatur dan RH out pada kecepatan 3 m/s, 2,5 m/s dan 2 m/s

t	3 m/s		2,5 m/s		2 m/s	
	T.outlet	RH out	T.outlet	RH out	T.outlet	RH out
(Menit)	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(%)
0	44,1	20,2	43,70	20,20	43,2	20,3
1	33,1	55,6	34,50	51,80	34,9	49,9
2	33,8	48,8	34,80	47,50	35,3	45,6
3	34,3	44,2	35,20	44,10	35,7	41,5
4	34,8	40,5	35,50	41,20	36,0	38,2
5	35,3	38,9	35,90	36,80	36,4	36,4
6	35,8	36,8	35,70	38,50	36,7	35,5
7	36,2	35,1	36,00	35,70	36,9	34,4
8	36,6	34,6	36,30	34,50	37,3	33,7
9	36,8	33,6	36,50	33,70	37,5	33,1
10	37	32,6	37,00	32,40	37,8	32,2
11	37,3	32	36,80	33,00	38,1	31,4
12	37,5	31,1	37,30	31,8	38,4	30,4
13	37,4	31,2	37,40	31,20	38,5	29,4
14	37,8	30,2	37,80	30,50	38,7	28,8
15	38,2	29,2	38,00	29,60	39,0	28,1
17	38,6	28,4	38,30	28,90	39,4	27,2
19	39	27,5	38,70	28,00	39,6	26,6
21	39,4	26,7	38,90	27,40	39,8	25,9



23	39,7	26,1	39,20	26,80	40,0	25,4
25	40,1	25,1	39,40	26,20	40,1	25,1
27	40,4	25	39,90	25,20	40,3	24,7
29	40,7	24,6	39,70	25,7	40,4	24,3
31	40,9	24,3	40,20	24,70	40,6	23,9

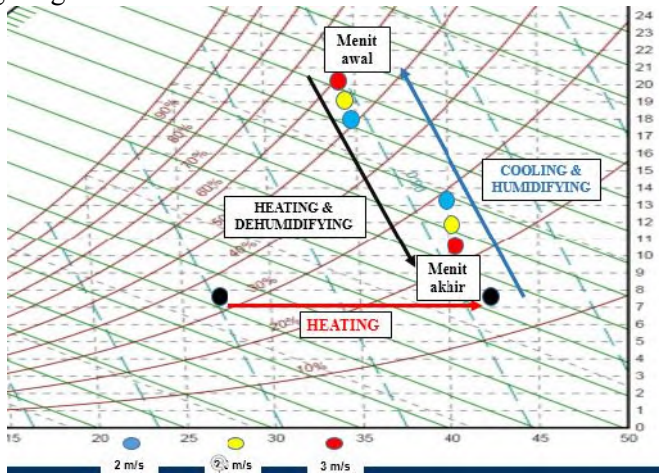
Pada proses pengeringan terjadi 2 proses utama yaitu proses perpindahan panas dan perpindahan massa. Selama proses pengeringan berlangsung, kadar air dalam batubara atau yang biasa disebut *moisture content* akan terus berkurang sehingga massa dari batubara juga akan berkurang. Terdapat beberapa kriteria agar perpindahan massa uap air dari batubara menuju udara pengering dapat berlangsung, diantaranya yaitu :

1. Terdapat perbedaan temperatur antara batubara dengan udara pengering. udara pengering yang digunakan memiliki temperatur lebih tinggi dari batubara agar proses perpindahan panas dapat terjadi.
2. Ketika temperatur udara pengering panas maka akan memiliki *relative humidity* yang rendah, hal ini akan mempermudah udara pengering untuk menyerap uap air dari batubara.
3. Saat udara di permukaan batubara lebih panas daripada didalam batubara maka akan terjadi perbedaan tekanan sehingga uap air akan bergerak dari dalam menuju permukaan batubara.

Setelah dilakukan eksperimen maka akan dilakukan analisa untuk menentukan hasil yang didapat. Analisa ditinjau dari sisi udara dan batubara. Untuk analisa yang ditinjau dari sisi udara dilakukan dengan *psychrometric chart*. Data yang digunakan untuk analisa melalui *psychrometric chart* yaitu *relative humidity* sisi outlet (RH_{out}) dan temperatur sisi outlet (T_{out}), yang nantinya akan di plot untuk mengetahui *ratio humidity* (ω). *Ratio humidity* (ω) adalah perbandingan antara massa uap air pada udara dan massa udara kering. Nilai *humidity ratio* dapat digunakan untuk



menentukan besarnya nilai uap air yang berpindah ke udara pengering dari batubara.



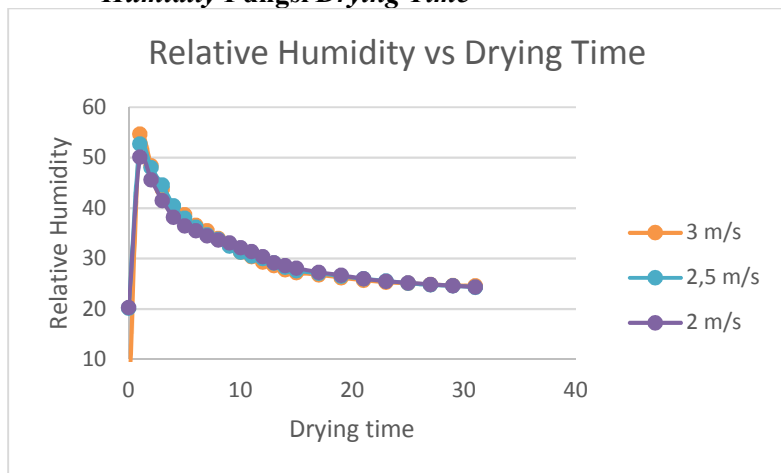
Gambar 4.3 Proses pengeringan pada batubara dalam grafik *psychrometric chart*

Pada gambar 4.3 terlihat proses pengeringan yang terjadi pada batubara, yang mengalami beberapa fase yaitu yang pertama proses pemanasan atau (*heating*). Pada fase ini udara ambient akan dipanaskan pada *heat exchanger* yang tersusun secara seri. Hal ini dimaksudkan agar udara yang dihasilkan mendapat panas yang maksimal sehingga dapat lebih cepat digunakan untuk proses pengeringan. Kedua yaitu fase *cooling and humidifying*, dimana ini terjadi saat batubara dimasukkan kedalam chamber yang mengakibatkan suhu udara mengalami penurunan karena terjadi perpindahan panas antara udara dengan batubara. Tidak hanya terjadi proses perpindahan panas, namun diiringi juga proses perpindahan massa. Proses perpindahan massa uap air menuju udara pengering. Seiring berjalannya waktu temperatur udara dan batubara akan mencapai keseimbangan sehingga akan terjadi fase selanjutnya yaitu heating dan humidifying. *Humidifying* adalah proses penambahan kandungan uap air pada udara sehingga terjadi



kenaikan entalpi dan *ratio humidity*. ketika temperatur udara semakin naik seiring berjalannya waktu, maka nilai dari *relative humidity* akan turun. Dari ketiga variasi kecepatan yang digunakan yaitu 2 m/s , 2,5 m/s dan 3 m/s, didapatkan bahwa penurunan nilai *rasio humidity* tercepat yaitu pada variasi 3 m/s.

4.3.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Relative Humidity* Fungsi *Drying Time*



Gambar 4.4 Grafik pengaruh kecepatan terhadap *relative humidity* fungsi *drying time*

Pada gambar 4.4 terlihat grafik pengaruh kecepatan terhadap *relative humidity* sebagai fungsi waktu. *Relative humidity* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan jumlah uap air yang terkandung di dalam campuran air-udara dalam fase gas. Trendline grafik menunjukkan besarnya nilai *relative humidity* pada udara keluar chamber dengan variasi kecepatan yang digunakan yaitu 2 m/s, 2,5 m/s dan 3 m/s. Nilai perubahan *relative humidity* pada kecepatan 2 m/s dari 50,1 % pada menit ke-1 menuju 24,4 % pada menit ke-31. Nilai perubahan *relative humidity* pada kecepatan 2,5 m/s dari 52,7% pada menit ke-1 menuju 24,3% pada menit ke-31.



Nilai perubahan *relative humidity* pada kecepatan 3 m/s dari 54,7% pada menit ke-1 menuju 24,6 % pada menit ke-31. Nilai *relative humidity* mengalami penurunan secara signifikan pada menit-menit awal kemudian cenderung konstan pada menit akhir. Nilai *relative humidity* untuk setiap variasi kecepatan akan cenderung mendekati nilai *relative humidity* awal dari udara pengering.

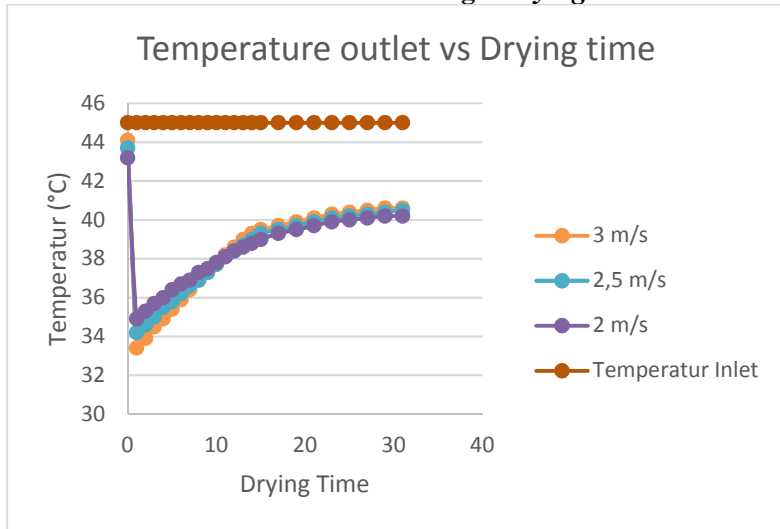
Terjadi penurunan pada *relative humidity* untuk masing-masing variasi kecepatan mengindikasikan perubahan massa uap air yang ada di darat pengering. Perubahan *relative humidity* berlangsung tiap waktu yang disebabkan adanya *moisture content* dari batubara yang berpindah ke udara pengering selama proses pengeringan. Kecepatan tinggi memiliki *relative humidity* yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* $Re \approx \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Sherwood Number* $Sh = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Sc^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds Number* maka *Sherwood Number* akan semakin besar pula. Nilai *Sherwood Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa $h_n = \frac{Sh \cdot D_{AB}}{L}$, dimana semakin besar *Sherwood Number* maka nilai koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan massa mempengaruhi laju perpindahan massa $N''_A = h_n \cdot (C_{A,S} - C_{A,\infty})$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan massa maka laju perpindahan massa akan semakin besar.

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa kecepatan 3 m/s memiliki nilai *relative humidity* terbesar diikuti kecepatan 2,5 m/s dan 2 m/s. Nilai *relative humidity* pada kecepatan 3 m/s mengalami penurunan terbesar pada menit awal sehingga pada menit ke-10 menunjukkan trenline grafik yang sejajar dengan trendline *relative humidity* pada kecepatan 2,5 m/s dan 2 m/s. Seharusnya pada menit awal-awal nilai *relative humidity* pada kecepatan 3 memiliki nilai penurunan *Relative humidity* paling rendah karena terjadi laju



pengeringan naik yang relatif tinggi sehingga pada suatu waktu laju perpindahan massa dari kecepatan yang lebih tinggi akan lebih kecil karena laju pengeringan menurun yang lebih awal daripada kecepatan rendah.

4.3.3 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Temperatur Udara Keluar Chamber Fungsi *Drying Time*



Gambar 4.5 Grafik pengaruh kecepatan terhadap temperatur udara keluar chamber fungsi *drying time*

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa trendline untuk masing-masing variasi kecepatan menunjukkan penurunan di menit awal kemudian naik hingga menit akhir. Pada kecepatan 3 m/s memiliki temperatur sebesar 33,4 °C pada menit ke-1 dan memiliki temperatur sebesar 40,6 °C pada menit ke-31, kecepatan 2,5 m/s memiliki temperatur sebesar 34,2 °C pada menit ke-1 dan memiliki temperatur sebesar 40,5 °C pada menit ke-31, serta kecepatan 2 m/s memiliki temperatur sebesar 34,9 °C pada menit ke-1 dan memiliki temperatur sebesar 40,2 °C pada menit ke-31. Pada menit awal trendline untuk masing-masing variasi kecepatan



menunjukkan kenaikan, namun setelah menit ke-25 trendline menunjukkan kondisi relatif konstan. Hasil output yang didapat berdasarkan data inlet temperatur sebesar 45 °C yang diberikan secara konstan, dimana temperatur inlet dijaga dengan menggunakan thermocontrol.

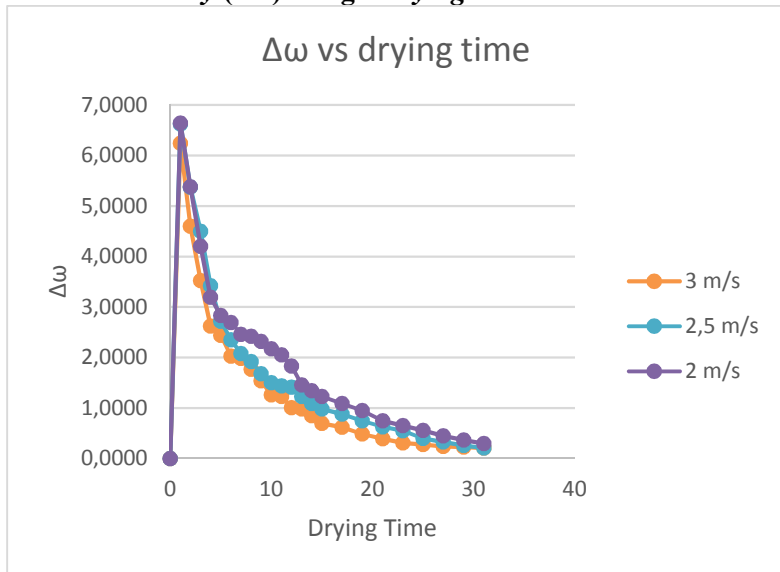
Kenaikan temperatur paling cepat terjadi pada kecepatan 3m/s, dikarenakan pada menit awal memiliki temperatur yang rendah namun memiliki kenaikan temperatur pengeringan yang tinggi di akhir proses pengeringan. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Nusselt Number* $Nu_D = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Pr^{0.4} \cdot (\frac{\mu}{\mu_s})^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds Number* maka *Nusselt Number* akan semakin besar pula. Nilai *Nusselt Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan panas $h = \frac{Nu_D k_f}{D}$, dimana semakin besar *Nusselt Number* maka nilai koefisien perpindahan panas akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan panas mempengaruhi laju perpindahan panas $Q = h \cdot A \cdot (T_\infty - T_S)$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan panas maka laju perpindahan panas akan semakin besar.

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa trendline grafik menunjukkan penurunan udara pengering di menit awal dan naik seiring bertambahnya waktu yang dikarenakan adanya proses perpindahan panas antara udara pengering dengan batubara. Pada awal proses pengeringan, panas yang diterima batubara cukup besar karena perbedaan antara permukaan batubara dengan udara pengering cukup besar. Setelah beberapa waktu temperatur permukaan batubara akan bertambah sehingga menyebabkan selisih temperatur antara udara pengering dan batubara semakin kecil. Hal ini menyebabkan proses perpindahan panas yang terjadi akan semakin kecil, sehingga pada menit-menit akhir akan terjadi



proses perpindahan panas yang cenderung konstan karena perbedaan temperatur yang kecil.

4.3.4 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Selisih *Ratio Humidity* ($\Delta\omega$) Fungsi *Drying Time*



Gambar 4.6 Grafik pengaruh kecepatan terhadap *humidity ratio* ($\Delta\omega$) fungsi *drying time*

Pada gambar 4.6 terlihat grafik *humidity ratio* fungsi *drying time* dengan variasi kecepatan 3 m/s, 2,5 m/s dan 2 m/s. *Humidity ratio* adalah massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. *Humidity ratio* udara ditentukan berdasarkan 1 kg udara kering. Grafik di atas memiliki trendline yang menurun setiap variasi kecepatan. Pada kecepatan 3 m/s memiliki penurunan paling tinggi dibanding kecepatan yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kadar uap air yang diterima udara terus berkurang dari waktu sebelumnya. Pada kecepatan 3 m/s penurunan nilai *humidity ratio* ($\Delta\omega$) lebih tinggi bila dibandingkan

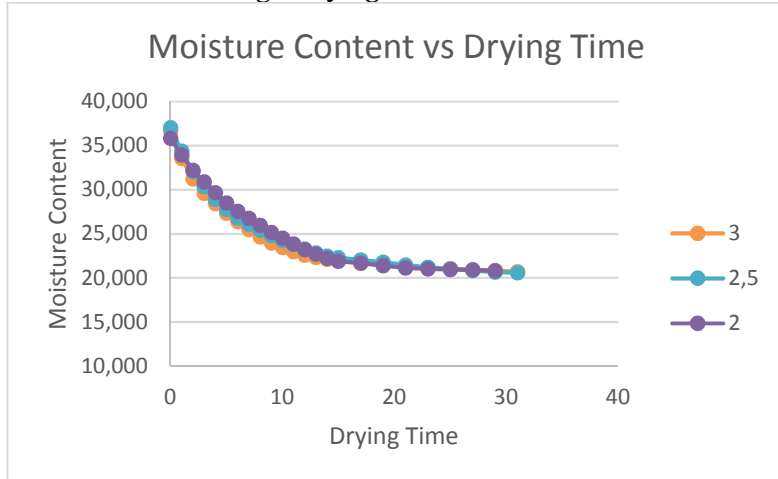


dengan variasi kecepatan 2,5 m/s dan 2 m/s. Kecepatan 3 m/s pada menit ke-1 memiliki nilai *humidity ratio* ($\Delta\omega$) sebesar 6,24 g/kg, kecepatan 2,5 m/s memiliki nilai *humidity ratio* sebesar 6,62 g/kg, dan kecepatan 2 m/s memiliki nilai *humidity ratio* ($\Delta\omega$) sebesar 6,64 .

Pada menit ke-1 sampai menit ke-6 terjadi penurunan *relative humidity* yang cukup signifikan. Hal ini terjadi karena proses pengeringan yang maksimal terjadi pada menit tersebut. Kadar air yang masih tinggi pada batubara menyebabkan uap air mudah berpindah ke udara. Pada menit ke-23 selisih *relative humidity* relatif konstan. Hal ini menandakan proses pengeringan hanya terjadi sedikit karena kadar air pada batubara tersisa sangat sedikit sehingga uap air yang berpindah ke udara juga sangat sedikit.

4.4 Analisa Hasil dan Pembahasan dari Sisi Batubara

4.4.1 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Moisture Content* Fungsi *Drying Time*



Gambar 4.7 Grafik pengaruh kecepatan terhadap *moisture content* fungsi *drying time*



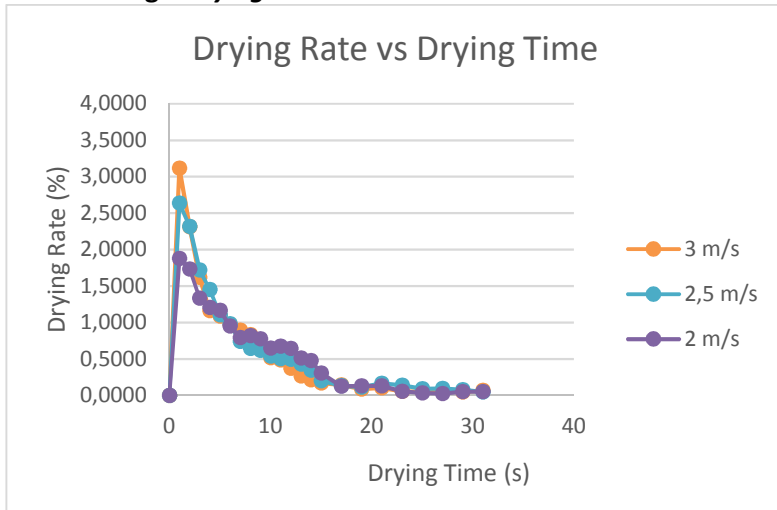
Moisture content merupakan perbandingan berat air yang terkandung dalam suatu bahan dengan berat kering bahan tersebut. Untuk menentukan *moisture content* biasanya digunakan basis basah. Pada gambar 4.7 menunjukkan grafik pengaruh kecepatan terhadap *moisture content* fungsi *drying time*. Pada menit ke-0 kecepatan 3 m/s terjadi penurunan nilai *moisture content* dari 36,655 % menjadi 20,712%, kecepatan 2,5 m/s terjadi penurunan nilai *moisture content* dari 37,023 % menjadi 20,588%, dan kecepatan 2 m/s terjadi penurunan nilai *moisture content* dari 35,827 % menjadi 20,712 %.

Kecepatan yang tinggi akan mengalami penurunan *moisture content* paling tinggi. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Sherwood Number* $Sh = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Sc^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds Number* maka *Sherwood Number* akan semakin besar pula. Nilai *Sherwood Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa $h_m = \frac{Sh \cdot D_{AF}}{L}$, dimana semakin besar *Sherwood Number* maka nilai koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan massa mempengaruhi laju perpindahan massa $N''_A = h_m \cdot (C_{A,S} - C_{A,\infty})$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan massa maka laju perpindahan massa akan semakin besar.

Pada kecepatan 3 m/s memiliki penurunan *moisture content* paling cepat hal ini dikarenakan kecepatan mempengaruhi *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* juga akan semakin besar. Hal ini menyebabkan aliran semakin turbulen sehingga kontak udara pengering dan batubara akan lebih sering terjadi yang menyebabkan perpindahan massa akan semakin besar yang berarti *moisture content* yang terlepas ke udara juga akan semakin banyak.



4.4.2 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Drying Rate* Fungsi *Drying Time*



Gambar 4.8 Grafik pengaruh kecepatan terhadap *drying rate* fungsi *drying time*

Pada gambar 4.8 menunjukkan grafik *drying time* fungsi waktu dengan variasi kecepatan 3 m/s, 2,5 m/s dan 2 m/s. Trendline pada ketiga grafik tersebut menunjukkan penurunan nilai *drying rate* yang signifikan pada menit ke-1 hingga menit ke-8. Pada kecepatan 3 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 3,1182 % per menit, kecepatan 2,5 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 2,638 % per menit, dan kecepatan 2 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 1,9806 % per menit. Setelah menit ke-8 penurunan sudah tidak lagi signifikan dan setelah menit ke-17 besar *drying rate* menunjukkan nilai yang konstan.

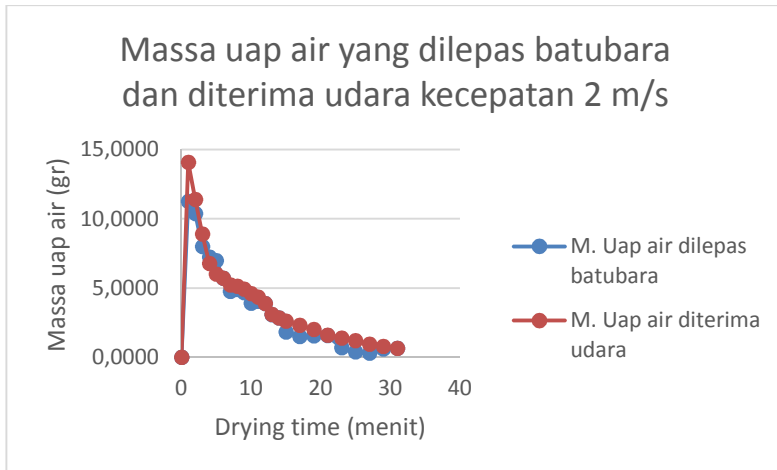
Penurunan nilai *drying rate* menunjukkan besarnya nilai *moisture content* yang hilang tiap satuan waktu. Besarnya penurunan ini dipengaruhi oleh kecepatan yang digunakan dalam proses pengeringan. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan



maka *Reynolds Number* $Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Sherwood Number* $Sh = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Sc^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds Number* maka *Sherwood Number* akan semakin besar pula. Nilai *Sherwood Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa $h_n = \frac{Sh \cdot D_{AE}}{L}$, dimana semakin besar *Sherwood Number* maka nilai koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan massa mempengaruhi laju perpindahan massa $N''_A = h_n \cdot (C_{A,S} - C_{A,\infty})$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan massa maka laju perpindahan massa akan semakin besar.

Nilai drying rate terbesar terjadi pada kecepatan 3 m/s. *Moisture content* akan cepat berkurang pada menit awal yaitu sampai menit ke-8 kemudian menunjukkan nilai yang konstant setelan menit ke-17. Nilai yang konstan pada *drying rate* dikarenakan *moisture content* yang tersisa pada batubara hanya sedikit sehingga massa uap air yang berpindah ke udara juga akan semakin sedikit. Dari grafik *drying rate* ini digunakan untuk mengetahui besarnya *moisture content* yang dilepas batubara ke udara tiap satuan waktu.

4.5 Analisa Perbandingan Massa Uap Air yang Dilepas Batubara dan Diterima Udara pada Kecepatan 2 m/s



Gambar 4.9 Grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap udara fungsi *drying time* pada kecepatan 2 m/s

Pada gambar 4.9 menunjukkan grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap oleh udara. Trenline grafik tersebut terlihat menurun yang menandakan bahwa uap air yang dilepas batubara akan berkurang seiring berjalannya proses pengeringan sehingga uap air yang diserap oleh udara juga akan berkurang seiring berjalannya waktu. Pada menit ke-1 dengan kecepatan 2 m/s, nilai massa uap air yang yang dilepas batubara sebesar 11,8837 gram dan yang diterima udara sebesar 13,7767 gram. Pada menit ke-31, nilai massa uap air yang dilepas batubara sebesar 0,6552 gram dan yang diserap udara sebesar 0,6224 gram.

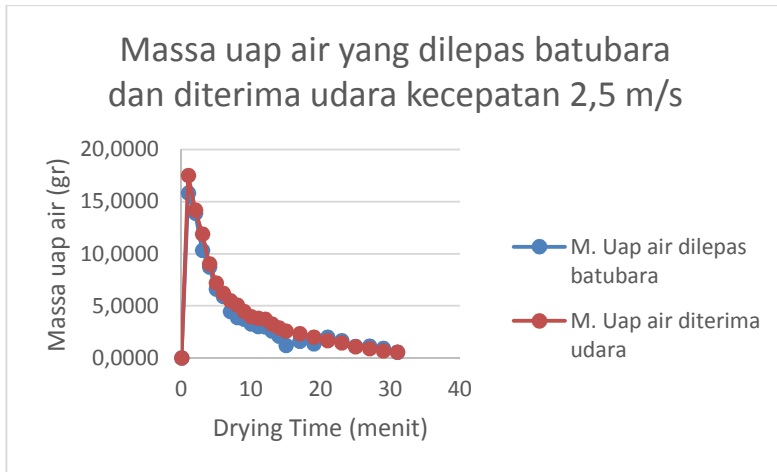
Massa uap air yang dilepas batubara dihitung berdasarkan moisture content batubara. Massa uap air dihitung dengan menggunakan persamaan **H_2O pada Batubara = $MC \times \text{massa batubara}$** , untuk mengetahui jumlah uap air total yang ada pada batubara. Saat moisture content batubara tinggi maka jumlah uap air yang ada pada batubara juga akan tinggi. Jumlah massa uap air yang dilepas batubara pada menit 1 adalah hasil pengurangan H_2O pada batubara menit 0 dengan H_2O pada



batubara pada menit ke 1
 $(\text{massa uap air dari batubara})_1 = (\text{H}_2\text{O pada Batubara})_0 - (\text{H}_2\text{O pada Batubara})_1$. Sedangkan untuk massa uap air yang diterima oleh udara dihitung berdasarkan selisih Humidity ratio $\Delta\omega = \omega_{out} - \omega_{inlet}$ kemudian **massa udara = $m \times \text{interval pengeringan}$** , dimana persamaan ini digunakan untuk mencari **massa uap air diterima udara = $\Delta\omega \times \text{massa udara}$** . Secara teori besarnya massa uap air yang dilepas batubara sama dengan yang diterima udara.

Dari percobaan didapatkan trendline grafik menurun secara signifikan hingga menit ke-7 kemudian grafik cenderung konstan sampai menit ke-31. Terjadi proses laju pengeringan naik saat dari menit ke-1 hingga menit ke-7, yang menyebabkan trendline grafik turun signifikan yang berarti massa uap air yang berpindah cukup banyak pada saat menit tersebut. Secara teori besar nilai massa uap air yang dilepas batubara seharusnya sama dengan massa uap air yang diserap udara, namun pada percobaan yang telah dilakukan terjadi perbedaan nilai massa uap air yang lepas batubara dan yang diserap oleh udara. Perbedaan itu dapat diakibatkan human error saat pengamatan dan pengambilan data, serta dari alat ukur yang kurang akurat.

4.6 Analisa Perbandingan Massa Uap Air yang Dilepas Batubara dan Diterima Udara Kecepatan 2,5 m/s



Gambar 4.10 Grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap udara fungsi *drying time* pada kecepatan 2,5 m/s

Pada gambar 4.10 menunjukkan grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap oleh udara. Trenline grafik tersebut terlihat menurun yang menandakan bahwa uap air yang dilepas batubara akan berkurang seiring berjalannya proses pengeringan sehingga uap air yang diserap oleh udara juga akan berkurang seiring berjalannya waktu. Pada menit ke-1 dengan kecepatan 2,5 m/s, nilai massa uap air yang yang dilepas batubara sebesar 15,8283 gram dan yang diterima udara sebesar 17,5108 gram. Pada menit ke-31 nilai massa uap air yang dilepas batubara sebesar 0,5447 gram dan yang diserap udara sebesar 0,5555 gram.

Massa uap air yang dilepas batubara dihitung berdasarkan moisture content batubara. Massa uap air dihitung dengan menggunakan persamaan **H_2O pada Batubara = $M_C \times \text{massa batubara}$** , untuk mengetahui jumlah uap air total yang ada pada batubara. Saat moisture content batubara tinggi maka jumlah uap air yang ada pada batubara juga akan tinggi. Jumlah massa uap air yang dilepas batubara pada menit 1 adalah



hasil pengurangan H_2O pada batubara menit 0 dengan H_2O pada batubara pada menit ke 1 ($massa\ uap\ air\ dari\ batubara$)₁ = ($H_2O\ pada\ Batubara$)₀ - ($H_2O\ pada\ Batubara$)₁. Sedangkan untuk massa uap air yang diterima oleh udara dihitung berdasarkan selisih Humidity ratio

$$\Delta\omega = \omega_{out} - \omega_{inlet} \quad \text{kemudian}$$

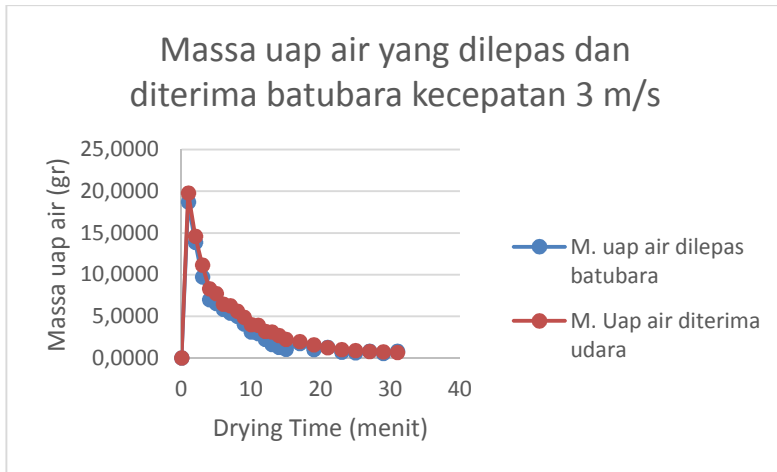
massa udara = $m \times interval\ pengeringan$, dimana persamaan ini digunakan untuk mencari

$$\mathbf{massa\ uap\ air\ diterima\ udara} = \Delta\omega \times \mathbf{massa\ udara}.$$

Secara teori besarnya massa uap air yang dilepas batubara sama dengan yang diterima udara.

Dari percobaan didapatkan trendline grafik menurun secara signifikan hingga menit ke-7 kemudian grafik terjadi penurunan yang cenderung konstan sampai menit ke-31. Terjadi proses laju pengeringan naik saat dari menit ke-1 hingga menit ke-7, yang menyebabkan trendline grafik turun signifikan yang berarti massa uap air yang berpindah cukup banyak pada saat menit tersebut. Secara teori besar nilai massa uap air yang dilepas batubara seharusnya sama dengan massa uap air yang diserap udara. Pada percobaan yang telah dilakukan terjadi perbedaan nilai massa uap air yang lepas batubara dan yang diserap oleh udara. Perbedaan itu dapat diakibatkan *human error* saat pengamatan dan pengambilan data, serta dari alat ukur yang kurang akurat.

4.7 Analisa Perbandingan Massa uap air yang Dilepas Batubara dan Diterima Udara Kecepatan 3 m/s



Gambar 4.11 Grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap udara fungsi *drying time* pada kecepatan 3 m/s

Pada gambar 4.11 menunjukkan grafik perbandingan massa uap air yang dilepas batubara dan diserap oleh udara. Trenline grafik tersebut terlihat menurun yang menandakan bahwa uap air yang dilepas batubara akan berkurang seiring berjalannya proses pengeringan sehingga uap air yang diserap oleh udara juga akan berkurang seiring berjalannya waktu. Pada menit ke-1 dengan kecepatan 3 m/s, nilai massa uap air yang yang dilepas batubara sebesar 18,7093 gram dan yang diterima udara sebesar 19,7817. Pada menit ke-31, nilai massa uap air yang dilepas batubara sebesar 0,8096 gram dan yang diserap udara sebesar 0,6654 gram.

Massa uap air yang dilepas batubara dihitung berdasarkan moisture content batubara. Massa uap air dihitung dengan menggunakan persamaan **H_2O pada Batubara = $M_C \times \text{massa batubara}$** , untuk mengetahui jumlah uap air total yang ada pada batubara. Saat moisture content batubara tinggi maka jumlah uap air yang ada pada batubara juga akan tinggi. Jumlah massa uap air yang dilepas batubara pada menit 1 adalah



hasil pengurangan H_2O pada batubara menit 0 dengan H_2O pada batubara pada menit ke 1 ($massa\ uap\ air\ dari\ batubara$)₁ = ($H_2O\ pada\ Batubara$)₀ - ($H_2O\ pada\ Batubara$)₁. Sedangkan untuk massa uap air yang diterima oleh udara dihitung berdasarkan selisih Humidity ratio

$$\Delta\omega = \omega_{out} - \omega_{inlet} \quad \text{kemudian}$$

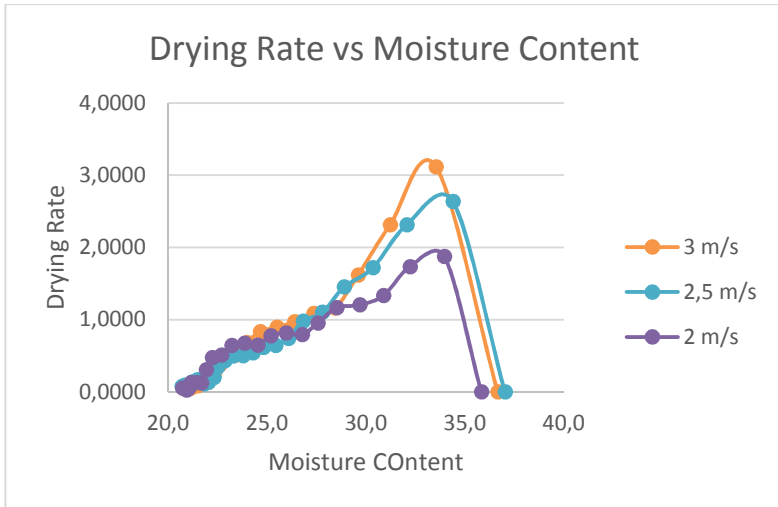
$massa\ udara = m \times interval\ pengeringan$, dimana persamaan ini digunakan untuk mencari

$$massa\ uap\ air\ diterima\ udara = \Delta\omega \times massa\ udara.$$

Secara teori besarnya massa uap air yang dilepas batubara sama dengan yang diterima udara.

Dari percobaan didapatkan trendline grafik menurun secara signifikan hingga menit ke-7 kemudian grafik terjadi penurunan yang cenderung konstan sampai menit ke-31. Terjadi proses laju pengeringan naik saat dari menit ke-1 hingga menit ke-7, yang menyebabkan trendline grafik turun signifikan yang berarti massa uap air yang berpindah cukup banyak pada saat menit tersebut. Secara teori besar nilai massa uap air yang dilepas batubara seharusnya sama dengan massa uap air yang diserap udara. Pada percobaan yang telah dilakukan terjadi perbedaan nilai massa uap air yang lepas batubara dan yang diserap oleh udara. Perbedaan itu dapat diakibatkan *human error* saat pengamatan dan pengambilan data, serta dari alat ukur yang kurang akurat.

4.8 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap *Drying Rate* Fungsi *Moisture Content*



Gambar 4.12 Grafik pengaruh kecepatan *drying rate* fungsi *moisture content*

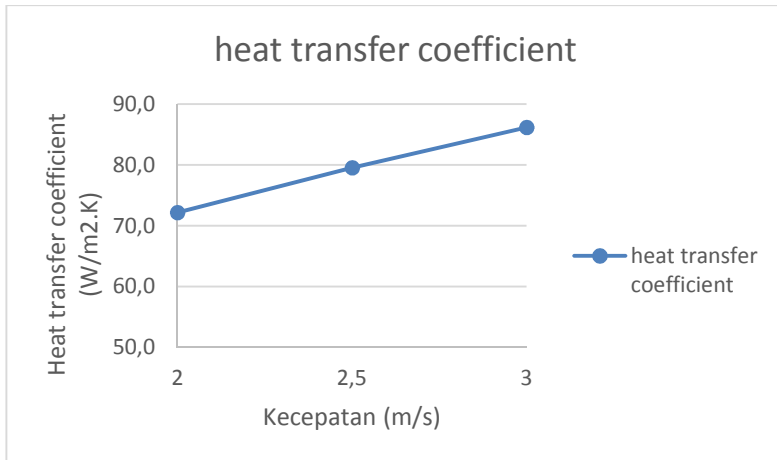
Pada gambar 4.12 terlihat bahwa pengaruh kecepatan *drying rate* fungsi *moisture content*, dimana grafik ini merupakan perbandingan antara *perubahan moisture content* pada batubara dengan *drying rate* yang terjadi pada suatu kondisi tertentu. Pada grafik tersebut terdapat 3 variasi kecepatan yaitu 3 m/s, 2,5 m/s dan 2 m/s yang diindikasikan mempunyai pengaruh pada *drying rate* fungsi *moisture content*. Kecepatan 3 m/s memiliki nilai *drying rate* paling besar yaitu 3,1182 % per menit, kemudian kecepatan 2,5 m/s yang memiliki nilai *drying rate* 2,638 % per menit dan kecepatan 2 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 1,9806 % per menit. Pada saat *moisture content* diatas 30 % memiliki nilai *dying rate* paling besar, kemudian akan berkurang seiring dengan berkurangnya *moisture content*. Setelah *moisture content* batubara berkurang sampai 22 % nilai *drying rate* akan cenderung konstan, hal ini dikarenakan *moisture content* pada batubara sudah mencapai batas maksimal untuk diuapkan ke udara.



Terjadi perbedaan nilai *drying rate* dan *moisture content* pada batubara dengan variasi kecepatan. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Sherwood Number* $Sh = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Sc^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds Number* maka *Sherwood Number* akan semakin besar pula. Nilai *Sherwood Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa $h_n = \frac{Sh \cdot D_{AE}}{L}$, dimana semakin besar *Sherwood Number* maka nilai koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan massa mempengaruhi laju perpindahan massa $N''_A = h_n \cdot (C_{A,S} - C_{A,\infty})$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan massa maka laju perpindahan massa akan semakin besar. Ketika perpindahan massa besar maka nilai *drying rate* juga akan semakin besar. Pada saat *moisture content* tinggi maka nilai *drying rate* juga akan tinggi, begitu juga sebaliknya saat *moisture content* rendah maka nilai *drying rate* akan rendah.

Pada percobaan yang telah dilakukan didapatkan massa batubara basah dan batubara kering setelah di oven. Data ini digunakan untuk mencari nilai *moisture content* dan *drying rate* yang bertujuan untuk mengetahui besarnya massa uap air yang dilepas batubara dan yang di serap udara yang terjadi tiap satuan waktu.

4.9 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Panas



Gambar 4.13 Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Panas

Perpindahan massa merupakan proses perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering. Gambar 4.13 merupakan grafik pengaruh kecepatan terhadap koefisien perpindahan panas yang mempunyai variasi kecepatan 2 m/s, 2,5 m/s dan 3 m/s. Trendline grafik menunjukkan kenaikan seiring dengan bertambahnya kecepatan. Pada saat kecepatan 2 m/s nilai koefisien perpindahan massa adalah 71,4939 W/m².K, kecepatan 2,5 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa sebesar 79,5205 W/m².K dan kecepatan 3 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa sebesar 86,1744 W/m².K.

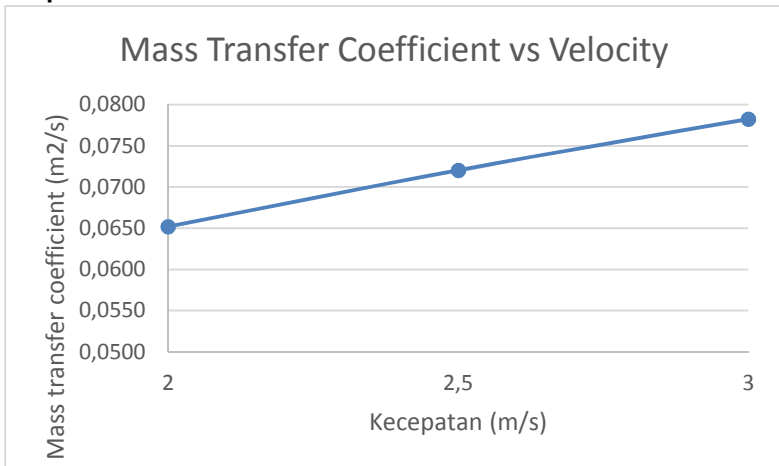
Trendline grafik menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya kecepatan maka nilai koefisien perpindahan panas akan semakin besar. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Nusselt Number* $Nu_D = 2 + (0.4Re_D^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3}) \cdot Pr^{0.4} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds*



Number maka *Nusselt Number* akan semakin besar pula. Nilai *Nusselt Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan panas $h = \frac{Nu_D k_f}{D}$, dimana semakin besar *Nusselt Number* maka nilai koefisien perpindahan panas akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan panas mempengaruhi laju perpindahan panas $Q = h \cdot A \cdot (T_\infty - T_S)$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan panas maka laju perpindahan panas akan semakin besar.

Dari gambar 4.13 dapat diketahui bahwa kecepatan 3 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan panas paling besar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin besar kecepatan maka nilai koefisien perpindahan panas juga akan semakin besar. Nilai ini dapat digunakan untuk mengetahui besarnya panas yang berpindah selama proses pengeringan berlangsung.

4.10 Analisa Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Massa



Gambar 4.14 Grafik Pengaruh Kecepatan Terhadap Koefisien Perpindahan Massa



Perpindahan massa merupakan proses perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering. Gambar 4.14 merupakan grafik pengaruh kecepatan terhadap koefisien perpindahan massa yang mempunyai variasi kecepatan 2 m/s, 2,5 m/s dan 3 m/s. Trendline grafik menunjukkan kenaikan seiring dengan bertambahnya kecepatan. Pada saat kecepatan 2 m/s nilai koefisien perpindahan massa adalah 0,064595 m/s, kecepatan 2,5 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa sebesar 0,072052 m/s dan kecepatan 3 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa sebesar 0,078264 m/s.

Trendline grafik menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya kecepatan maka nilai koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Hal ini dikarenakan kecepatan berbanding lurus dengan *Reynolds Number*, dimana semakin tinggi kecepatan maka *Reynolds Number* $Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$. Nilai *Reynolds* ini akan mempengaruhi *Sherwood Number* $Sh = 2 + (0.4Re_D)^{1/2} + 0.06Re_D^{2/3} \cdot Sc^{0.4} \cdot (\frac{\mu}{\mu_s})^{1/4}$, dimana semakin besar *Reynolds Number* maka *Sherwood Number* akan semakin besar pula. Nilai *Sherwood Number* akan mempengaruhi koefisien perpindahan massa $h_n = \frac{Sh \cdot D_{AB}}{L}$, dimana semakin besar *Sherwood Number* maka nilai koefisien perpindahan massa akan semakin besar. Nilai koefisien perpindahan massa mempengaruhi laju perpindahan massa $N''_A = h_n \cdot (C_{A,S} - C_{A,\infty})$, dimana semakin besar nilai koefisien perpindahan massa maka laju perpindahan massa akan semakin besar.

Dari gambar 4.14 dapat diketahui bahwa kecepatan 3 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan panas paling besar. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin besar kecepatan maka nilai koefisien perpindahan massa juga akan semakin besar. Nilai ini dapat digunakan untuk mencari besarnya massa uap air yang dipindahkan pada waktu tertentu, sehingga dapat diketahui nilai *drying rate* dari proses pengeringan yang terjadi pada percobaan ini.

LAMPIRAN 1

Tabel Data Hasil Percobaan

waktu (mnt)	Tinlet (°C)	Rh inlet (%)	Kecepatan 2 m/s					Kecepatan 2,5 m/s					Kecepatan 3 m/s				
			Toutlet (°C)	Rh outlet (%)	Massa bb basah (gr)	massa bb kering (gr)	massa tempat (gr)	Toutlet (°C)	Rh outlet (%)	Massa bb basah (gr)	massa bb kering (gr)	massa tempat (gr)	Toutlet (°C)	Rh outlet (%)	Massa bb basah (gr)	massa bb kering (gr)	massa tempat (gr)
0	45	19,3	43,50	20,3	3,42	2,51	0,88	43,50	20,2	3,5	2,53	0,88	43,6	20,2	3,69	2,66	0,88
1			34,20	50,1	4,12	3,02	0,88	34,20	52,7	4,08	2,99	0,91	33,4	54,7	4,17	3,07	0,89
2			34,60	45,6	4,19	3,13	0,9	34,60	48,0	3,79	2,86	0,89	33,9	48,4	3,25	2,51	0,88
3			35,00	41,5	3,28	2,54	0,88	35,00	44,6	3,45	2,67	0,88	34,5	43,8	3,32	2,6	0,888
4			35,50	38,2	3,07	2,42	0,88	35,50	40,5	3,51	2,75	0,88	34,9	40,3	4,21	3,26	0,87
5			35,80	36,5	3,44	2,71	0,88	35,80	38,0	4,18	3,26	0,87	35,4	38,7	4,17	3,27	0,88
6			36,20	35,5	4,02	3,16	0,9	36,20	36,2	4,08	3,23	0,91	35,9	36,6	3,96	3,15	0,89
7			36,60	34,5	3,39	2,71	0,85	36,60	34,7	3,9	3,11	0,87	36,4	35,5	3,91	3,13	0,85
8			36,90	33,7	3,46	2,78	0,84	36,90	33,8	3,75	3,01	0,84	36,9	34	3,78	3,06	0,86
9			37,30	33,1	3,99	3,21	0,892	37,30	32,5	3,54	2,88	0,88	37,3	32,7	4,27	3,45	0,85
10			37,70	32,2	3,5	2,85	0,85	37,70	31,3	3,98	3,23	0,89	37,7	31,3	4,27	3,47	0,86
11			38,10	31,4	4,16	3,38	0,89	38,10	30,5	3,31	2,73	0,87	38,2	30,4	3,83	3,15	0,87
12			38,40	30,4	3,79	3,11	0,86	38,40	30,0	4,33	3,52	0,85	38,6	29,3	4,11	3,38	0,88
13			38,70	29,2	3,9	3,21	0,86	38,70	29,1	3,52	2,91	0,85	39	28,6	3,85	3,18	0,85
14			39,00	28,6	3,18	2,66	0,84	39,00	28,3	4,04	3,32	0,84	39,3	27,8	4,15	3,42	0,85
15			39,30	28,1	3,09	2,61	0,9	39,30	27,6	3,75	3,11	0,88	39,5	27,2	4,18	3,46	0,9
17			39,50	27,3	3,25	2,73	0,85	39,50	27,1	3,79	3,14	0,84	39,7	26,8	3,88	3,23	0,88
19			39,70	26,7	4,28	3,55	0,87	39,70	26,5	3,29	2,76	0,86	39,9	26,2	3,91	3,25	0,84
21			39,90	26	3,66	3,07	0,87	39,90	26,0	3,85	3,21	0,87	40,1	25,7	2,87	2,44	0,85
23			40,10	25,5	3,59	3,02	0,88	40,10	25,6	4,02	3,35	0,86	40,3	25,3	3,91	3,26	0,84
25			40,20	25,2	3,34	2,82	0,86	40,20	25,1	4,18	3,48	0,85	40,4	25,1	3,86	3,23	0,87
27			40,30	24,9	4,36	3,63	0,87	40,30	24,8	3,99	3,34	0,87	40,5	24,9	4,05	3,38	0,85
29			40,40	24,6	3,57	3,01	0,88	40,40	24,6	4,08	3,41	0,84	40,6	24,7	3,92	3,28	0,85
31			40,50	24,4	3,97	3,33	0,88	40,50	24,3	4,24	3,54	0,84	40,6	24,6	3,96	3,32	0,87

LAMPIRAN 2

Tabel Hasil Kalibrasi Pitot Static Tube

Voltage	Y awal	Y akhir	h	Volt	Pd	V	Re
30	8,3	8,30	0,000	1,060	0	0	0,00E+00
40	8,3	8,40	0,001	1,184	4,18273	2,66485	1,37E+05
50	8,3	8,50	0,001	1,379	8,36546	3,76866	1,94E+05
60	8,3	8,90	0,003	1,629	25,0964	6,52752	3,36E+05
70	8,3	9,40	0,006	2,086	46,0101	8,8383	4,55E+05
80	8,3	9,80	0,008	2,265	62,741	10,3209	5,31E+05
90	8,3	10,10	0,009	2,483	75,2892	11,306	5,82E+05
100	8,3	10,90	0,013	3,427	108,751	13,5881	7,00E+05
110	8,3	13,90	0,029	5,703	234,233	19,9419	1,03E+06
120	8,3	16,20	0,041	6,477	330,436	23,6857	1,22E+06

Tabel Data Untuk Perhitungan Kecepatan

Tstandar	pstandar	Tudara	pdudara	gravitasi	pair	Dsilinder	SGred oil	b	S	α mano	μ udara
K	kg/m ³	°C	kg/m ³	m/s ²	kg/m ³	mm	-	g/m.s.K1/	K	deg	kg/m.s
288,2	1,225	26,6	1,178	9,81	996	25	0,827	1,46E-06	110,4	15	1,84E-05

Tabel Perhitungan Kecepatan Berdasarkan Hasil Kalibrasi Pitot Static Tube

Voltage	VOLT	Δh	P dinamis	Vmax	Re saya
61	1,689	0,00339	27,408	6,82151	3,51E+05
62	1,71	0,00354	28,6128	6,96983	3,59E+05
63	1,724	0,00364	29,416	7,06698	3,64E+05
64	1,733	0,0037	29,9323	7,12873	3,67E+05
65	1,758	0,00388	31,3666	7,29753	3,76E+05
71	1,973	0,00541	43,7013	8,6137	4,43E+05
72	2,005	0,00564	45,5372	8,79277	4,53E+05
73	2,02	0,00574	46,3978	8,87546	4,57E+05
74	2,055	0,00599	48,4057	9,06548	4,67E+05
75	2,088	0,00622	50,299	9,24106	4,76E+05
81	2,31	0,0078	63,0353	10,3451	5,33E+05
82	2,324	0,0079	63,8385	10,4108	5,36E+05
83	2,339	0,00801	64,6991	10,4807	5,40E+05
84	2,352	0,0081	65,4449	10,541	5,43E+05
85	2,369	0,00822	66,4202	10,6192	5,47E+05

LAMPIRAN 3

Tabel Hasil Perhitungan Kecepatan 3 m/s

No	v	t	Sudut	A	Q	A'	v'	T.inlet	RH in	T.outlet	RH out	T.wb	h	ω	Berat Basah	Berat Kering	Messe tempet	M.Up air	MC	ρ udara	m	H ₂ O pada Batubara	H ₂ O dari Batubara	ω udara	ω Inlet	Messe Udara	Δω	Drying Rate	Messe Up Air pada Udara
1	3	0	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484	43	19,8	44,1	20,2	23,9	71,1	11,60	3,69	2,66	0,88	0,3665	36,655	1,052	0,052836	219,9288	0,0000	11,600	11,6	3,1701	0,0000	0,0000	0,0000
2		1	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			33,4	54,7	25,7	79,0	17,84	4,17	3,07	0,89	0,3854	38,537	1,052	0,052836	201,2195	18,7093	17,840	11,6	3,1701	6,2400	3,1182	19,7817
3		2	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			33,9	48,4	24,9	75,6	16,20	3,25	2,51	0,88	0,3122	31,224	1,052	0,052836	187,3418	18,7777	16,200	11,6	3,1701	4,6000	2,3130	14,5827
4		3	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			34,5	43,8	24,4	73,5	15,12	3,32	2,6	0,888	0,2961	29,605	1,052	0,052836	177,6316	9,7102	15,120	11,6	3,1701	3,5200	1,8184	11,1589
5		4	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			34,9	40,3	23,7	71,6	14,22	4,21	3,26	0,87	0,2844	28,443	1,052	0,052836	170,6557	6,9729	14,220	11,6	3,1701	2,6200	1,1821	8,3058
6		5	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			35,4	38,7	23,9	71,6	14,04	4,17	3,27	0,88	0,2736	27,356	1,052	0,052836	164,1337	6,5249	14,040	11,6	3,1701	2,4400	1,0875	7,7352
7		6	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			35,9	36,6	23,9	71,5	13,63	3,96	3,15	0,89	0,2638	26,384	1,052	0,052836	158,3062	5,8275	13,630	11,6	3,1701	2,0300	0,9713	6,4354
8		7	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			36,4	35,5	23,9	71,5	13,58	3,91	3,13	0,85	0,2549	25,490	1,052	0,052836	152,9412	5,3650	13,580	11,6	3,1701	1,9800	0,8942	6,2769
9		8	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			36,9	34	23,9	71,5	13,37	3,78	3,06	0,86	0,2466	24,659	1,052	0,052836	147,9452	4,9960	13,370	11,6	3,1701	1,7700	0,8327	5,6112
10		9	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			37,3	32,7	23,9	71,3	13,14	4,27	3,45	0,85	0,2398	23,977	1,052	0,052836	143,8596	4,0856	13,140	11,6	3,1701	1,5400	0,6899	4,8820
11		10	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			37,7	31,3	23,9	71,0	12,86	4,27	3,47	0,86	0,2346	23,460	1,052	0,052836	140,7635	3,0972	12,860	11,6	3,1701	1,2600	0,5162	3,9944
12		11	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			38,2	30,4	23,9	71,4	12,83	3,83	3,15	0,87	0,2297	22,973	1,052	0,052836	137,8378	2,9246	12,830	11,6	3,1701	1,2300	0,4874	3,8993
13		12	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			38,6	29,3	23,6	71,6	12,61	4,11	3,38	0,88	0,2260	22,601	1,052	0,052836	135,6037	2,2341	12,610	11,6	3,1701	1,0100	0,3724	3,2018
14		13	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			39	28,6	24	71,6	12,58	3,85	3,18	0,85	0,2233	22,333	1,052	0,052836	134,0000	1,6037	12,580	11,6	3,1701	0,9800	0,2673	3,1067
15		14	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			39,3	27,8	24	71,6	12,45	4,15	3,42	0,85	0,2212	22,121	1,052	0,052836	132,7273	1,2727	12,450	11,6	3,1701	0,8500	0,2121	2,6946
16		15	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			39,5	27,2	23,9	71,4	12,30	4,18	3,46	0,9	0,2195	21,951	1,052	0,052836	131,7073	1,0200	12,300	11,6	3,1701	0,7000	0,1700	2,2191
17		17	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			39,7	26,8	23,9	71,4	12,22	3,88	3,23	0,88	0,2167	21,667	1,052	0,052836	130,0000	1,7073	12,220	11,6	3,1701	0,6200	0,1423	1,9655
18		19	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			39,9	26,2	23,9	71,2	12,09	3,91	3,25	0,84	0,2150	21,498	1,052	0,052836	128,9902	1,0098	12,090	11,6	3,3403	0,4900	0,0841	1,5534
19		21	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			40,1	25,7	23,9	71,2	11,99	2,87	2,44	0,85	0,2129	21,287	1,052	0,052836	127,7228	1,2675	11,990	11,6	3,3403	0,3900	0,0561	1,2364
20		23	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			40,3	25,3	23,9	71,2	11,91	3,91	3,25	0,84	0,2117	21,173	1,052	0,052836	127,0358	0,6869	11,910	11,6	3,3403	0,3100	0,0572	0,9827
21		25	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			40,4	25,1	23,9	71,2	11,88	3,86	3,23	0,87	0,2107	21,070	1,052	0,052836	126,4214	0,6144	11,880	11,6	3,3403	0,2800	0,0512	0,8376
22		27	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			40,5	24,9	23,9	71,2	11,84	4,05	3,38	0,85	0,2094	20,935	1,052	0,052836	125,6280	0,7964	11,840	11,6	3,3403	0,2400	0,0664	0,7608
23		29	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			40,6	24,7	23,9	71,3	11,83	3,92	3,28	0,85	0,2085	20,847	1,052	0,052836	125,0814	0,5436	11,830	11,6	3,3403	0,2300	0,0453	0,7291
24		31	20°	0,01594	0,047807	0,004556	10,484			40,6	24,6	23,9	71,6	11,81	3,96	3,32	0,87	0,2071	20,712	1,052	0,052836	124,2718	0,8096	11,810	11,6	3,3403	0,2100	0,0675	0,6657

LAMPIRAN 4

Tabel Hasil Perhitungan Kecepatan 2,5 m/s

No	v	t	Sudut	A	Q	A'	v'	T.inlet	RH in	T.outlet	RH out	T.wb	h	w	Berat Basah	Berat Kering	Massa Tempat	M.Uap air	MC	p udara	m	H ₂ O pada Batubara	H ₂ O dari Batubara	w udara	w Inlet	Massa Udara	Δw	Drying Rate	Massa Uap Air pada Udara
1	2.5	0	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737	45	19	43,70	20,20	24,40	73,1	11,36	3,5	2,53	0,88	0,3702	37,023	1,1066	0,0441	222,1374	0,0000	11,360	11,36	2,6451	0,000	0,0000	0,0000
2		1	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			34,20	32,70	26,00	80,5	17,98	4,08	2,99	0,91	0,3438	34,385	1,1066	0,0441	206,3091	15,8285	17,980	11,36	2,6451	6,620	2,6380	17,5108
3		2	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			34,60	48,00	25,40	77,7	16,75	3,79	2,86	0,89	0,3207	32,069	1,1066	0,0441	192,4138	13,8954	16,730	11,36	2,6451	5,370	2,3159	14,2044
4		3	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			35,00	44,60	25,00	75,9	15,86	3,45	2,67	0,88	0,3035	30,350	1,1066	0,0441	182,1012	10,3126	15,860	11,36	2,6451	4,500	1,7188	11,9031
5		4	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			35,50	40,50	24,40	73,6	14,78	3,51	2,75	0,88	0,2890	28,897	1,1066	0,0441	173,3840	8,7171	14,780	11,36	2,6451	3,420	1,4529	9,0464
6		5	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			35,80	38,00	24,10	72,1	14,08	4,18	3,26	0,87	0,2779	27,795	1,1066	0,0441	166,7674	6,8167	14,080	11,36	2,6451	2,720	1,1028	7,1948
7		6	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			36,20	36,20	24,00	71,6	13,71	4,08	3,23	0,91	0,2681	26,814	1,1066	0,0441	160,8833	5,8841	13,710	11,36	2,6451	2,350	0,9807	6,2161
8		7	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			36,60	34,70	23,90	71,3	13,44	3,9	3,11	0,87	0,2607	26,073	1,1066	0,0441	156,4356	4,4476	13,440	11,36	2,6451	2,080	0,7413	5,5019
9		8	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			36,90	33,80	23,90	71,2	13,28	3,75	3,01	0,84	0,2543	25,430	1,1066	0,0441	152,5773	3,8583	13,280	11,36	2,6451	1,920	0,6431	5,0787
10		9	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			37,30	32,50	23,80	71,0	13,04	3,54	2,88	0,88	0,2481	24,812	1,1066	0,0441	148,8722	3,7051	13,040	11,36	2,6451	1,680	0,6175	4,4438
11		10	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			37,70	31,30	23,80	71,0	12,86	3,58	3,23	0,89	0,2427	24,272	1,1066	0,0441	145,6311	3,2411	12,860	11,36	2,6451	1,500	0,5402	3,9677
12		11	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			38,10	30,50	23,90	71,2	12,80	3,31	2,73	0,87	0,2377	23,770	1,1066	0,0441	142,6230	3,0081	12,800	11,36	2,6451	1,440	0,5014	3,8090
13		12	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			38,40	30	23,90	71,5	12,77	4,33	3,52	0,85	0,2328	23,278	1,1066	0,0441	139,6552	2,9678	12,770	11,36	2,6451	1,410	0,4946	3,7256
14		13	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			38,70	29,10	23,90	71,3	12,59	3,52	2,91	0,85	0,2285	22,846	1,1066	0,0441	137,0787	2,5765	12,590	11,36	2,6451	1,230	0,4294	3,2595
15		14	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			39,00	28,30	23,90	71,2	12,45	4,04	3,32	0,84	0,2250	22,500	1,1066	0,0441	135,0000	2,0787	12,450	11,36	2,6451	1,090	0,3464	2,8832
16		15	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			39,50	27,60	23,90	71,3	12,34	3,75	3,11	0,88	0,2230	22,300	1,1066	0,0441	133,7879	1,2021	12,340	11,36	2,6451	0,980	0,2003	2,5922
17		17	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			39,50	27,10	23,90	71,2	12,24	3,79	3,14	0,84	0,2205	22,034	1,1066	0,0441	132,2034	1,5945	12,240	11,36	2,2903	0,880	0,1329	2,3277
18		19	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			39,70	26,50	23,90	71,1	12,11	3,29	2,76	0,86	0,2181	21,811	1,1066	0,0441	130,8642	1,3392	12,110	11,36	2,2903	0,750	0,1116	1,9839
19		21	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			39,90	26,00	23,80	71,0	11,99	3,85	3,21	0,87	0,2148	21,477	1,1066	0,0441	128,8591	2,0051	11,990	11,36	2,2903	0,630	0,1671	1,6664
20		23	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			40,10	25,60	23,80	71,0	11,91	4,02	3,35	0,86	0,2120	21,203	1,1066	0,0441	127,2132	1,6439	11,910	11,36	2,2903	0,550	0,1370	1,4548
21		25	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			40,20	25,10	23,80	70,7	11,76	4,18	3,48	0,85	0,2102	21,021	1,1066	0,0441	126,1261	1,0891	11,760	11,36	2,2903	0,400	0,0908	1,0581
22		27	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			40,30	24,80	23,80	70,6	11,69	3,99	3,34	0,87	0,2083	20,833	1,1066	0,0441	125,0000	1,1261	11,690	11,36	2,2903	0,330	0,0958	0,8729
23		29	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			40,40	24,6	23,80	70,7	11,62	4,08	3,41	0,84	0,2068	20,679	1,1066	0,0441	124,0741	0,9259	11,620	11,36	2,2903	0,260	0,0772	0,6877
24		31	20°	0,0159	0,0398	0,0046	8,737			40,50	24,30	23,80	70,6	11,57	4,24	3,54	0,84	0,2059	20,588	1,1066	0,0441	123,5294	0,5447	11,570	11,36	2,2903	0,210	0,0454	0,5555

LAMPIRAN 6

Tabel Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas

No	T	v	D	ρ	μ	ν	D_{AB}	Re	Sc	Sh	h_m
	(°C)	(m/s)	(m)	(kg/m ³)	(N.s/m ²)	(m ² /s)	(m ² /s)				(m/s)
1	43,2	2	0,006	1,109	0,000019296	0,000017288	0,0000244	689,37	0,70928	16,05072	0,065203
2	43,7	2,5	0,006	1,1066	0,000019319	0,000017336	0,0000244	859,21	0,709213	17,68587	0,072052
3	44,1	3	0,006	1,1052	0,000019333	0,000017375	0,0000245	1029,00	0,709126	19,16521	0,078264

Tabel Perhitungan Koefisien Perpindahan Massa

No	T	v	D	ρ	μ	ν	Re	Pr	Nud	k	h
	(°C)	(m/s)	(m)	(kg/m ³)	(N.s/m ²)	(m ² /s)				W/m.K	W/m ² .K
1	43,2	2	0,006	1,109	0,000019296	0,000017288	689,37	0,705	16,03714	0,027	72,167109
2	43,7	2,5	0,006	1,1066	0,000019319	0,000017336	859,21	0,705	17,6712	0,027	79,520408
3	44,1	3	0,006	1,1052	0,000019333	0,000017375	1029,00	0,705	19,14987	0,027	86,174396



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada eksperimen *swirling fluidized bed coal dryer* dan analisa yang telah dilakukan untuk mendapat hasil pengujian berupa grafik-grafik hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari variasi kecepatan yang telah ditentukan, kecepatan 3 m/s memiliki nilai penurunan *relative humidity* paling tinggi yaitu dari 54,7 % pada menit ke-1 menuju 24,6 % pada menit ke-31. Penurunan *relative humidity* dikarenakan massa uap air yang berpindah ke udara dari batubara semakin banyak pada kecepatan 3 m/s jika dibandingkan dengan kecepatan 2,5 m/s dan 2 m/s.
2. Dari ketiga variasi kecepatan yang telah ditentukan, kecepatan 3 m/s memiliki selisih kenaikan temperatur paling tinggi, yaitu dari temperatur 33,4 °C pada menit ke-1 menuju temperatur 40,6 °C pada menit ke-31. Selisih paling tinggi ini dikarenakan pada kecepatan 3 m/s *moisture content* pada batubara lebih cepat menguap sehingga temperatur outlet akan hampir sama dengan temperatur inlet.
3. Dari ketiga variasi kecepatan yang telah ditentukan, pada menit ke-1 kecepatan 3 m/s memiliki nilai penurunan *humidity ratio* paling besar dibanding dengan kecepatan 2,5 m/s dan kecepatan 2 m/s.
4. Dari ketiga variasi yang telah ditentukan, kecepatan 3 m/s dapat mengurangi *moisture content* batubara awal sebesar 36,655 % menjadi 20,712 %. Kecepatan 2,5 m/s dapat mengurangi *moisture content* batubara awal sebesar 37,023 % menjadi 20,558 %. Kecepatan 2 m/s dapat mengurangi *moisture content* batubara awal sebesar 35,827 % menjadi 20,712 %.
5. Dari ketiga variasi yang telah ditentukan, kecepatan 3 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 3,1182 % per menit.



Kecepatan 2,5 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 2,638 % per menit. Kecepatan 2 m/s memiliki nilai *drying rate* sebesar 1,9806 % per menit.

6. Koefisien perpindahan panas paling besar terjadi pada kecepatan 3 m/s dengan nilai 86,1744 W/m².K. kecepatan 2,5 m/s memiliki koefisien perpindahan panas sebesar 79,5205 W/m².K. kecepatan 2 m/s memiliki koefisien perpindahan panas sebesar 71,4939 W/m².K.
7. Koefisien perpindahan massa paling besar terjadi pada kecepatan 3 m/s dengan nilai 0,078264 m/s. Kecepatan 2,5 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa sebesar 0,072052 m/s. Kecepatan 2 m/s memiliki nilai koefisien perpindahan massa sebesar 0,065203 m/s.

5.2 Saran

Pada eksperimen ini terdapat saran-saran yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas penelitian studi eksperimen *swirling fluidized bed dryer*, antara lain :

1. Perlu adanya pembaharuan alat ukur pada alat eksperimen guna meningkatkan keakuratan data hasil eksperimen.
2. Perlu dilakukan studi numerik untuk dapat membandingkan hasil eksperimen dan hasil numerik.
3. Melakukan perawatan pada alat eksperimen agar performa dan kualitas data yang dihasilkan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hyun-Seok Kim, Yohsuke Matsushita, Motohira Oomori, Tatsuro Harada, Jin Miyawaki, Seong-Ho Yoon & Isao Mochida. 2013. *Fluidized Bed Drying of Loy Yang Brown Coal with Variation of Temperature, Relative Humidity, Fluidization Velocity and Formulation of its Drying Rate*. Kyushu University. Japan.
- [2] Tan Chee Sheng, Shaharin Anwar Sulaiman & Vinod Kumar. *One-Dimensional Modeling of Hydrodynamics in a Swirling Fluidized Bed*. International journal of mechanical & mechatronics engineering. Vol:12 No:06, 2012.
- [3] Stevanus, Fransiskus. 2015. *Studi Eksperimen Karakteristik Pengaruh Kecepatan Inlet Drying Chamber Terhadap Laju Pengeringan Batubara Low-Rank Swirling Fluidized Bed Dryer*. ITS Surabaya, Indonesia.
- [4] Incropera Frank P & Dewitt David P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition*. John Wiley & Sons Inc : 2008.
- [5] Kunii Daizo. *Fluidization Engineering 2nd Edition*. Butterworth-Heinemann : 1991
- [6] Speight, James G. *Handbook of Coal Analysis*. A John Wiley & Sons, INC, Publication. 2005.
- [7] 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. Moran MJ, Shapiro HN. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Sons Inc.; 2006.

- [8] Alexander Rattner & Jonathan Bohren. 2008. *Heat and Mass Correlations*.
<https://www.stwing.upenn.edu/~salexa/Documents/Correlations.pdf> Februari 2016
- [9] Stoecker, Wilbert F. & Jones. 1982. *Refrigeration and Air Conditioning, 2nd Edition*. McGraw-Hill Inc. Urbana-Champaign.
- [10] Rees, O.W., *Chemistry, Uses, And Limitation of Coal Analysis*. 1966. Department of Registration and Education. Urbana, Illinois.

RIWAYAT PENULIS



Dicky Permana lahir di Malang, 28 Desember 1993 merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Kedayang, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SDN Petrokimia Gresik selama 6 tahun yakni pada tahun 2000-2006. Lalu penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Gresik selama 3 tahun yakni di tahun 2006-2009 kemudian melanjutkan di SMAN 1 Gresik selama 3 tahun yakni tahun 2009-2012. Lalu penulis melanjutkan pendidikan tingginya menempuh jalur sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin dengan NRP : 2110100026.

Selama berkuliah di Teknik Mesin ITS banyak sekali pengalaman yang penulis tidak pernah rasakan selama duduk di bangku sekolah. Dari awal masuk kuliah di Teknik Mesin penulis mendapat kaderisasi dari para senior. Penulis juga terdaftar sebagai Himpunan Mahasiswa Mesin. Penulis juga terlibat dalam kegiatan kemahasiswaan himpunan mulai menjadi staff pada tahun 2013/2014 kemudian menjadi Kabiro Entrepreneurship pada tahun 2014/2015. Penulis aktif mengikuti kegiatan laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, menjabat sebagai Asisten Praktikum selama 2 periode. Kegiatan pelatihan yang pernah diikuti penulis lebih ke arah peningkatan diri diantaranya LKMM Pra Tingkat Dasar 2011, LKMM Tingkat Dasar 2012, Pelatihan Solidwork dan Inventor serta Green Belt Training, kemudian diluar lingkup ITS mengikuti perkumpulan Berkah Surabaya pada tahun 2016. Untuk informasi dan masukan tentang penulisan ini bisa langsung diberikan pada email dicky.me.its@gmail.com