



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI KECEPATAN
DAN TEMPERATUR UDARA TERHADAP KUALITAS
PENGERINGAN *BAGASSE* PADA MESIN PENGERING
TIPE *PNEUMATIC / FIASH DRYER***

MOCHAMMAD GAMA ADRIANSYAH
NRP 2109 100 053

Dosen Pembimbing
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TM141585

***EXPERIMENTAL STUDY OF VELOCITY EFFECT AND
AIR TEMPERATURE TOWARDS DRYING QUALITY OF
BAGASSE USING PNEUMATIC / FLASH DRYER
MACHINE***

MOCHAMMAD GAMA ADRIANSYAH
NRP 2109 100 053

Academic Supervisor
Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

*DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017*

**Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan
Temperatur Udara Terhadap Kualitas Pengeringan
Bagasse Pada Mesin Pengering Tipe *Pneumatic / Flash
Dryer***

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 :

MOCHAMMAD GAMA ADRIANSYAH

NRP. 2109 100 053

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. (Pembimbing)
NIP. 197301161997021001
2. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M. Eng. Sc. (Penguji I)
NIP. 196604021989031002
3. Ary Bachtiar KP., ST, MT, PhD. (Penguji II)
NIP. 197105241997021001
4. Dr. Bambang Arip Dwiyantoro ST., (Penguji III)
M. Eng.
NIP. 19780412002121001

SURABAYA

JANUARI, 2017

Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Udara Terhadap Kualitas Pengeringan Bagasse Pada Mesin Pengering Tipe Pneumatic / Flash Dryer

Nama Mahasiswa : Mochammad Gama Adriansyah.

NRP : 2109 100 053

Jurusan : Teknik Mesin, FTI

Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

Abstrak

Ampas tebu atau bagasse adalah salah satu produk yang secara langsung timbul sebagai produk samping dalam proses pembuatan gula di Pabrik Gula. Bagasse dimanfaatkan sebagai bahan bakar secara langsung karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi sebesar 1825 kkal/kg, selain digunakan sebagai bahan bakar secara langsung, bagasse dapat digunakan untuk bahan pembuat pulp kertas, pupuk organik, pakan ternak, media untuk produksi jamur dan penggunaan yang lainnya. Salah satu cara meningkatkan kualitas dan nilai ekonomis bagasse dapat dilakukan dengan mengurangi kandungan airnya yang semula 40 % dan mengolahnya menjadi Pellet ampas dengan kandungan air kurang dari 13 % sesuai persyaratan Pellet ekspor. Pellet berbentuk silinder dengan ukuran panjang 10-60 mm dan hasil produksi Pellet ini akan diekspor ke Eropa, Amerika, Jepang dan Korea. Mesin pengering pellet yang direncanakan oleh PG Trangkil untuk menurunkan kandungan air dibawah 13 % yaitu tipe Pneumatik/Flash.. Pneumatik/Flash Dryer adalah mesin atau peralatan pengering yang digunakan untuk mengurangi kandungan air dalam bagasse yang dikeringkan dengan cara mengalirkan udara panas secara berkelanjutan sehingga diperoleh hasil (output) bahan dengan kandungan air sesuai yang diharapkan.

Eksperimen dilakukan dengan alat percobaan yang sudah ada. Percobaan dilakukan dengan sampel seberat 500 gr dengan

diameter rata-rata 3 mm. Sampel diukur berat, temperatur dan kandungan air, kemudian dimasukkan ke feeder dan dikeringkan pada Flash dryer selama 15 menit dengan memvariasikan kecepatan hembusan blower sebesar 6, 8 dan 10 m/s dan temperatur pemanas sebesar 50, 52,5, 55, 57,5, 60 dan 65 °C untuk setiap sampel .

Hasil yang didapat bahwa kenaikan temperatur dan kecepatan udara pengering mempengaruhi penurunan moisture content, total energi dan waktu tinggal. Penurunan moisture content terbesar yaitu pada variasi kecepatan 6 m/s dengan temperatur 65 °C sebesar 25,5 %, total energi terbesar yaitu pada variasi kecepatan 6 m/s dengan temperatur 65 °C sebesar 1630,8 kJ/jam dan waktu tinggal paling singkat yaitu pada variasi kecepatan 10 m/s dengan temperatur 65 °C sebesar 1,62 sekon.

Kata Kunci— *Bagasse, Pellet, Flash / Pneumatic dryer, moisture content*

EXPERIMENTAL STUDY OF VELOCITY EFFECT AND AIR TEMPERATURE TOWARDS DRYING QUALITY OF BAGASSE USING PNEUMATIC / FLASH DRYER MACHINE

Name : Mochammad Gama Adriansyah.
NRP : 2109 100 053
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Supervisor : Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

Abstract

Ampas or bagasse is one product that is directly incurred as a byproduct in the manufacturing process of sugar in the Sugar. Bagasse is used as fuel directly because it has a calorific value which is quite high at 1825 kcal / kg, but used as fuel directly, bagasse can be used for material for paper pulp, organic fertilizers, animal feed, media for mushroom production and use more. One way of improving the quality and economic value of bagasse can be done by reducing the water content which was originally 50% and process them into pulp pellets with a water content of less than 13% according to the requirements Pellet exports. Cylindrical pellets with a length of 10-60 mm and pellet production will be exported to Europe, America, Japan and Korea. Pellet drying machine planned by PG Trangkil to lower the moisture content below 13% ie type Pneumatic / Flash .. Pneumatic / Flash Dryer is a machine or equipment used dryer to reduce the moisture content of the bagasse is dried by the hot air stream in a sustainable manner in order to obtain results (output) material with moisture content as expected.

Experiments performed with experimental tools that already exist. Experiments conducted with a sample weighing 500 grams with an average diameter of 3 mm. Samples are measured by weight, temperature and water content, and then inserted into the feeder and dried at Flash dryer for 15 minutes by varying the speed of the blower blowing at 6, 8 and 10 m/s and a heater temperature of 50, 52,5, 55, 57,5, 60 dan 65 °C for each sample.

The results that rising temperatures and dryer air speed affect the decline in moisture content, total energy and residence time. The

decrease in moisture content that is on the variation speed of 6 m/s with temperature 65 °C by 25.5%, the greatest total energy, namely to the variation speed of 6 m/s with a temperature of 65 °C at 1630.8 kJ/h and a minimum stay is the variation speed of 10 m/s with a temperature of 65 °C for 1.62 second.

Kata Kunci— *Bagasse, Pellet, Flash / Pneumatic dryer, moisture content*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Udara Terhadap Kualitas Pengeringan Bagasse Pada Mesin Pengering Tipe Pneumatic / Flash Dryer. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang tua saya Ir. Jojon Suprijanto dan Sri Aprilis Maning S yang selalu memberi semangat, membimbing dan mendoakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang selalu sabar memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc., Bapak Ary Bachtiar KP., ST. MT, PhD., dan Bapak Dr. Bambang Arip Dwiyanoro ST., M.Eng. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis.
4. Bapak Prof. Ir. Sutardi M.Eng., PhD., selaku dosen wali yang telah memberikan arahan-arahannya kepada penulis selama masa perkuliahan tahap Sarjana.
5. Seluruh dosen serta karyawan di Jurusan Teknik Mesin ITS yang telah memberikan banyak sekali bantuan selama penulis berkuliah, baik akademis maupun non akademis.

6. Teman-teman angkatan M52, pacar, dan teman teman yang sudah memberi semangat dan doa.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu. Penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|----------|
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN JUDUL | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Permasalahan | 3 |
| 1.3 Tujuan | 4 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II Tinjauan Pustaka | 6 |
| 2.1 Ampas Tebu (Bagasse) di Pabrik Gula Trangkil..... | 6 |
| 2.1.1 Kandungan Bagasse | 7 |
| 2.1.2 Spesifikasi Produk Pellet Bagasse..... | 8 |
| 2.1.2.1 Fisik Geometris..... | 9 |
| 2.2 Pengeringan | 10 |
| 2.2.1 Faktor yang Memengaruhi Pengeringan..... | 11 |
| 2.2.2 Prinsip Psikometrik Chart | 16 |
| 2.3 Mesin Pengering..... | 18 |
| 2.3.1 Tipe Mesin Pengering | 20 |
| 2.3.2 Dasar Pemilihan Pengering | 20 |
| 2.4 Pneumatic/Flash Dryer | 21 |
| 2.5 Volume Atur Ampas dan Udara Panas | 23 |
| 2.6 Pneumatic/Flash Dryer Sebagai Pengering | 25 |
| 2.6.2 Kesetimbangan Massa..... | 27 |
| 2.7 Pneumatic/Flash Dryer Sebagai Transportasi (<i>Conveying</i>)..... | 27 |

| | | |
|----------------|--|-----------|
| 2.7.1 | Persamaan Kecepatan Partikel Ampas dan Udara Panas Untuk Memenuhi Fungsi Transportasi..... | 28 |
| 2.7.2 | Persamaan Dimensi Panjang Bejana Pengereng dan Waktu Tinggal | 29 |
| | | |
| BAB III | METODOLOGI PENELITIAN | 32 |
| 3.1 | Spesifikasi Mesin pengering dan Produk setelah dikeringkan | 32 |
| 3.2 | Rancangan Skema Mesin Pengereng dan Alat Uji | 33 |
| 3.3 | Peralatan yang Dipergunakan Dalam Penelitian | 34 |
| 3.4 | Tahap Percobaan..... | 38 |
| 3.5 | Flowchart Langkah percobaan | 39 |
| 3.6 | Tabel Rancangan Eksperimen..... | 42 |
| | | |
| BAB IV | ANALISA DAN PEMBAHASAN | 44 |
| 4.1 | Data Hasil Percobaan..... | 44 |
| 4.2 | Contoh Perhitungan | 44 |
| 4.2.1 | Perhitungan Kecepatan Fluidisasi Minimum | 45 |
| 4.2.2 | Contoh Perhitungan Drying Rate Pneumatic/Flash Dryer | 46 |
| 4.2.3 | Contoh Perhitungan Qloss | 47 |
| 4.2.3 | Perhitungan Kecepatan Masuk Bagasse (v_t) | 48 |
| 4.3 | Perhitungan Total Energi Pengereng | 49 |
| 4.3.1 | Perhitungan Total Energi Pengereng variasi Temperatur 50 °C Kecepatan 6 m/s..... | 49 |
| 4.4 | Perhitungan Waktu Tinggal..... | 51 |
| 4.5 | Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur pada Kecepatan 6 m/s | 53 |
| 4.6 | Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur pada Kecepatan 8 m/s | 55 |
| 4.7 | Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur pada Kecepatan 10 m/s | 57 |
| 4.8 | Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 50 °C m/s..... | 58 |
| 4.9 | Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 55 °C m/s..... | 61 |

| | |
|--|----|
| 4.10 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 60 °C m/s..... | 62 |
| 4.11 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 65 °C m/s..... | 65 |
| 4.12 Analisa Histogram Energi Total Fungsi Kecepatan dan Suhu Udara..... | 67 |
| 4.13 Analisa Histogram Waktu Tinggal Fungsi Kecepatan dan Suhu Udara..... | 69 |
| | |
| BAB V KESIMPULAN..... | 71 |
| NOMENCLATUR..... | 73 |
| DAFTAR PUSTAKA | 75 |
| LAMPIRAN | |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | |

DAFTAR GAMBAR

| | HALAMAN |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Peristiwa pengeringan | 10 |
| Gambar 2.2 Dryer type Pneumatic / Flash Dryer | 11 |
| Gambar 2.3 Grafik pengaruh temperatur udara pengering terhadap <i>drying rate</i> pada beberapa tingkat kecepatan udara | 12 |
| Gambar 2.4 Pengaruh luas permukaan terhadap laju penguapan | 13 |
| Gambar 2.5 Grafik Kecepatan aliran udara mempengaruhi penurunan kandungan air | 14 |
| Gambar 2.6 Grafik Tekanan Udara terhadap laju pengeringan | 15 |
| Gambar 2.7 Grafik kelembapan udara terhadap laju pengeringan | 16 |
| Gambar 2.8 Proses pada psikometric chart | 16 |
| Gambar 2.9 Pneumatic/Flash Bagasse dryer lebih sederhana | 24 |
| Gambar 2.10 Kesetimbangan massa volume atur ampas dan udara panas | 24 |
| Gambar 2.11 Kontrol volume pada flash/pneumatic dryer | 25 |
| Gambar 2.12 Gaya-gaya pada proses pengangkutan bagass | 28 |
| Gambar 2.13 Logarithmic Mean Temperature Difference pada proses pengeringan | 30 |
| Gambar 3.2 peralatan dan alat ukur yang digunakan | 37 |
| Gambar 4.1 Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur Kecepatan 6 m/s | 54 |
| Gambar 4.2 Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur Kecepatan 8 m/s | 55 |
| Gambar 4.3 Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur Kecepatan 10 m/s | 57 |
| Gambar 4.4 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 50 °C | 59 |
| Gambar 4.5 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 55 °C | 61 |
| Gambar 4.6 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 60 °C | 63 |
| Gambar 4.7 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 65 °C | 65 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.8 Histogram Total Energi Fungsi Kecepatan dan Temperatur Udara..... | 67 |
| Gambar 4.9 Histogram Waktu Tinggal Fungsi Kecepatan dan Temperatur Udara..... | 69 |

DAFTAR TABEL

HALAMAN

| | |
|--|----|
| Tabel 1 TABEL 1 DATA AMPAS PG TRANGKIL 5 TAHUN TERAKHIR | 7 |
| Tabel 2 TABEL 2 KOMPOSISI KIMIA KANDUNGAN BAGASSE[12]..... | 8 |
| Tabel 3 SPESIFIKASI PRODUK PELLET BAGASSE..... | 8 |
| Tabel 4 Klasifikasi produk dan tipe pengering sebagai bantuan untuk pemilihan mesin pengering | 21 |
| Tabel 5 Tabel Rancangan Eksperimen | 36 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tebu merupakan salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam di daerah yang memiliki iklim tropis yang merupakan bahan baku pembuatan gula. Di Indonesia, pada tahun 2013 perkebunan tebu menempati areal seluas 466 ribu hektar, di mana sekitar 64,74% di antaranya terdapat di Pulau Jawa. Sekitar 60,16% dari luas perkebunan tersebut merupakan perkebunan rakyat, sementara sisanya merupakan perkebunan besar swasta dan perkebunan besar negara, masing-masing dengan 23,11% dan 16,73%. Total produksi gula nasional pada tahun 2013 mencapai 2,55 juta ton yang diproduksi oleh 56 Pabrik Gula [1].

Dalam proses pembuatan gula berbasis tanaman tebu Pada PG Trangkil proses pembuatan gula tersebut menggunakan 2 unit cane cutter dan 1 unit heavy duty shredder serta 5 unit gilingan (masing-masing gilingan dilengkapi 4 roll gilingan) [2] dan di Pabrik Gula Trangkil, Jawa Tengah pada lima tahun terakhir ini menghasilkan produk gula putih rerata sebanyak 6.682 ton/tahun dari 891.893 ton jumlah tebu yang digiling atau sebanyak 7,5 % dari jumlah tebu yang digiling dan setelah proses penggilingan tersebut menghasilkan produk buang berupa ampas tebu (*bagasse*) rerata sebanyak 314.761,60 ton/tahun atau sebanyak 35,41 % dari jumlah tebu yang digiling [2], yang selama ini belum dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Bagasse adalah salah satu produk yang secara langsung timbul sebagai produk samping dalam proses pembuatan gula. *bagasse* berwarna kuning kecoklatan berukuran 20 sampai 50 panjang dan diameter 1 sampai 6 milimeter dengan rerata massa jenis (*bulk density*) bervariasi antara 100 - 500 kg/m³ [3].

Penumpukan *bagasse* di PG Trangkil yang terjadi selama ini selalu menyulitkan, hal ini karena akan timbul beberapa permasalahan / resiko diantaranya ; resiko berhenti giling karena mesin dan peralatan lama kelamaan akan tertutup oleh tumpukan *bagasse* sehingga produksi penggilingan tebu harus dihentikan, resiko terbakar karena timbunan ampas yang sudah kering jika terkena sinar matahari dari hari ke hari akan semakin kering dan mudah terbakar jika tersulut api selain itu akan terjadi akumulasi panas pada bagian dalam timbunan ampas akibat proses kimia ampas itu sendiri dan akibat panas dari luar, resiko busuk karena timbunan *bagasse* di luar ruang yang tidak terlindungi oleh atap akan mudah basah karena hujan dan embun sehingga akan terurai secara kimiawi, resiko sarang hama humbang tanduk dikarenakan timbunan *bagasse* akan menarik serangga kumbang tanduk untuk bertelur pada media *bagasse* tersebut sehingga menyebabkan populasi kumbang tanduk meningkat dengan drastis [2]

Bagasse dimanfaatkan sebagai bahan bakar secara langsung karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi sebesar 1825 kkal/kg. Selain digunakan sebagai bahan bakar secara langsung, *bagasse* dapat digunakan untuk bahan pembuat pulp kertas, pupuk organik, pakan ternak, media untuk produksi jamur dan penggunaan yang lainnya [1]. Sayangnya belum banyak industri yang mengembangkan produk samping berbahan dasar *bagasse* tersebut. Peluang ini apabila dapat diraih oleh Pabrik Gula, maka akan memberikan nilai tambah keuangan yang cukup besar.

Berkaitan dengan kelebihan produksi *bagasse* dan permasalahannya seperti yang diuraikan di atas, maka Pabrik Gula Trangkil merencanakan memproduksi Pellet untuk meningkatkan nilai ekonomis dari ampas (*bagasse*). Pellet merupakan produk olahan dengan bahan baku *bagasse* yang dimampatkan untuk meningkatkan nilai kalor yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar [4] berbentuk silinder dengan

ukuran panjang 10-60 mm dan hasil produksi Pellet ini akan diekspor ke Eropa, Amerika, Jepang dan Korea dengan salah satu persyaratan kandungan air (Moisture content) harus dibawah 13 %. Mesin pengering pellet yang direncanakan oleh PG Trangkil untuk menurunkan kandungan air dibawah 13 % yaitu tipe Pneumatik/Flash. .

Pneumatic/flash dryer adalah mesin atau peralatan pengering yang digunakan untuk mengurangi kandungan air dalam bagasse yang dikeringkan dengan cara mengalirkan udara panas secara berkelanjutan sehingga diperoleh hasil (output) bahan dengan kandungan air sesuai yang diharapkan. *Pneumatic/flash dryer* sudah banyak digunakan dan bahkan sudah diteliti untuk aplikasi *bagasse*, diantaranya oleh peneliti Nebra et al [5] pada tahun 2009. Kelebihan alat ini dapat mengeringkan bahan yang dikeringkan dengan sangat cepat [6], Lebih menghemat penggunaan ruangan untuk instalasi *pneumatic/flash dryer* [7] dan Biaya investasi *pneumatic/flash dryer* relatif murah serta pemasangan instalasi peralatan yang mudah [8], namun pada proses pengeringan dan penurunan kadar air bagasse dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jumlah energi panas dan perbedaan temperatur, luas permukaan, kecepatan aliran udara, tekanan udara, dan kelembaban udara [9].

Berdasarkan uraian tersebut akan diteliti pengaruh variasi kecepatan dan temperatur udara panas terhadap proses pengeringan menggunakan *pneumatik/flash dryer* yang diharapkan dapat menurunkan kadar air bagasse secara optimal

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang kami susun ini adalah bagaimana pengaruh variasi kecepatan (v_g) dan temperatur (t_g) udara panas terhadap kualitas proses pengeringan bagasse (kandungan air bagasse (MC), waktu tinggal (t) dan total energi yang dibutuhkan (Q_{total})) untuk jumlah aliran massa bagasse

(m_{p1}), kelembaban udara, ukuran bejana pengeringan dan diameter bagasse (D_p) yang sudah ditentukan sebagai pertimbangan dan alternatif perancangan mesin pengering pellet bagasse yang sesuai di PG Trangkil, Jawa Tengah .

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan yang kami susun ini untuk bagaimana mendapatkan proses pengeringan bagasse dengan kandungan air awal 40 % secara efektif yang ditunjukkan dengan waktu tinggal pendek dengan kandungan air dibawah 13 % sehingga bagasse dapat digunakan menjadi bahan baku pellet sebagai pertimbangan dan alternatif perancangan mesin pengering pellet yang sesuai di PG Trangki, Jawa Tengah.

1.4 Batasan Masalah

1. Proses adiabatik.
2. Dinding luar bejana pneumatic dan cyclone diisolasi kedap terhadap pengaruh temperatur udara luar.
3. Temperatur udara panas yang masuk cukup tinggi sehingga viskositas air yang terkandung dalam ampas kecil
4. Udara luar (ambient) dengan temperatur sebesar 30° C dan Tekanan sebesar 1 atmosfer serta dengan kelembaban udara 75 – 80 %.

1.5 Manfaat dari Penulisan Tugas Akhir

1. Menambah wawasan pengetahuan dan pengalaman dalam menganalisis mesin dan peralatan mesin pengering yang

dibutuhkan untuk aplikasi dalam kehidupan sehari-hari maupun kebutuhan di lingkungan industri.

2. Dengan analisis perencanaan mesin pengering ampas tersebut untuk dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari maupun kebutuhan di lingkungan industri akan meningkatkan nilai kredibilitas Institut Teknologi Sepuluh nopember dalam memberikan kontribusi kepada anak didik, lingkungan industri maupun masyarakat luas.
3. Merencanakan model mesin pengering ampas kapasitas 5 ton ampas basah/jam untuk menurunkan kandungan air dari semula 40 % menjadi 13 % berat ampas dapat digunakan sebagai alternatif mesin pengering ampas yang dipiliholehPGTrangkil

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ampas Tebu (Bagasse) di Pabrik Gula Trangkil

Ampas tebu (*Bagasse*) merupakan produk samping yang dihasilkan dari proses pembuatan gula yang berasal dari penggilingan tebu di Pabrik Gula. Berdasarkan data dalam tabel 1 jumlah Ampas produksi di PG Trangkil dalam 5 tahun terakhir rerata sebanyak 314.761,60 ton/tahun atau sebanyak 35,41 % dari jumlah tebu yang digiling.

Sisa bagasse yang dihasilkan PG Trangkil dalam beberapa tahun sebelumnya dijual kepada pihak lain untuk bahan pembuat pulp kertas, pupuk organik, pakan ternak, media untuk produksi jamur dan penggunaan yang lainnya. Mulai tahun 2016 sisa bagasse yang dihasilkan sebagian diproses menjadi pellet bagasse dengan kapasitas 2 ton produksi pellet ampas/jam, namun produksi pellet bagasse saat ini terkendala dengan mesin pengering ampas.

TABEL 1 DATA AMPAS PG TRANGKIL 5 TAHUN TERAKHIR

| No. | Uraian | Satuan | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Rerata |
|-----|----------------------|--------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|
| 1 | Jumlah tebu digiling | ton | 677.169,90 | 910.101,50 | 1.053.189,00 | 965.101,00 | 853.904,50 | 891.893,18 |
| 2 | Jumlah ampas | ton | 248.463,70 | 319660,8 | 360.614,60 | 336.813,50 | 308.255,40 | 314.761,60 |
| 3 | Ampas % tebu | % | 36,69 | 35,12 | 34,24 | 34,90 | 36,10 | 35,41 |
| 4 | Kadar sabut | % | 38,92 | 41,23 | 43,20 | 43,30 | 40,43 | 41,42 |
| 5 | Bahan kering ampas | % | 43,14 | 45,71 | 47,20 | 47,11 | 44,18 | 45,47 |
| 6 | Kandungan air ampas | % | 56,86 | 54,29 | 52,80 | 52,89 | 55,82 | 54,53 |
| 7 | Brix ampas | % | 4,22 | 4,48 | 4,05 | 3,81 | 3,74 | 4,06 |
| 8 | Pol ampas | % | 2,70 | 2,87 | 2,56 | 2,45 | 3,45 | 2,81 |

2.1.1 Kandungan Bagasse

Sesuai tabel 1 dalam 100 % Bagasse rerata terdiri dari 54,53 % kandungan air dan 45,47 % bahan kering. Sedangkan dalam 45,47% bahan kering terkandung 41,42 % sabut dan 4,06 % brix. Dalam 4,06 % brix terkandung 2,81 % pol (kandungan gula) dan sisanya sebesar 1,19 % merupakan kandungan padatan bukan gula.

Komposisi kimia yang terkandung dalam bahan kering sesuai referensi Energy research Centre of the Netherlands [12] pada tabel 2

TABEL 2 KOMPOSISI KIMIA KANDUNGAN BAGASSE[12]

| Property | Unit | Value | Method |
|-----------------------------|-------|--------|------------|
| Proximate Analysis | | | |
| Moisture content | wt% | 55 | |
| Ash content | wt% | 1.10 | |
| Volatile matter | wt% | 38.52 | |
| Fixed carbon | wt% | 5.38 | Calculated |
| Ultimate Analysis | | | |
| Carbon | wt% | 21.89 | Measured |
| Hydrogen | wt% | 2.64 | Measured |
| Nitrogen | wt% | 0.07 | Measured |
| Sulphur | wt% | 0.02 | Measured |
| Oxygen | wt% | 19.27 | Calculated |
| Total (with halides) | wt% | 100.00 | Calculated |
| Calorific Values | | | |
| Net calorific value (LHV) | MJ/kg | 6.63 | |
| Gross calorific value (HHV) | MJ/kg | 8.55 | |

2.1.2 Spesifikasi Produk Pellet Bagasse

Spesifikasi pellet bagasse produksi PG Trangkil sesuai hasil analisis oleh Sucofindo disajikan pada tabel 3.

| No. | Uraian | | |
|-----|------------------------|---------|----------|
| 1. | <i>Total Moisture</i> | : 3,50 | % weight |
| 2. | <i>Ash content</i> | : 6,10 | % weight |
| 3. | <i>Volatile matter</i> | : 77,30 | % weight |
| 4. | <i>Fixed carbon</i> | : 13,1 | % weight |
| 5. | <i>Total sulfur</i> | : 0,12 | % weight |

| | | | | |
|----|------------------------------|---|-------|----------|
| 6. | <i>Gross Calorific Value</i> | : | 4.305 | kcal/kg |
| 7. | <i>Nitrogen (N)</i> | : | 0,10 | % weight |

TABEL 3. SPESIFIKASI PRODUK PELLET BAGASSE

2.1.2 Sifat-sifat (Properties) Bagasse

2.1.2.1 Fisik Geometris Bagasse

Sifat-sifat (Properties) Bagasse sangat mempengaruhi dalam desain perencanaan mesin pengering yaitu diameter partikel ampas, ukuran geometris fisik partikel ampas, dan massa jenis ampas. Penelitian oleh M.G Rasula [3] menjelaskan bahwa fisik geometris ampas pada umumnya terdiri dari 3 (tiga) komponen yang dinamakan fibre (sabut), pith dan rind (kulit) yang masing-masing dalam bagian berat yang berbeda yang tercampur atau tertumpuk jadi satu. Ketiga komponen ampas tersebut masing-masing mempunyai bentuk permukaan dan ukuran berbeda. Fibre berbentuk hampir seragam seperti silinder, pith berbentuk bulat seragam dan bersifat sangat menyerap air (porous), dan kulit berbentuk seperti segi empat.

Metode untuk pengukuran fisik geometris ampas relatif rumit, disamping itu ampas terdiri dari 3 (tiga) komponen yang bentuknya berbeda-beda. Sedangkan ukuran fisik geometris 3 (tiga) komponen ampas tersebut mempengaruhi besarnya nilai density, terminal velocity dan koefisien drag.

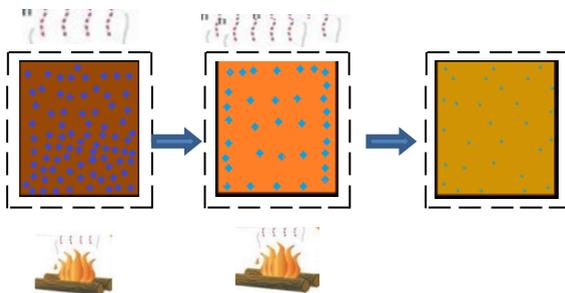
Berdasarkan penelitian yang dilakukan bahwa secara umum fraksi massa pith, fibre dan rind masing-masing 5%, 73%, dan 22 % dengan ukuran dimensi panjang fibre $30,00 \pm 0,02$ mm, diperoleh hasil rata-rata density partikel ampas sebesar 492 ± 15 kg/m³ [3]

Besarnya ukuran atau sifat fisik geometris ampas di masing-masing Pabrik Gula ditentukan oleh mesin atau peralatan yang digunakan untuk menghasilkan ampas. Di PG Trangkil

menggunakan 2 unit cane cutter dan 1 unit heavy duty shredder serta 5 unit gilingan (masing-masing gilingan dilengkapi 4 roll gilingan), sedangkan semua penggerakannya menggunakan turbin uap. Oleh karena itu karakteristik atau sifat fisik geometri ampas di PG trangkil relatif hampir sama dengan contoh ampas yang digunakan untuk penelitian M.G. Rasula,dkk [3], yaitu panjang fibre 20-50 mm, dengan diameter 1-6 mm. Berdasarkan hal tersebut parameter density partikel ampas dan sifat-sifat yang lain diasumsikan sama dan menggunakan hasil penelitian M.G. Rasula,dkk [3].

2.2 Pengerinan

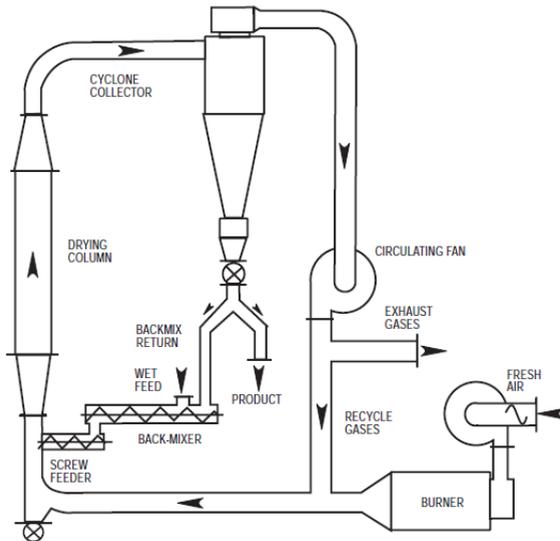
Dasar terjadinya proses pengerinan suatu bahan yaitu suatu peristiwa perpindahan energi dalam bentuk panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah dengan cara pemanasan dan apabila pemanasan dilakukan secara kontinyu hingga melewati titik jenuhnya, akan terjadi proses penguapan air dalam suatu bahan. Agar suatu bahan dapat menjadi kering, maka udara harus memiliki kandungan uap air atau kelembaban yang lebih rendah dari bahan yang akan dikeringkan (Trayball E.Robert, 1981). Peristiwa pengerinan dijelaskan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peristiwa pengerinan

2.2.1 Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan

Pengeringan produk dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah temperatur, kelembaban udara, kecepatan aliran udara, tekanan serta ukuran bahan juga mempengaruhi cepat lambatnya pengeringan. Selain itu jenis alat pengering juga mempengaruhi proses pengeringan [9].

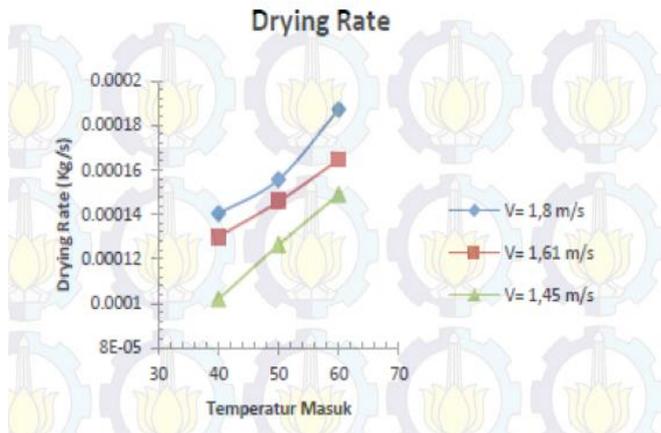


Gambar 2.2 Dryer type Pneumatic / Flash Dryer [9]

A. Jumlah Energi Panas

Berdasarkan referensi gambar 2.2 yang merupakan salah satu tipe alat pengering (tipe Pneumatic / Flash Dryer) bahwa energi panas berasal dari tungku pembakaran (combustion chamber) yang berasal dari burner. Semakin besar energi panas yang dihasilkan dari burner sebagai alat pemanas maka akan semakin besar temperatur yang terkena pada bahan yang dikeringkan, semakin besar perbedaan temperatur antara alat pemanas dengan bahan yang dikeringkan maka akan semakin cepat pemindahan panas ke dalam bahan sehingga semakin besar

laju penguapan air dari bahan yang dikeringkan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3 grafik .

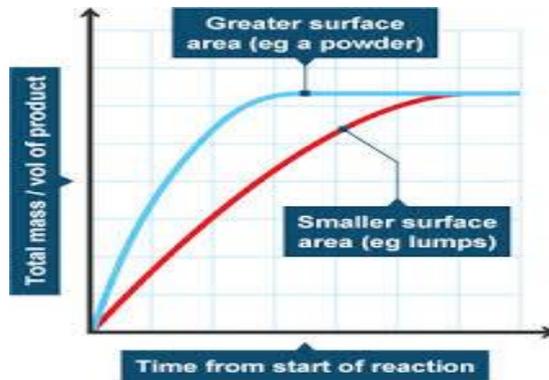


Gambar 2.3. Grafik pengaruh temperatur udara pengering terhadap *drying rate* pada beberapa tingkat kecepatan udara [10]

B. Luas Permukaan

Luas permukaan mempengaruhi laju pengeringan. Semakin besar luas permukaan bahan yang dikeringkan akan semakin besar laju pengeringannya karena semakin besar bahan tersebut menerima transfer energi panas dan semakin besar luas permukaan bahan tersebut menguapkan air yang terkandung.

Bahan dengan berat yang sama namun dengan ukuran butiran yang berbeda, maka bahan dengan ukuran butiran lebih kecil akan mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan bahan yang ukuran butiran lebih besar. Karena itu bahan yang ukuran butirannya lebih kecil akan lebih cepat dikeringkan.

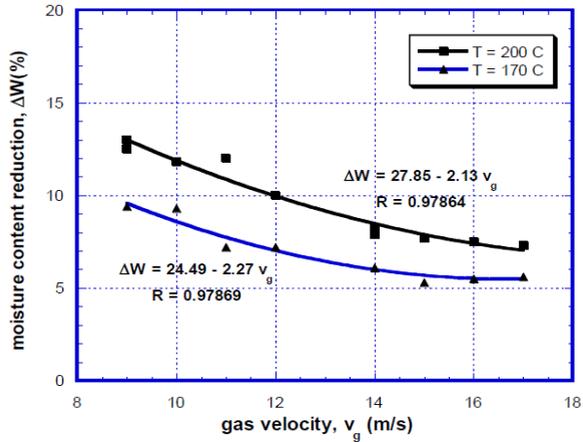


Gambar 2.4 Pengaruh luas permukaan terhadap laju penguapan (BBC science and nature)

C. Kecepatan Aliran Udara

Kecepatan aliran udara mempengaruhi laju pengeringan. Semakin besar kecepatan aliran udara akan semakin besar laju pengeringannya karena semakin besar kecepatan aliran udara maka uap air yang diambil dan dibawa bersama-sama udara semakin besar dan uap air yang jenuh disekitar bahan yang dikeringkan menjadi semakin berkurang.

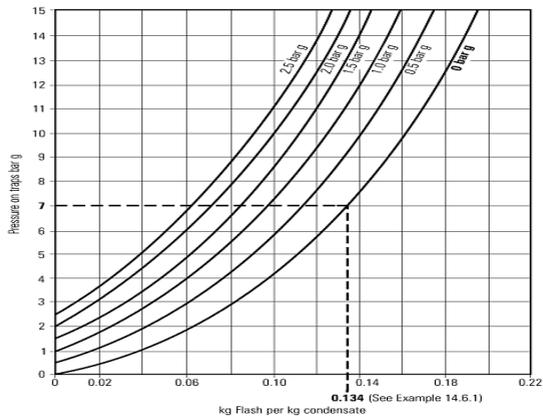
Aliran udara yang bergerak dengan kecepatan tinggi dapat mengambil uap air dari permukaan bahan yang dikeringkan dan mengambil uap air yang mengumpul sekitar bahan yang dikeringkan, sehingga akan mencegah terjadinya uap air jenuh di sekitar bahan yang dikeringkan.



Gambar 2.5 Grafik Kecepatan aliran udara mempengaruhi penurunan kandungan air [21]

D. Tekanan Udara

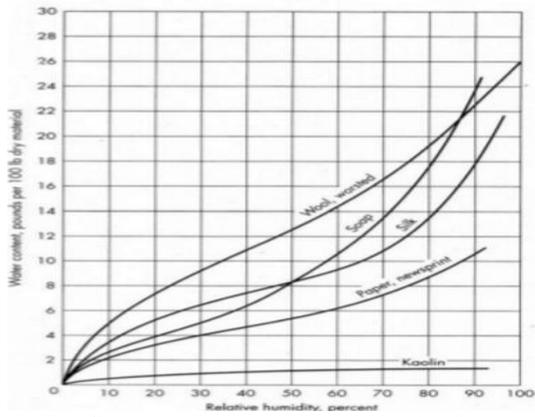
Besarnya tekanan udara mempengaruhi laju pengeringan. Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar jumlah air yang diuapkan sehingga memperbesar laju pengeringannya karena semakin kecil tekanan udara kerapatan udara makin berkurang selanjutnya akan diisi oleh air yang telah menguap sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung jadi satu dengan udara sekitarnya.



Gambar 2.6 Grafik Tekanan Udara terhadap laju pengeringan [23]

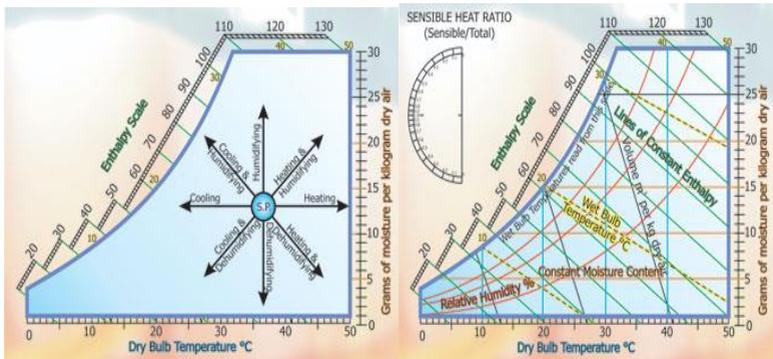
E. Kelembapan Udara

Kelembapan udara mempengaruhi laju pengeringan. Semakin lembab udara akan semakin kecil jumlah uap air yang diuapkan sehingga untuk memperbesar laju pengeringannya maka kelembapan udara disekitar bahan yang dikeringkan harus dibuat sekecil mungkin. Hal tersebut terjadi karena udara yang kering akan menyerap uap air, semakin kecil tekanan udara kerapatan udara makin berkurang selanjutnya akan diisi oleh air yang telah menguap sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung jadi satu dengan udara sekitarnya..



Gambar 2.7 Grafik kelembapan udara terhadap laju pengeringan [23]

2.2.2 Prinsip Psikometrik Chart



Gambar 2.8 Proses pada *psikometric chart*

a) Heating

Proses penambahan kalor sensibel ke udara sehingga temperatur udara naik.

b) Cooling

Proses pengambilan kalor sensibel dari udara sehingga temperatur udara tersebut mengalami penurunan.

c) Humidifying

Proses penambahan kandungan uap air ke udara sehingga terjadi kenaikan entalpi dan rasio kelembaban.

d) Dehumidifying

Proses pengurangan kandungan uap air dari udara sehingga terjadi penurunan entalpi dan rasio kelembaban

e) Heating and Humidifying

Udara dipanaskan disertai penambahan uap air dengan mengalirkan udara yang temperaturnya lebih tinggi dari temperatur udara sekitar sehingga didapatkan peningkatan kalor sensibel dan kalor laten bersamaan. Rasio kelembaban, entalpi kelembaban relatif meningkat.

f) Heating and Dehumidifying

Udara mengalami pendinginan dahulu hingga temperatur di bawah titik embun udara, ada temperatur ini udara mengalami pengembunan sehingga kandungan uap air akan berkurang. Kemudian temperatur udara meningkat. Rasio kelembaban, entalpi, temperatur bola basah dan kelembaban relatif menurun sedangkan temperatur boa kering meningkat.

g) 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.

h) Cooling and Dehumidifying

Merupakan proses pendinginan dan penurunan kelembaban pada diagram psychrometric. 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.

2.3 Mesin Pengereng

2.3.1 Tipe Mesin Pengereng

Proses pengeringan ampas tentu membutuhkan mesin atau alat pengering diantaranya

A. Fluidized Bed dryer

Fluidized Bed Dryer adalah mesin pengering dengan memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hamparan bahan sehingga hamparan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida [Kunii dan Levenspiel, 1977]. Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah [Mujumdar, 2000].

B. Rotary Dryer

Rotary dryer atau bisa disebut drum dryer merupakan alat pengering berbentuk sebuah drum yang berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau *gasifier*. Alat pengering ini dapat bekerja pada aliran

udara melalui poros silinder pada suhu 1200-1800°F tetapi pengering ini lebih seringnya digunakan pada suhu 400-900°F [Earle, 1969].

C. Spray Dryer

Pengeringan semprot atau spray drying merupakan jenis pengeringan tertua dan sering dipakai dalam industry farmasi. Cara ini digunakan untuk mengubah pasta, bubur atau cairan dengan viskositas rendah menjadi padatan kering. Pengeringan dengan cara ini mampu meminimalisir interupsi karena selama bahan cair yang akan dikeringkan tersedia, maka proses pengeringan akan tetap berjalan secara kontinyu dan produk berupa padatan kering akan terus terbentuk. Dalam beberapa kasus, pengeringan menggunakan cara ini dapat beroperasi selama satu bulan penuh tanpa perlu dihentikan.

D. Conveyor Band Dryer

Pengeringan jenis ini merupakan pengeringan kontinyu yang dilengkapi olah ban berjalan yang membawa produk melalui terowongan pengering dengan udara panas yang bersirkulasi. Proses pengeringan dapat diatur dengan membagi system pengeringan menjadi beberapa bagian. Kelembaban, kecepatan aliran, dan suhu tiap bagian dapat diatur. Metode pengeringan ini sangat sesuai untuk mengeringkan bahan pangan dalam jumlah besar atau satu komoditas.

E. Flash Dryer

Flash dryer secara garis besar telah kami uraikan pada 2.4

2.3.2 Dasar Pemilihan Pengering

Memperhatikan pengalaman pemasangan mesin pengering ampas untuk produksi pellet ampas di PG Trangkil yang lama tidak memberikan hasil optimal sesuai spesifikasinya walaupun telah disempurnakan dan diuji coba dengan berbagai macam kondisi yang ada, maka diperlukan penggantian mesin pengering baru.

Mesin pengering baru yang direncanakan harus disesuaikan dengan ruangan yang tersedia yang relatif terbatas, dapat digunakan untuk mengurangi kandungan air bahan yang cukup besar dari kandungan air ampas semula 40 % menjadi 13 % (dipilih mesin pengering yang mempunyai karakteristik menghasilkan laju penguapan air yang besar), sesuai dengan karakteristik bahan ampas yang akan dikeringkan (ampas yang secara umum sebagian besar berbentuk fibre (silinder) yang dimensinya telah diekivalenkan dalam d_{hed} , sesuai dengan karakteristik untuk pembuatan pelet ampas, dan secara kontinyu.

Berdasarkan referensi yang ada dari APV DRYER HANDBOOK [6], sesuai tabel 3. klasifikasi produk dan tipe pengering sebagai alat bantu untuk pemilihan mesin pengering.

Berdasarkan tabel 3, mesin pengering ampas yang paling besar menghasilkan laju pengeringan adalah tipe Pneumatic / Flash Dryer, juga pernyataan yang disampaikan oleh Baeyens et. al, bahwa range pengeringan tipe Pneumatic / Flash Dryer sangat besar antara 200 % sampai 400 %, disamping itu sesuai tabel 3 bahwa tipe pengering tersebut masih sesuai untuk properties ampas dan sesuai untuk produksi pellet ampas. Oleh karena itu

model mesin pengering ampas yang direncanakan di PG Trangkil dipilih tipe Pneumatic / Flash Dryer seperti yang telah disajikan pada gambar 2.3 di atas.

Tabel 4. Klasifikasi produk dan tipe pengering sebagai bantuan untuk pemilihan mesin pengering

| | E_{av} = Evaporation (average) | | Fluids, liquid suspension | Pastes, dewatered cake | Powders | Granules, pellets, extrudates | Operation |
|---------------------------------------|--|--|---------------------------|------------------------|---------|-------------------------------|------------|
| | Evaporation rate (lb/ft ² hr) Mean rate = E_{av} | Evaporation rate (kg/m ² h) Mean rate = E_{av} | | | | | |
| FORCED CONVECTION (cross-airflow) | 0.15 - 0.25 $E_{av} = 0.2$ | .7 - 1.2 $E_{av} = 1$ | poor | fair | fair | good | batch |
| FORCED CONVECTION (throughflow) | 1.0 - 2.0 $E_{av} = 1.5$ | 5 - 10 $E_{av} = 7.5$ | - | - | - | good | batch |
| AGITATED PAN (sub-atmospheric) | 1.0 - 3.0 $E_{av} = 3.0$ | 5 - 25 $E_{av} = 15$ | fair | fair | fair | poor | batch |
| AGITATED PAN (atmospheric) | 1.0 - 5.0 $E_{av} = 3.0$ | 5 - 25 $E_{av} = 15$ | fair | fair | fair | poor | batch |
| DOUBLE CONE TUMBLER (sub-atmospheric) | 1.0 - 3.0 $E_{av} = 2.0$ | 5 - 15 $E_{av} = 10$ | - | poor | fair | poor | batch |
| FLUIDIZED BED (throughflow) | 2 - 50 $E_{av} = 26$ | 10 - 250 $E_{av} = 130$ | - | - | good | good | continuous |
| CONVEYOR BAND (throughflow) | 2.0 - 10.0 $E_{av} = 6.0$ | 10 - 50 $E_{av} = 30$ | - | fair | - | good | continuous |
| FILM DRUM (atmospheric) | 3.0 - 6.0 $E_{av} = 4.5$ | 15 - 30 $E_{av} = 22$ | good | fair | - | - | continuous |
| PNEUMATIC or FLASH | 50 - 250 $E_{av} = 150$ | 250 - 1250 $E_{av} = 750$ | - | fair | good | fair | continuous |
| ROTARY (indirect) | 1.0 - 3.0* $E_{av} = 2.0$ | 15 - 50 $E_{av} = 33$ | - | poor | good | fair | continuous |
| ROTARY (direct) | 2.0 - 6.0* $E_{av} = 4.0$ | 30 - 100 $E_{av} = 65$ | - | fair | fair | good | continuous |
| SPIN FLASH | 4.0 - 18* $E_{av} = 11$ | 70 - 300 $E_{av} = 185$ | - | good | good | fair | continuous |
| SPRAY | 0.3 - 1.6* $E_{av} = 1.0$ | 5 - 25 $E_{av} = 15$ | good | - | - | - | continuous |

*Note: Evaporation rates for rotary, Spin Flash, and spray dryers are expressed in lb/ft²hr.

2.4 Pneumatic/Flash Dryer

Pneumatic/flash dryer adalah mesin atau peralatan pengering yang digunakan untuk mengurangi kandungan air dalam bahan yang dikeringkan dengan cara mengalirkan udara panas secara berkelanjutan sehingga diperoleh hasil (output) bahan dengan kandungan air sesuai yang diharapkan.

Proses pengeringan yang terjadi di pneumatic dryer berlangsung dengan sangat cepat waktu yang dibutuhkan oleh

material yang dikeringkan dari mulai masuk bejana pengering sampai keluar menjadi hasil produk pengeringan. Oleh karena itu pneumatic dryer juga dinamakan dengan pengering sangat cepat (flash dryer) [6].

Berdasarkan tipe pengering ampas gambar 2.3 secara garis besar bahwa gas panas hasil pembakaran burner dihembuskan masuk ke dalam bejana untuk mengeringkan dan memindahkan (transportasi) ampas yang dimasukkan dalam bejana tersebut dengan ketinggian tertentu. Ampas yang sudah kering dipisahkan di instalasi pemisah berupa cyclone, yang karena beratnya ampas kering akan jatuh bebas sedangkan gas panas hasil pengeringan yang temperaturnya masih tinggi terpisah keluar ke atas. Ampas kering yang jatuh dari cyclone merupakan produk akhir dari mesin pengering.

Mesin pengering tipe pneumatic/flash dryer telah banyak diaplikasikan untuk industri kimia, pabrik makanan, hasil pertanian, industri keramik dan pabrik semen, industri polimer dan plastik, pabrik kertas, industri farmasi, dan industri pengolahan kayu. Oleh karena itu sudah banyak hasil penelitian mengenai mesin pengering dengan tipe pneumatic/flash dryer yang telah diuji coba.

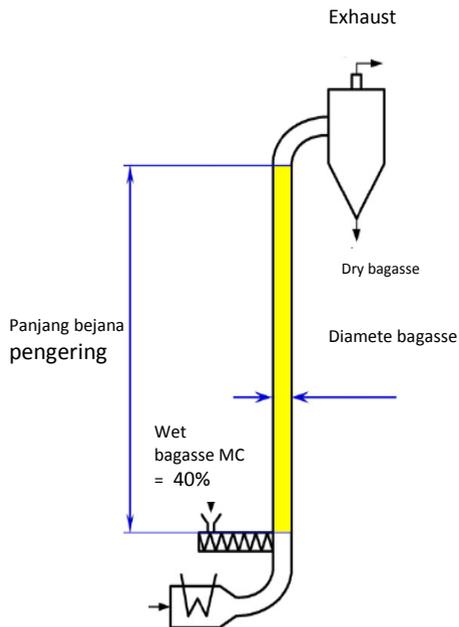
Berdasarkan beberapa referensi mengenai pneumatic/flash dryer menjelaskan bahwa penggunaan pneumatic/flash dryer memperoleh banyak keuntungan, antara lain :

1. Laju pengeringan yang dihasilkan mesin pengering tipe Pneumatic / Flash Dryer sangat besar antara 250 hingga 1250 kg/m²h [6].
2. Biaya investasi pneumatic/flash dryer lebih murah dibandingkan rotary dryer [8].
3. Lebih menghemat penggunaan ruangan untuk instalasi pneumatic/flash dryer [9].

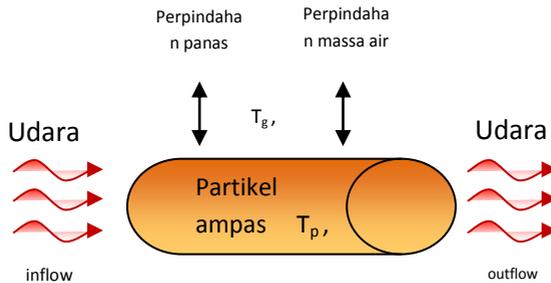
4. Pneumatic/flash dryer lebih efisien penggunaan energi karena bahan yang dikeringkan secara keseluruhan dan merata terkena proses pengeringan [14,15], disamping itu kehilangan energi karena kebocoran maupun pancaran sangat kecil karena dilengkapi dengan kualitas isolator yang baik.

2.5 Volume Atur Ampas dan Udara Panas

Mesin pengering ampas tipe pneumatic/flash dryer yang direncanakan seperti gambar 3.1, atau lebih sederhana lagi disajikan pada gambar 2.11 dan volume atur perpindahan panasnya disajikan pada gambar 2.1



Gambar 2.9 Pneumatic/Flash Bagasse dryer lebih sederhana



Gambar 2.10 Kesetimbangan massa volume atur ampas dan udara panas (6)

Sistem pengering tipe pneumatic/flash dryer sesuai gambar 2.9 di atas terlihat cukup rumit untuk diketahui persamaan-persamaan yang terlibat dalam menentukan kesetimbangan energi maupun dalam perhitungan-perhitungan lainnya. Oleh karena itu gambar 2.9 disederhanakan menjadi gambar 2.10,

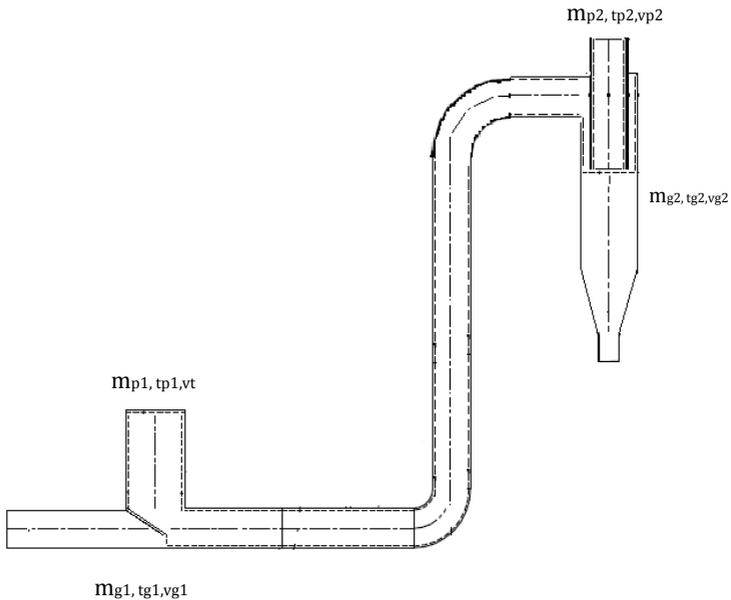
Pengering ampas tipe pneumatic/flash dryer yang dirancang harus memenuhi dua aspek fungsi yaitu ;

1. Fungsi pneumatic/flash dryer sebagai pengering
2. Fungsi pneumatic/flash dryer sebagai transportasi (conveying)

2.6 Pneumatic/Flash Dryer Sebagai Pengering

Perhitungan yang digunakan secara umum dengan menggunakan persamaan kesetimbangan energi dan kesetimbangan massa yang dapat dijabarkan sebagai berikut :

2.6.1 Kesetimbangan Energi



Gambar 2.11 control volume pada flash/pneumatic dryer

Pengering tipe pneumatic/flash dryer pada umumnya menggunakan persamaan perpindahan panas secara konveksi. Jumlah energi yang masuk berasal dari udara panas dipergunakan untuk ;

1. memanaskan ampas,
2. memanaskan air sehingga mengubah tingkat keadaannya menjadi uap jenuh,
3. menguapkan air yang tingkat keadaannya sudah uap jenuh hingga ampas menjadi kering,
4. dan memancarkan panas ke sekitarnya yang merupakan kehilangan energi panas (heat losses).

Berdasarkan uraian tersebut, maka kesetimbangan energinya dapat dirumuskan dalam persamaan (4).

$$Q_{Total} = Q_p + Q_{evap} + Q_{loss}$$

Sedangkan masing-masing energi tersebut diperoleh dari persamaan (5), (6) ;

$$Q_p = m_p C_{pp} (T_{p2} - T_{p1}) \quad (5)$$

$C_{pp} = 1,5 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, berdasarkan referensi Thomas Johannes Hugo [24] untuk perhitungan desain pengering pada range temperatur 25 – 500 °C

$$Q_{evap} = W [h_{wt} + C_{p,vap} (T_{p3} - T_{p2})] \quad (6)$$

Sedangkan

$$W = m_{p1} (1 - (1 - X_{pi}) / (1 - X_{po}))$$

$$m_{p2} = m_{p1} (1 - X_{pi}) / (1 - X_{po})$$

$Q_{\text{loss}}/Q_{\text{total}} = 1,8\%$, $Q_{\text{loss}} = 1,8\%$ dari Q_{Total} , berdasarkan referensi Nebra dan Macedo [10].

Sedangkan flow udara panas (V) dapat dihitung menggunakan persamaan (7)

$$V = Q_{\text{total}} / c_p (t_1 - t_2)$$

$$q = Q_{\text{total}}/W$$

2.6.2 Keseimbangan Massa

Perpindahan massa yang terjadi di bejana pengering, yaitu antara air yang terkandung dalam ampas berpindah ke udara sebagai uap air, oleh karena itu keseimbangan massa di bejana pengering dapat dituliskan dalam persamaan (8)

$$m_p(X_{pi} - X_{po}) = m_g(Y_{go} - Y_{gi}) \quad (8)$$

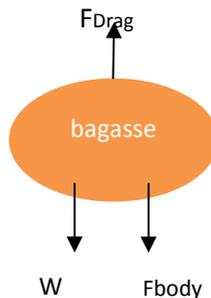
2.7 Pneumatic/Flash Dryer Sebagai Transportasi (Conveying)

Flow udara dengan kecepatan tertentu akan dapat membawa partikel ampas yang mempunyai berat tertentu dari tempat kedudukan semula di tingkat keadaan 1 ke tempat yang diinginkan di tingkat keadaan 2 . Agar dapat terpenuhi tujuan tersebut, maka perencanaan dan perhitungannya secara umum menggunakan keseimbangan momentum dan hukum kekekalan energi, hukum kekekalan massa serta faktor-faktor yang mempengaruhinya diantaranya faktor gesekan antara udara maupun material dengan bejana pengeringnya, maupun pressure drop yang terjadi.

Mekanisme sistem pengering tipe pneumatic/flash dryer secara garis besar telah diuraikan di atas bahwa material ampas mengandung air yang telah dimasukkan ke dalam bejana pengering secara bersamaan ditumbuk oleh udara panas yang memiliki kecepatan cukup tinggi pada temperatur kurang lebih 200 derajat celcius yang jauh di atas titik didihnya air, sehingga mulai terjadi mekanisme perpindahan panas dan pengeringan. Dalam perjalanan waktu proses pengeringan tersebut terjadi perpindahan massa air yang terkandung dalam ampas berpindah ke udara pengering, sehingga terjadi perubahan penurunan berat ampas dan terjadi kenaikan berat udara pengering. Bersamaan dengan mekanisme pengeringan tersebut terjadi pula perubahan kecepatan ampas dari kecepatan awalnya bertambah terus sejalan dengan waktu, sedangkan kecepatan udaranya mengalami penurunan sejalan dengan waktu. Perubahan kecepatan antara ampas dengan udara pengering tersebut pada waktu tertentu akan menjadi sama atau setimbang dan ampas akan terbawa bersama dengan udara pengering.

2.7.1 Persamaan Kecepatan Partikel Ampas dan Udara Panas Untuk Memenuhi Fungsi Transportasi

Agar ampas dapat terbawa ke atas melalui bejana pengering maka dibutuhkan selisih kecepatan udara pengering lebih tinggi dari kecepatan awal ampas masuk bejana.



Gambar 2.12 Gaya-gaya pada proses pengangkutan bagasse

Berdasarkan hal ini dapat dijelaskan dengan Hukum Hewton I pada persamaan (9) sebagai berikut:

$$\Sigma F = 0$$

$$FD \sin \theta + FB - W = 0$$

$$\frac{1}{2} CD \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot v^2 \cdot A \cdot \sin \theta - \forall \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot g = \rho_{\text{bagasse}} \cdot \forall \cdot g$$

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{bagasse}} \cdot \forall \cdot g + \forall \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot g}{CD \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot \sin \theta}}$$

dimana :

FD = Gaya drag dari bagasse (kg.m/s^2)

FB = Gaya bodi dari bagasse (kg.m/s^2)

W = Gaya berat dari bagasse (kg.m/s^2)

CD = Koefisien drag bagasse

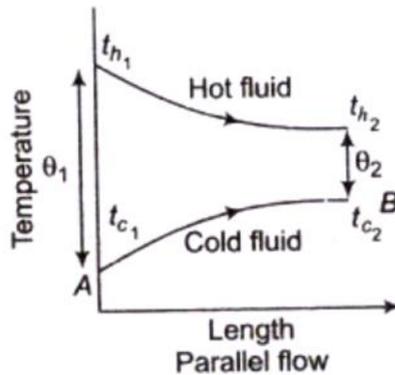
A = Luas permukaan bagasse (m^2)

\forall = volume bagasse (m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

2.7.2 Persamaan Dimensi Panjang Bejana Pengering dan Waktu Tinggal

Berdasarkan persamaan dari pertukaran panas antara udara panas dengan partikel ampas, sesuai referensi Wolverine Tube Heat Transfer Data Book [18] diperoleh persamaan (10) Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) yang merupakan parallel flow, karena secara umum bentuk fisik geometris ampas secara umum bagian besarnya (73 %) merupakan fibre (sabut) yang berbentuk seperti silinder.



Gambar 2.13 Logarithmic Mean Temperature Difference pada proses pengeringan

$$LMTD_{gp} = \frac{(\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min})}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\min}}\right)}$$

$$LMTD_{gp} = \frac{(T_{g1} - T_{p1}) - (T_{g2} - T_{p2})}{\ln\left(\frac{T_{g1} - T_{p1}}{T_{g2} - T_{p2}}\right)}$$

Dan untuk angka bilangan Nusselt pada partikel ampas dihitung berdasarkan referensi Whitaker, S [13] dalam persamaan (11)

$$Nu_p = 0,4Re_{t\beta}^{\frac{2}{3}} + 0,06Re_{t\beta}^{\frac{2}{3}} Pr_g^{\frac{0,4}{3}} \frac{\mu_g T_g}{\mu_g T_{surf}}$$

Dari angka bilangan Nusselt diperoleh koefisien perpindahan panas antara partikel ampas dengan udara panas sesuai persamaan (12)

$$Nu_p = \frac{h_p D_p}{k_g}$$

$$h_p = \frac{Nu_p k_g}{D_p}$$

Berdasarkan persamaan (4), (11) dan (12) maka waktu tinggal (t_p) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (13)

$$h_p = \frac{Q_{\text{Total}} - Q_{\text{Loss}}}{LMTD_{gp} A_p}$$

$$A_p = \frac{Q_{\text{total}} - Q_{\text{loss}}}{LMTD_{gp} h_p}$$

Sedangkan luas permukaan partikel ampas (A_p) yang merupakan zona terjadinya perpindahan panas antara partikel ampas dengan udara, dapat dihitung sesuai persamaan (14)

$$t_p = \frac{A_p}{\alpha_p m_p}$$

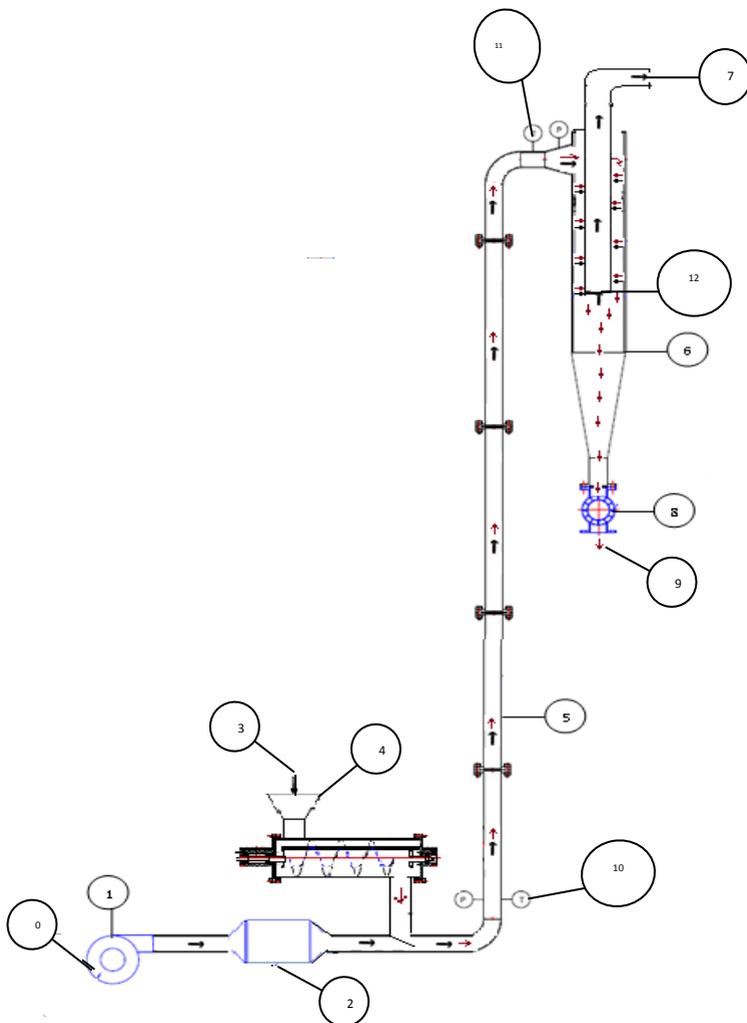
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Spesifikasi Mesin pengering dan Produk setelah dikeringkan

| No | Uraian |
|----|-----------------------------------|
| 1 | Kapasitas produksi : 5 kg/jam |
| 2 | Konsumsi daya listrik |
| | a. Mesin Pemanas listrik : 1,5 kW |
| | b. Blower (FDF) : 1,0 kW |
| | c. Feeder : 0,18 kW |
| | Total : 2,68 kW |
| 3 | Bahan baku : Ampas tebu |
| 4 | Bejana Pengering |
| | a. Bahan : Baja karbon |
| | b. Diameter c : 76 mm |
| | c. Panjang e : 5000 mm |
| | d. Insulator f : Aluminium wool |
| 5 | Cyclone g |
| | a. Bahan : Baja karbon |
| | b. Diameter luar : 256 |
| | c. Diameter dalam : 216 |
| | d. Panjang : 130 mm |

3.2 Rancangan Skema Mesin Pengering dan Alat Uji



Keterangan :

0. Udara masuk
1. Blower (FDF)
2. Pemanas listrik
3. Ampas basah masuk (m_{p1})
4. Feeder
5. Bejana pengering
6. Cyclone
7. Exhaust (gas buang)
8. Air lock (rotary valve)
9. Produk (ampas kering)
10. Termometer dan pressure gauge inlet
11. Termometer dan pressure gauge outlet
12. Filter

Gambar 3.1 Skema peralatan mesin pengering ampas

3.3.Peralatan yang Dipergunakan Dalam Penelitian

Peralatan- peralatan yang digunakan untuk penelitian terdiri dari peralatan utama dan peralatan tambahan untuk menunjang kegiatan penelitian yaitu :

1. Peralatan Utama

Berupa satu unit Pneumatic/Flash Dryer untuk skala Laboratorium sesuai yang disajikan dalam gambar 3.1. Pneumatic Dryer tersebut dengan dimensi diameter bejana pengering sebesar 3 inch, dengan panjang 5 meter (ketinggian 4 meter) yang dapat disetting sesuai kebutuhan tinggi 2 meter, 3 meter maupun 4 meter, dilengkapi dengan tabung pemanas menggunakan elemen pemanas listrik 1,5 kW , blower (FDF) yang digerakkan dengan motor listrik 3 phase 1000 Watt , dilengkapi dengan cyclone untuk memisahkan ampas produk dengan gas buang , sedangkan untuk feeder menggunakan

sistem screw yang dilengkapi dengan penggerak motor listrik 180 Watt. Pneumatic Dryer tersebut juga dilengkapi dengan alat ukur temperatur dan tekanan di posisi input dan output pada bejana pengering.

2. Peralatan Tambahan

Peralatan tambahan yang digunakan untuk menunjang pelaksanaan penelitian yaitu :

- a. Penyaring (Shieving) ampas secara manual dengan ukuran 1 x 1 mm.
- b. Dimmer sebagai pengatur suhu pada pemanas listrik. Dimmer adalah perangkat untuk mengatur intensitas gelombang AC menggunakan TRIAC, sangat cocok untuk perangkat yang menggunakan arus listrik AC, seperti motor AC, Heater/ dengan spesifikasi Input voltage:220V, Maximum power:2000 W
- c. Timbangan manual dengan range berat 0-2 kg.
- d. Alat pengukur kandungan air ampas , alat ukur yang dipakai merk Dekko tipe MC7825PS dengan jenis sensor pin tusuk,tempel dan garpu panjang, range pengukuran 6 - 80% kadar air dengan dimensi : 165x62x26mm, berat 175 gram
- e. Alat Ukur Relativ Humidity, Alat Ukur Relativ Humidity yang digunakan adalah tipe EXTECH tipe 445815 dengan range Humidity: 10 to 99% dan Temperature: 14 to 140°F (-10 to 60°C)
- f. Alat Ukur Temperatur, Thermometer yang digunakan merk DEKKO tipe FR-7820 Infrared Thermometer, dapat digunakan pada range temperatur -50 ~ 500°C
- g. Anemometer, Anemometer yang dipergunakan tipe FT-7935, dapat digunakan pada kecepatan udara 0.4~ 30m/s dan temperature range -30~ 70° C
- h. Inverter sebagai pengatur kecepatan aliran udara. Inverter yang dipergunakan untuk mengatur kecepatan blower 3 ini adalah ATV312 buatan Schneider Electric.ATV312

i. Stop watch handphone



(a)



(b))



(c)



(d)



(f)



(e)



(g)



(h)

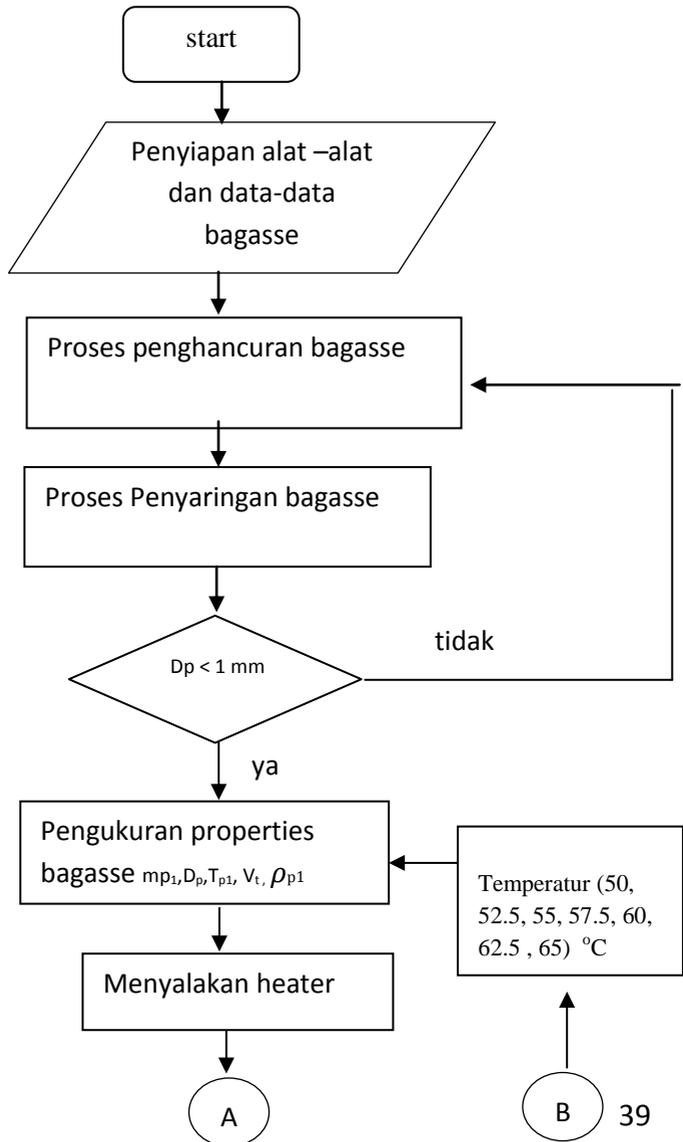
- Gambar 3.2 peralatan dan alat ukur yang digunakan
- | | | |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| a. Penyaring (Shieving) | b. Dimmer | c. Timbangan analog |
| d. Alat ukur kandungan air | e. Alat Ukur Relativ Humidity | f. Thermometer |
| g. anemometer | h. inverter | |

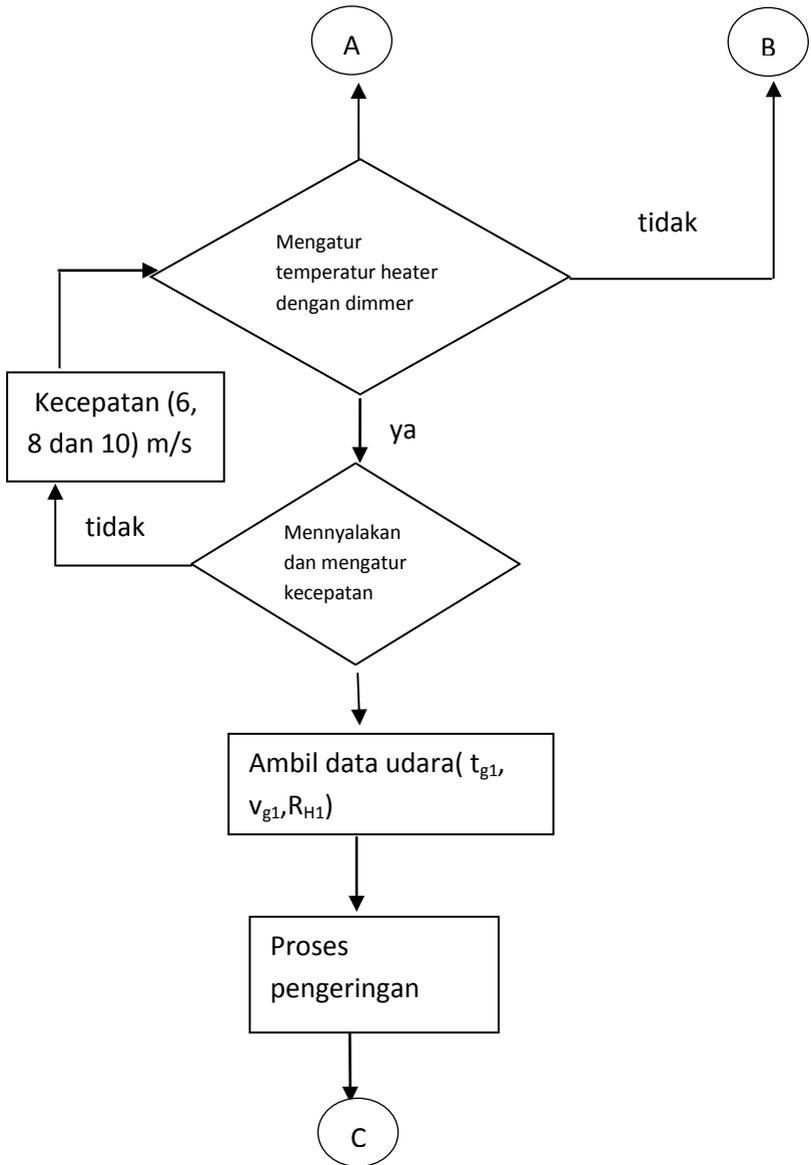
3.4 Tahap Percobaan

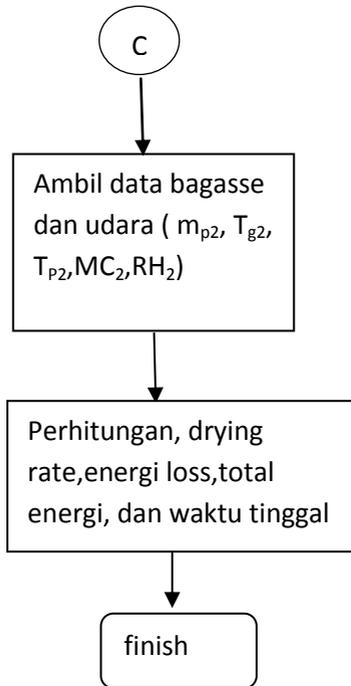
Tahapan percobaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Menyiapkan peralatan eksperimen serta pemasangan alat ukur temperatur Memasang dan mengecek thermocouple pada saluran masuk dan sesaat sebelum keluar
2. Menyalakan blower selama 10 menit
3. Menyaring ampas sesuai dengan diameter yang ditentukan dengan ukuran 3 mm.
4. Menimbang berat bagasse. Untuk satu kali variasi yang dilakukan pada eksperimen ini menggunakan ampas dengan massa total 0,5 kg dan kecepatan hembusan sebesar 6, 8 dan 10 m/s..
5. Mengukur kandungan air bagasse yang tertimbang menggunakan alat pengukur kadar air.
6. Mengukur udara yang dihembuskan blower menggunakan Anemometer pastikan heater dalam kondisi mati.
7. Menyalakan heater dan tunggu selama 15 menit dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan sebesar 50, 52.5, 55, 57.5, 60, 62.5 dan 65 derajat Celcius dengan kecepatan hembusan 6 m/s 8 m/s dan 10 m/s sehingga dilakukan 21 kali percobaan dengan total massa bagasse sebesar 10,5 kg.
8. Memasukkan bagasse kedalam feeder secara perlahan.
9. Mengukur dan mencatat waktu pengeringan, temperatur, berat dan kandungan air ampas ampas serta kelembaban dan temperatur sekitar.

3.5 Flowchart Langkah percobaan







3.6 Tabel Rancangan Eksperimen

| No | Parameter input | | Parameter output | |
|----|---|---|--|--|
| | Parameter Variabel tetap | Parameter Variabel berubah | Parameter Diukur | Parameter Dihitung |
| 1 | <p>Bagasse basah</p> <p>a. Kandungan air = 40 %</p> <p>b. Temperatur (t_{p1}) = 30 °C</p> <p>c. Ukuran = 3 mm</p> <p>d. Laju aliran massa ampas basah (m_{p1}) = 2 kg/jam</p> | <p>Temperatur udara panas (t_{g1}) = 50,52.5,55,57.5,60,62.5,65 °C</p> | Udara panas keluar | <p>Laju pengeringan ampas (DR)</p> <p>Energi yang hilang (q_{loss})</p> |
| | | | <p>a. Temperatur udara keluar (t_{g2})</p> <p>b. kelembaban udara (RH_2)</p> | |
| 2 | <p>Udara Sekitar</p> <p>a. Temperatur sekitar = 30 °C</p> <p>b. $RH_1 = 0,8$</p> | <p>Kecepatan udara panas (v_{g1}) = (6, 8 dan 10) m/s</p> | Bagasse kering | <p>Waktu tinggal (t)</p> |
| | | | <p>a. Berat(m_{p2})</p> <p>b. Temperatur (T_{p2})</p> | |

| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| 3 | <p>Ukuran Mesin pengering</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Panjang bejana = 5000 mm b. Diameter = 76 mm c. Diameter luar cyclone = 262 mm d. Diameter dalam cyclone = 216 mm | | <p>c. kandungan air (MC_2) ampas</p> | <p>Total Energi yang dibutuhkan (Q_{total})</p> |
|---|---|--|---|--|

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Percobaan

Data hasil eksperimen menggunakan alat pengering *Bagasse Pneumatic/Flash Dryer* terdapat pada lampiran. Pada percobaan ini digunakan 6 variasi kecepatan udara pengering yaitu 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, 8 m/s, 9 m/s dan 10 m/s; variasi temperatur udara pengering dengan pemanas listrik yaitu 55°C, 57.5°C, 60°C, 62.5 °C dan 65 °C .

4.2 Contoh Perhitungan

Pada percobaan ini dilakukan perhitungan baik sebelum maupun setelah percobaan selesai. Perhitungan sebelum percobaan dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter-parameter yang akan digunakan dan perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkannya seperti menghitung kecepatan minimum untuk mengangkat bagasse. Sedangkan perhitungan setelah percobaan selesai dilakukan sebagai analisa dan pembahasan dari proses pengeringan menggunakan alat pengering *Bagasse Pneumatic/Flash Dryer* seperti perhitungan *waktu tinggal, total energi yg dibutuhkan* dan *Moisture content*.

4.2.1 Diameter Head Equivalen Bagasse

Untuk menghitung diameter head equivalen atau diameter setaranya bagassae dihitung dari pengukuran volume bagasse sebenarnya berbentuk silinder menggunakan jangka sorong

- Panjang bagasse = 25 mm
- Diameter bagasse = 0,44 mm

- Volume bagasse $= \frac{1}{4} \pi D^2 L$
 $= \frac{1}{4} \pi 0,46^2 25$
 $= 4,15 \text{ mm}^3$
- Jarijari bagasse $= \sqrt[3]{\frac{\text{volume bagasse} \times 3}{4\pi}}$
 $= 0,99 \text{ mm} = 1 \text{ mm}$
- Diameter head = jari-jari x 2
 $= 2 \text{ mm}$

4.2.1 Perhitungan Kecepatan Fluidisasi Minimum

Untuk menghitung kecepatan fluidisasi minimum menggunakan persamaan 2.1. Data yang diperlukan untuk menghitung kecepatan fluidisasi sebagai berikut :

- Masa jenis bagasse = 100 kg/m³
- Volume bagasse
 $V = 4\pi r^3/3$
 $V = (4\pi \times (10^{-3})^3)/3 = 4,186 \times 10^{-9}$
- Koefisien drag dari bagasse = 0.47
- Masa jenis udara = 1.17 kg/m³
- Sin $\theta = 90^\circ$ (sudut bejana)

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{bagasse}} \cdot V \cdot g + V \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot g}{C_D \cdot \rho_{\text{udara}} \cdot \sin\theta}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \times 100 \times 4,186 \times 10^{-9} \times 9,8 + 4,186 \times 10^{-9} \times 1,17 \times 9,8}{0,47 \times 1,17 \times 1}}$$

$$v = 0,001268 \text{ m/s}$$

4.2.2 Contoh Perhitungan Drying Rate Pneumatic/Flash Dryer

Perhitungan *drying rate* perlu dilakukan untuk mengetahui kualitas pengeringan. *Drying rate* didapat dengan menghitung jumlah kandungan air yang hilang dari setiap waktu pengeringan. Pada contoh perhitungan ini akan dihitung nilai *drying rate* pada saat proses pengeringan berlangsung selama 1 jam menit terhadap sampel bagasse yang telah diambil pada percobaan dengan variasi kecepatan udara pengering 6 m/s dan temperatur pengeringan 65°C. Adapun massa awal total bagasse (M_0) adalah 2 kg

Massa kering total bagasse (M_k) pada sampel 1

$$M_k = \frac{M_0}{1 + MC_0(1)} = \frac{2 \text{ kg}}{1 + 0,4} = 1,428 \text{ kg}$$

Massa total bagasse setelah proses pengeringan

$$M_s = (1 + MC_60)M_k = (1 + 0,16)1,428 \text{ kg} = 1,657 \text{ kg}$$

Drying Rate Bagasse (DR)

$$DR = \frac{M_0 - M_s}{\text{waktu} \times \text{luas permukaan bagasse}} = \frac{2 \text{ kg} - 1,657 \text{ kg}}{1 \text{ jam} \times 0,001256 \text{ m}^2}$$

$$DR = 274,4 \text{ kg/m}^2\text{jam}$$

(termasuk kriteria Pneumatic/flash dryer)

4.2.3 Contoh Perhitungan Qloss

Qloss terdiri dari kehilangan panas secara konduksi, konveksi dan radiasi

1. Kehilangan panas secara konduksi

$$Q_k = \frac{2\pi kL}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (t_2 - t_1)$$

Dimana :

k = koefisien konduktivitas termal materia

r2 = jari-jari luar bejana

r_1 = jari-jari dalam bejana

2. Kehilangan panas secara konveksi

$$Q_h = 2\pi r_2 L h (t_2 - t_1)$$

Dimana :

h = koefisien transfer pada insulasi

3. Kehilangan panas secara radiasi

$$Q_r = \sigma \varepsilon (t_2^4 - t_1^4)$$

Dimana :

σ = konstanta Stefan Boltzman

ε = emisivitas material

Tabel 1. Geometri bejana

| | |
|---------------------|-------------|
| Material bejana | Baja karbon |
| Jari-jari (R_1) | 0,038 m |
| Panjang bejana | 8 m |

Tabel 2. Data insulasi

| | |
|---------------------|----------------|
| Material | Aluminium wool |
| Ketebalan (R_c) | 0,02 m |
| Jari-jari (R_c) | 0,038 m |

| | |
|--------------------------|--------------|
| Konduktivitas (k) | 0,035 w/m °C |
| Emisivitas permukaan (ε) | 0,2 |
| | |

Contoh Perhitungan Qloss pada variasi temperatur 50⁰ C kecepatan 6 m/s

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{konduksi}} + Q_{\text{konveksi}} + Q_{\text{radiasi}}$$

1. Kehilangan panas secara konduksi

$$Q_k = \frac{2\pi \cdot 0,035 \frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{C}} \cdot 5 \text{ m}}{\ln \frac{0,058}{0,038}} (50 - 48)^\circ\text{C}$$

$$Q_k = 5,2 \text{ w}$$

2. Kehilangan panas secara konveksi

$$Q_h = 2\pi \cdot 0,058 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot 15 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 \cdot \text{oC}} (50 - 48)^\circ\text{C}$$

$$Q_h = 54,636 \text{ w}$$

3. Kehilangan panas secara radiasi

$$Q_r = 5,67 \times 10^{-8} \cdot 0,07 (50^4 - 48^4)$$

$$Q_r = 0,0373 \text{ w}$$

Maka energi panas yang hilang sebesar:

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{konduksi}} + Q_{\text{konveksi}} + Q_{\text{radiasi}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5,2\text{w} + 54,636\text{w} + 0,0373 \text{ w}$$

$$Q_{\text{loss}} = 59,7 \text{ w} = 199,85 \text{ kJ/jam}$$

4.2.4 Perhitungan Kecepatan Masuk Bagasse (v_i)

Kecepatan masuk bagasse dapat diperoleh dari rumus mass flowrate yaitu :

$$m_{p1} = \rho v A$$

$$v = \frac{m \cdot p}{\rho A}$$

Dimana :

ρ = massa jenis bagasse

v = kecepatan masuk bagasse

A = luas penampang masukan bagasse

Contoh perhitungan kecepatan bagasse masuk (v_1) dengan laju aliran massa 2 kg/jam

$$v = \frac{2 \text{ kg/jam}}{100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00499 \text{ m}^2}$$

$$v = 4,444 \text{ m/jam} = 0,001235 \text{ m/s}$$

4.3 Perhitungan Total Energi Pengeringan

Pengering tipe pneumatic/flash dryer pada umumnya menggunakan persamaan perpindahan panas secara konveksi. Jumlah energi yang masuk berasal dari udara panas dipergunakan untuk memanaskan ampas, memanaskan air sehingga mengubah tingkat keadaannya menjadi uap jenuh, menguapkan air yang tingkat keadaannya sudah uap jenuh hingga ampas menjadi kering, dan memancarkan panas ke sekitarnya yang merupakan kehilangan energi panas (heat losses). Pada contoh perhitungan ini akan dihitung nilai *Total Energi* pada saat proses pengeringan berlangsung selama 15 menit terhadap sampel bagasse yang telah diambil pada percobaan dengan variasi kecepatan udara pengering 6 , 8 dan 10 m/s dan temperatur pengeringan 50°C dan 65 °C. Adapun laju aliran massa bagasse adalah 2 kg

4.3.1 Perhitungan Total Energi Pengeringan variasi Temperatur 50 °C Kecepatan 6 m/s

$$Q_{\text{Total}} = Q_p + Q_{\text{evap}} + Q_{\text{loss}}$$

Perhitungan energi untuk memanaskan bagasse

$$\begin{aligned} Q_p &= m_p C_{pp} (T_{p2} - T_{p1}) \\ &= 2 \text{ kg/jam} \times 1,5 \text{ kJ/kg} \cdot K \times (34,6 - 30) C \\ &= 13,8 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$C_{pp} = 1,5 \text{ kJ/kg} \cdot K$, berdasarkan referensi Thomas Johannes Hugo [24] untuk perhitungan desain penguapan pada range temperatur $25 - 500^\circ C$

$$Q_{\text{evap}} = W [h_{\text{wt}} + C_{p,\text{vap}} (T_{p3} - T_{p2})]$$

Dimana laju air yang diuapkan (W) dicari dari selisih jumlah air dalam bagasse basah (Ww_1) dengan jumlah air dalam bagasse kering (Ww_2)

$$W = ww_1 - ww_2$$

Dimana jumlah air dalam ampas basah (Ww_1) dapat dihitung dari moisture content awal bagasse (MC_1) dikalikan laju aliran ampas basah (mp_1) dan jumlah air dalam bagasse basah (Ww_2) dapat dihitung dari moisture content akhir bagasse (MC_2) dikalikan laju aliran bagasse kering (mp_2).

$$\begin{aligned} ww_1 &= MC_1 \times mp_1 \\ &= 40 \% \times 2 \text{ kg/jam} \\ &= 0,8 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$ww_2 = MC_2 \times mp_2$$

Dimana laju aliran massa bagasse kering (mp_2) dapat dihitung dari :

$$\begin{aligned} mp_2 &= mp_1 - (mp_1(1 - (1 - X_{pi})/(1 - X_{po}))) \\ &= \frac{2 \text{ kg}}{\text{jam}} - \left(2 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{1 - 0,40}{1 - 0,31} \right) \right) \\ &= 1,74 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ww2 &= MC2 \times mp2 \\
 &= 31 \% \times 1,74 \text{ kg/jam} \\
 &= 0,52 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Maka laju aliran massa air yang diuapkan sebesar

$$\begin{aligned}
 W &= ww1 - ww2 \\
 &= 0,8 \text{ kg/jam} - 0,52 \text{ kg/jam} \\
 &= 0,28 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Maka didapat Qevap sebesar:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{evap}} &= W [h_{\text{wt}} + C_{\text{p,vap}} (T_{\text{p3}} - T_{\text{p2}})] \\
 &= 0,27 \text{ kg/jam} (2430 \text{ kJ/kg} + 2,03 \text{ kJ/kg.K} (34,6 - 30)^\circ\text{C}) \\
 &= 660,8 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

Maka Qtotal sebesar :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Total}} &= Q_{\text{p}} + Q_{\text{evap}} + Q_{\text{loss}} \\
 &= 8,28 \text{ kJ/jam} + 660,8 \text{ kJ/jam} + 199,85 \text{ kJ/jam} \\
 &= 868,93 \text{ kJ/jam} = 0,241 \text{ kJ/s} = 0,241 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Waktu Tinggal

Untuk mencari waktu tinggal bagasse pada mesin pneumatic/flash dryer kita asumsikan bagasse adalah tube dengan jumlah tube yang sangat banyak berbentuk silinder, yaitu dengan mencari Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD), angka bilangan reynold (Re), angka bilangan Nusselt partikel ampas (Nu_p), koefisien perpindahan panas (h_p).

4.4.1 Perhitungan Waktu Tinggal Variasi variasi Temperatur 50 °C Kecepatan 6 m/s

Logarithmic Mean Temperature Difference(LMTD)

$$LMTD_{gp} = \frac{(T_{g1} - T_{p1}) - (T_{g2} - T_{p2})}{\ln\left(\frac{T_{g1} - T_{p1}}{T_{g2} - T_{p2}}\right)}$$

$$LMTD_{gp} = \frac{(50 - 30) - (34,6 - 34,59999)}{\ln\left(\frac{50 - 30}{34,6 - 34,59999}\right)}$$

$$LMTD_{gp} = 0,61$$

Angka Bilangan Reynolds (Re)

$$Re = \frac{\rho_g U_t d_{hed}}{\mu_g}$$

$$Re = \frac{0,957087 \cdot 0,001235 \cdot 0,0005}{1,91822E-05}$$

$$Re = 0,898914$$

Angka Bilangan Nusselt Bagasse (Nu_p)

$$Nu_p = 0,4Re^{\frac{2}{3}} + 0,06Re^{\frac{2}{3}} Pr_g^{\frac{0,4}{3}} \frac{\mu_g T_g}{\mu_g T_{surf}}$$

$$Nu_p =$$

$$0,4 \cdot 0,898914^2 + 0,06 \cdot 0,898914^2 \cdot 0,957087^{\frac{0,4}{3}} \frac{1,91822E-05 \cdot 50}{1,91822E-05 \cdot 30}$$

$$Nu_p = 72,92735$$

Koefisien perpindahan panas (h_p).

$$h_p = \frac{Nu_p k_g}{D_p}$$

$$h_p = \frac{72,92735 \cdot 0,027432}{0,0005}$$

$$h_p = 4.111,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Luas Partikel Ampas (A_p)

$$A_p = \frac{Q_{\text{total}} - Q_{\text{loss}}}{LMTD_{\text{gp}} h_p}$$

$$A_p = \frac{0,191 \text{ kJ/s} - 0,056 \text{ kJ/s}}{0,61 \cdot 4.111,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{oC}}$$

$$A_p = 0,0744 \text{ m}^2$$

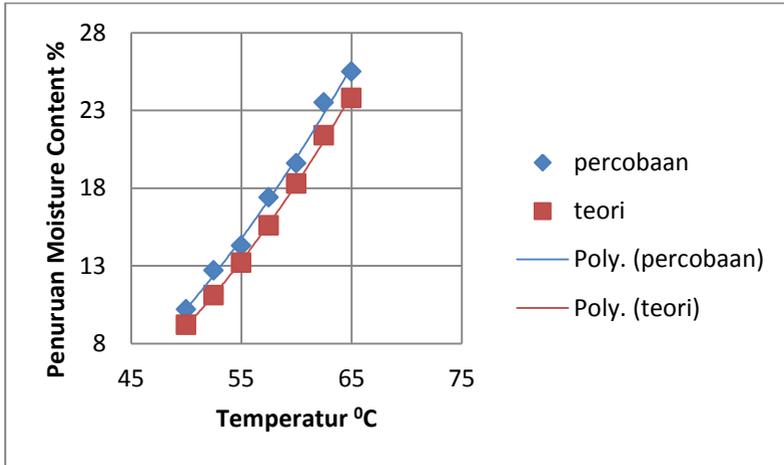
Maka waktu tinggal dapat dihitung dari persamaan

$$t_p = \frac{A_p}{\alpha_{pmp}}$$

$$t_p = \frac{0,0744 \text{ m}^2}{35,00 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} \cdot 2 \text{ kg/jam}}$$

$$t_p = 3,81 \text{ sekon}$$

4.5 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur pada Kecepatan 6 m/s



Gambar 4.1 Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur Kecepatan 6 m/s

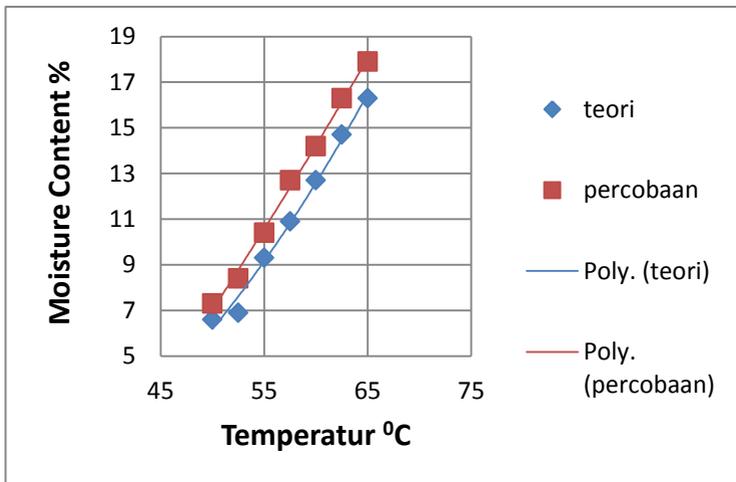
Gambar 4.1 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi temperatur udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya temperatur udara akan berpengaruh pada kenaikan moisture content, pada grafik 4.1 didapatkan trend grafik yang masuk naik pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan kecepatan udara 6 m/s dimana semakin besar temperatur udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin besar. Hal ini dikarenakan karena terjadi perubahan panas yang besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air juga semakin besar. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis percobaan dengan variasi temperatur udara pengering 65

°C yaitu sebesar 25,5 %. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar **16,5 %**.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan variasi temperatur 170 °C dan 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16 dan 17 m/s dimana semakin besar temperatur pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin besar.

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami kenaikan pada variasi temperatur 65 °C karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air juga besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standardeviasi sebesar 1,32 dan error sebesar 8,9 %.

4.6 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur pada Kecepatan 8 m



Gambar 4.2 Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur Kecepatan 8 m/s

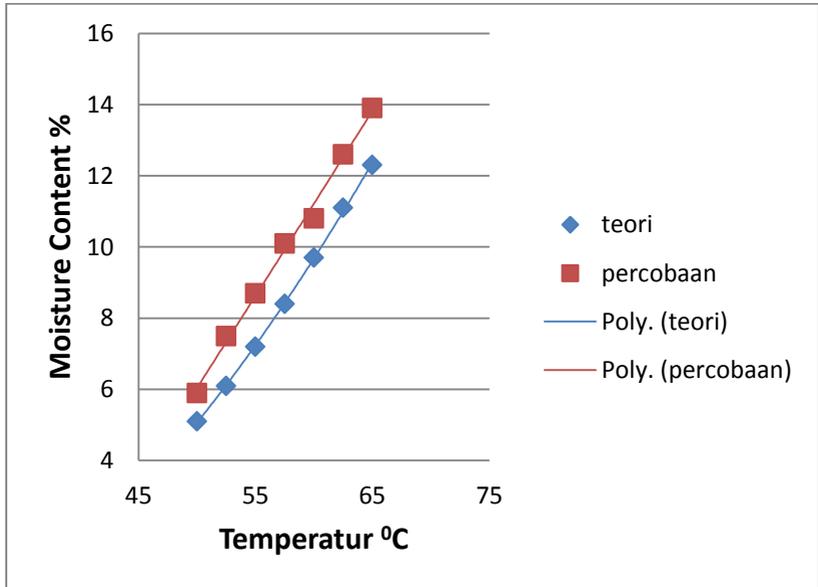
Gambar 4.2 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi temperatur udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya temperatur udara akan berpengaruh pada kenaikan moisture content, pada grafik 4.2 didapatkan trend grafik yang masuk naik pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan kecepatan udara 8 m/s dimana semakin besar temperatur udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin besar. Hal ini dikarenakan karena terjadi perubahan panas yang besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air juga semakin besar. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis percobaan dengan variasi temperatur udara pengering 65 °C yaitu sebesar 17,1%. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar 22,1 %.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan variasi temperatur 170 °C dan 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10 , 11, 12, 14,15,16 dan 17 m/s dimana semakin besar temperatur pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin besar.

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami kenaikan pada variasi temperatur 65 °C karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk

menguapkan air juga besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standard deviasi sebesar 1,27 dan error sebesar 11,6 %.

4.7 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur pada Kecepatan 8 m/s



Gambar 4.3 Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Temperatur Kecepatan 10 m/s

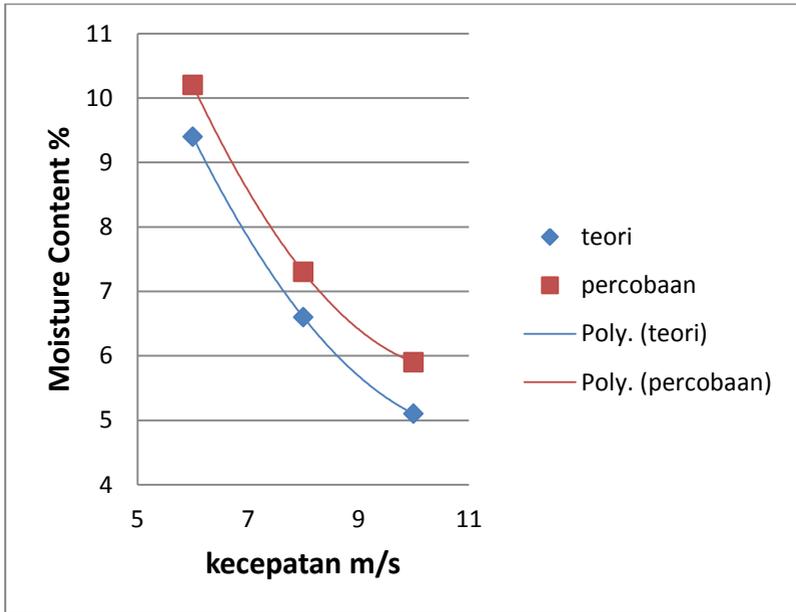
Gambar 4.3 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi temperatur udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya temperatur udara akan berpengaruh pada kenaikan moisture content, pada grafik 4.3 didapatkan trend grafik yang masuk naik pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan kecepatan udara 10 m/s dimana semakin besar temperatur udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin besar.

Hal ini dikarenakan karena terjadi perubahan panas yang besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air juga semakin besar. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis percobaan dengan variasi temperatur udara pengering 65 °C yaitu sebesar 13,9 %. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar 26,1 %.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan variasi temperatur 170 °C dan 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10, 11, 12, 14,15,16 dan 17 m/s dimana semakin besar temperatur pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin besar.

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami kenaikan pada variasi temperatur 65 °C karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air juga besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standard deviasi sebesar 1,26 dan error sebesar 14,2 %

4.8 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 50 °C m/s



Gambar 4.4 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 50 °C

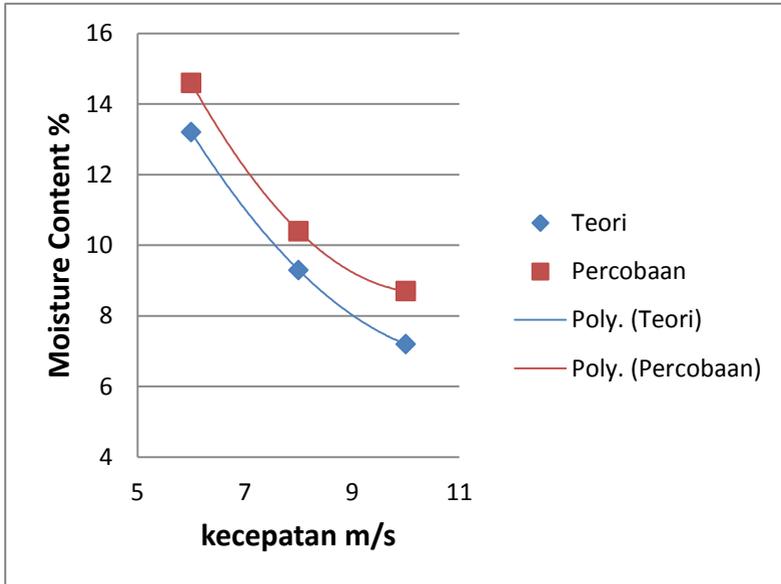
Gambar 4.4 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi kecepatan udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content, pada grafik 4.4 didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 50 °C dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan suhu udara dalam bejana mengalir

dengan cepat sehingga perpindahan panas yang terjadi pada bagasse belum mencapai titik optimal sehingga penurunan moisture content masih rendah. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis teori dengan variasi kecepatan udara pengering 6 m/s yaitu sebesar 10,2 %. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar 29,8 %.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10, 11, 12, 14,15,16 dan 17 m/s dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami penurunan karena sebagian *moisture content* batubara terbawa oleh udara pengering. Penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada variasi kecepatan 6 m/s karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air adalah yang paling besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standard deviasi sebesar 1,49 dan error sebesar 10,6 %.

4.9 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 55 °C m/s



Gambar 4.5 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 55 °C

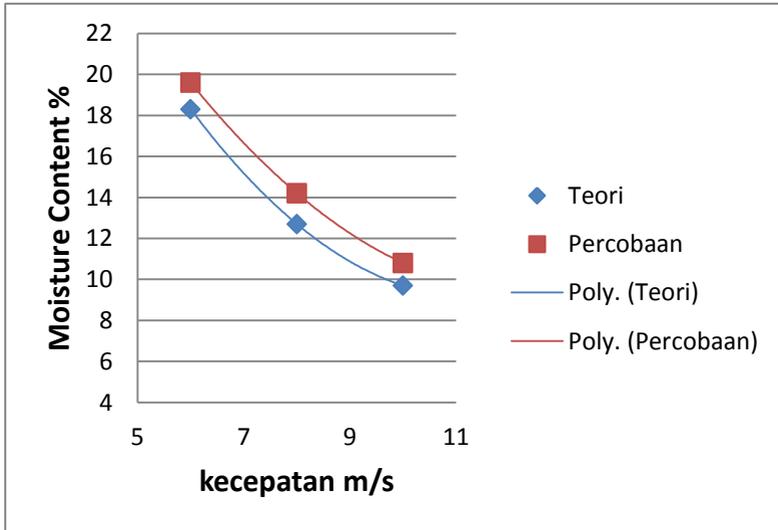
Gambar 4.5 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi kecepatan udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content, pada grafik 4.5 didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 55 °C dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan suhu udara dalam bejana mengalir

dengan cepat sehingga perpindahan panas yang terjadi pada bagasse belum mencapai titik optimal sehingga penurunan moisture content masih rendah. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis teori dengan variasi kecepatan udara pengering 6 m/s yaitu sebesar 14,6 %. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar 25,4 %.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10, 11, 12, 14,15,16 dan 17 m/s dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami penurunan karena sebagian *moisture content* batubara terbawa oleh udara pengering. Penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada variasi kecepatan 6 m/s karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air adalah yang paling besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standard deviasi sebesar 1,57 dan error sebesar 12,9 %.

4.10 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 60 °C m/s



Gambar 4.6 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 560 °C

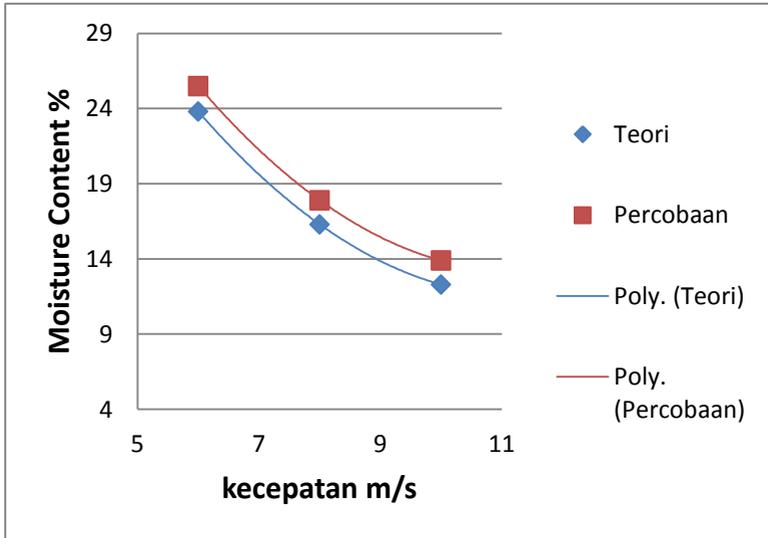
Gambar 4.6 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi kecepatan udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content, pada grafik 4.6 didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 60 °C dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan suhu udara dalam bejana mengalir dengan cepat sehingga perpindahan panas yang terjadi pada bagasse belum mencapai titik optimal sehingga penurunan

moisture content masih rendah. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis teori dengan variasi kecepatan udara pengering 6 m/s yaitu sebesar 19.6 %. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar 20,4 %.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10, 11, 12, 14,15,16 dan 17 m/s dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami penurunan karena sebagian *moisture content* batubara terbawa oleh udara pengering. Penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada variasi kecepatan 6 m/s karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air adalah yang paling besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standard deviasi sebesar 1,76 dan error sebesar 9,5 %.

4.11 Analisa Grafik Penurunan Moisture Content Fungsi Kecepatan pada Temperatur 65 °C m/s



Gambar 4.7 Grafik Penurunan Moisture Content fungsi Kecepatan pada temperatur 65 °C

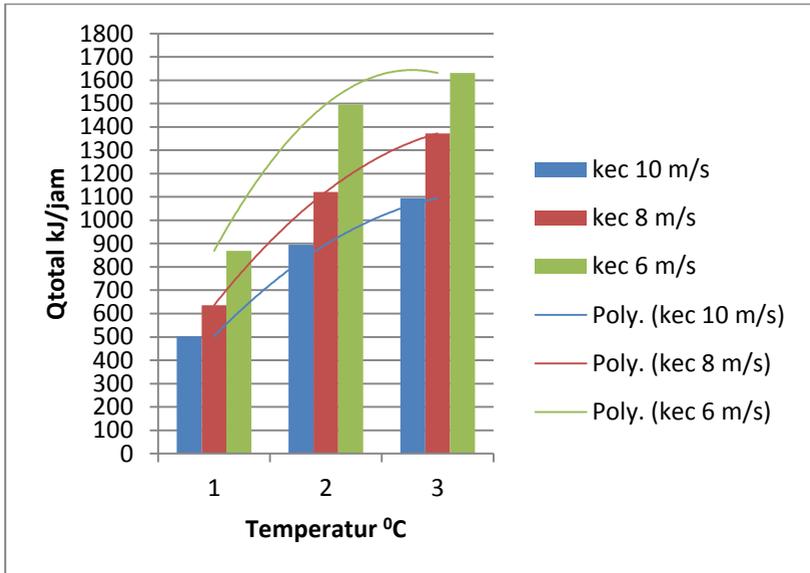
Gambar 4.7 diatas merupakan grafik penurunan moisture content pengeringan terhadap variasi kecepatan udara dengan analisis perhitungan dan percobaan. Grafik menunjukkan trend yang relatif sama , dimana bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content, pada grafik 4.7 didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 65 °C dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan suhu udara dalam bejana mengalir dengan cepat sehingga perpindahan panas yang terjadi pada

bagasse belum mencapai titik optimal sehingga penurunan moisture content masih rendah. Penurunan moisture content terbesar pada grafik analisis teori dengan variasi kecepatan udara pengering 6 m/s yaitu sebesar 25,5 %. Angka tersebut didapat dari perbedaan nilai moisture awal yaitu sebesar 40 % dengan moisture akhir yaitu sebesar 14,5 %.

Pada percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh A.A. Tawfik et al pada tahun 2003 menunjukkan hasil yang relatif sama yaitu bertambahnya kecepatan udara akan berpengaruh pada penurunan moisture content yang ditunjukkan pada gambar grafik 2.5, pada grafik tersebut didapatkan trend grafik yang masuk menurun pada saat pengeringan berlangsung 15 menit dengan temperatur 200 °C dengan variasi kecepatan udara 9, 10, 11, 12, 14,15,16 dan 17 m/s dimana semakin besar kecepatan udara pengeringan di dalam bejana pengering maka penurunan moisture content akan semakin kecil

Trend grafik *moisture content* diatas mengalami penurunan karena sebagian *moisture content* batubara terbawa oleh udara pengering. Penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada variasi kecepatan 5 m/s karena terjadi perubahan panas yang paling besar sehingga energi yang diterima untuk menguapkan air adalah yang paling besar. Pada grafik percobaan dan teori didapat standard deviasi sebesar 1,8 dan error sebesar 10 %.

4.12 Analisa Histogram Energi Total Fungsi Kecepatan dan Suhu Udara



Gambar 4.8 Histogram Total Energi Fungsi Kecepatan dan Temperatur Udara

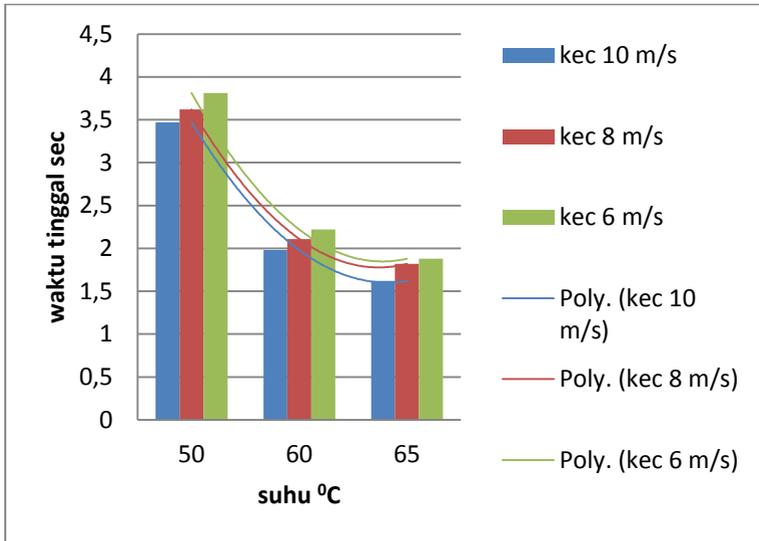
Gambar 4.8 diatas merupakan histogram energi total pengeringan terhadap variasi temperatur pengeringan dan kecepatan udara pengering yang berbeda. Histogram diatas menunjukkan trend yang relatif sama, dimana bertambahnya energi total pengeringan seiring bertambahnya temperatur pengeringan. Pada histogram dengan variasi temperatur menunjukkan trend naik yaitu semakin besar temperatur yang diberikan maka kenaikan total energi pengeringan yang dibutuhkan semakin besar. Lain halnya pada variasi kecepatan yang menunjukkan trend turun yaitu semakin besar kecepatan hembusan udara semakin kecil total energi pengeringan yang dibutuhkan hal ini mungkin dikarenakan semakin besar kecepatan

hembusan maka semakin cepat pula waktu tinggal didalam bejana pengering yang akan menyebabkan semakin banyaknya total energi pengeringan.

Total energi pengeringan terbesar pada histogram dengan variasi temperatur 65 °C dengan kecepatan 6 m/s yaitu sebesar 1630,8 kJ/jam dan total energi pengeringan terkecil pada histogram dengan variasi temperatur 50 °C dengan kecepatan 10 m/s yaitu sebesar 502,71 kJ/jam Angka tersebut didapat dari analisis perhitungan mencari total energi.

Trend histogram total energi diatas mengalami kenaikan naik yaitu semakin besar temperatur yang diberikan maka kenaikan total energi pengeringan yang dibutuhkan semakin besar Hal ini sesuai dengan hubungan $Q = m C_p (T_2 - T_{p1})$,

4.13 Analisa Histogram Waktu Tinggal Fungsi Kecepatan dan Suhu Udara



Gambar 4.9 Grafik Waktu Tinggal Fungsi Kecepatan dan Temperatur Udara

Gambar 4.9 diatas merupakan histogram waktu tunggal pengeringan terhadap variasi temperatur pengeringan dan kecepatan udara pengering yang berbeda. Histogram diatas menunjukkan trend yang relatif konstan, dimana bertambahnya kecepatan udara pengeringan mempengaruhi waktu tinggal . Pada histogram dengan variasi kecepatan menunjukkan semakin besar kecepatan udara pengeringan yang diberikan maka waktu tinggal pengeringan akan semakin singkat .

Waktu tinggal paling lama pada histogram dengan variasi kecepatan 6 m/s dengan temperatur 50 °C yaitu sebesar 3,81 s dan waktu tinggal pengeringan paling singkat pada histogram dengan

variasi kecepatan 10 dengan temperatur 65 °C m/s yaitu sebesar 1,62 sekon. Angka tersebut didapat dari analisis perhitungan mencari waktu tinggal.

Trend histogram waktu tinggal diatas mengalami penurunan yaitu semakin besar kecepatan udara pengeringan maka waktu tinggal akan semakin singkat atau turun Hal ini sesuai dengan perumusan $t = \frac{L}{v}$.

BAB V

KESIMPULAN

1. Persamaan kesetimbangan energi dan persamaan-persamaan perpindahan panas yang terlibat dalam sistem pengering Pneumatic/Flash dryer dengan bahan baku yang dikeringkan berupa ampas tebu (bagasse) cukup valid yang dibuktikan dengan hasil perhitungan dan hasil percobaan yang hasilnya relatif hampir sama dengan error 11,2 % dengan tingkat keyakinan 90%.
2. Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa :
 - a) Kecepatan aliran udara panas mempengaruhi hasil pengeringan pada variasi kecepatan (6, 8 dan 10) m/s dengan temperatur 65 °C menghasilkan waktu tinggal berturut-turut (1.88, 1.82, 1.62) sekon dan penurunan moisture content (23.8, 16.3, 12.3) % yaitu dapat disimpulkan bahwa makin cepat aliran udara pemanas semakin cepat pula waktu tinggal namun penurunan moisture content semakin sedikit
 - b) Temperatur udara panas yang dimasukkan ke dalam bejana pengering memengaruhi hasil pengeringan pada variasi temperatur (50, 52.5, 55, 57.5, 60, 62.5, 65)°C dengan kecepatan 6 m/s menghasilkan penurunan moisture content berturut-turut sebesar (9.40,

11.10, 13.2, 15.6, 18.30, 21.4, dan 23.8) % yaitu dapat disimpulkan bahwa semakin panas temperatur udara yang dimasukkan ke dalam bejana pengering akan semakin besar penurunan moisture content dari bagasse namun total energi yang dibutuhkan juga akan semakin meningkat.

3. Pneumatic/Flash dryer dapat diaplikasikan untuk alat pengering bahan baku ampas tebu (bagasse) yang dapat menurunkan moisture content terbesar 25,5 % pada kecepatan 6 m/s dan temperatur 65 °C , waktu tinggal yang cepat sebesar 1,62 sekon pada kecepatan 10 m/s dengan temperatur 65 °C disamping itu drying rate sangat besar sebesar 274,4 kg/m² jam, maka sangat efektif sebagai alat pengering dan transportasi bagasse.

NOMENCLATURE

| | |
|-------------|---|
| C_{pp} | = Specific heat capacity ampas (kJ/kg. K) |
| $C_{p,vap}$ | = Specific heat capacity penguapan air (kJ/kg. K) |
| D_p | = diameter partikel ampas (mm) |
| hg_1 | = Specific enthalpy udara panas inlet (kJ/kg) |
| hg_2 | = Specific enthalpy udara panas outlet (kJ/kg) |
| hwt | = Specific enthalpy air (water) inlet (kJ/kg. K) |
| K_g | = Thermal conductivity udara panas (kW/m ² °C) |
| m_g | = Laju aliran massa udara panas (kg/s) |
| mp_1 | = Laju aliran massa partikel ampas inlet (kg/s) |
| mp_2 | = Laju aliran massa partikel ampas outlet (kJ/kg. K) |
| Pr_g | = angka bilangan Prandlt pada udara panas |
| Q_{evap} | = Energi panas untuk menguapkan air (kJ) |
| Q_{loss} | = Energi panas yang hilang |
| Q_p | = Energi panas untuk memanaskan ampas (kJ) |
| Q_{Total} | = Jumlah energi panas yang masuk (kJ) |
| q | = Konsumsi energi spesifik (kJ/kg vapour) |
| Ret | = angka bilangan Reynold pada partikel ampas |
| S | = luas penampang bejana pengering (m ²) |
| T_{g1} | = Temperatur partikel ampas inlet (°C) |
| T_{g2} | = Temperatur partikel ampas inlet (°C) |
| T_{p1} | = Temperatur partikel ampas inlet (°C) |
| T_{p2} | = temperatur partikel ampas jenuh (°C) |
| T_{p3} | = Temperatur partikel ampas outlet (°C) |
| t_p | = waktu tinggal (s) |
| V_g | = kecepatan udara panas (m/s) |
| V_t | = kecepatan awal ampas masuk (terminal velocity) (m/s) |
| V_p | = kecepatan partikel ampas rata – rata (m/s) |
| W | = Laju aliran massa air yang diupakan (kg/s) |
| X_{p1} | = Kandungan air ampas inlet, dalam fraksi berat |
| X_{p2} | = Kandungan air ampas outlet, dalam fraksi berat |
| Y_{g2} | = H ₂ O yang terkandung dalam udara panas outlet |

- dalam fraksi berat
- Y_{g1} = H₂O yang terkandung dalam udara panas inlet dalam fraksi berat
- h_p = koef. perpindahan panas konveksi udara dan partikel ampas ($\text{kW}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
- ρ_p = density partikel ampas (kg/m^3)
- ρ_g = density udara panas (kg/m^3)
- μ_g = Viskositas udara panas ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Perkebunan, 2014. Ening Ariningsih. 2014. **“MENUJU INDUSTRI TEBU BEBAS LIMBAH Toward Zero Waste Sugarcane Industry** “.Bogor Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian
- [2] **Laporan Tahunan PG Trangkil**, Trangkil, Jawa Tengah
- [3] M.G. Rasula, V. Rudolpha, M. Carsky, "**Physical properties of bagasse**". 1999
- [4] < <http://www.biomass-energy.org/blog/make-pellet-from-sugarcane-bagasse.html>> ,**make pellet from sugarcane bagasse**
- [5] Juan H. Sosa-Arno, Sílvia A. Nebra ,”**Bagasse Dryer Role in the Energy Recovery of Water Tube Boilers**. University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2009
- [6] APV DRYER HANDBOOK
- [7] A.S. Mujumdar, **“Handbook of industrial drying: equipment selection and application”**, Second edition, Vol. 2, Marcel Dekker, Inc, pp. 978-992, 1995.
- [8] Arrascaeta; P. Friedman, **“Bagasse drying: past, present and future”**, Int.Sugar J., 1984.
- [9] <https://eprints.undip.ac.id/44628/4/BAB_II.pdf> ,**proses pengeringan**
- [10] Anindya Ayu Pakarti, **“Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada**

Coal Dryer dengan Tube Heater Tersusun Aligned”,2013

- [11] <https://www.researchgate.net/figure/229885528_fig6_Figure-4-EFFECT-OF-AIR-VELOCITY-ON-DRYING-RATE-FOR-THIN-LAYER-DRYING-OF-SOUR-CHERRY-AT>
- [12] <<https://www.ecn.nl/phyllis2/Biomass/View/894>>
properties of sugarcane bagasse
- [13] Whitaker, S. **Forced convection heat transfer correlations for flow in pipes, past flat plate, single cylinders, single spheres and for flow in packet beds and tube bundles.** AIChE Journal 1972, 18 (2), 361–371
- [14] B.R. Radcliffe, “**Factors affecting the design of pneumatic dryers**”, the chemical engineer, Feb.,1971.
- [15] Shigeru Matsumoto and David C.T.PEI, “**A mathematical analysis of pneumatic drying of grains 1- constant drying rate**”, Int. J. Mass Transfer, Vol.27, No.6, pp 843-849, 1984.
- [16] Juan H. Sosa-Arnan; Silvia A. Nebra .**Bagasse Dryer Role in the Energy Recovery of Water Tube Boilers.**
- [17] Strumillo, C.; Kudra, T. 1986 .”**Drying: Principles, Applications and Design; Gordon and Breach Science Publishers: Montreaux, Switzerland**”.
- [18] Wolverine Tube Heat Transfer Data Book
- [19] Samy M. El-Behery, W. A. El-Askary, K. A. Ibrahim and Mofreh H. Hamed .2009.”**Porous Particles Drying in a Vertical Upward Pneumatic Conveying Dryer**”.

- [20] Nebra. S.A, Macedo. I, de. C.”**Pneumatic drying of bagasse sugarcane**”. International Sugar Journal, 1989.
- [21] A.A. Tawfik, A.K. Abdel-Rahman and M.R. Bayoumi. **Pneumatic Bagasse Dryer Advantages & Performance (Experimental Study)**
- [22] <<http://www.acr-news.com/masterclass-psychometrics-part-28>>
- [23] Steam Engineering Tutorials, 2014
- [24] Thomas Johannes Hugo,” **PYROLYSIS OF SUGARCANE BAGASSE**” , 2004.

DATA SHEET

| No | Parameter input | | Parameter output | | | | | | | | |
|----|---------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------------|
| | Parameter Variabel tetap | Parameter Variabel Berubah | Parameter Diukur | | | | | Parameter Dihitung | | | |
| 1 | Bagasse basah | Variasi Percobaan | Udara panas keluar | | Bagasse kering | | | Laju Pengeringan Bagasse (DR) | Waktu Tinggal | Energi yang hilang (qloss) | Total Energi yang dibutuhkan (qtot) |
| | | | Temperatur udara keluar (tg2) | Kelembaban udara (RH ₂) | Berat(m _{p2}) | Temperatur (T _{p2}) | Kandungan Air (MC ₂) | | | | |
| | a. | Kandungan air = 40 % | 1) Temperatur 50 kecepatan 6 | 34,6 | 20,6 | 1,73 | 34,3 | 30,6 | 107,51 | 3,81 | 199,85 |
| b. | Temperatur (tp ₁) = 30 °C | 2) Temperatur 52,5 kecepatan 6 | 34,9 | 19,4 | 1,69 | 34,7 | 28,9 | 126,84 | 3,32 | 228,46 | 993,20 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------------------|------|------|------|------|------|--------|------|--------|----------|
| | c. Ukuran = 1 mm | 3) Temperatur 55 kecepatan 6 | 35,2 | 18,3 | 1,64 | 35,2 | 26,8 | 150,71 | 2,88 | 265,71 | 1.155,27 |
| | d. Laju aliran massa ampas basah (m_{p1}) = 2 kg/jam | 4) Temperatur 57,5 kecepatan 6 | 35,4 | 16,7 | 1,2 | 35,4 | 24,4 | 178,00 | 2,51 | 303,81 | 1.320,90 |
| | | 5) Temperatur 60 kecepatan 6 | 36 | 15,3 | 1,53 | 35,9 | 21,7 | 208,70 | 2,22 | 344,21 | 1.496,55 |
| | | 6) Temperatur 62,5 kecepatan 6 | 37,6 | 14,5 | 1,46 | 37,6 | 18,6 | 243,94 | 1,98 | 360,83 | 1.555,86 |
| 2 | Udara Sekitar | 7) Temperatur 65 kecepatan 6 | 38 | 13,6 | 1,49 | 37,9 | 16,2 | 271,23 | 1,88 | 375,1 | 1.630,86 |
| | | 8) Temperatur 50 kecepatan 8 | 33,7 | 20,3 | 1,8 | 33,5 | 33,4 | 75,68 | 3,62 | 146,29 | 636,06 |

| | | | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------|------|------|--------|------|--------|----------|
| <p>a. Temperatur sekitar = 30 °C</p> <p>b. RH1 = 0,8</p> | 9) Temperatur 52,5 kecepatan 8 | 34,5 | 18,8 | 1,77 | 34,5 | 33,1 | 79,09 | 3,21 | 171,95 | 747,63 |
| | 10) Temperatur 55 kecepatan 8 | 34,9 | 18,1 | 1,73 | 39,8 | 30,7 | 106,37 | 2,65 | 198,25 | 861,94 |
| | 11) Temperatur 57,5 kecepatan 8 | 35,4 | 16,3 | 1,69 | 35,4 | 29,1 | 124,56 | 2,3 | 227,09 | 987,34 |
| | 12) Temperatur 60 kecepatan 8 | 35,8 | 15,2 | 1,65 | 35,7 | 27,3 | 145,03 | 2,11 | 257,94 | 1.121,48 |
| | 13) Temperatur 62,5 kecepatan 8 | 36,4 | 13,9 | 1,61 | 36,3 | 25,3 | 167,77 | 1,73 | 290,64 | 1.263,65 |
| | 14) Temperatur 65 kecepatan 8 | 36,9 | 13,4 | 1,57 | 36,7 | 23,7 | 185,96 | 1,82 | 315,62 | 1.372,26 |

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|--------|-------|--------|----------|--------|
| 3 | Ukuran Mesin pengering | 15) Temperatur 50 kecepatan 10 | 33 | 20,1 | 1,84 | 32,7 | 34,9 | 58,62 | 3,47 | 115,62 | 502,71 |
| | | 16) Temperatur 52,5 kecepatan 10 | 33,7 | 18,5 | 1,82 | 33,7 | 33,9 | 69,99 | 3,1 | 136,37 | 592,92 |
| | a. Panjang bejana = 5000 mm | 17) Temperatur 55 kecepatan 10 | 34,5 | 17,6 | 1,79 | 34,4 | 32,8 | 82,50 | 2,47 | 158,54 | 689,31 |
| | | 18) Temperatur 57,5 kecepatan 10 | 35,1 | 15,7 | 1,75 | 35 | 31,6 | 96,14 | 2,23 | 181,78 | 790,34 |
| b. Diameter = 76 mm | 19) Temperatur 60 kecepatan 10 | 35,6 | 14,8 | 1,72 | 35,6 | 30,3 | 110,92 | 1,98 | 205,98 | 895,58 | |
| | 20) Temperatur 62,5 kecepatan 10 | 36,1 | 13,7 | 1,69 | 36,1 | 28,9 | 126,84 | 1,82 | 231,07 | 1.004,64 | |

| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------|------|------|------|------|--------|------|--------|----------|
| | c. Diameter luar cyclone = 262 mm | 21) Temperatur 65 kecepatan 10 | 36,4 | 13,2 | 1,66 | 36,3 | 27,7 | 140,48 | 1,62 | 251,73 | 1.094,47 |
| | d. Diameter dalam cyclone = 216 mm | | | | | | | | | | |

BIODATA PENULIS



Mochammad Gama Adriansyah di Surabaya, 10 Januari 1991. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Jojon Suprijanto dan Sri Aprilis. Pendidikan formal yang ditempuh adalah SDN III Surabaya(1998-2003), SMP Negeri 2 Surabaya (2003-2006), SMA Negeri 11 Surabaya (2006-2009).Sejak muda, penulis selalu tertarik dengan dunia teknik. Oleh karena itu, penulis memilih untuk melanjutkan studinya

di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang terdaftar dengan NRP 2109100053.

Selama masa kuliah, penulis aktif sebagai Asisten Laboraturium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar Mesin FTI-ITS dengan tujuan untuk meningkatkan *soft skill*. Penulis juga aktif dalam beberapa kepanitiaan yang dilaksanakan didalam kampus maupun diluar kampus Teknik Mesin FTI-ITS. Di Jurusan Teknik Mesin, penulis mengambil bidang studi Konversi Energi sebagai bahasan Tugas Akhir yang memiliki topik Pengerigan Batubara di bawah bimbingan Dr. Bambang Sudarmanta, ST,MT.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, dapat melalui email adriansyah11@gmail.com.