



TUGAS AKHIR - TM 141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH LAJU ALIRAN MASSA DAN
UKURAN BAGASSE TERHADAP KUALITAS PENGERINGAN
BAGASSE PADA MESIN PENGERING TIPE PNEUMATIC/FLASH
DRYER**

Nur Achadah
NRP 2109 100 705

Dosen Pembimbing
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

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



FINAL PROJECT - TM 141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF MASS FLOW RATES AND BAGASSE SIZES
VARIATION EFFECT OF DRYING QUALITY USING PNEUMATIC/FLASH
DRYER**

Nur Achadah
NRP 2109 100 705

Supervisor
Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
SURABAYA 2017



**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI LAJU
ALIRAN MASSA DAN UKURAN BAGASSE 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 :
NUR ACHADAH
NRP. 2109 100 705

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 D., ST., M.Eng. (Penguji III)
NIP. 195001191978031002

SURABAYA
JANUARI, 2017





STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN MASSA DAN UKURAN BAGASSE TERHADAP KUALITAS PENGERINGAN PADA MESIN PENGERING TIPE PNEUMATIC/FLASH DRYER

Nama Mahasiswa : Nur Achadah
NRP : 2109100705
Jurusan : Teknik Mesin, FTI
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

Abstrak

Tebu merupakan tanaman yang hanya dapat tumbuh di daerah yang beriklim tropis. Tanaman ini dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan gula dan vetsin. Di Indonesia sendiri, tanaman tebu dapat tumbuh dengan mudah dan banyak petani yang membudidayakannya. Pada tahun 2014, produksi tebu di Indonesia tercatat mencapai 2,54 juta ton. Nantinya tebu-tebu ini akan dikirim ke pabrik-pabrik gula yang tersebar di seluruh Indonesia. Tebu yang telah diproses akan menghasilkan limbah berupa ampas tebu atau *bagasse*. Ampas tebu ini biasanya dimanfaatkan sebagai pembuat pulp kertas, pupuk organik dan pakan ternak. Pemanfaatan ini dirasa kurang menambah nilai ekonomis ampas tebu. Maka untuk menambah nilai ekonomis ampas tebu, dibuatlah suatu produk berupa energi biomassa yang dinamakan dengan *sugarcane bagasse pellet*. Untuk membuat bagasse pellet, moisture content pada ampas harus diturunkan sampai dengan 12%. Ampas tebu segar yang baru saja mengalami proses pemerasan memiliki kandungan *moisture* sekitar 48% - 50%. Produk bagasse pellet dapat dibuat dengan cara menurunkan kandungan moisture, adapun cara menurunkan kandungan moisture adalah dengan cara melalui proses pengeringan. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan alat berupa *Pneumatic/Flash Dryer*.

Penelitian dilakukan dengan cara mengeringkan bagasse menggunakan mesin pengering tipe pneumatic/flash dryer. Cara



Tugas Akhir Konversi Energi

kerja *pneumatic/flash dryer* ini adalah dengan cara mengalirkan udara panas secara terus menerus pada bahan yang akan dikeringkan. Pneumatic/flash drying adalah berupa tiang silinder yang tinggi, partikel dimasukkan ke dalam feeder. Blower dan udara panas dialirkan sepanjang silinder hingga mencapai cyclone yang selanjutnya mengalami pemisahan antara bahan dan udara panas. Eksperimen dilakukan dengan alat percobaan yang sudah ada. Percobaan dilakukan dengan menguji sampel bagasse sebesar 1 kg/jam, 1,5 kg/jam, 2 kg/jam, 2,5 kg/jam dan 3 kg/jam dengan kecepatan sebesar 10 m/s dan temperatur 65 °C. Percobaan ini juga menggunakan ukuran bagasse yang mengalami penyaringan dengan diameter 1×1 mm, 1,5×1,5 mm dan 3×3 mm. Kemudian dilakukan pengukuran terhadap moisture content, temperatur gas keluar, temperatur keluaran ampas dan berat akhir *bagasse*.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah mengetahui penurunan moisture content terbesar yang terjadi pada percobaan dengan variasi laju aliran massa 1 kg/jam dan ukuran bagasse 1x1 mm dengan kecepatan 10 m/s dan temperatur 65 °C yaitu dari 40 % menjadi 16,8 %, mengetahui energi total terbesar yang terjadi pada variasi laju aliran massa 1 kg/jam dan ukuran 1x1 mm yaitu sebesar 912,95 kJ/jam, mengetahui waktu tinggal terlama yang terjadi pada variasi 3 kg/jam dan ukuran bagasse 3x3 mm yaitu selama 6,85 s.

Kata kunci : **Pneumatic/Flash Dryer, Bagasse Dryer**



**EXPERIMENTAL STUDY OF MASS FLOW
RATES AND BAGASSE SIZES VARIATION
EFFECT OF DRYING QUALITY USING
PNEUMATIC/FLASH DRYER**

Name : NUR ACHADAH
NRP : 2109 100 705
Department : Mechanical Engineering FTI - ITS
**Supervisor : DR. BAMBANG SUDARMANTA, ST.,
MT**

Abstract

Sugarcane is one of plants that only grow in tropical area. It's used to produce sugar and vetsin. In Indonesia sugarcane can easily grow. Back to 2014, sugarcane in Indonesia reach to 2.54 million ton. Sugarcane will be delivered to factories in all city in Indonesia. The sugarcane that have been processed will produce a waste called bagasse. Usually bagasse used to basic material of paper, fertilizer and animal food. This utilization of bagasse have low economic value so to increase the economic value, bagasse is modified to biomass energy that called sugarcane bagasse pellet. To produce pellet, the moisture content of bagasse must be reduced until 12%. The fresh bagasse have moisture content about 48% - 50%. Moisture content of pellet can be reduced by drying process method and can be done by using drying machine called pneumatic/flash dryer.

In this experiment, bagasse will be dried using pneumatic/flash dryer. The principle of pneumatic/flash dryer is flowing hot atmosphere to material that will be dried continuously. Pneumatic/flash dryer is a dryer machine that have tall cylindric. Particle is feed to the feeder, blower and hot temperature flowed to cylinder until reach the cyclone and then getting separation between final product and hot temperature. In this experiment, bagasse sample will be tested in variation of



mass flow rates (1 kg/h, 1,5 kg/h, 2 kg/h, 2,5 kg/h and 3 kg/h) with velocity 10 m/s and temperature 65 °C. This experiment is also test variation of bagasse sizes that have been sort using filter (1×1 mm, 1,5×1,5 mm and 3×3 mm). The product will be measured its moisture content, outlet temperature, bagasse temperature and final mass of bagasse.

The result of this experiment is find out the biggest reduction of moisture content that occurred of experiment mass flow rate 1 kg/h and bagasse size 1×1 mm. The moisture content result is 16,8% from early moisture content 40%, the biggest total energy value occurred in mass flow rate 1 kg/h and bagasse size 1×1 mm, have total energy 912,95 kJ/h. The longest time is 6,85 s that occur in mass flow rate 3 kg/h and bagasse size 3×3 mm.

Keywords: *Pneumatic/flash dryer, sugarcane bagasse pellet, bagasse dryer*



KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis curahkan sepenuhnya kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih atas kesabarannya selama membimbing penulis.
2. Kedua orang tua tercinta, Sumarno dan Tutik Mardiyah yang sangat penulis cintai, yang senantiasa memberikan kasih sayang, semua hal terbaik, memberikan semangat, selalu mendukung dan mendo'akan penulis sehingga penulis dapat melewati semuanya dan menyelesaikan studi. Adik Aldi dan Vira yang senantiasa membawa keceriaan, kebahagiaan, tawa dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan studi.
3. Bapak Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc., Bapak Ary Bachtiar KP, ST., MT., PhD., dan Bapak Dr. Bambang Arip D., ST., M.Eng., selaku dosen penguji tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. Herman Sasongko selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan, perhatian, dan saran-saran yang telah bapak berikan selama ini.
5. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc. Eng. PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis untuk segera menyelesaikan studinya.



6. Ibu Aida Annisa Amin D., ST., MT., selaku dosen pembimbing Perencanaan Elemen Mesin penulis, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama ini.
7. Bapak Ari Kurniawan Saputra, ST., MT., selaku dosen pembimbing Kerja Praktek penulis, terima kasih atas ilmu pengetahuan yang diberikan selama ini.
8. Seluruh Dosen dan karyawan jurusan Teknik Mesin ITS,
9. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungannya kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Rekan seperjuangan penulis, Gama yang selalu memberikan dukungan dan kerja sama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Sahabat penulis Ria, Nafa, Yesty, Riza, Ina, Dian, Lisa, Amel, terima kasih atas cerita dan motivasinya yang selalu memberikan inspirasi dan semangat penulis untuk selalu menjadi lebih maju.
12. Teman-teman Depag 2009, terima kasih telah menjadi keluarga terdekat dan memotivasi penulis selama kuliah di ITS.
13. Teman-teman satu angkatan M52, terima kasih atas dukungannya selama ini.
14. Teman-teman MA Kanjeng Sepuh Sidayu angkatan 2006.
15. Teman-teman kontrakan F-119, mama tita, fiah, ijul, mba nuril, naning, terima kasih atas kasih sayangnya selama ini.
16. Teman-teman satu kosan, mba wida, mba resti, maruko, ratih, umi, percil, wendy's, ishika, terima kasih sudah membawa kebahagiaan, tawa dan memotivasi penulis.
17. Seluruh civitas akademik Teknik Mesin ITS.
18. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis.

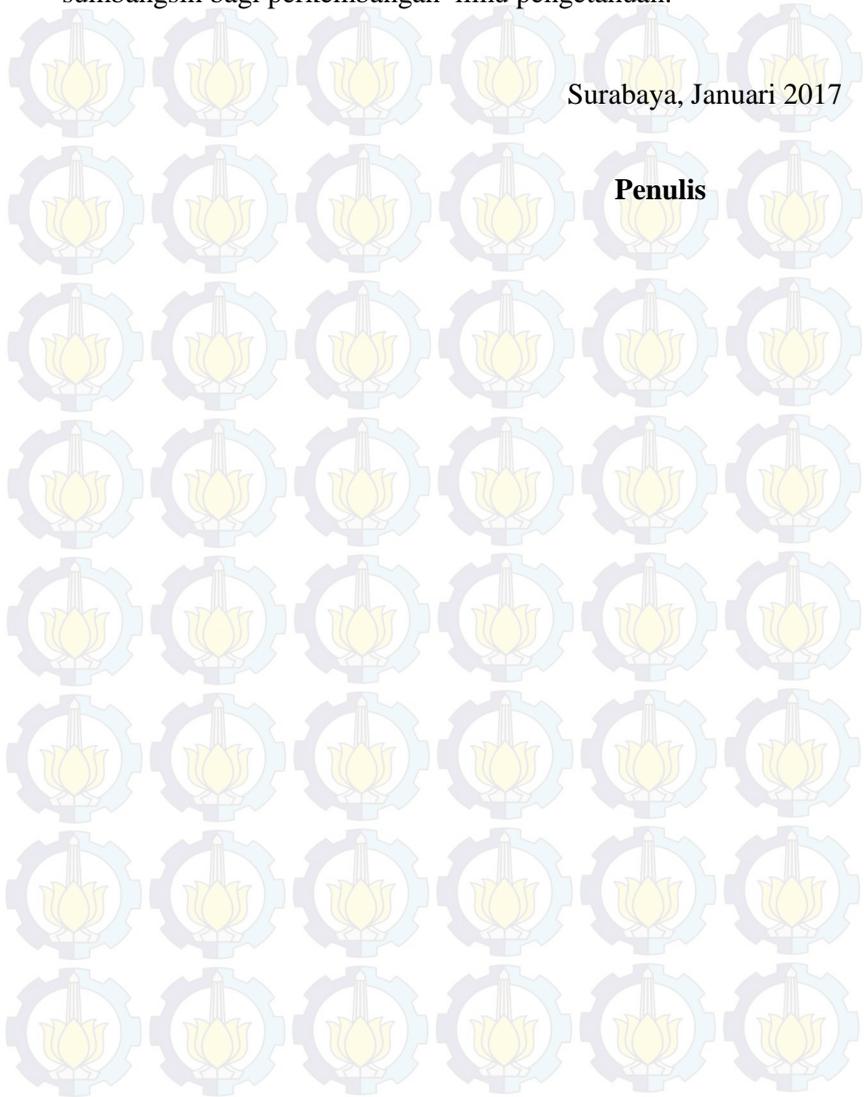
Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap



semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Januari 2017

Penulis







DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penulisan	2
1.4. Batasan Masala	3
1.5. Manfaat hasil Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Ampas Tebu/Bagasse.....	5
2.1.2 Proses Pengerinan.....	8
2.1.3 Pneumatic/Flash Dryer	19
2.2. Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1. Spesifikasi Mesin pengering dan Produk setelah dikeringkan.....	25
3.2 Rancangan Skema Mesin Pengering dan Alat Uji.....	26
3.3 Flowchart Langkah Percobaan.....	27
3.4 Peralatan yang Digunakan.....	29
3.5 Tahap Percobaan.....	32
3.6 Tabel Rancangan Eksperimen.....	33



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Percobaan.....	36
4.2 Contoh Perhitungan.....	36
4.2.1 Perhitungan Kecepatan Fluidisasi Minimum.....	36
4.2.2 Contoh Perhitungan Drying Rate Pneumatic/Flash Dryer.....	37
4.2.3 Contoh Perhitungan Q _{los}	38
4.2.4 Perhitungan Total Energi Pengeringan.....	40
4.2.4.1 Perhitungan Total Energi Pengeringan variasi Laju aliran massa 1 kg/jam.....	40
4.2.5 Perhitungan Waktu Tinggal.....	43
4.3 Analisa dan Pembahasan Hasil Eksperimen.....	46
4.3.1 Analisa Grafik MC Fungsi Laju Aliran Massa Bagasse.....	46
4.3.2 Analisa Grafik pengaruh ukuran bagasse terhadap moisture content.....	47
4.3.3 Analisa Grafik Total Energi Fungsi Laju Aliran Massa.....	48
4.3.4 Analisa Grafik Waktu Tinggal Fungsi Laju Aliran Massa.....	49



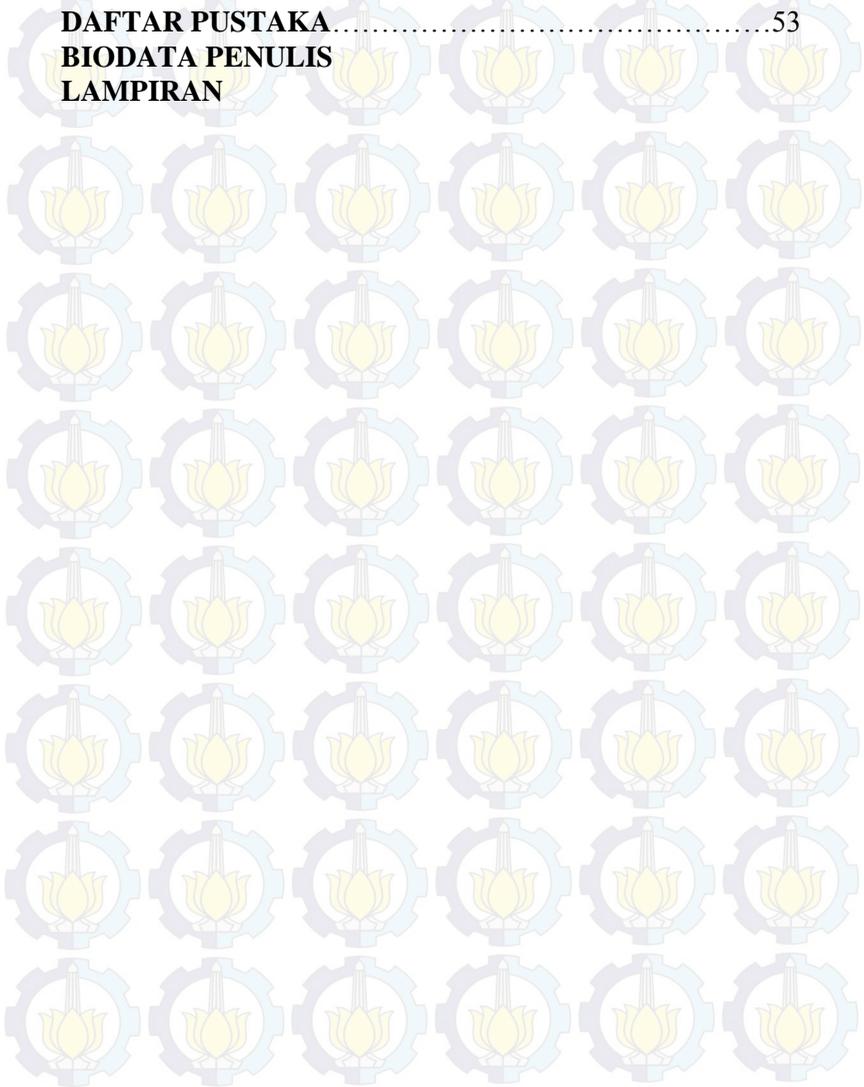
BABV

KESIMPULAN.....51

DAFTAR PUSTAKA.....53

BIODATA PENULIS

LAMPIRAN

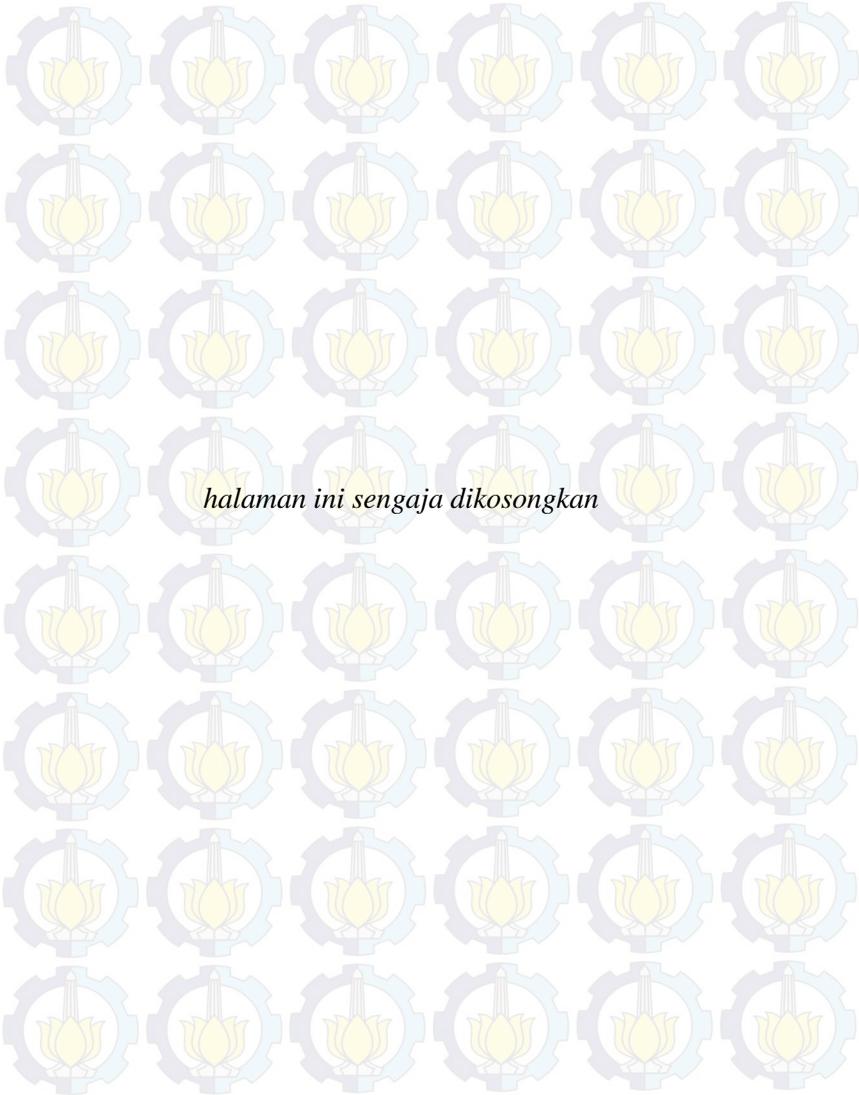






DAFTAR GAMBAR

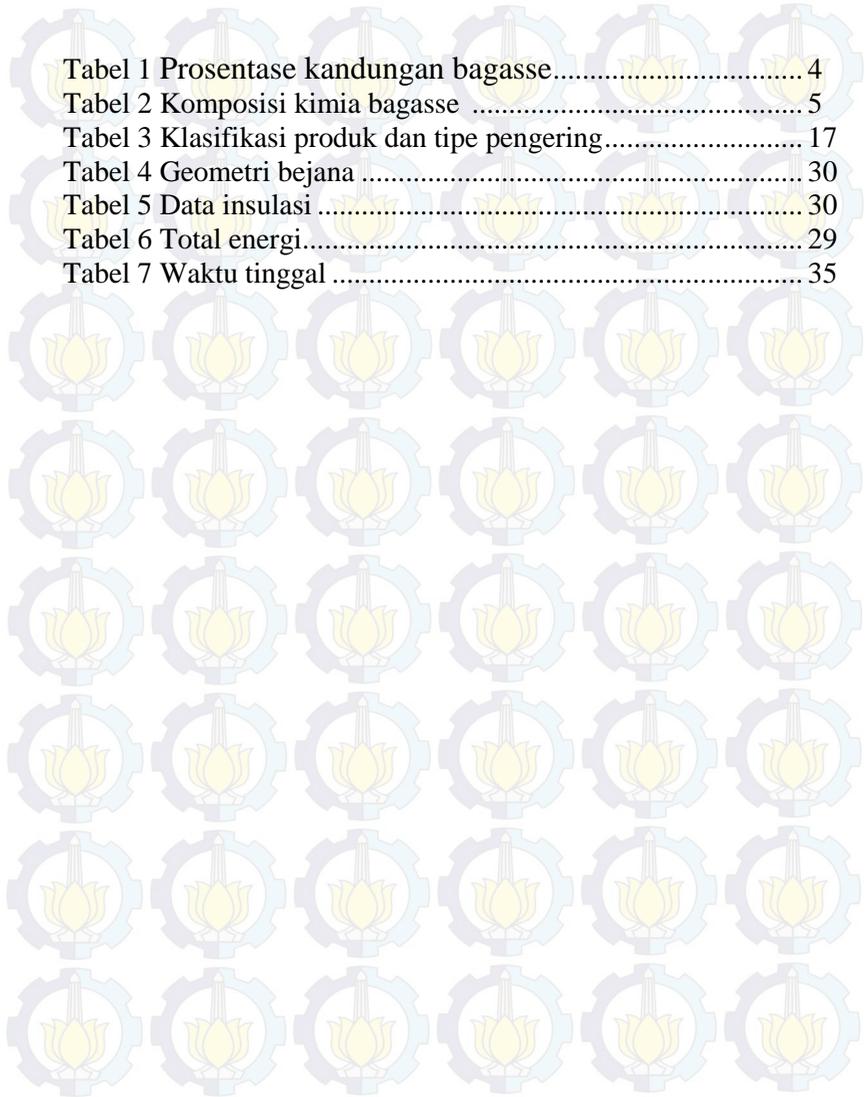
Gambar 2.1 Kurva Periode Proses Pengeringan.....	8
Gambar 2.2 Drag force dan gaya berat.....	12
Gambar 2.3 LMTD pada proses pengeringan.....	14
Gambar 2.4 Pneumatic/Flash Bagasse Dryer	16
Gambar 2.5 Sketsa alat eksperimen penelitian Tawfik dkk	18
Gambar 2.6 Grafik pengaruh laju aliran massa terhadap MC	19
Gambar 3.1 Skema peralatan mesin pengering ampas	21
Gambar 3.2 Peralatan dan alat ukur	25
Gambar 4.1 Pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap moisture content	36
Gambar 4.2 Pengaruh ukuran bagasse terhadap moisture content	37
Gambar 4.3 Pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap Q_{total}	38
Gambar 4.4 Pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap waktu tinggal	39





DAFTAR TABEL

Tabel 1 Prosentase kandungan bagasse.....	4
Tabel 2 Komposisi kimia bagasse	5
Tabel 3 Klasifikasi produk dan tipe pengering.....	17
Tabel 4 Geometri bejana	30
Tabel 5 Data insulasi	30
Tabel 6 Total energi.....	29
Tabel 7 Waktu tinggal	35







BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tebu merupakan tanaman yang hanya dapat tumbuh di daerah yang beriklim tropis. Tanaman ini dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan gula dan vetsin. Di Indonesia sendiri, tanaman tebu dapat tumbuh dengan mudah dan banyak petani yang membudidayakannya. Pada tahun 2014, produksi tebu di Indonesia tercatat mencapai 2,54 juta ton. Nantinya tebu-tebu ini akan dikirim ke pabrik-pabrik gula yang tersebar di seluruh Indonesia. Berdasarkan data dari kementerian perindustrian, pabrik gula di Indonesia berjumlah 62 unit pabrik dengan rincian 50 unit dikelola BUMN dan 12 pabrik swasta. Adapun total produksi gula dari seluruh pabrik gula tersebut mencapai 1,5 juta ton per tahun.

Dalam proses pembuatan gula selalu menghasilkan limbah berupa ampas tebu. Ampas tebu (*bagasse*) adalah limbah berserat yang diperoleh dari hasil samping proses penggilingan tanaman tebu. Setiap 10 ton tebu akan menghasilkan 3 ton ampas tebu. Maka apabila produksi tebu mencapai 2,54 ton per tahun (seperti data yang tercatat pada tahun 2014) maka jumlah ampas tebu akan mencapai 762 ribu ton per tahun. Selama ini limbah ampas tebu dimanfaatkan sebagai bahan pembuat pulp kertas, pupuk organik dan pakan ternak, akan tetapi pemanfaatan tersebut dirasa kurang memberi nilai ekonomis. Negara-negara maju telah lebih dulu meneliti dan memanfaatkan ampas tebu. Ampas tebu tersebut dimanfaatkan menjadi energi biomassa yang dinamakan dengan *sugarcane bagasse pellet*. *Sugarcane bagasse pellet* merupakan bahan bakar terbarukan yang dapat mengatasi permasalahan krisis energi fosil dan penanggulangan masalah global warming seperti masa sekarang [1]. Disamping itu, pemanfaatan ampas tebu menjadi pellet juga dapat memberikan nilai ekonomis lebih pada ampas tebu.



Ampas tebu segar yang baru saja mengalami proses pemerasan memiliki kandungan *moisture* sekitar 48% - 50%. Untuk membuat bagasse pellet, kandungan *moisture* nya harus diturunkan menjadi 12% [2]. Untuk menurunkan kandungan kelembabannya, maka diperlukan proses pengeringan. Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat perpindahan panas dan perpindahan massa. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu : luas permukaan pengering, temperature/suhu, kecepatan aliran udara, kelembaban udara, tekanan atmosfer dan vakum, waktu. Dengan memanfaatkan teknologi yang sudah ada sekarang, proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan sebuah mesin pengering yang disebut dengan *Dryer*. Terdapat beberapa macam mesin *dryer*, diantaranya adalah : *swirling fluidized dryer*, *rotary dryer*, *spin flash dryer*, *pneumatic/flash dryer*. Mesin yang akan kami gunakan adalah *pneumatic/flash dryer*. Mesin *pneumatic/flash dryer* adalah kombinasi dari sistem perpindahan panas dan teknologi *pneumatic*. Cara kerja *pneumatic/flash dryer* ini adalah dengan cara mengalirkan udara panas secara terus menerus pada bahan yang akan dikeringkan. *Pneumatic/flash drying* adalah berupa tiang silinder yang tinggi, partikel dimasukkan ke dalam feeder. Blower dan udara panas dialirkan sepanjang silinder hingga mencapai cyclone yang selanjutnya mengalami pemisahan antara bahan dan udara panas [3].

Pada proses pengeringan mesin *pneumatic/flash drying* ini mengalami dua proses, yaitu proses perpindahan panas dan proses perpindahan massa. Maka, berdasarkan uraian tersebut, ingin diteliti mengenai pengaruh variasi laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap kualitas proses pengeringan bagasse (*moisture content* dan waktu tinggal) menggunakan mesin *pneumatic/flash drying* dengan variasi ukuran bagasse dan laju aliran massa ampas basah.



1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang kami susun adalah bagaimana pengaruh variasi laju aliran massa dan ukuran *bagasse* (untuk ukuran bejana pengering, kelembaban udara, temperatur udara panas dan kecepatan udara panas yang sudah ditentukan) terhadap kualitas proses pengeringan *bagasse* (*moisture content* dan waktu tinggal) pada mesin pengering tipe pneumatic/flash dryer.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan yang kami susun adalah untuk mengetahui pengaruh variasi laju aliran massa dan ukuran *bagasse* terhadap kualitas proses pengeringan *bagasse* (*moisture content* dan waktu tinggal) pada mesin pengering tipe pneumatic/flash dryer.

1.4 Batasan Masalah

1. Proses adiabatik
2. Dinding luar bejana pneumatic dan cyclone diisolasi 100% kedap terhadap pengaruh temperatur udara luar.
3. Udara panas yang masuk dalam keadaan kering.
4. Energi panas yang hilang karena pancaran (radiasi), konduksi dan lainnya jumlahnya sebesar 1,8 % sesuai referensi Nebra dan Macedo.
5. Udara luar (ambient) dengan temperatur sebesar 30° C dan Tekanan sebesar 1 atmosfer.

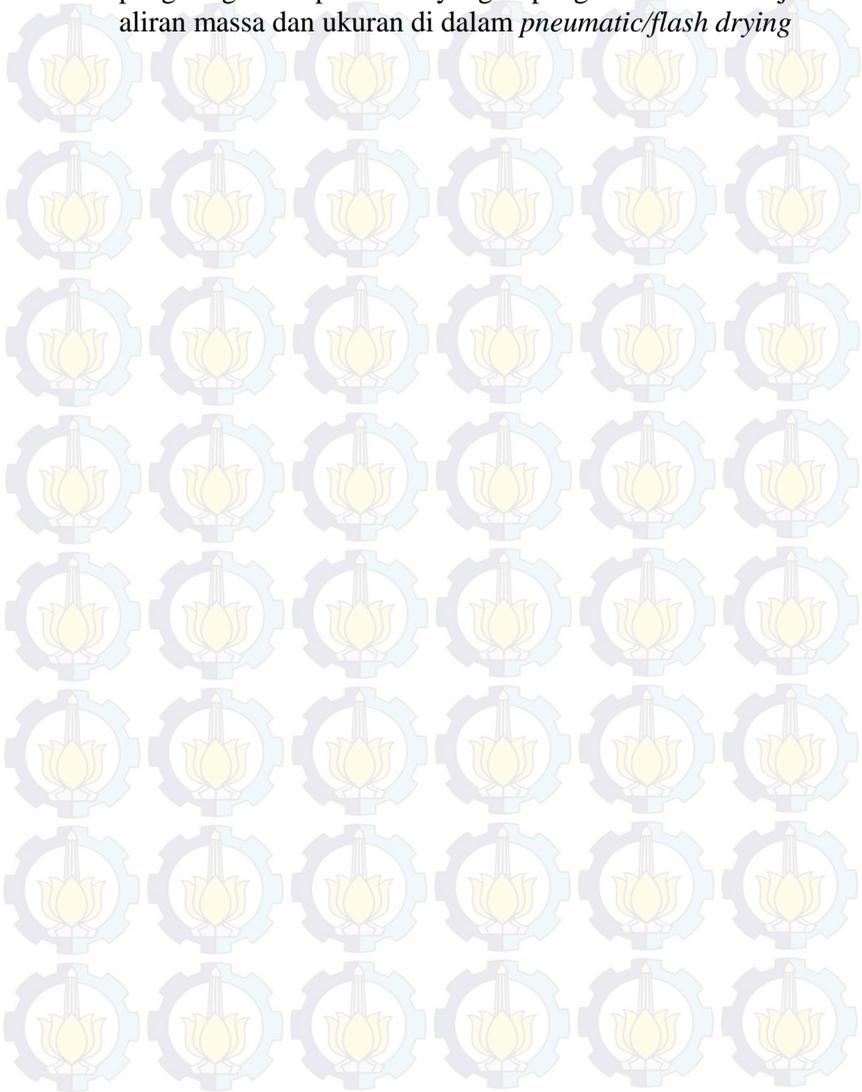
1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada semua pihak. Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Memperkaya dan memperdalam wacana dalam bidang ilmu perpindahan panas dan massa khususnya proses pengeringan.



2. Mengetahui fenomena yang terjadi pada proses pengeringan ampas tebu yang dipengaruhi variasi laju aliran massa dan ukuran di dalam *pneumatic/flash drying*





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

2.1.1. Ampas Tebu (Bagasse)

Pabrik gula di Indonesia pada umumnya menggunakan tebu sebagai bahan bakunya, manfaat tanaman tebu sangat beragam, di antaranya adalah :

1. Niranya sebagai bahan baku industri gula
2. Daunnya sebagai pakan ternak
3. Ampas tebu digunakan sebagai pupuk, pressed wood, dan pulp dan kertas
4. Abunya digunakan untuk campuran pupuk organik

Menurut Jhon (1966), tebu setelah diproses niranya akan tersisa bagasse. Bagasse adalah serat-serat sisa batang tebu setelah dihancurkan dan di ekstraksi niranya yang terdiri dari air, serat, dan sejumlah kecil solid terlarut. Komposisinya bervariasi, tergantung pada jenis tebu, umur, metode pemanenan dan efisiensi penggilingannya. Komposisi dari bagasse dapat dilihat pada tabel 1 :

Tabel 1. Prosentase Kandungan Ampas Tebu

Kandungan yang Terdapat di dalamnya	Prosentase
Air	46 – 52
Serat	43 – 52
Solid Terlarut	2 - 6

Potensi bagasse di Indonesia, menurut data statistik Indonesia tahun 2002, luas tanaman tebu di Indonesia 395.399,44 ha. Yang tersebar di pulau Sumatera seluas 99.383,8 ha, Pulau Jawa seluas 265.671,82 ha, Pulau Kalimantan seluas 13.970 ha, dan Pulau Sulawesi seluas 16.373,4 ha. Diperkirakan setiap ha tanaman tebu mampu



menghasilkan 100 ton bagasse. Maka potensi bagasse nasional yang dapat tersedia dari total luas tanaman tebu mencapai 39.539.944 ton per tahun.

Sisa ampas dari pabrik gula tersebut dapat mempunyai nilai ekonomi yang cukup tinggi apabila sisa ampas tersebut dapat ditransformasikan ke bentuk produksi lain yang mempunyai nilai tambah lebih besar. Dalam beberapa tahun sebelumnya, ampas tebu ini dijual kepada pihak lain untuk bahan pembuat pulp dan kertas, namun pemanfaatan bagasse untuk memasok bahan baku pulp dan kertas tidak efisien karena produksi bagasse terbesar ada di pulau Jawa, sedangkan industri pulp dan kertas berbahan baku kayu lebih banyak di luar Jawa, yaitu 83% di Sumatera, hanya sekitar 5,88% terdapat di Pulau Jawa. Oleh karena itu apabila bagasse di Jawa akan dimanfaatkan untuk industri pulp dan kertas di luar Jawa, maka akan memerlukan biaya yang tinggi, hal ini akan meningkatkan biaya produksi.

Berikut ini komposisi kimia dari ampas (bagasse) menurut E. Hugot :

Tabel 2. Komposisi Kimia dari Ampas Tebu

	Deerr	Tromp	Kelly	Davies	Gregory
Carbon C	46.5	44	48.2	47.9	49
Hydrogen H	6.5	6	6	6.7	7.4
Oxygen O	46	48	43.1	45.4	41.8
Ash	1	2	2.7	-	1.8
	100	100	100	100	100

- **Sifat-sifat Properties Ampas Tebu**

Dalam desain perencanaan mesin pengering, sifat-sifat (*Properties*) Ampas mempengaruhi dalam perencanaan,



diantaranya adalah diameter partikel ampas, ukuran geometris fisik partikel ampas, dan massa jenis ampas. Sesuai referensi M.G. Rasula, dkk [4], menjelaskan bahwa fisik geometris ampas pada umumnya terdiri dari 3 (tiga) komponen yang dinamakan fibre (sabut), pith dan rind (kulit), masing-masing dalam bagian berat yang berbeda yang tercampur atau tertumpuk menjadi 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.

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 [4].

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

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 [4], yaitu panjang fibre 20-50 mm, dengan diameter 1-6 mm. Maka berdasarkan hal tersebut, parameter density partikel ampas dan sifat-sifat yang lain diasumsikan sama dengan hasil penelitian M.G. Rasula, dkk [4].



2.1.2. Proses Pengeringan

Pengeringan dapat diartikan sebagai proses penurunan kadar air tertentu sehingga dapat memperlambat laju kerusakan produk akibat aktivitas biologi dan kimia. Pengeringan pada dasarnya merupakan proses perpindahan energi yang digunakan untuk menguapkan air yang berada dalam bahan, sehingga mencapai kadar air tertentu agar kerusakan bahan dapat diperlambat. Proses utama yang terjadi pada proses pengeringan adalah penguapan. Penguapan terjadi apabila air yang dikandung oleh suatu bahan teruap, yaitu apabila panas diberikan kepada bahan tersebut. Panas ini dapat diberikan melalui berbagai sumber, seperti : kayu api, minyak dan gas, arang baru ataupun tenaga surya.

Menurut Gardner [5], klasifikasi operasi pengeringan menurut pengoperasiannya terbagi menjadi 2 macam, yaitu batch dan continues. Operasi pengeringan secara batch dalam kenyataannya adalah semibatch, dimana sejumlah bahan yang akan dikeringkan ditebarkan kedalam suatu aliran udara yang kontinyu, sehingga sebagian kandungan air diuapkan. Dalam operasi secara kontinyu, bahan yang akan dikeringkan dan udara mengalir secara kontinyu dengan melewati suatu peralatan.

Peralatan yang digunakan untuk drying dapat diklasifikasikan menurut tipe peralatan itu sendiri dan menurut sifat dari proses drying. Menurut Keey [6], operasi drying dikelompokkan menjadi :

1. Metode Operasi
 - a. Batch atau semibatch, dimana peralatan yang dioperasikan hanya berlangsung sesaat atau berulang pada kondisi transien/unsteady, dryer diisi dengan bahan, yang akan tetap tinggal dalam peralatan sampai kering kemudian dikosongkan dan diisi dengan bahan yang baru.
 - b. Continuous, dimana dryer dioperasikan dalam kondisi steady.
2. Metode pemberian panas yang diperlukan untuk penguapan kandungan air



- a. Direct dryer, memberikan panas secara langsung pada bahan yang dikeringkan dengan gas.
- b. Indirect dryer, dimana panas yang diberikan tidak tergantung pada gas yang digunakan untuk menguapkan air. Sebagai contoh : panas dapat diberikan dengan konduksi melalui dinding logam yang dikontakkan dengan bahan yang dikeringkan.

Pada proses pengeringan ada dua proses penting yang terjadi selama siklus pengeringan, yaitu:

1. Transfer energi panas (*heat transfer*) dari lingkungan sekeliling untuk menguapkan kelembaban permukaan
2. Transfer massa dari *internal moisture* ke permukaan solid yang diikuti proses penguapan melalui proses *heat transfer*.

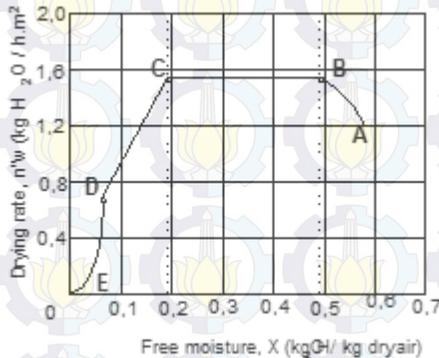
Proses pengeringan pada sebuah produk terjadi dalam beberapa tahap. Proses pertama adalah pergerakan air dari dalam menuju lapisan luar produk yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu akibat pemanasan yang terjadi selama proses pengeringan. Proses berikutnya adalah penguapan kandungan air pada permukaan produk. Kandungan air yang menguap dari permukaan produk akan tercampur oleh udara pemanas hingga menyebabkan naiknya kandungan air pada udara.

Pada proses pengeringan dapat dibagi menjadi beberapa periode proses. Periode pengeringan digolongkan berdasarkan gejala fisik proses pengeringan yang berbeda tiap waktu. Suatu proses pengeringan terdiri dari tiga periode laju pengeringan, yaitu :

- a. Periode laju pengeringan naik
- b. Periode laju pengeringan konstan



c. Periode laju pengeringan menurun

Keterangan :

- A - B : periode pemanasan
- B - C : periode laju pengeringan konstan
- C - D : periode laju pengeringan menurun pertama
- C : kadar air kritis
- D - E : periode laju pengeringan menurun kedua

Gambar 2.1 Kurva Periode Proses Pengeringan

a. Periode Laju Pengeringan Naik

Sesaat setelah bahan menerima panas dari udara pengering temperatur benda yang dikeringkan akan naik hingga mencapai kesetimbangan dengan *temperature wet bulb* udara (T_{wb}).

b. Periode Laju Pengeringan Konstan



Pada periode ini (B - C) permukaan bahan jenuh dengan uap air, temperatur uap air pada permukaan sama dengan T_{wb} udara pengering. Selama proses ini berlangsung kecepatan aliran air dari dalam bahan sama dengan kecepatan air yang diuapkan. Proses ini berakhir bila kadar air bebas bahan mencapai titik kritis (*critical moisture content*). Kadar air kritis adalah kadar air bebas terendah saat laju kecepatan air bebas ke permukaan sama dengan laju penguapan. Pada periode ini proses pengeringan bergantung pada faktor dari luar seperti laju aliran udara dan temperatur udara pengering.

c. Periode Laju Pengeringan Menurun

Titik C pada gambar adalah kadar air bebas kritis. Pada titik ini air pada permukaan tidak mencukupi untuk mempertahankan lapisan air yang kontinyu. Seluruh permukaan akan terus mengering sampai seluruh permukaan kering pada titik D. Pada fase kedua laju pengeringan menurun yang dimulai pada titik D saat seluruh permukaan bagasse telah kering, panas yang tersedia digunakan untuk menguapkan air pada bagasse dan selanjutnya karena perbedaan konsentrasi antara dalam dan permukaan maka air tersebut akan bergerak ke permukaan. Jumlah cairan yang diuapkan pada periode ini relatif kecil dan waktu yang diperlukan relatif lama.

Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat perpindahan panas dan perpindahan massa. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu [7] :

1. Luas Permukaan pengering

Semakin luas permukaan bahan maka akan semakin cepat bahan menjadi kering. Permukaan yang luas dapat memberikan lebih banyak permukaan yang dapat



berhubungan dengan medium pemanas serta lebih banyak permukaan tempat air keluar.

2. Suhu

Semakin besar perbedaan suhu (antara medium pemanas dengan bahan) maka akan semakin cepat proses pindah panas berlangsung, sehingga mengakibatkan proses penguapan semakin cepat pula.

3. Kecepatan Aliran Udara

Umumnya udara yang bergerak akan lebih banyak mengambil uap air dari permukaan bahan yang dikeringkan. Udara yang bergerak adalah udara yang mempunyai kecepatan gerak yang tinggi yang berguna untuk mengambil uap air dan menghilangkan uap air dari permukaan bahan yang dikeringkan, sehingga dapat mencegah terjadinya udara jenuh yang dapat memperlambat penghilangan air.

4. Kelembaban Udara

Semakin lembab udara di dalam ruang pengering dan sekitarnya maka akan semakin lama proses pengeringan berlangsung kering, begitu juga sebaliknya. Karena udara kering dapat mengabsorpsi dan menahan uap air.

5. Waktu

Semakin lama waktu (batas tertentu) pengeringan maka akan semakin cepat proses pengeringan selesai. Dalam pengeringan diterapkan konsep HTST (High Temperature Short Time), dimana short time dapat menekan biaya pengeringan.

▪ **Kesetimbangan Energi dan Massa**

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)



1. Pneumatic/Flash Dryer Sebagai Pengering

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

a. Kesetimbangan Energi

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 (1).

$$Q_{Total} = Q_p + Q_{evap} + Q_{loss} \quad (1)$$

Sedangkan masing-masing energi tersebut diperoleh dari persamaan (2), (3) dibawah ini :

$$Q_p = W_p C_{pp} (T_{p2} - T_{p1}) \quad (2)$$

$C_{pp} = 1,5 \text{ kJ/kg.K}$, berdasarkan referensi Thomas Johannes Hugo [8] untuk perhitungan desain pengering pada range temperatur 25 – 500 °C

$$Q_{evap} = W [h_{wt} + C_{p,mvapor}(T_{p2} - T_{p1})] \quad (3)$$



Sedangkan

$$W = mp1 \left(1 - \frac{1-X_{pi}}{1-X_{po}}\right)$$

$$mp2 = mp1 (1 - X_{pi}) / (1 - X_{po})$$

$$\frac{Q_{loss}}{Q_{total}} = 1,8\% , \text{ berdasarkan referensi Nebra dan Macedo [9].}$$

b. Kesetimbangan Massa

Perpindahan massa yang terjadi di bejana pengering, yaitu antara air yang terkandung dalam ampas berpindah ke udara sebagai uap air, oleh karena itu kesetimbangan massa di bejana pengering dapat dituliskan dalam persamaan (4)

$$mp(X_{pi} - X_{po}) = mg(Y_{go} - Y_{gi}) \quad (4)$$

2. Pneumatic/Flash Dryer Sebagai Transportasi (Conveying)

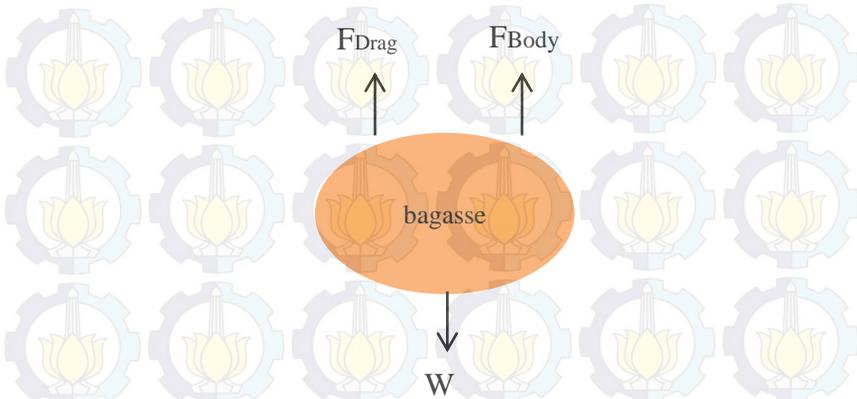
Aliran udara dengan kecepatan tertentu akan dapat membawa partikel ampas yang mempunyai berat tertentu dari tempat kedudukan semula di tingkat keadaan 1 ke tempat yang diinginkan di tingkat keadaan 2. Agar dapat terpenuhi tujuan tersebut, maka perencanaan dan perhitungannya secara umum menggunakan kesetimbangan 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 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 °C 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.

- **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. Berdasarkan hal ini dapat dijelaskan dengan Hukum Hewton I pada persamaan (5) sebagai berikut :



Gambar 2.2 Drag Force dan Gaya Berat

$$\Sigma F = 0$$

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

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

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

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)

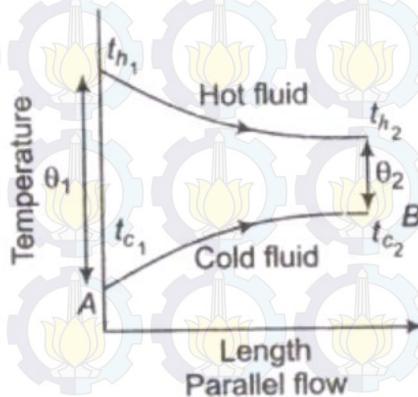


V = volume bagasse (m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^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 [10] diperoleh persamaan (6) Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD), karena bentuk fisik geometris ampas secara umum bagian besarnya (73 %) merupakan fibre (sabut) yang berbentuk seperti silinder.



Gambar 2.3 Logarithmic Mean Temperature Difference pada proses pengeringan

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



$$LMTD_{gp} = \frac{(T_{g1} - T_{p1}) - (T_{g2} - T_{p2})}{\ln\left(\frac{T_{g1} - T_{p1}}{T_{g2} - T_{p2}}\right)} \quad (6)$$

Dan untuk angka bilangan Nusselt pada partikel ampas dihitung berdasarkan referensi Whitaker, S [11] dalam persamaan (7)

$$N_{up} = 0,4Re^{\frac{2}{3}} + 0,06Re^{\frac{2}{3}} Pr_g^{0,4} \frac{\mu_g T_g}{\mu_g T_{surf}} \quad (7)$$

Dari angka bilangan Nusselt diperoleh koefisien perpindahan panas antara partikel ampas dengan udara panas sesuai persamaan (8) dibawah ini :

$$N_{up} = \frac{h_p D_p}{k_g} \quad (8)$$

$$h_p = \frac{N_{up} k_g}{D_p}$$

Berdasarkan persamaan (1), (7) dan (8) maka waktu tinggal (t_p) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9)

$$h_p = \frac{Q_{Total} - Q_{Loss}}{LMTD_{gp} A_p} \quad (9)$$

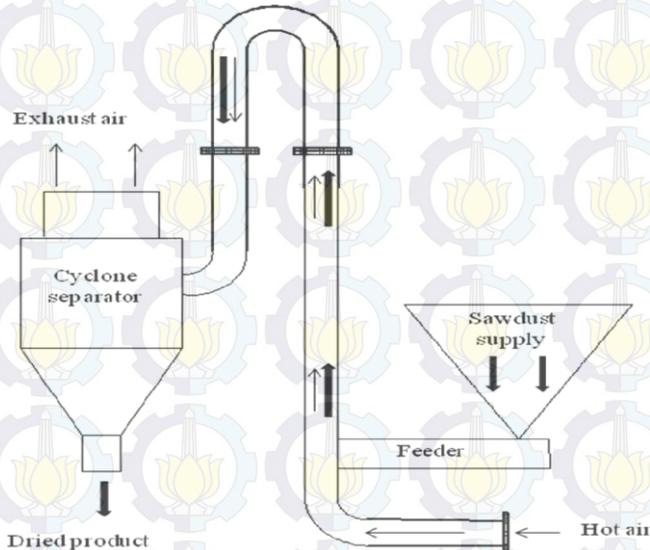
$$A_p = \frac{Q_{total} - Q_{loss}}{LMTD_{gp} h_p}$$

Sedangkan luas permukaan partikel ampas (A_p) yang merupakan zona terjadinya perpindahan panas antara partikel ampas dengan udara, dapat dihitung sesuai persamaan (10)



$$t_p = \frac{A_p}{\alpha p m p}$$

2.1.3. Pneumatic/Flash Dryer



Gambar 2.4 pneumatic/Flash Bagasse Dryer

Pneumatic/Flash Dryer adalah sebuah instalasi alat pengering yang digunakan untuk mengeringkan ampas (bagasse) yang mempunyai kandungan moisture content tertentu. Tujuan penggunaan alat ini adalah mengeringkan produk dan mengurangi moisture content produk yang semula tinggi menjadi rendah. Mesin ini mengeringkan ampas dengan mengalirkan udara panas secara berkelanjutan. Proses pengeringan yang terjadi di Flash dryer berlangsung dengan sangat cepat. Waktu yang dibutuhkan oleh material yang dikeringkan dari mulai masuk bejana pengering sampai keluar menjadi hasil produk pengeringan sangat cepat, oleh karena itu pneumatic/flash dryer juga dinamakan



dengan mesin pengering cepat (flash dryer) [12]. Mesin pengering tipe flash dryer telah banyak di aplikasikan untuk industri kimia, pabrik makanan, hasil pertanian, industri keramik, pabrik semen, pabrik kertas, industri farmasi dan pengolahan kayu.

Mula-mula gas panas dari heater dan aliran udara dari blower dihembuskan masuk ke dalam bejana untuk mengeringkan dan memindahkan (transportasi) ampas yang telah dimasukkan ke dalam *pneumatic/flash dryer* melalui feeder. Ampas ini selanjutnya melewati bejana sampai dengan ketinggian tertentu. Selanjutnya, ampas yang telah kering dipisahkan di instalasi pemisah berupa *cyclone*, dengan tujuan untuk memisahkan antara ampas yang telah kering dan udara. Karena pengaruh gaya tangensial dan gravitasi, partikel-partikel ampas tersebut jatuh kebawah dan masuk ke dalam penampungan. Beberapa partikel yang sangat kecil terbawa oleh udara dan memasuki ruang bag filter. Disini udara dan partikel tersebut disaring kembali, sehingga udara yang keluar dari pipa pengeluaran dalam bentuk udara bersih. Partikel yang tertangkap oleh filter, disalurkan ke ruang penampungan bersama partikel sebelumnya yang jatuh pada ruang *cyclone*.

Tabel 3. Klasifikasi produk dan tipe pengering



E_{av} = Evaporation (average)							
	Evaporation rate (lb/ft ² h)		Fluids, liquid suspension	Pastes, deaerated cake	Powders	Granules, pellets, extrudates	Operation
	Mean rate = E_{av}	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 – 5.0 $E_{av} = 3.0$	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.

Berdasarkan referensi dari APV DRYER HANDBOOK [13], sesuai tabel 3. klasifikasi produk dan tipe pengering, laju pengeringan yang dihasilkan mesin pengering tipe Pneumatic / Flash Dryer sangat besar antara 250 hingga 1250 kg/m²h [13].

1. Biaya investasi pneumatic/flash dryer lebih murah dibandingkan rotary dryer [12].
2. Lebih menghemat penggunaan ruangan untuk instalasi pneumatic/flash dryer [14].

Pneumatic/flash dryer lebih efisien penggunaan energi karena bahan yang dikeringkan secara keseluruhan dan merata terkena proses pengeringan [15,16], disamping itu kehilangan energi karena kebocoran maupun pancaran sangat kecil karena dilengkapi dengan kualitas isolator yang baik.

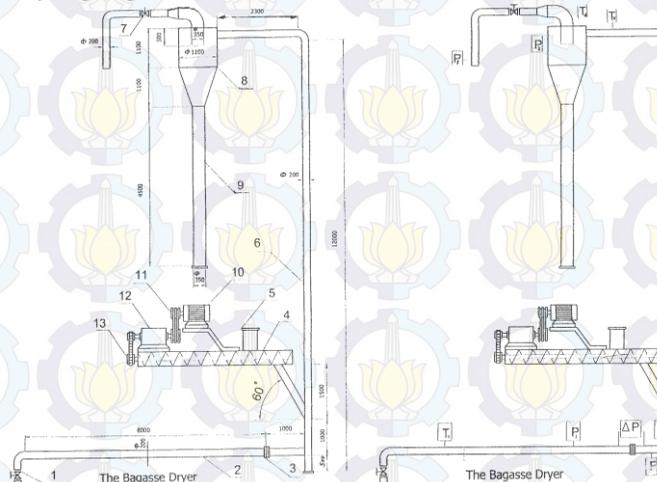
2.2. Penelitian Terdahulu

2.2.1. A.A. Tawfik, dkk (2003)



Penelitian terkait dengan teknologi pengeringan *bagasse* pernah dilakukan oleh **A.A. Tawfik, dkk [17]**. Dalam penelitiannya yang berjudul “*Pneumatic Bagasse Dryer Advantages and Performance (experimental Study)*” Tawfik dkk melakukan penelitian terhadap efek pengeringan *bagasse* dalam upaya untuk mengurangi kandungan air dalam *bagasse*.

Dalam penelitiannya **Tawfik dkk (2003) [17]** merancang sebuah peralatan eksperimental untuk melakukan analisa pengeringan *bagasse*. Pengujian alat eksperimen dilakukan dengan sebuah alat, yaitu *Pneumatic Dryer*. Udara pemanas dirancang dengan suhu 160 °C, 180 °C, dan 190 °C, dengan laju aliran massa sebesar 120 kg, 90 kg, dan 60 kg. Sedangkan kecepatan yang digunakan adalah 11 m/s, 13 m/s, dan 14 m/s.

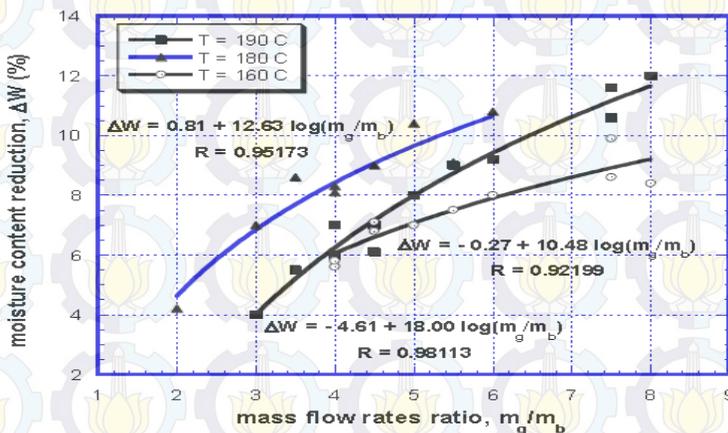


Gambar 2.5 Sketsa Alat Eksperimen Penelitian Tawfik dkk

Dari penelitian ini didapatkan hasil penelitian berupa pengaruh pemakaian sistem pengering *bagasse*. Didapatkan pula pengaruh laju aliran massa, kecepatan dan temperatur terhadap kualitas pengeringan *bagasse* pada mesin *pneumatic/flash dryer*. Kandungan air yang berada di dalam *bagasse* dapat dikurangi dari proses pengeringan. *Bagasse* akan memiliki nilai ekonomis yang

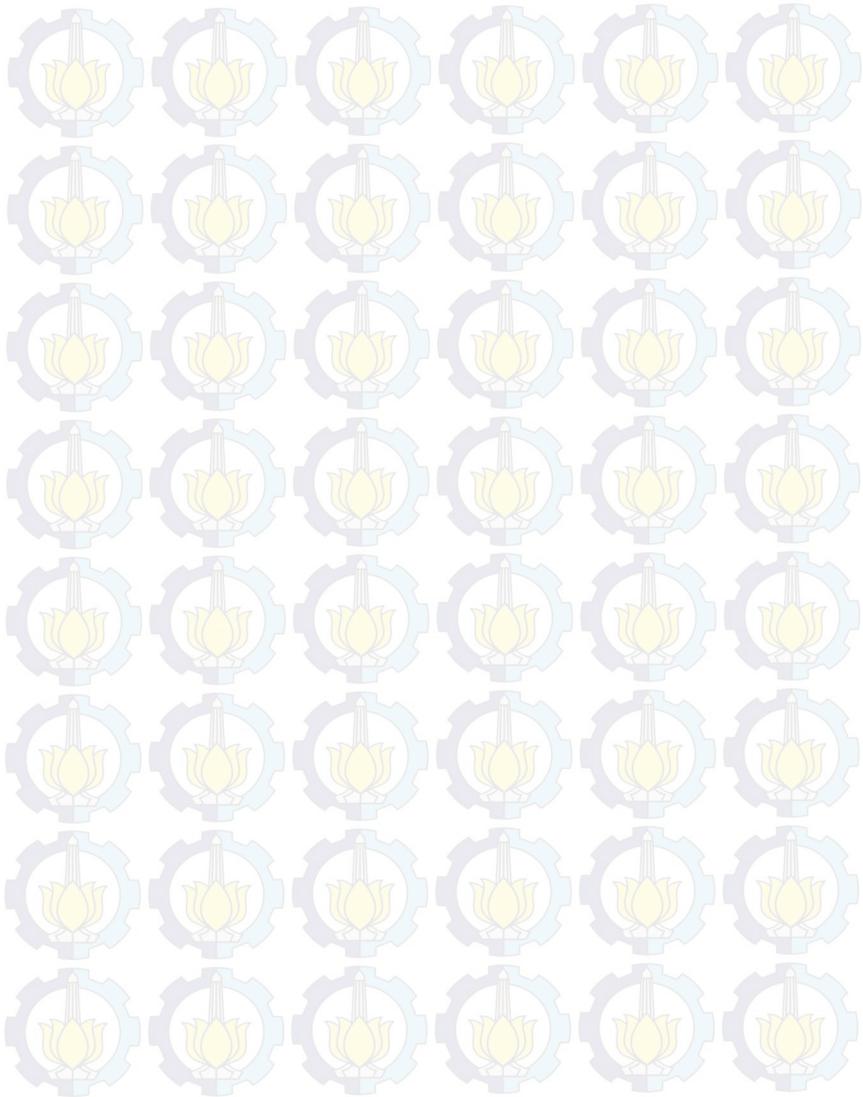


lebih baik dengan berkurangnya kandungan air (*moisturiser*) dalam *bagasse*. Dalam penelitiannya **Tawfik dkk (2003)** juga melakukan penelitian terhadap beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap kualitas pengeringan *bagasse*. Salah satunya adalah pengaruh laju aliran massa *bagasse* terhadap kualitas pengeringan (*moisture content*).



Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Penurunan *Moisture Content*

Berdasarkan data eksperimen pada penelitian yang dilakukan **Tawfik dkk (2003)**, didapatkan bahwa laju aliran massa dapat berpengaruh terhadap kualitas pengeringan *bagasse*. Pada penelitian ini didapatkan bahwa semakin kecil laju aliran massa, maka penurunan *moisture content* akan semakin besar. Sebaliknya, semakin besar laju aliran massa maka penurunan *moisture content bagasse* sedikit. Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh **Tawfik dkk (2003)** adalah kualitas pengeringan *bagasse* pada mesin *Pneumatic/Flash dryer* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu : temperatur, kecepatan dan *feeding rates* dari *bagasse*.





BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Spesifikasi Mesin pengering dan Produk setelah dikeringkan

A. Spesifikasi

1. Spesifikasi mesin Pengering

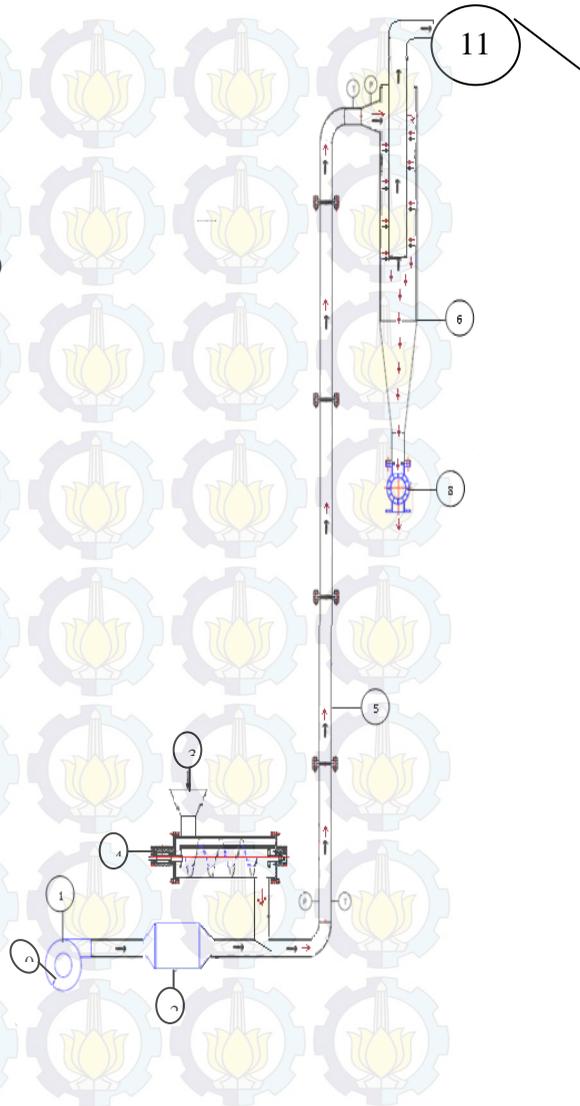
No	Uraian
1	Kapasitas produksi : 5 kg/jam
2	Konsumsi daya listrik Mesin Pemanas listrik : 1,5 kW
	Blower (FDF) : 1,0 kW
	Feeder : 0,18 kW
	Total : 2,68 kW
3	Bahan baku : Ampas tebu



3.2 Rancangan Skema Mesin Pengering dan Alat Uji

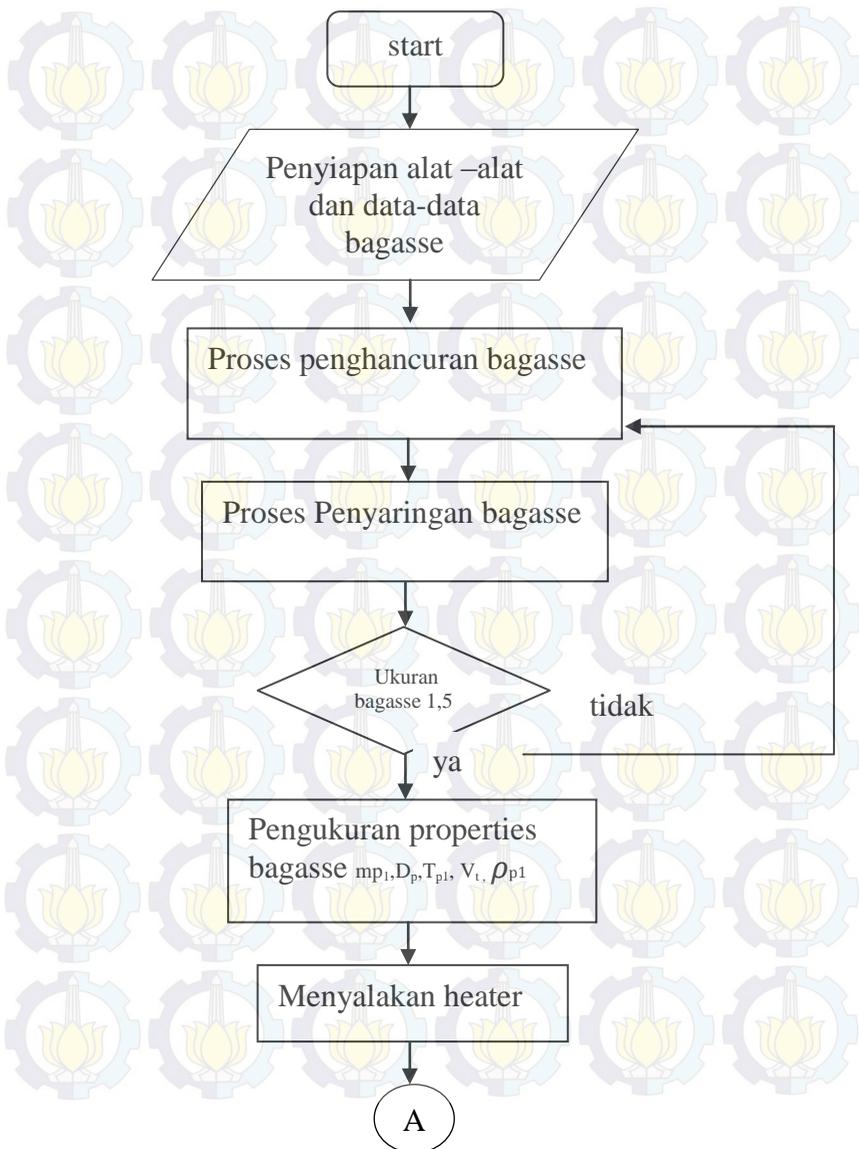
Keterangan :

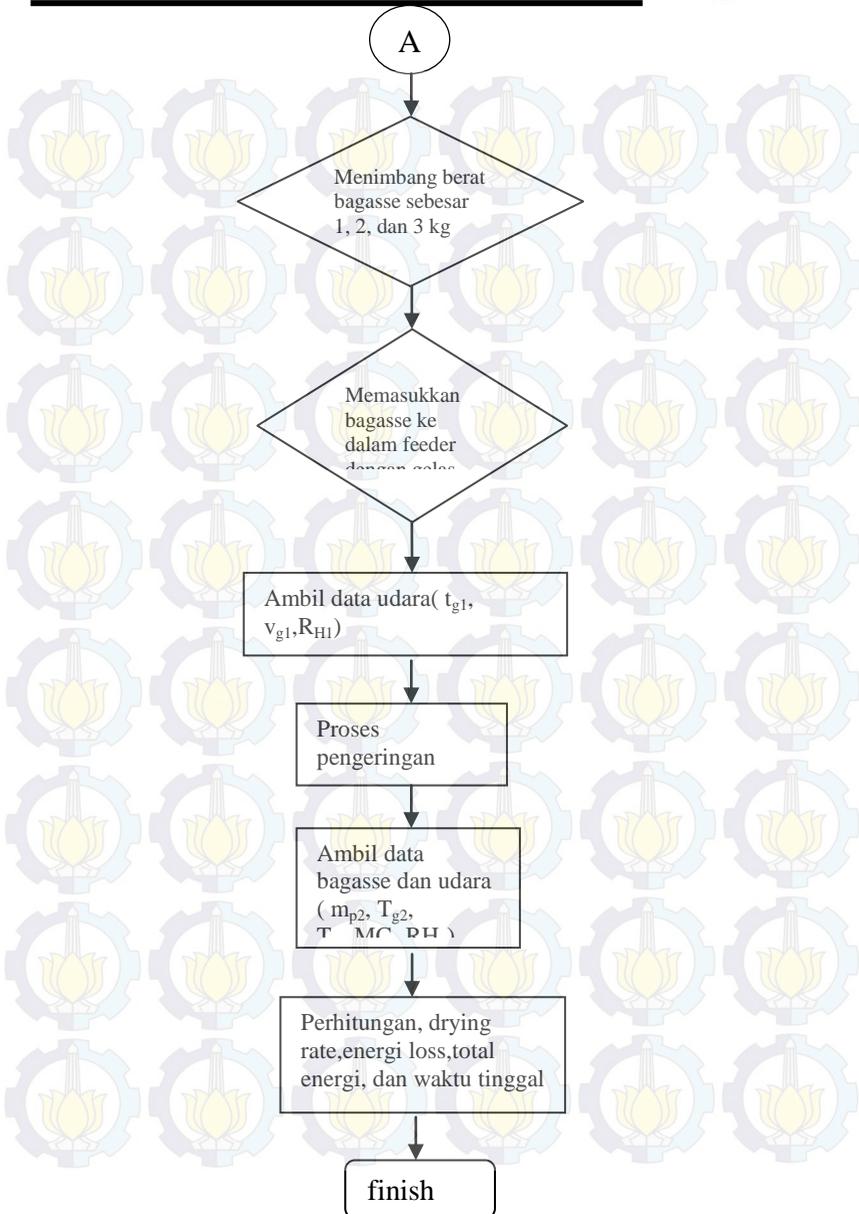
0. Udara masuk
1. Blower (FDF)
2. Pemanas listrik
3. Ampas basah masuk (m_{p1})
4. Feeder
5. Bejana pengering
6. Cyclone
7. Exhaust (gas buang)
8. Air lock manual
9. Produk (ampas kering)
10. Termometer dan pressure gauge inlet
11. Termometer dan pressure gauge outlet
12. Filter





3.3 Flowchart Langkah percobaan







3.4 Peralatan yang Digunakan 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 3.2. *Pneumatic Dryer* memiliki dimensi diameter bejana pengering sebesar 3 inch, dengan panjang 5 meter (ketinggian 4 meter), kemudian dilengkapi dengan tabung pemanas menggunakan elemen pemanas listrik 1,5 kW, 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 penunjang 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



Gambar 3. 2 Peralatan dan alat ukur yang digunakan



3.5 Tahap Percobaan

Tahapan percobaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyaring ampas menjadi 3 bagian berbeda, yaitu dengan ukuran diameter 1×1 mm, $1,5 \times 1,5$ mm , dan 3×3 mm.
2. Menimbang berat ampas sebesar 1 kg, sehingga untuk 3 variasi, diperlukan total massa ampas tebu sebesar 3 kg.
3. Mengukur kandungan air ampas menggunakan alat pengukur kadar air
4. Menyiapkan peralatan eksperimen, pemasangan alat ukur temperatur dan mengecek thermocouple pada saluran masuk dan sesaat sebelum keluar.
5. Menyalakan blower selama 10 menit.
6. Mengukur udara yang dihembuskan blower menggunakan Anemometer dan memastikan heater dalam kondisi mati.
7. Menyalakan heater dan menunggu selama 15 menit dengan variasi temperatur yang telah ditentukan yaitu sebesar 65 derajat Celcius dengan kecepatan hembusan 10 m/s.
8. Memasukkan ampas dengan ukuran 1×1 mm ke dalam feeder secara perlahan.
9. Mengukur dan mencatat waktu pengeringan, temperatur, berat dan kandungan air ampas ampas serta kelembaban dan temperatur sekitar.
10. Ulangi dengan variasi ukuran bagasse $1,5 \times 1,5$ mm dan 3×3 mm.



Tabel Rancangan Eksperimen

Parameter input		Parameter output	
Parameter Variabel tetap	Parameter Variabel berubah	Parameter Diukur	Parameter Dihitung
Bagasse basah a. Kandungan air = 50 % b. Temperatur (tp_1) = 30 °C c. Temperatur = 65 °C d. Kecepatan udara panas (vg) = 10 m/s	Laju aliran massa ampas basah (m_{p1}) 1) 1 kg/jam 2) 2 kg/jam 3) 3 kg/jam	Udara panas keluar a. Temperatur udara keluar (tg_2) b. kelembaban udara (RH_2)	Laju pengeringan ampas (w)
Udara Sekitar a. Temperatur sekitar = 30 °C b. RH1 = 0,8	Ukuran ampas: 1) 1×1 mm	Bagasse kering	Waktu tinggal (t)



Ukuran Mesin pengering				
a. Panjang bejana = 5000 mm			a. Berat (m_{p2})	
b. Diameter = 76 mm	2)		b. Temperatur (T_{p2})	
c. Diameter luar cyclone = 262 mm	1,5×1,5m		c. kandungan air (MC_2)	
d. Diameter dalam cyclone = 216 mm	3) 3×3 mm		ampas	Total Energi yang dibutuhkan (Q_{total})



halaman ini sengaja dikosongkan



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL PERCOBAAN

Data percobaan diperoleh dari hasil pengujian alat pengering bagasse dengan tipe Pneumatic/Flash Dryer dengan variasi laju aliran massa 1 kg/jam, 1,5 kg/jam, 2 kg/jam, 2,5 kg/jam dan 3 kg/jam. Variasi selanjutnya adalah variasi ukuran bagasse, yaitu 1×1 mm, $1,5 \times 1,5$ mm, dan 3×3 mm.

4.2. CONTOH PERHITUNGAN

Dari semua data yang diperoleh selama uji eksperimen dengan variasi laju aliran massa 1 kg/jam, 1,5 kg/jam, 2 kg/jam, 2,5 kg/jam, dan 3 kg/jam, dan variasi ukuran bagasse 1×1 mm, $1,5 \times 1,5$ mm, dan 3×3 mm, digunakan contoh perhitungan dengan data yang diambil pada variasi ukuran bagasse 1×1 mm dengan kecepatan 10 m/s dan temperature 65°C . Perhitungan data dilakukan dengan menggunakan persamaan yang sesuai dengan teori dan analogi. Berikut data yang diperoleh :

- Volume bagasse = $5,233 \times 10^{-10} \text{ m}^3$
- Koefisien drag dari bagasse = 0.47
- Luas permukaan bagasse = $2,826 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
- ρ_{udara} = 1.17 kg/m^3
- ρ_{bagasse} = 100 kg/m^3
- $\sin \theta$ = 90°

4.2.1 Menghitung Kecepatan Fluidisasi Minimum

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



$$v = \sqrt{\frac{2 \times 100 \times 5,233 \times 10^{-10} \times 9,8 - 5,233 \times 10^{-10} \times 1,17 \times 9,8}{2,07 \times 1,17 \times 1}}$$
$$v = 0,0038 \text{ m/s}$$

4.2.2 Menghitung 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. Menghitung Qloss

Pada suatu proses perpindahan panas, akan ditemukan adanya kerugian (losses). 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

r₁ = jari-jari dalam bejana

1. Kehilangan panas secara konveksi

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

Dimana :

h = koefisien transfer pada insulasi

2. Kehilangan panas secara radiasi

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

Dimana :

σ = konstanta Stefan Boltzman

ε = emisivitas material

**Tabel 4.** Geometri bejana

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

Tabel 5. Data insulasi

Material	Aluminium wool
Ketebalan (R_c)	0,02 m
Jari-jari (R_c)	0,038 m
Konduktivitas (k)	0,035 w/m ⁰ 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



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

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

2. Kehilangan panas secara konveksi

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

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

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:

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

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

$$Q_{\text{loss}} = 59,87 \text{ w} = 215,5 \text{ kJ/jam}$$

4.2.4. Menghitung Total Energi Pengeringan

Dalam perhitungan total energi ini, pengeringan berlangsung selama 10 menit terhadap sampel bagasse yang telah diambil pada percobaan dengan variasi laju aliran massa 1 kg/jam, 1,5 kg/jam, 2 kg/jam, 2,5 kg/jam dan 3 kg/jam dan variasi ukuran bagasse $1 \times 1 \text{ mm}$, $1,5 \times 1,5 \text{ mm}$ dan $3 \times 3 \text{ mm}$. adapun kecepatan dan temperaturnya adalah 10 m/s dan $65^\circ C$.

4.2.4.1. Menghitung Total Energi Pengeringan Variasi Laju Aliran Massa 1 kg/jam

Contoh perhitungan diambil pada laju aliran massa bagasse (mp) dengan kecepatan 10 m/s dan temperatur sebesar $65^\circ C$. untuk mencari Q_{total} , maka dapat dihitung dengan :



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

Dimana,

$$\begin{aligned} Q_p &= m_p C_{pp} (T_{p2} - T_{p1}) \\ &= 1 \text{ kg/jam} \times 1,5 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K} \times (38 - 30) \text{ C} \\ &= 12 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$C_{pp} = 1,5 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, berdasarkan referensi Thomas Johannes Hugo [10] untuk perhitungan desain pengering pada range temperatur 25 – 500 °C

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

Dimana W :

$$\begin{aligned} ww1 &= MC_1 \times mp_1 \\ &= 40 \% \times 1 \text{ kg/jam} \\ &= 0,4 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ww2 &= MC_2 \times mp_2 \\ &= 23,2 \% \times 0,71 \text{ kg/jam} \\ &= 0,16472 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

dimana mp_2 dapat dihitung dari :

$$\begin{aligned} mp_2 &= mp_1 - (mp_1(1 - (1 - X_{pi})/(1 - X_{po}))) \\ &= \frac{1 \text{ kg}}{\text{jam}} - \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \left(1 - \frac{1-0,40}{1-0,274} \right) \right) \\ &= 0,71 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



$$W = w_{w1} - w_{w2}$$

$$= 0,4 \text{ kg/jam} - 0,16472 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,23528 \text{ kg/jam}$$

Maka :

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

$$= 0,23528 \text{ kg/jam} (2430 \text{ kJ/kg} + 2,03 \text{ kJ/kg.K} (34,6 - 30)^{\circ}\text{C})$$

$$= 573,92 \text{ kJ/jam}$$

Sedangkan $Q_{\text{loss}} = 215,5 \text{ kJ/jam}$, Maka :

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

$$= 12 \text{ kJ/jam} + 573,92 \text{ kJ/jam} + 215,5 \text{ kJ/jam}$$

$$= 912,95 \text{ kJ/jam} = 0,25 \text{ kJ/s} = 0,25 \text{ kW}$$

Tabel 6. Data laju aliran massa dan total energi

Laju aliran massa (mp)	Q_{total} (uk.1×1mm)	Q_{total} (uk. 1,5mm)	Q_{total} (uk. 3×3mm)
1 kg/jam	912,95 kJ/jam	886,12 kJ/jam	845,56 kJ/jam
1,5 kg/jam	710,4 kJ/jam	684,21 kJ/jam	600,17 kJ/jam



2 kg/jam	514,31 kJ/jam	483,15 kJ/jam	411,3 kJ/jam
2,5 kg/jam	318,68 kJ/jam	281,34 kJ/jam	250,22 kJ/jam
3 kg/jam	150,54 kJ/jam	122,35 kJ/jam	98,95 kJ/jam

4.2.5 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_p), angka bilangan Nusselt partikel ampas (Nu_p), koefisien perpindahan panas (h_p).

4.2.5.1 Perhitungan Waktu Tinggal Variasi Ukuran Bagasse 1 × 1 mm

Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD)

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

$$LMTD_{gp} = \frac{(50 - 30) - (34,6 - 34,59)}{\ln \left(\frac{50 - 30}{34,6 - 34,59} \right)}$$

$$LMTD_{gp} = 1,04$$



Angka Bilangan Reynolds (Re)

Untuk menghitung angka Bilangan Reynolds adalah :

$$Re = \frac{\rho g U t d_{hed}}{\mu g}$$

$$Re = \frac{0,957087 \cdot 0,001235 \cdot 0,001}{1,91822E-05}$$

$$Re = 0,86$$

Angka Bilangan Nusselt Bagasse (Nu_p)

$$Nu_p = 0,4Re t^{\frac{2}{3}} + 0,06Re t^{\frac{2}{3}} Pr g^{0,4} \frac{\mu g T_g}{\mu g T_{surf}}$$

$$Nu_p =$$

$$0,4 \times 9,24^2 + 0,06 \cdot 9,24^2 \cdot 0,957087^{0,4} \frac{1,91822E-05 \cdot 50}{1,91822E-05 \cdot 30}$$

$$Nu_p = 91,71$$

Koefisien perpindahan panas (h_p).

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

$$h_p = \frac{349,89 \cdot 0,027432}{0,0015}$$

$$h_p = 2515,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Luas Partikel Ampas (A_p)

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

$$A_p = \frac{0,22 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} - 0,142 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1,04 \cdot 2515,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}}$$

$$A_p = 0,0462 \text{ m}^2$$

Maka waktu tinggal dapat dihitung dari persamaan :

$$t_p = \frac{A_p}{\alpha p m p}$$

$$t_p = \frac{0,0462 \text{ m}^2}{26,6 \frac{\text{m}^2}{\text{kg}} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}$$



$t_p = 1,83$ sekon

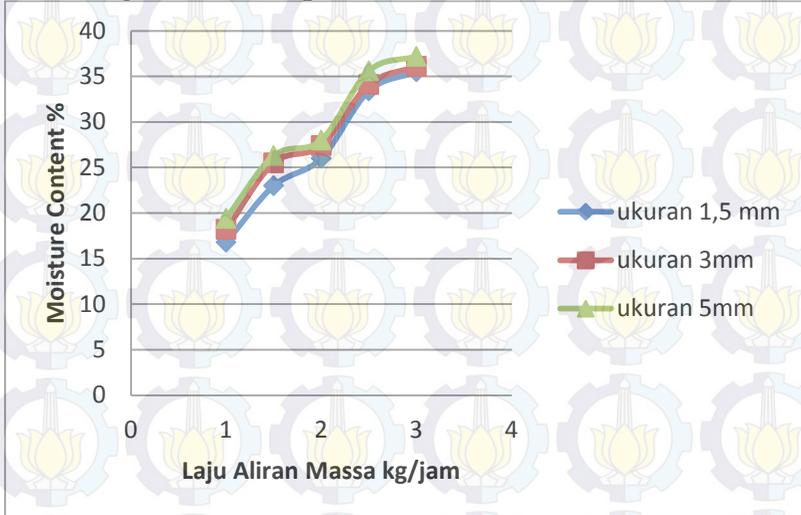
Tabel 7. Data variasi ukuran bagasse dan waktu tinggal

Laju aliran massa (kg/jam)	Waktu tinggal [s] (uk. 1x1mm)	Waktu tinggal (uk.1,5x1,5m) [s]	Waktu tinggal [s] (uk.3x3mm)
1	1.83	1.88	1.93
1.5	2.78	2.94	2.99
2	3.68	3.82	3.87
2.5	5.39	5.47	5.63
3	6.62	6.7	6.85



4.3 Analisa dan Pembahasan Hasil Eksperimen

4.3.1 Analisa Pengaruh Laju Aliran Massa dan Ukuran Massa Bagasse Terhadap Moisture Content



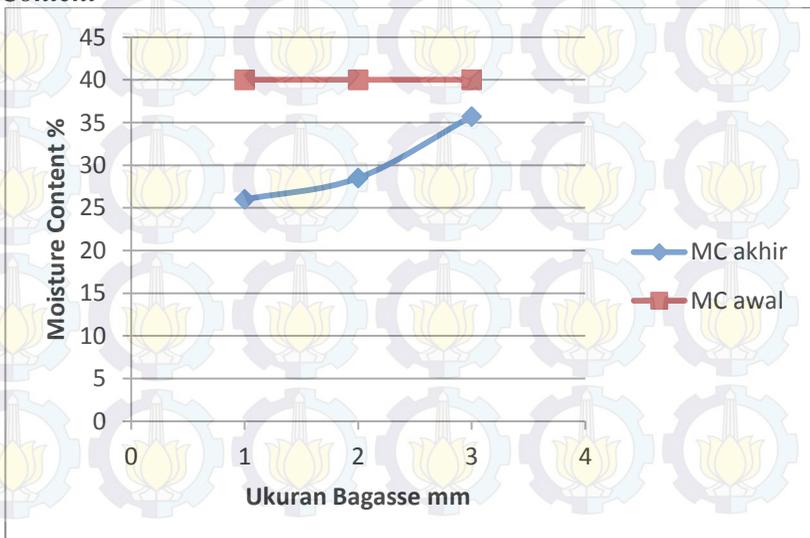
Gambar 4.1 Pengaruh laju aliran massa bagasse dan ukuran bagasse terhadap moisture content

Pada gambar 4.1 dapat diamati bahwa untuk kelima variasi laju aliran massa memiliki kenaikan trendline, trendline dari gambar diatas terlihat naik seiring dengan banyaknya laju aliran massa yang diberikan. Pada laju aliran massa sebesar 1 kg/jam memiliki moisture content paling rendah. Seiring dengan kenaikan laju aliran massa, moisture content yang didapat semakin besar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar laju aliran massa, maka akan semakin sedikit moisture content yang dapat diturunkan. Hal tersebut terjadi karena apabila semakin banyak laju aliran massa yang diberikan, maka kemampuan mesin dalam mengeringkan bagasse akan semakin menurun sehingga penurunan moisture content yang dihasilkan akan semakin rendah.



Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa hasil pengujian ini sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh Tawfik dkk [17]. Pada pengujian yang dilakukan oleh Tawfik dkk [17] menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran massa yang diberikan, maka penurunan moisture content akan rendah. Berdasarkan kesimpulan penelitiannya, bahwa *feeding rates of bagasse* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas pengeringan *bagasse* pada mesin *Pneumatic/Flash Dryer*. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa ukuran *bagasse* juga mempengaruhi kualitas pengeringan. Seperti dapat dilihat pada gambar, ukuran 1×1 mm memiliki moisture content yang paling rendah daripada ukuran $1,5 \times 1,5$ mm dan 3×3 mm. Hal ini sesuai dengan teori pada bab 2 [7] bahwa luas permukaan pengering berdampak pada kualitas pengeringan.

4.3.2 Analisa Pengaruh Ukuran Bagasse Terhadap Moisture Content



Gambar 4.2 Pengaruh ukuran bagasse terhadap moisture content

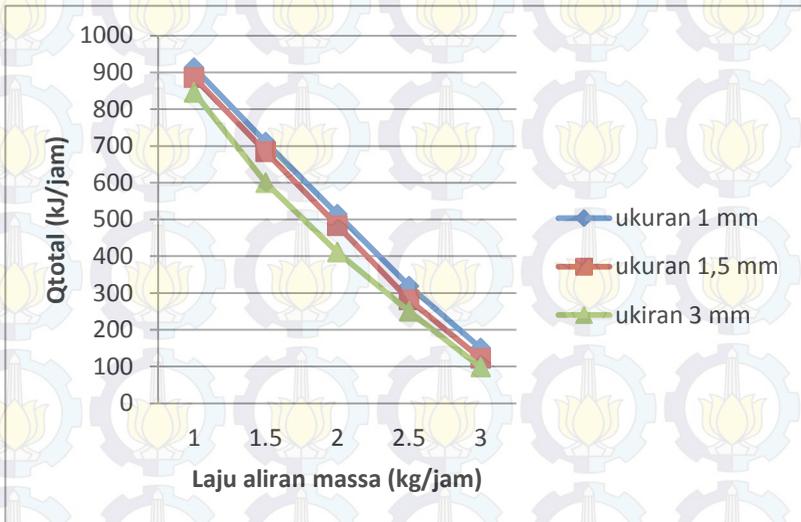


Pada gambar 4.2 dapat diamati bahwa untuk ketiga variasi ukuran bagasse memiliki kenaikan trendline, trendline dari gambar diatas terlihat naik seiring dengan semakin besarnya ukuran bagasse, dimana semakin kecil ukuran bagasse maka penurunan moisture content akan semakin tinggi seperti terlihat pada gambar 4.2, ukuran bagasse 1×1 mm memiliki moisture content sebesar 26 %. Berbeda dengan ukuran bagasse 3×3 mm yang memiliki moisture content sebesar 35,7 % dari moisture content awal produk sebesar 40 %. Hal ini terbukti bahwa semakin kecil partikel atau ukuran bagasse, maka kualitas pengeringan akan semakin baik.

Dari gambar juga dapat dilihat bahwa ukuran bagasse juga mempengaruhi kualitas pengeringan. Seperti dapat dilihat pada gambar, ukuran 1 × 1 mm memiliki penurunan moisture content yang paling tinggi dibandingkan dengan ukuran 1,5×1,5 mm dan 3×3 mm. Hal ini juga sesuai dengan teori pada bab 2 [7] bahwa luas permukaan pengering berdampak pada kualitas pengeringan.



4.3.3 Analisa Variasi Laju Aliran Massa dan Ukuran Bagasse Terhadap Q_{total}



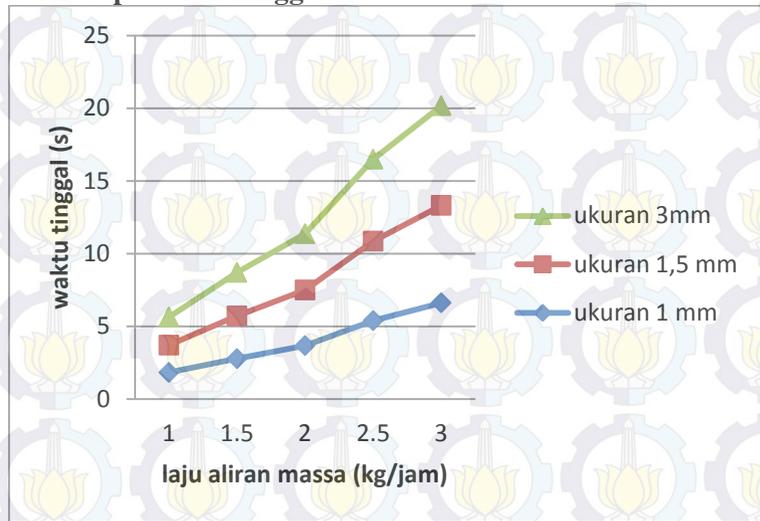
Gambar 4.3 Pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap Q_{total}

Gambar 4.3 merupakan grafik perbandingan pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap Q_{total} (energi total). Pada gambar 4.3 dapat diamati bahwa untuk kelima variasi laju aliran massa dan ukuran bagasse memiliki penurunan trendline, trendline dari gambar diatas terlihat turun seiring dengan semakin besarnya laju aliran massa dan ukuran *bagasse* yang diberikan. Dimana Q_{total} akan semakin rendah seiring dengan bertambahnya laju aliran massa dan ukuran bagasse. Hal ini dikarenakan semakin besar laju aliran massa dan partikel ukuran bagasse, maka mesin akan bekerja minimal untuk memenuhi kebutuhan pengeringan sehingga nilai Q_{total} nya akan semakin rendah. Besarnya laju aliran massa dan ukuran bagasse juga berpengaruh kepada waktu. Semakin banyak laju aliran massa dan ukuran massa maka waktu mesin bekerja juga akan



semakin lama. Hal ini akan berpengaruh pada Q_{total} (energi total).

4.3.4. Analisa Variasi Laju Aliran Massa dan Ukuran Bagasse Terhadap Waktu Tinggal



Gambar 4.4 Pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap waktu tinggal

Gambar 4.4 merupakan grafik perbandingan pengaruh laju aliran massa dan ukuran bagasse terhadap t_p (waktu tinggal). Pada gambar 4.4 dapat diamati bahwa untuk kelima variasi laju aliran massa dan ukuran bagasse memiliki kenaikan trendline, trendline dari gambar diatas terlihat naik seiring dengan semakin besarnya laju aliran massa dan ukuran bagasse yang diberikan. Dimana waktu tinggal akan semakin besar seiring dengan bertambahnya laju aliran massa dan ukuran bagasse. Hal ini dikarenakan semakin besar laju aliran massa dan partikel ukuran bagasse, maka mesin akan bekerja lebih lama sehingga waktu tinggalnya akan semakin lama.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dengan kajian pustaka dari beberapa buku dan penelitian sebelumnya, juga setelah dilakukan eksperimen terhadap *Pneumatic/Flash dryer* dan diakhiri dengan melakukan analisa grafik dari data hasil pengujian, penulis memberikan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan yang dapat disampaikan pada tugas akhir ini antara lain adalah :

1. Dari kelima variasi laju aliran massa dan ukuran *bagasse* yaitu : 1 kg/jam, 1,5 kg/jam, 2 kg/jam, 2,5 kg/jam, 3 kg/jam dan ukuran *bagasse* 1×1 mm, 1,5×1,5 mm, 3×3 mm, didapatkan bahwa laju aliran massa sebesar 1 kg/jam dan ukuran *bagasse* 1×1 mm memiliki *moisture content* yang paling besar yaitu 16,8 % dimana memiliki penurunan *moisture content* yang paling tinggi dibandingkan variasi yang lainnya dari *moisture content awal* sebesar 40 %.
2. Laju aliran massa terkecil 1 kg/jam dengan ukuran *bagasse* 1x1 mm memiliki total energi sebesar 912,95 kJ/jam. Sedangkan laju aliran massa terbesar yaitu 3 kg/jam dengan ukuran *bagasse* 3x3 mm memiliki total energi sebesar 98,95 kJ/jam. Energi total akan semakin rendah seiring dengan besarnya laju aliran massa dan ukuran *bagasse*.
3. Untuk memperoleh penurunan *moisture content bagasse* yang tinggi, maka yang harus diperhatikan adalah jumlah *feeding rates* atau laju aliran massa dan ukuran *bagasse* yang akan diberikan pada mesin pengering *Pneumatic/Flash dryer*.



5.2. Saran

Dari eksperimen yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang bertujuan agar eksperimen selanjutnya dapat menghasilkan performa yang lebih baik lagi, seperti berikut ini:

1. Memastikan kondisi alat ukur pada kondisi baik agar hasil data eksperimen akurat.
2. Melakukan perawatan terhadap alat eksperimen agar performa dan *reliability* alat tetap terjaga.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daranee, J., and Shabbir H. Gheewala, 2006. **Bagasse - A Sustainable Energy Resource from Sugar Mills**. *As. J. Energy Env.* 7(03), 356-366.
- [2] <http://www.biomass-energy.org/blog/make-pellet-from-sugarcane-bagasse.html>
- [3] Sujala Bhattarai, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae-Hyun Kim, and Liang Yu., **Simulation Study for Pneumatic Conveying Drying of Sawdust for Pellet Production**. Taylor & Francis Group. LLC.
- [4] M. G. Rasula., V. Rudolpha, M. Carsky. 1999. **Physical properties of bagasse**.
- [5] Gardner, W. 1971. **Industrial Drying**. London: PRESS.
- [6] Keey, R. B. 1978. **Introduction to Industrial Drying Operations**. Pergamon Press: Cleveland.
- [7] Repository.usu.ac.id-teori pengeringan by D Ginting
- [8] Thomas Johannes Hugo. **Pyrolysis of Sygarcane Bagasse**
- [9] Nebra, S.A.; Macedo, I.; de, C. **Pneumatic drying of bagasse sugarcane**. *International Sugar Journal* 1989, 91 (1081), 3–7, 12.
- [10] Wolverine Tube Heat Transfer Data Book
- [11] 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
- [12] Arrascaeta and P. Friedman. 1984. **Bagasse drying : past, present and future**. *Int. sugar J.*, vol. 86, no, 1021, pp. 3-6.
- [13] APV Dryer Handbook



- [14] A.S, Mujumdar. 1995. **Handbook of Industrial Drying: Equipment Selection and Application**. Second edition, vol. 2. Marcell Dekker. Inc pp. 978-992.
- [15] B.R, Radcliffe. Feb 1971. **Factors Affecting The Design of Pneumatic Dryers**. The Chemical Engineer.
- [16] Strumillo, C. Kudra, T. 1986. **Drying: Principles, Applications and Design**. Gordon and Breach Science Publishers: Montreaux, Switzerland
- [17] A.A. Tawfik, A.K. Abdel-Rahman² and M.R. Bayoumi³. **Pneumatic Bagasse Dryer Advantages & Performance (Experimental Study)**
- [18] Juan H. Sosa-Arnao a; Sílvia A. Nebra b, **Bagasse Dryer Role in the Energy Recovery of Water Tube Boilers University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2009.**



Lampiran 1

Tabel Data Hasil Eksperimen

Laju aliran massa (Kg/jam)	Temp. awal bagasse (°C)	Temp. udara (°C)	Kecepatan (m/s)	MC awal (%)	Berat awal Bagasse (kg)	Ukuran 1x1 mm			Ukuran 1,5x1,5 mm			Ukuran 3x3 mm		
						Temp. akhir bagasse (°C)	Berat akhir bagasse (kg)	MC akhir (%)	Temp. akhir bagasse (°C)	Berat akhir bagasse (kg)	MC akhir (%)	Temp. akhir bagasse (°C)	Berat akhir bagasse (kg)	MC akhir (%)
1	30	65	10	40	1	34,6	0,71	16,8	34,5	0,7	18,2	34,4	0,68	19,4
1,5	30	65	10	40	1,5	34,4	1,15	23	34,3	1,13	25,5	34,2	1,10	26,3
2	30	65	10	40	2	34,2	1,68	26	34,1	1,64	27,4	34	1,5	28
2,5	30	65	10	40	2,5	34	1,97	33,4	33,9	1,8	34,1	33,7	1,75	35,6
3	30	65	10	40	3	33,9	2,5	35,5	33,8	2,24	36,1	33,6	2,15	37,2

Tabel Data Hasil Perhitungan Ukuran 1x1 mm

NO	Laju aliran massa (kg/jam)	Temperature awal bagasse (°C)	Temperature akhir bagasse (°C)	Berat awal bagasse (kg)	Berat akhir bagasse (kg)	MC awal bagasse (%)	MC akhir bagasse (%)	Qtotal (kJ/jam)	Waktu tinggal (tp)
1	1	30	34,6	1	0,71	40	16,8	912,95	1,83
2	1,5	30	34,4	1,5	1,15	40	23	710,4	2,78
3	2	30	34,2	2	1,68	40	26	514,31	3,68
4	2,5	30	34	2,5	1,97	40	33,4	318,68	5,39
5	3	30	33,9	3	2,5	40	35,5	150,45	6,62

Tabel Data Hasil Perhitungan Ukuran 1,5x1,5 mm

NO	Laju aliran massa	Temperature awal bagasse	Temperature akhir bagasse	Berat awal bagasse	Berat akhir bagasse	MC awal bagasse	MC akhir bagasse	Qtotal	Waktu tinggal (tp)
	(kg/jam)	(°C)	(°C)	(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kJ/jam)	(tp)
1	1	30	34,5	1	0,7	40	18,2	886,12	1,88
2	1,5	30	34,3	1,5	1,13	40	25,5	684,20	2,94
3	2	30	34,1	2	1,64	40	27,4	483,15	3,82
4	2,5	30	33,9	2,5	1,8	40	34,1	281,34	5,47
5	3	30	33,8	3	2,24	40	36,1	122,35	6,70

Tabel Data Hasil Perhitungan Ukuran 3x3 mm

NO	Laju aliran massa (kg/jam)	Temperature awal bagasse (°C)	Temperatur akhir bagasse (°C)	Berat awal bagasse (kg)	Berat akhir bagasse (kg)	MC awal bagasse (%)	MC akhir bagasse (%)	Qtotal (kJ/jam)	Waktu tinggal (tp) (s)
1	1	30	34,4	1	0,68	40	19,4	845,56	1,93
2	1,5	30	34,2	1,5	1,10	40	26,3	600,12	2,99
3	2	30	34	2	1,5	40	28	411,3	3,87
4	2,5	30	33,7	2,5	1,75	40	35,6	250,22	5,63
5	3	30	33,6	3	2,15	40	37,2	98,95	6,85



DAFTAR SIMBOL

- C_{pp} = Specific heat capacity ampas (kJ/kg.K)
- $C_{p,va}$ = 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 °C)
- mg = Laju aliran massa udara panas (kg/s)
- mp = 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)
- Re = angka bilangan Reynold
- S = luas penampang bejana pengering (m²)
- T_{g1} = Temperatur partikel ampas inlet (°C)
- T_{g2} = Temperatur partikel ampas inlet (°C)



T_{p1} = Temperatur partikel ampas inlet ($^{\circ}\text{C}$)

T_{p2} = Temperatur partikel ampas outlet ($^{\circ}\text{C}$)

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_p = Kandungan air ampas inlet, dalam fraksi berat

X_{p2} = Kandungan air ampas outlet, dalam fraksi berat

Y_{g2} = H₂O yg terkandung dalam udara panas outlet

Y_{g1} = H₂O yg terkandung dalam udara panas inlet

h_p =

koef. perpindahan panas konveksi udara dan partikel ampas (kW/m² °C)

ρ_p = density partikel ampas (kg/m³)

ρ_g = density udara panas (kg/m³)

μ_g = Viskositas udara panas (kg/m.s)





RIWAYAT PENULIS



Nur Achadah lahir di Gresik, 7 Oktober 1991 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Dharma Wanita Kemangi, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di MI Al-Hidayah Kemangi selama 6 tahun yakni pada tahun 1997-2003. Lalu penulis melanjutkan pendidikan di MTs. Al-Hidayah Kemangi selama 3 tahun yakni di tahun 2003-2006 kemudian melanjutkan di MA Kanjeng Sepuh Sidayu selama 3 tahun yakni tahun 2006-2009. Lalu penulis melanjutkan pendidikan tingginya menempuh jalur sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin dengan NRP : 2109100705.

Selama masa perkuliahan penulis aktif menjadi pengurus dalam organisasi CSS MORA ITS, 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 dengan topik pengeringan *bagasse* dibawah bimbingan Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT.

E-mail : achadah.nur@gmail.com



Halaman ini sengaja dikosongkan