

PROYEK AKHIR-VM191774

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN SUDUT *BLADE* 10°
DAN 20° SERTA TEMPERATUR *INLET* 40°C, 45°C, DAN
50°C PADA *SWIRLING FLUIDIZED BED* UNTUK
PENGERINGAN *CASCARA***

FATAN ODHI DANDHA

10211810010006

Dosen Pembimbing

M. Lukman Hakim, S.T., M.T

1994201911070

Rivai Wardhani, S.T., M.Sc

198107222009121004

Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



PROYEK AKHIR-VM191774

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN SUDUT *BLADE* 10°
DAN 20° SERTA TEMPERATUR *INLET* 40°C, 45°C, DAN
50°C PADA *SWIRLING FLUIDIZED BED* UNTUK
PENGERINGAN *CASCARA***

FATAN ODHI DANDHA
10211810010006

Dosen Pembimbing
M. Lukman Hakim, S.T., M.T
1994201911070
Rivai Wardhani, S.T., M.Sc
198107222009121004

Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT-VM191774

COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY OF 10° AND 20° BLADE ANGLE WITH INLET TEMPERATURE OF 40°C, 45°C, AND 50°C IN SWIRLING FLUIDIZED BED FOR CASCARA DRYING

FATAN ODHI DANDHA
10211810010006

Advisor

M. Lukman Hakim, S.T., M.T.
1994201911070

Rivai Wardhani, S.T., M.Sc
198107222009121004

Study Program Energy Conversion Engineering
Department of Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocation
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN SUDUT BLADE 10° DAN 20° SERTA
TEMPERATUR INLET 40°C, 45°C, DAN 50°C PADA SWIRLING FLUIDIZED BED
UNTUK PENGERINGAN CASCARA**

PROYEK AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Teknik Pada
Program Studi D-4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **Fatan Odhi Dandha**
NRP. 10211810010006

Disetujui oleh Tim Penguji Proyek Akhir:

1. **M. Lukman Hakim, S.T., M.T.** Pembimbing
(NIP. 1994201911070)
2. **Rivai Wardhani, S.T., M.Sc.** Ko-Pembimbing
(NIP. 19810722 200912 1 004)
3. **Ir. Denny M.E Soedjono, M.T.**
(NIP. 19570331 198803 1 001)
4. **Ir. Joko Sarsetiyanto, M.T.**
(NIP. 19610602 198701 1 001)



(Handwritten signatures of the four examiners)

SURABAYA
Juli, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Fatan Odhi Dandha / 10211810010006
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen pembimbing / NIP : M. Lukman Hakim, S.T., M.T. / 1994201911070

dengan ini menyatakan bahwa Proyek Akhir dengan judul "Studi Eksperimen Perbandingan Sudut Blade 10° dan 20° Serta Temperatur Inlet 40°C, 45°C, dan 50°C Pada Swirling Fluidized Bed Untuk Pengeringan Cascara" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(M. Lukman Hakim, S.T., M.T.)
NIP. 1994201911070

Mahasiswa,



(Fatan Odhi Dandha)
NRP. 10211810010006

STUDI EKSPERIMEN PERBANDINGAN SUDUT BLADE 10° DAN 20° SERTA TEMPERATUR INLET 40°C, 45°C, DAN 50°C PADA SWIRLING FLUIDIZED BED TERHADAP PENGERINGAN CASCARA

Nama / NRP : Fatan Odhi Dandha / 10211810010006
Departemen : Teknik Mesin Industri FV - ITS
Dosen Pembimbing I : M. Lukman Hakim, S.T., M.T
Dosen Pembimbing II : Rivai Wardhani, S.T., M.Sc

Abstrak

Indonesia adalah negara penghasil kopi terbesar ke-empat di dunia. Dalam mengolah kopi, akan dihasilkan limbah kulit kopi. Limbah ini bisa mencemari air, tanah, maupun udara bila tidak diolah dengan baik. Saat ini beberapa petani kopi mulai mengolah kulit kopi untuk dijadikan minuman bernama teh cascara. Minuman ini memiliki nilai ekonomis tinggi dan bermanfaat bagi kesehatan. Proses pembuatan teh cascara dimulai dari pengeringan. Metode konvensional memanfaatkan sinar matahari dengan kekurangan waktu yang dibutuhkan cukup lama. Sedangkan bila menggunakan oven, waktunya bisa lebih cepat namun menurunkan kualitas dari teh. Hal ini karena semakin tinggi temperatur akan mengurangi kadar polifenol di dalam kulit kopi. Maka, dibutuhkan alat pengering bertemperatur rendah yang bisa mengeringkan dengan cepat.

Eksperimen dilakukan menggunakan *swirling fluidized bed* (SFB) untuk membuat udara pengering dengan temperatur rendah mampu mengeringkan kulit kopi dengan cepat sehingga menjaga jumlah kadar polifenol di dalamnya. Beban pengeringan seberat 200 gr dengan diameter rata-rata kulit kopi sebesar 8 milimeter. Sampel dikeringkan dengan interval waktu sepuluh menit dan kelipatannya, sampai kadar airnya mencapai 8%. Hal ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk produk teh dalam kemasan, dan membuat ketahanan serta aroma dari teh lebih tahan lama. Setelah dikeringkan, sampel ditimbang untuk mengetahui perubahan massanya, kemudian dikeringkan dalam oven untuk mendapatkan massa solidnya. Variasinya adalah sudut *blade* sebesar 10° dan 20°, serta temperatur udara pengering pada *inlet* SFB sebesar 40°C, 45°C, dan 50°C. Di dalam SFB, selama proses pengeringan akan diukur kecepatan udara, temperatur udara, serta konsumsi daya dari *heater* dan *blower*.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sudut *blade* 10° dan temperatur *inlet* 50°C memiliki karakteristik pengeringan yang terbaik dibandingkan variasi yang lain dalam hal efisiensi, koefisien perpindahan massa, laju pengeringan, dan waktu pengeringannya. Untuk waktu pengeringan, diperlukan sekitar 60 menit agar cascara memiliki kadar air kurang dari 8%, dengan temperatur *inlet* 50°C pada sudut *blade* 10° maupun 20°. Hal ini dipengaruhi oleh faktor nilai koefisien perpindahan massa yang semakin naik seiring kenaikan temperatur pengeringan. Sedangkan nilai efisiensi pengeringan akan semakin naik dengan kenaikan temperatur pengeringan dan semakin turun dengan kenaikan derajat sudut *blade*.

Kata kunci: *Cascara, Swirling Fluidized Bed, Laju Pengeringan, Koefisien Perpindahan Massa, Efisiensi Pengeringan.*

COMPARATIVE EXPERIMENTAL STUDY OF 10° AND 20° BLADE ANGLE WITH INLET TEMPERATURE OF 40°C, 45°C, AND 50°C IN SWIRLING FLUIDIZED BED FOR CASCARA DRYING

Name / NRP : Fatan Odhi Dandha / 10211810010006
Department : Industrial Mechanical Engineering FV - ITS
Advisor : M. Lukman Hakim, S.T, M.T
Co-Advisor : Rivai Wardhani, S.T., M.Sc

Abstract

Indonesia is the fourth largest coffee producer in the world. In coffee processing, it will produce coffee skin waste. This waste can cause water, soil, or even air pollution when not treated properly. Currently, there are already some coffee farmers starting to process these coffee fruit's skin to become a drink called cascara tea. This drink has a high economic value and is beneficial for health. The process of making cascara tea begins with drying. Conventional method uses the sunlight as the medium but this has weakness as it takes quite a long time. Meanwhile, when using an oven, drying time can be faster but it decreases the quality of the tea. This is because higher temperature will reduce the amounts of polyphenols contained inside the cascara. So, we need a drying machine with low operating temperature but fast drying process.

Experiments were carried out using a swirling fluidized bed (SFB) to make drying air at low temperature able to dry cascara quickly so as to maintain the amount of polyphenol content in it. The drying load is 200 gr with an average diameter of cascara is 8 mm. The samples were dried at intervals of ten minutes until the moisture content reached 8%. This refers to the Indonesian National Standard (SNI) for packaged tea products, and makes the durability and aroma of tea more durable. After drying, the sample was weighed to determine the change in mass, then dried in an oven to obtain the solid mass. The variations are the blade angle of 10° and 20°, and the drying air temperature at the SFB inlet of 40°C, 45°C, and 50°C. During the drying process, the air velocity, air temperature, and power consumption of the heater and blower will be measured.

The experimental results show that the blade angle of 10° and drying temperature of 50°C has the best drying characteristics compared to other variations in terms of efficiency, mass transfer coefficient, drying rate, and drying time. For drying time, it takes about 60 minutes for the cascara to have a moisture content of less than 8%, with a drying temperature of 50°C at blade angles of 10° and 20°. This is influenced by the factor of the mass transfer coefficient value which increases as the drying temperature increases. For the value of drying efficiency, it will increase with the increase in drying temperature and decrease along with the increase in the degree of blade angle.

Keywords: *Cascara, Swirling Fluidized Bed, Drying Rate, Mass Transfer Coefficient, Drying Efficiency.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena rida dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir dengan judul Studi Eksperimen Perbandingan Sudut Blade 10° dan 20° Serta Temperatur Inlet 40°C , 45°C , dan 50°C Pada Swirling Fluidized Bed Untuk Pengeringan Cascara ini. Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Atas segala bantuan dan dukungannya, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T., selaku dosen wali penulis dan Kepala Departemen Teknik Mesin Industri yang telah membantu dalam perkuliahan penulis
2. Bapak Muhammad Lukman Hakim, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan tuntunan dan fasilitas dalam pelaksanaan proyek akhir dan penulisan laporan proyek akhir
3. Bapak Rivai Wardhani S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan proyek akhir
4. Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T selaku Koordinator Proyek Akhir Departemen Teknik Mesin Industri yang telah membantu melaksanakan seluruh kegiatan sidang proyek akhir
5. Seluruh dosen pengajar di Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan bekal ilmu
6. Karyawan workshop DTMI-ITS dan MRI Keputih yang telah membantu penulis dalam kegiatan eksperimen
7. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan moral dan fasilitas kepada penulis
8. Bapak Sutanto selaku Bendahara dari Kelompok Tani Rukun Maju VIII atas ilmu dan suplai kulit kopi yang diberikan
9. Teman-teman seperjuangan, Agus, Grandis, dan Julieta yang telah mendampingi dalam kegiatan eksperimen
10. Teman-teman angkatan 2018 atas kebersamaan selama kuliah di Fakultas Vokasi-ITS.

Surabaya, 23 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Penelitian Terdahulu.....	3
2.1.1 Experimental Study At The Effect Of Angle Of Blade Inclination On Coal Swirl Fluidized Bed Drying	3
2.1.2 Hydrodynamics Investigation of Pepper Drying In A Swirling Fluidized Bed Dryer With Multiple-group Twisted Tape Swirl Generators.....	3
2.2 Swirling Fluidized Bed.....	4
2.3 Mekanisme Pengeringan.....	5
2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan.....	5
2.5 Konsep Mekanika Fluida Pada Swirling Fluidized Bed.....	6
2.6 Laju Pengeringan.....	6
2.7 Konsep Perpindahan Massa.....	7
2.7.1 Koefisien Perpindahan Massa	7
BAB III METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Variabel Penelitian	12
3.2 Peralatan Penunjang Penelitian	12
3.3 Instalasi Penelitian.....	15
3.4 Diagram Alir.....	16
3.4.1 Diagram Alir Penelitian.....	16
3.4.2 Diagram Alir Pengujian.....	18
3.5 Tabel Pengambilan Data.....	19
3.6 Jadwal Kegiatan.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Data Hasil Eksperimen	22
4.2. Analisis Cascara	22
4.2.1 Interpretasi Grafik Massa Cascara.....	22
4.2.2 Perhitungan Kadar Air Cascara	23
4.2.3 Interpretasi Grafik Kadar Air Cascara.....	23
4.2.4 Perhitungan Laju Pengeringan.....	24
4.2.5 Interpretasi Grafik Laju Pengeringan	24
4.2.6 Koefisien Perpindahan Massa Konveksi Udara Pengering Dengan Cascara.....	25
4.2.7 Interpretasi Grafik Koefisien Perpindahan Massa.....	25
4.3 Analisis Efisiensi Swirling Fluidized Bed Dryer.....	26

4.3.1 Interpretasi Grafik Efisiensi Pengeringan.....	29
BAB V PENUTUP	30
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran	30
BIODATA PENULIS.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Nilai Koefisien Perpindahan Massa	3
Gambar 2.2 Instalasi Penelitian SFB.....	3
Gambar 2.3 Hasil Penelitian Chuwattanakul.....	4
Gambar 2.4 Instalasi Penelitian Chuwattanakul.....	4
Gambar 2.5 Swirling Fluidized Bed.....	5
Gambar 2.6 Grafik Proses Pengeringan	5
Gambar 2.7 Neraca Kalor.....	8
Gambar 3.8 Timbangan Digital.....	12
Gambar 3.9 Thermometer Digital	12
Gambar 3.10 Blower Sentrifugal.....	13
Gambar 3.11 Anemometer	13
Gambar 3.12 Oven.....	13
Gambar 3.13 Inverter 3 Phase	14
Gambar 3.14 Thermocontrol	14
Gambar 3.15 Pemanas Udara	14
Gambar 3.16 Power Meter.....	15
Gambar 3.17 Infrared Thermometer.....	15
Gambar 3.18 Flexible Ducting	15
Gambar 3.19 Instalasi Penelitian.....	16
Gambar 3.20 Penempatan Alat Ukur.....	16
Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian.....	18
Gambar 3.22 Diagram Alir Pengujian.....	19
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Antara Massa Dan Waktu Pengeringan Cascara	22
Gambar 4.24 Grafik Hubungan Antara Kadar Air Dan Waktu Pengeringan.....	23
Gambar 4.25 Grafik Hubungan Antara Laju Pengeringan Dan Waktu Pengeringan Cascara	24
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara Koefisien Perpindahan Massa dan Temperatur	26
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Antara Efisiensi Pengeringan Dan Temperatur Inlet SFB.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian	20
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir	21
Tabel 4.3 Sifat-sifat Udara Pada Temperatur 321,5 K	26
Tabel 4.4 Sifat-sifat Udara Pada Temperatur 317,5 K	27
Tabel 4.5 Sifat-sifat Udara Pada Temperatur 309 K	28

DAFTAR SIMBOL

KA1	Kadar air awal, %
Mb	Massa cascara segar, kg
Mk	Massa solid cascara, kg
Md	Massa cascara dikeringkan, kg
KA2	Kadar air setelah dikeringkan, %
LP	Laju pengeringan, %/min
t	Waktu, s
N _{UD}	Nusselt number
Re _D	Reynolds number
Pr	Prandtl number
Sh _D	Sherwood number
Sc	Schmidt number
V	Kecepatan, m/s
D	Diameter, m
ν	Viskositas kinematik, m ² /s
D _{AB}	Binary mass diffusivity, m ² /s
Hm	Koefisien perpindahan massa konveksi, m/s
T	Temperatur, K
Tf	Temperatur film, K
\dot{m}	Laju aliran massa, kg/s
ρ	Massa jenis, kg/m ³
A	Luas permukaan, m ²
Q _{in}	Kalor masuk, J/s
Cp	Kapasitas kalor spesifik, kJ/kgK
β	Koefisien ekspansi
Ra _L	Bilangan Rayleigh
g	Percepatan gravitasi, m/s ²
L	Panjang, m
α	Thermal diffusivity, m ² /s
Nu _L	Bilangan Nusselt
k	Thermal conductivity, W/mK
\bar{h}	Koefisien perpindahan panas konveksi, W/m ² K
Q _{cond}	Perpindahan panas konduksi, W/m ²
Q _{loss}	Kalor yang terbuang, Watt
Q _{produk}	Kalor yang diserap produk, Watt
R _{total}	Thermal resistance total, K/W
η	Efisiensi, %

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

U.S Department of Agriculture (2021) menyatakan bahwa Indonesia adalah negara produsen kopi terbesar ke-empat di dunia. Untuk mendapatkan biji kopi, harus melalui proses pengolahan yang menghasilkan limbah kulit kopi. Dalam mengolah 100 kg buah kopi diperkirakan akan menghasilkan 57 kg biji kopi dan 43 kg daging serta kulit kopi. Umumnya limbah tersebut dijadikan pakan ternak, pupuk, atau bahkan dibuang (Kurnia Novita Sari et al., 2021). Limbah yang dibuang mampu menimbulkan pencemaran lingkungan dalam bentuk polusi udara, tanah, ataupun air sehingga bisa mengganggu masyarakat (Muzaifa et al., 2014).

Saat ini kulit kopi juga diolah menjadi minuman bernama teh cascara. Minuman ini memiliki nilai ekonomis tinggi dan beragam manfaat seperti mengurangi dampak radikal bebas dan menjaga kesehatan lambung (Kurnia Novita Sari et al., 2021). Manfaat tersebut bisa diperoleh karena kulit kopi mengandung empat kelas senyawa polifenol yaitu antosianidin, asam hidroksinamat, *flavonol*, dan *flavan-3-ol* (Ariva et al., 2020). Harga jual teh cascara dalam kemasan bisa mencapai Rp15.000 tiap 100 gram.

Sebelum bisa diseduh layaknya teh, kulit buah kopi harus dikeringkan (Kurnia Novita Sari et al., 2021). Metode yang umum digunakan adalah dijemur dibawah sinar matahari. Penelitian telah dilakukan dengan pengering kabinet dan oven, hasilnya, pengeringan dengan kabinet selama 5 jam menghasilkan cascara dengan kandungan polifenol yang lebih rendah dibandingkan metode jemur selama 20 jam (Nafisah et al., 2018), sedangkan oven dapat mencapai kandungan polifenol tertinggi dalam pengeringan bertemperatur 45 °C dan waktu 32 jam (Ariva et al., 2020).

Berdasarkan kasus tersebut, maka diperlukan mesin pengering bertemperatur rendah yang mampu mengeringkan dengan cepat. Salah satu metode yang bisa digunakan yaitu *swirling fluidized bed* (SFB). Yahya (2015) menyatakan bahwa ruang pengering berbentuk *flatbed* kurang baik dalam keseragaman temperatur, sehingga kekeringan bahan kurang merata. Masalah ini dapat teratasi dengan sistem *fluidized bed* karena terjadi kontak yang baik antara udara pengering dengan bahan yang dikeringkan. Ozbey & Soylemez (2005) juga melakukan penelitian dengan menambahkan *swirling flow* pada *fluidized bed* untuk mengeringkan biji gandum. Hasilnya udara yang *swirling* mampu meningkatkan laju pengeringan hingga 25%. Simanjuntak et al. (2016) juga melakukan penelitian untuk mengeringkan batu bara dengan SFB menggunakan variasi sudut blade. Hasilnya sudut 10° mampu mengeringkan lebih baik dibandingkan sudut 20° dan 30°.

Berdasarkan permasalahan dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, melalui mata kuliah Proposal Proyek Akhir ini penulis mengajukan penelitian dengan judul Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Sudut Blade Dan Temperatur Inlet Pada Swirling Fluidized Bed Terhadap Pengeringan Cascara. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan memahami variabel-variabel yang mempengaruhi proses pengeringan cascara berdasarkan metode yang dipilih oleh penulis, serta agar mampu merancang dan membangun mesin pengering cascara yang efektif dan efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari permasalahan diatas, rumusan masalah yang diusulkan oleh penulis adalah:

1. Bagaimana hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C, 45°C, dan 50°C) terhadap waktu pengeringan cascara?

2. Bagaimana hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap laju pengeringan cascara?
3. Bagaimana hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap koefisien perpindahan massa?
4. Bagaimana hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap efisiensi pengeringan?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terpusat ke permasalahan yang diteliti maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengeringan dilakukan di dalam lingkungan bertekanan konstan (1 atm)
2. Sistem dianalisis dalam keadaan stabil/*steady*
3. Udara pengering diasumsikan sebagai gas ideal
4. Aliran udara diasumsikan *incompressible*
5. Beban pengeringan di setiap percobaan adalah konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah:

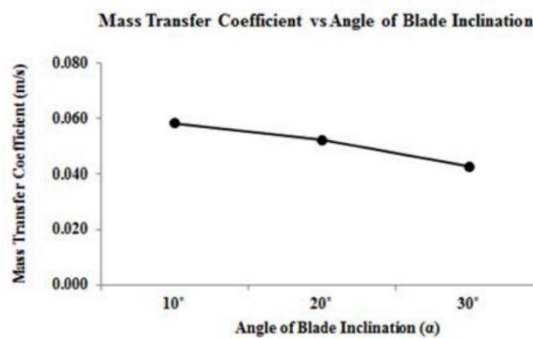
- a. Menganalisis hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap waktu pengeringan cascara
- b. Menganalisis hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap laju pengeringan cascara
- c. Menganalisis hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap koefisien perpindahan massa
- d. Menganalisis hasil perbandingan sudut *blade* (10° dan 20°) dan temperatur inlet (40°C , 45°C , dan 50°C) terhadap efisiensi pengeringan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

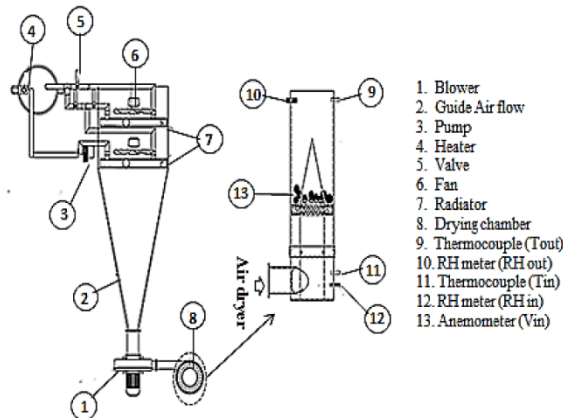
2.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1 Experimental Study At The Effect Of Angle Of Blade Inclination On Coal Swirl Fluidized Bed Drying

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut *blade* pada *swirling fluidized bed* (SFB) terhadap pengeringan batubara. Metodenya yaitu mengeringkan batubara lalu mengambil sampel seberat dua sampai tiga gram dengan interval waktu tertentu. Kemudian dilakukan pengukuran temperatur *dry bulb* dan *relative humidity* pada saluran masuk dan keluar SFB. Variasi yang digunakan adalah sudut blade 10°, 20°, dan 30°. Hasil dari penelitian ini yaitu sudut 10° menghasilkan nilai koefisien perpindahan massa terbesar senilai 0,0582 m/s.



Gambar 2.1 Grafik Nilai Koefisien Perpindahan Massa (Simanjuntak et al., 2016)

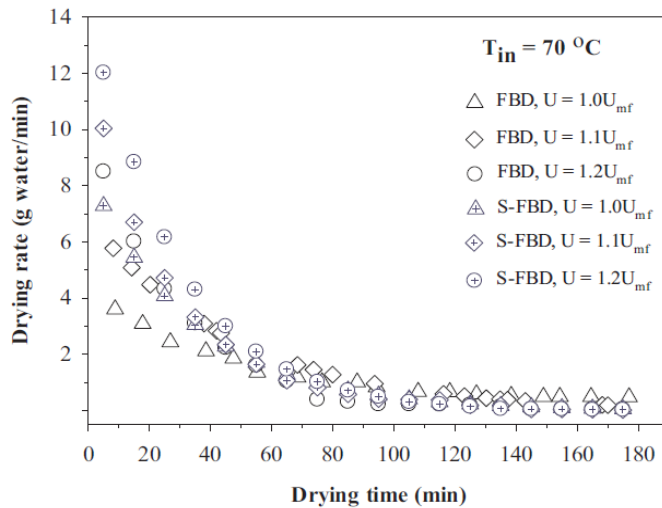


Gambar 2.2 Instalasi Penelitian SFB (Simanjuntak et al., 2016)

2.1.2 Hydrodynamics Investigation of Pepper Drying in A Swirling Fluidized Bed Dryer With Multiple-group Twisted Tape Swirl Generators

Chuwattanukul & Eiamsa (2019) melakukan penelitian pengeringan lada dengan variasi jenis fluidized bed yaitu dengan *swirling* dan tanpa *swirling*. Yang bertujuan untuk mengamati perubahan kadar air dan laju pengeringan. Metodenya yaitu lada seberat 200gr dikeringkan dalam fluidized bed dengan interval waktu setiap 10 menit untuk diamati perubahan kadar airnya. Setelah dikeringkan maka lada ditimbang dan datanya dicatat. Untuk mendapatkan

kadar air awal, lada dioven dengan temperatur 100°C selama 48 jam. Hasilnya, fluidized bed dengan swirling mampu mengurangi kadar air lebih cepat.



Gambar 2.3 Hasil Penelitian Chuwattanakul (Chuwattanakul & Eiamsa-Ard, 2019)

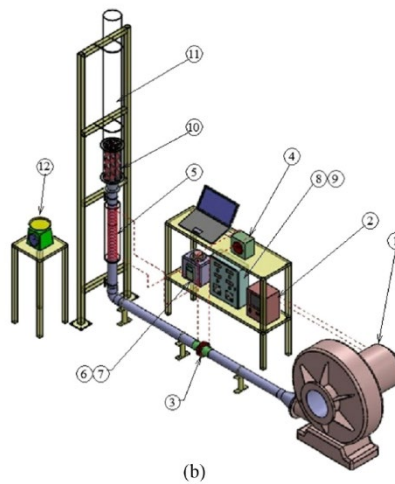
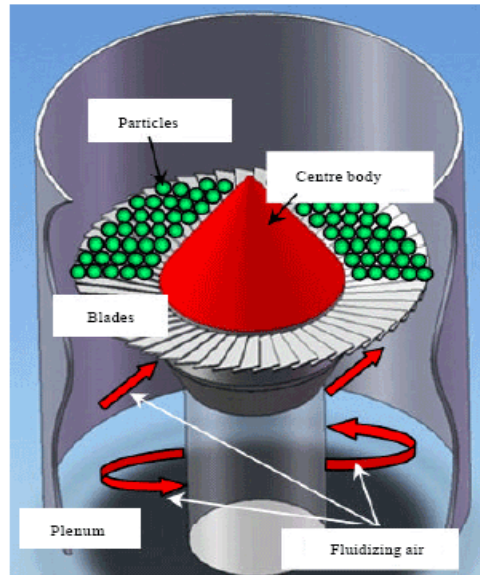


Fig. 3. (continued)

Gambar 2.4 Instalasi Penelitian Chuwattanakul (Chuwattanakul & Eiamsa-Ard, 2019)

2.2 Swirling Fluidized Bed

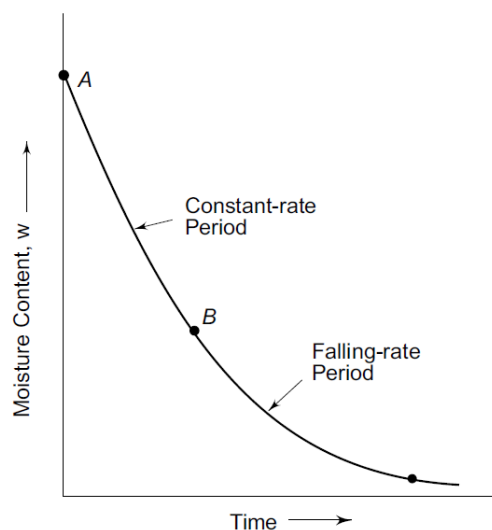
Menurut Tawfik et al. (2020) *swirling fluidized bed* (SFB) merupakan metode tingkat lanjut yang mengatasi permasalahan pada *fluidized bed* biasa seperti *pressure drops* dan pengeringan yang kurang merata. Gerakan memutar (*swirling*) di dalam SFB mampu menyediakan kontak yang lebih baik antara udara dan benda yang dikeringkan. Ketika udara melewati *blades* maka alirannya akan terbagi menjadi dua, yaitu vertikal yang menyebabkan efek fluidisasi dan horizontal yang menyebabkan partikel memutar. Penambahan *cone* pada bagian tengah *bed* juga terbukti mampu menurunkan *pressure drops* serta meningkatkan koefisien perpindahan panas. Sedangkan *plenum* yang berbentuk silinder penuh menurut Putra & Novrinaldi (2020) mampu menghasilkan udara dengan distribusi kecepatan yang lebih seragam.



Gambar 2.5 Swirling Fluidized Bed (Tawfik et al., 2020)

2.3 Mekanisme Pengeringan

Menurut Arora (2000, p.835) proses pengeringan umumnya berlangsung dalam dua tahap, yaitu tahap *constant-rate period* dan tahap *falling-rate period*. Selama periode laju konstan masih terdapat banyak air di dalam bahan yang bisa berpindah ke permukaan akibat pemanasan. Periode ini terjadi ketika bahan diletakkan pada aliran udara, sehingga air menguap dari permukaan dan air tersedia di seluruh permukaan bahan. Untuk periode laju menurun air hanya terdapat pada beberapa bagian permukaan, hal ini karena tidak terdapat cukup air di dalam bahan, sehingga laju pengeringannya menurun.



Gambar 2.6 Grafik Proses Pengeringan (Arora, 2000)

2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan

Menurut Syahrul et al. (2016) faktor yang mempengaruhi pengeringan dibagi menjadi dua macam. Yang pertama adalah faktor udara pengering yaitu temperatur udara pengering, kecepatan udara pengering, jenis aliran udara pengering, dan kelembapan udara pengering.

Yang kedua yaitu faktor bahan yang dikeringkan diantaranya yaitu ukuran bahan dan kadar air mula-mula.

2.5 Konsep Mekanika Fluida Pada Swirling Fluidized Bed

Menurut Cengel & Cimbala (2010, p.335) di dalam pipa terdapat dua jenis aliran, yaitu *laminar* dan turbulen. Aliran turbulen disebut sebagai mekanisme yang kompleks. Meskipun telah banyak dilakukan penelitian, teori tentang aliran turbulen dianggap masih belum banyak berkembang. Sehingga terkadang peneliti harus bergantung pada eksperimen untuk memahami aliran turbulen.

Aliran turbulen memiliki karakteristik berupa *eddies*, yaitu area *swirling* dari fluida yang berfluktuasi secara cepat dan acak. Hal ini menyebabkan pemindahan massa, energi, dan momentum menjadi lebih cepat dan meningkatkan perpindahan massa, panas, serta momentum. Hal ini terbukti dengan penelitian Oktianto & Prabowo (2014) yang menemukan bahwa semakin kecil sudut *blade* maka aliran udara yang dihasilkan akan semakin cepat. Maka, semakin besar nilai kecepatan udara akan membuat nilai bilangan Reynolds meningkat, sehingga nilai koefisien perpindahan massa juga akan semakin tinggi.

2.6 Laju Pengeringan

Untuk menghitung laju pengeringan maka terlebih dahulu menghitung kadar air awal dengan rumus:

$$KA1 = \frac{Mb - Mk}{Mb} 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

- Mb : massa cascara segar (kg)
- Mk : massa solid cascara (kg)
- KA1 : kadar air awal (%)

Kemudian menghitung kadar air setelah dilakukan pengeringan dengan rumus:

$$KA2 = \frac{Md - Mk}{Md} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

- Md : massa cascara setelah dikeringkan (kg)
- Mk : massa solid cascara (kg)
- KA2 : kadar air setelah dikeringkan (%)

Setelah itu dapat dihitung laju pengeringan dengan rumus:

$$LP = \frac{KA1 - KA2}{\Delta t} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

- LP : laju pengeringan ($\frac{\%}{\text{menit}}$)
- KA1 : kadar air awal (%)
- KA2 : kadar air setelah dikeringkan (%)
- Δt : waktu (menit)

2.7 Konsep Perpindahan Massa

Menurut Thirumaleshwar (2006, p.11), perpindahan massa adalah pergerakan massa yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi di dalam suatu campuran. Pada media yang stasioner, perpindahan massa terjadi secara difusi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah.

2.7.1 Koefisien Perpindahan Massa

Pada penelitian ini cascara di dalam SFB akan melayang-layang dan berputar. Sehingga pendekatan rumus yang digunakan adalah perpindahan panas pada benda bulat yang jatuh bebas sesuai korelasi Ranz dan Marshall (Incropera et al, 2011, p.465) dengan rumus:

$$Nu_D = 2 + 0,6 Re_D^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan:

- Nu_D : bilangan Nusselt
- Re_D : bilangan Reynold
- Pr : bilangan Prandtl

Kemudian menurut buku tersebut, persamaan diatas dapat digunakan untuk menghitung perpindahan massa dengan cara mengganti Nu_D dengan Sh_D , lalu Pr dengan Schmidt Number (Sc). Maka persamaan diatas berubah menjadi:

$$Sh_D = 2 + 0,6 Re_D^{\frac{1}{2}} Sc^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan:

- Sh_D : bilangan Sherwood
- Re_D : bilangan Reynold
- Sc : bilangan Schmidt

Untuk mencari nilai Re_D dapat digunakan persamaan:

$$Re_D = \frac{VD}{\nu} \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan:

- Re_D : bilangan Reynold
- V : kecepatan udara pengering (m/s)
- D : diameter produk yang dikeringkan (m)
- ν : viskositas kinematik (m^2/s)

Untuk mendapatkan nilai kecepatan udara pengering dapat diukur pada SFB menggunakan anemometer, sedangkan nilai viskositas dapat dicari pada tabel A.4 (terlampir) dengan syarat mengetahui temperatur udara pengeringnya. Untuk nilai Schmidt number (Sc) dapat dicari menggunakan persamaan:

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \dots \dots \dots (2.7)$$

dengan:

- Sc : bilangan Schmidt
- ν : viskositas kinematik (m^2/s)
- D_{AB} : koefisien difusi biner (m^2/s)

Nilai D_{AB} dapat diperoleh pada tabel A.8 (terlampir) dengan mengetahui jenis zat dan temperatur dari produk yang dikeringkan serta media pengeringnya. Kemudian Sh_D juga dapat dicari menggunakan persamaan:

$$Sh_D = \frac{H_m \times D}{D_{AB}} \dots\dots\dots(2.8)$$

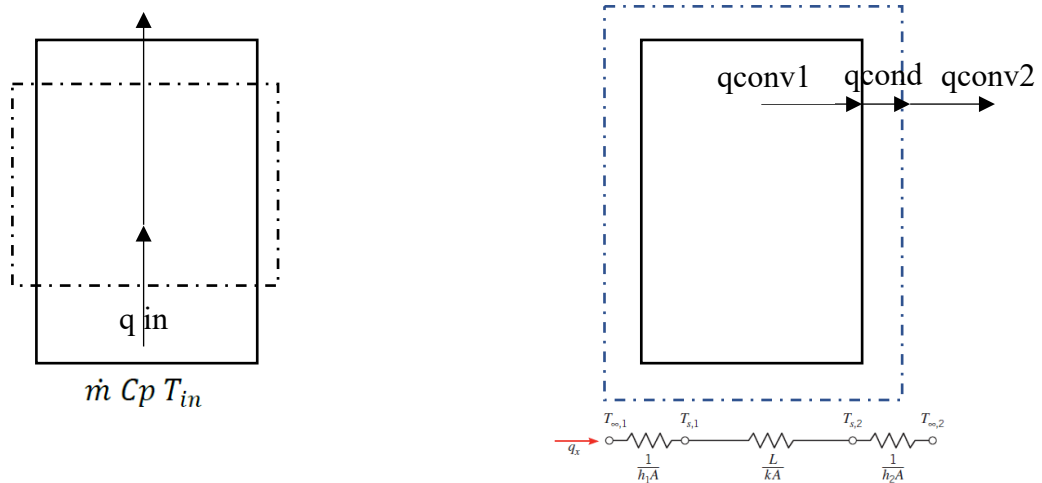
dengan:

- Sh_D : Sherwood number
- H_m : koefisien perpindahan massa
- D : diameter produk yang dikeringkan (m)

Sehingga dengan mendapatkan nilai Sh_D maka nilai koefisien perpindahan massa juga dapat ditemukan.

2.9 Efisiensi Pengeringan

a. Free Body Diagram



Gambar 2.7 Neraca Kalor (Incropera et al, 2011)

b. Perhitungan Kalor Masuk (q in)

Persamaan yang digunakan yaitu:

$$T_f = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

- T_f : temperatur film (K)
- T_{in} : temperatur inlet SFB (K)
- T_{out} : temperatur outlet SFB (K)

Kemudian dicari sifat-sifat udara pada tabel A.4 (terlampir). Lalu mencari nilai laju aliran massa dengan persamaan:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan:

- \dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

- ρ : massa jenis (kg/m³)
- V : kecepatan (m/s)
- A : luas (m²)

Kemudian kalor masuk dapat dicari menggunakan persamaan:

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan:

- Q_{in} : kalor masuk (kJ/s)
- \dot{m} : laju aliran massa (kg/s)
- C_p : kapasitas kalor spesifik (kJ/kgK)

c. Perhitungan Kalor Terbuang (q loss)

Selanjutnya menghitung perpindahan panas konveksi antara udara dalam SFB dengan dinding SFB (qconv1), dimulai dari perhitungan Tf (temperatur film):

$$Tf = \frac{T_{wall} + T_{out}}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan:

- Tf : temperatur film (K)
- T_{wall} : temperatur dinding SFB(K)
- T_{out} : temperatur outlet SFB (K)

Kemudian mencari sifat-sifat udaranya seperti pada perhitungan kalor masuk. Dilanjutkan dengan mencari nilai koefisien ekspansi menggunakan persamaan:

$$\beta = \frac{1}{Tf} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan:

- β : koefisien ekspansi
- Tf : temperatur film (K)

Lalu dilakukan perhitungan nilai bilangan Rayleigh (Ra_L) menggunakan persamaan:

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\alpha \cdot \nu} \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

- Ra_L : bilangan Rayleigh
- g : percepatan gravitasi bumi (m/s²)
- β : koefisien ekspansi
- ΔT : temperatur (K)
- L : panjang SFB (m)
- α : thermal diffusivity (m²/s)
- ν : viskositas kinematik (m²/s)

Sehingga bilangan Nusselt dapat dicari dengan syarat nilai Ra_L ≤ 10⁹ menggunakan persamaan:

$$\overline{Nu}_L = 0,68 + \frac{0,67(Ra_L)^{1/4}}{(1 + (0,492/Pr)^{9/16})^{4/9}} \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan:

- Nu_L : bilangan Nusselt

Ra_L : bilangan Rayleigh

Pr : bilangan Prandtl

Sehingga nilai koefisien perpindahan panas konveksi antara udara dalam SFB dengan dinding SFB adalah:

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_L \cdot k}{L} \dots \dots \dots (2.16)$$

dengan:

\bar{h} : koefisien perpindahan panas konveksi

Nu_L : bilangan Nusselt

k : *thermal conductivity* (W/mK)

L : panjang SFB (m)

Selanjutnya menghitung perpindahan panas konduksi pada dinding SFB yang memiliki tebal 0,0004 mm dan nilai k sebesar 0,071 W/mK, persamaannya yaitu:

$$q_{cond} = \frac{L}{k} \dots \dots \dots (2.17)$$

dengan:

q_{cond} : perpindahan panas konduksi (m²K/W)

L : tebal material (m)

k : *thermal conductivity* (W/mK)

Kemudian menghitung perpindahan panas konveksi antara dinding SFB dengan udara lingkungan (q_{conv2}) dengan cara seperti pada (q_{conv1}) yaitu: mencari temperatur film dan sifat-sifat udaranya pada temperatur tersebut, kemudian menghitung koefisien ekspansi, lalu menghitung bilangan Rayleigh, bilangan Nusselt, dan terakhir menghitung nilai koefisien perpindahan panas konveksinya. Selanjutnya adalah menghitung total kalor terbuang dengan dimulai dari perhitungan *thermal resistance total* (R_{total}) menggunakan persamaan:

$$R_{total} = \frac{1}{h_{1.A}} + \frac{L}{k.A} + \frac{1}{h_{2.A}} \dots \dots \dots (2.18)$$

dengan:

R_{total} : *total thermal resistance* (K/W)

h₁ : koefisien perpindahan konveksi 1

L : tebal dinding SFB

k : *thermal conductivity* (W/mK)

h₂ : koefisien perpindahan konveksi 2

Sehingga total kalor terbuang dapat dicari menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{\Delta t}{R_{total}} \dots \dots \dots (2.19)$$

dengan:

Q : kalor terbuang (Watt)

ΔT : temperatur (K)

R_{total} : *total thermal resistance* (K/W)

Maka, kita dapat menemukan nilai kalor yang diserap oleh produk yang dikeringkan menggunakan persamaan:

$$Q_{produk} = Q_{in} - Q_{loss} \dots \dots \dots (2.20)$$

dengan:

Q_{produk} : kalor yang diserap oleh produk yang dikeringkan (Watt)

Q_{in} : kalor masuk (Watt)

Q_{loss} : kalor terbuang (Watt)

Selanjutnya adalah mengukur daya yang digunakan oleh mesin pengering dengan menggunakan alat ukur *Power Meter*. Setelah diketahui dayanya, maka kita bisa mencari efisiensi pengeringan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_{produk}}{P_{blower} + P_{heater}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.21)$$

dengan:

η : efisiensi (%)

Q_{produk} : kalor yang diserap oleh produk yang dikeringkan (Watt)

P_{blower} : daya yang digunakan *blower* (Watt)

P_{heater} : daya yang digunakan *heater* (Watt)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Menurut Sugiyono (2010) definisi variabel penelitian adalah suatu nilai dari objek atau kegiatan yang memiliki variasi tertentu dan ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulan. Variabel dalam penelitian ini yaitu:

1. Variabel Bebas : Sudut *blade* distributor udara pada SFB
2. Variabel Terikat : Waktu pengeringan, laju pengeringan, koefisien perpindahan massa, dan laju udara pengering di dalam SFB
3. Variabel Kontrol : Temperatur udara pengering, laju udara pengering pada inlet SFB, dan beban pengeringan

3.2 Peralatan Penunjang Penelitian

1. Timbangan Digital

Alat ini digunakan untuk mengukur massa cascara sebelum dikeringkan, serta sesudah dikeringkan dengan interval waktu tertentu.



Gambar 3.8 Timbangan Digital

2. Thermometer Digital

Berfungsi untuk mengukur temperatur udara pengering sebelum dan sesudah digunakan untuk mengeringkan cascara.



Gambar 3.9 Thermometer Digital

3. Blower Sentrifugal

Digunakan untuk menghembuskan udara pengering sehingga mampu mengalir menuju ruang pengering.



Gambar 3.10 Blower Sentrifugal

4. Anemometer

Pada penelitian ini berfungsi untuk mengukur kecepatan dari udara pengering.



Gambar 3.11 Anemometer

5. Oven

Pada penelitian ini digunakan untuk menghilangkan kadar air cascara hingga mendekati 0% atau sampai massanya tidak berubah secara signifikan setelah ditimbang. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai massa solid dari cascara.



Gambar 3.12 Oven

6. *Inverter 3 Phase*

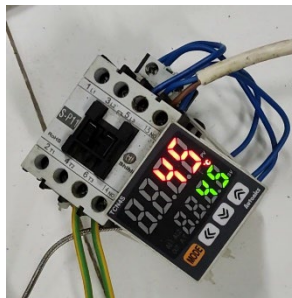
Pada penelitian ini digunakan untuk mengatur tegangan blower sehingga bisa meniupkan udara dengan kecepatan yang diinginkan.



Gambar 3.13 Inverter 3 Phase

7. *Thermocontrol*

Pada penelitian ini digunakan untuk memutus dan menyambung arus listrik dari heater sehingga bisa mengontrol temperatur udara pengering.



Gambar 3.14 Thermocontrol

9. Pemanas Udara Jenis Finned U-Tube

Pada penelitian ini berfungsi untuk mengatur temperatur udara pengering agar sesuai dengan yang divariasikan.



Gambar 3.15 Pemanas Udara

10. *Power Meter*

Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur energi yang digunakan oleh *blower* dan *heater*. Alat ini akan menunjukkan waktu penggunaan energi serta energi yang digunakan dalam satuan kWh.



Gambar 3.16 Power Meter

11. *Infrared Thermometer*

Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur temperatur dinding SFB.



Gambar 3.17 Infrared Thermometer

12. *Flexible Ducting*

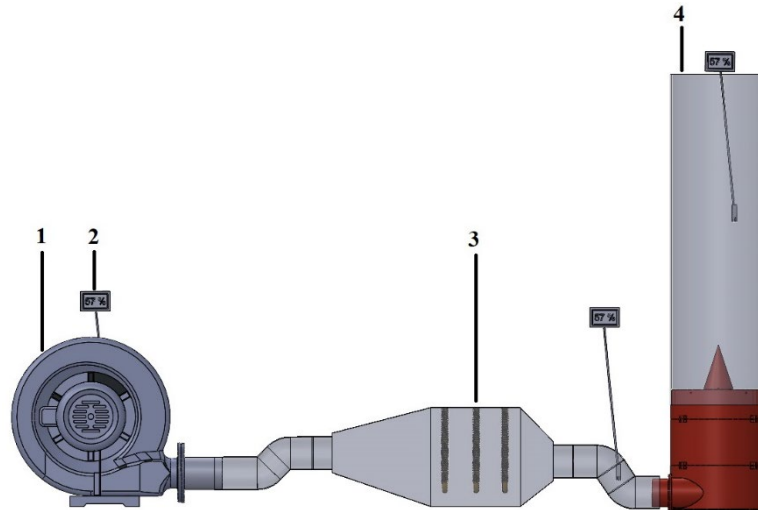
Pada penelitian ini digunakan sebagai jalur untuk meneruskan udara pengering dari *blower* menuju SFB.



Gambar 3.18 Flexible Ducting

3.3 Instalasi Penelitian

Pada penelitian ini, desain instalasi sistem pengering swirling fluidized bed yang dilengkapi dengan blower dan pemanas udara akan ditunjukkan pada gambar berikut ini.

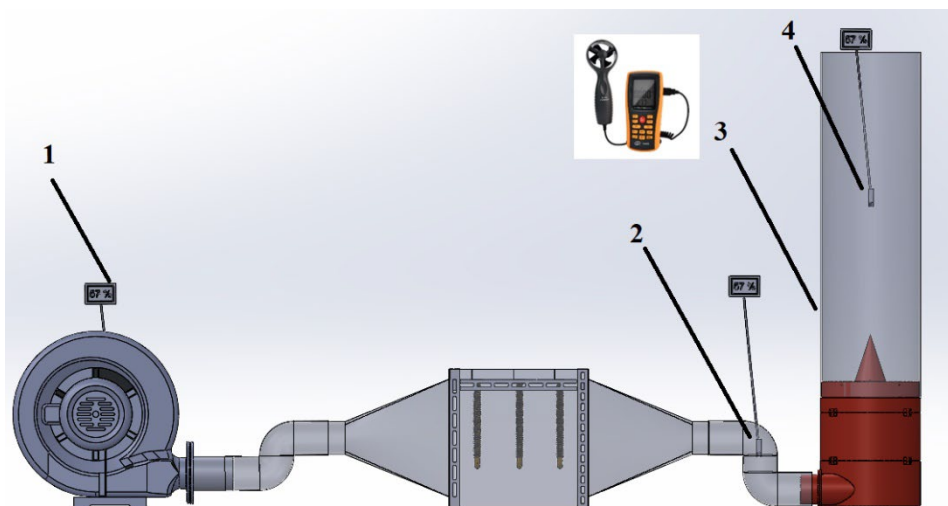


Gambar 3.19 Instalasi Penelitian

Dengan rincian sebagai berikut:

1. Blower, berfungsi untuk meniupkan udara dengan kecepatan tertentu kepada SFB
2. Higrometer, berfungsi untuk mengukur temperatur dan kelembapan relatif udara.
3. Pemanas udara jenis *finned u-tube* yang berfungsi untuk menghasilkan udara pengering
4. *Swirling Fluidized Bed*, berfungsi sebagai tempat mengeringkan cascara.

Data-data yang akan dianalisis diambil pada sisi blower berupa temperatur dan kelembapan relatif udara lingkungan (1), kemudian pada sisi SFB berupa temperatur dan kelembapan relatif udara pengering pada saluran masuk (2) dan keluar (3), serta kecepatan udara pengering (4).



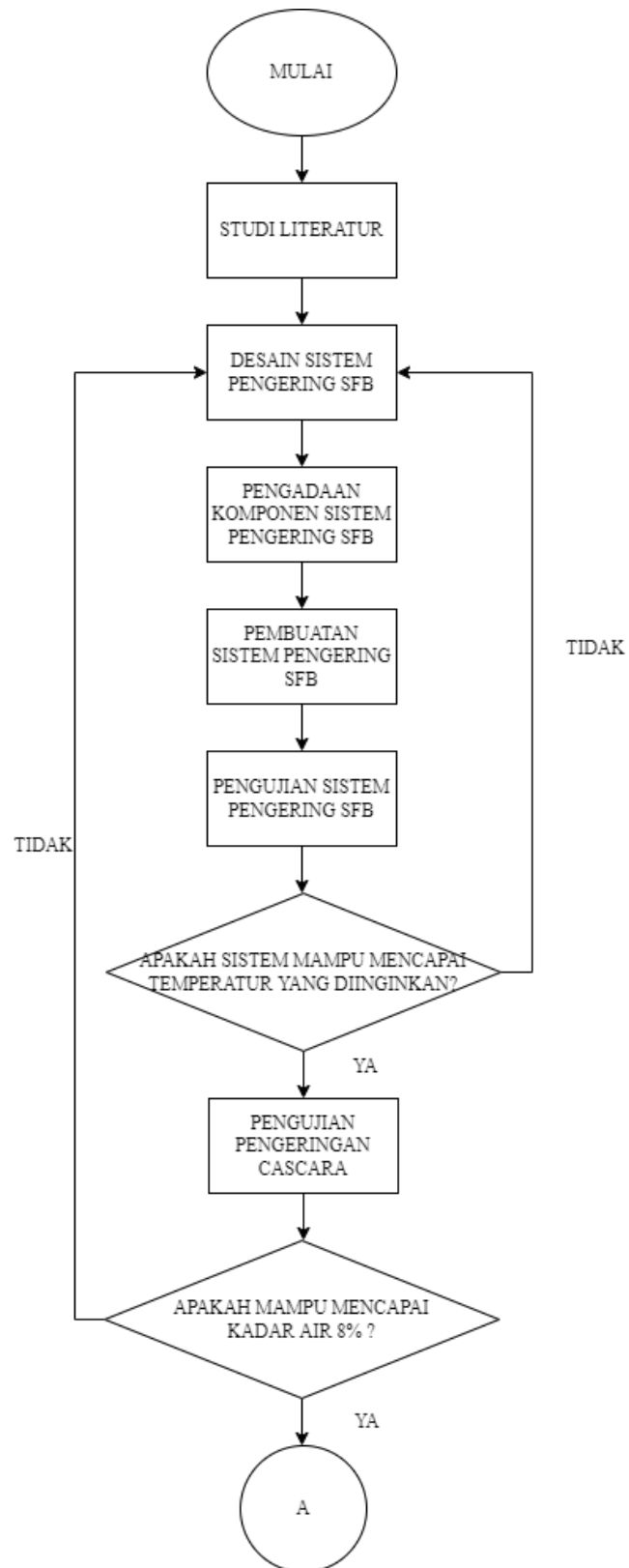
Gambar 3.20 Penempatan Alat Ukur

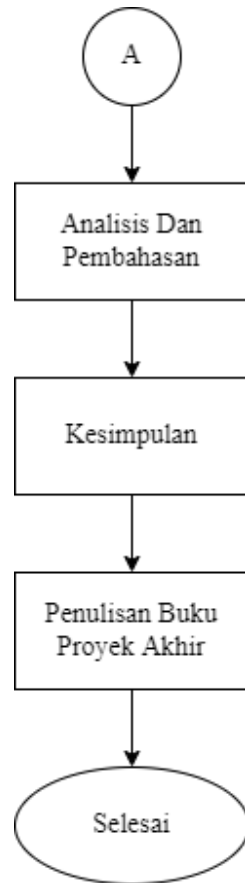
3.4 Diagram Alir

Dalam melakukan penelitian, terdapat rangkaian kegiatan yang harus dilakukan secara berurutan agar mencapai hasil yang diinginkan.

3.4.1 Diagram Alir Penelitian

Seluruh rangkaian kegiatan dari penelitian ini yaitu:

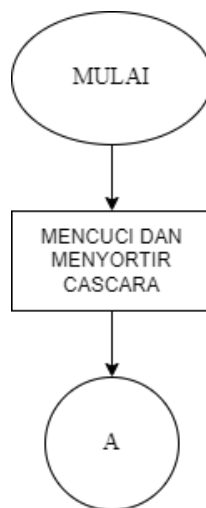


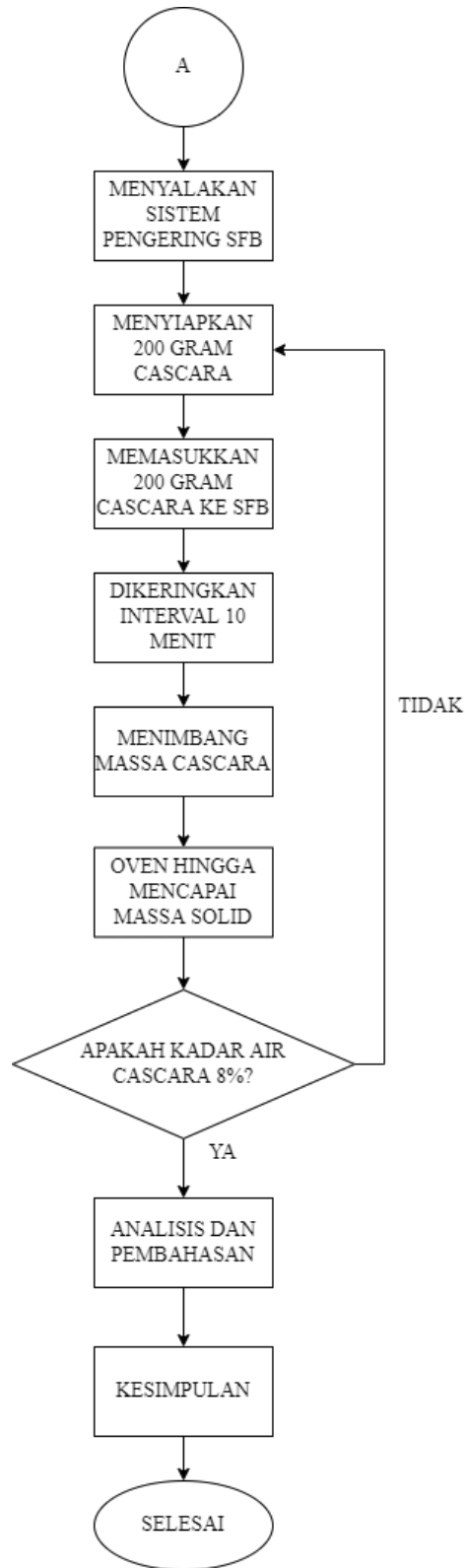


Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian

3.4.2 Diagram Alir Pengujian

Pada penelitian ini, pengujian untuk pengambilan data dilakukan dengan rangkaian kegiatan sebagai berikut:





Gambar 3.22 Diagram Alir Pengujian

3.5 Tabel Pengambilan Data

Pada penelitian ini diperlukan data-data untuk dianalisis yang akan dituliskan dalam tabel pengambilan data berikut:

Tabel 3.1 Data Hasil Pengujian

Sudut Kemiringan Blade 10° / 20°						
Temperatur Inlet SFB	Temperatur Outlet SFB	RH Inlet SFB	RH Outlet SFB	Waktu	Kadar Air	Kecepatan Udara Pengering
40/45/50°C				5		
				10		
				15		
				20		
				n		

3.6 Jadwal Kegiatan

Kegiatan penelitian pada proyek akhir (P.A) ini akan dilaksanakan sesuai dengan jadwal berikut:

Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

Kegiatan	Sept.				Okt.				Nov.				Des.				Jan.				Feb.				Mar.				Apr.				Mei				Juni			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identifikasi Masalah	■	■	■	■	■																																			
Studi Literatur					■	■	■	■	■	■																														
Desain Alat													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																
Pembelian Alat Bahan																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Pembuatan Alat																					■	■	■	■	■	■	■	■												
Trial & Error																					■	■	■	■	■	■	■	■												
Pengambilan Data																													■	■	■	■								
Analisa Hasil																																	■	■	■	■				
Penyusunan laporan akhir																																	■	■	■	■	■	■	■	■

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

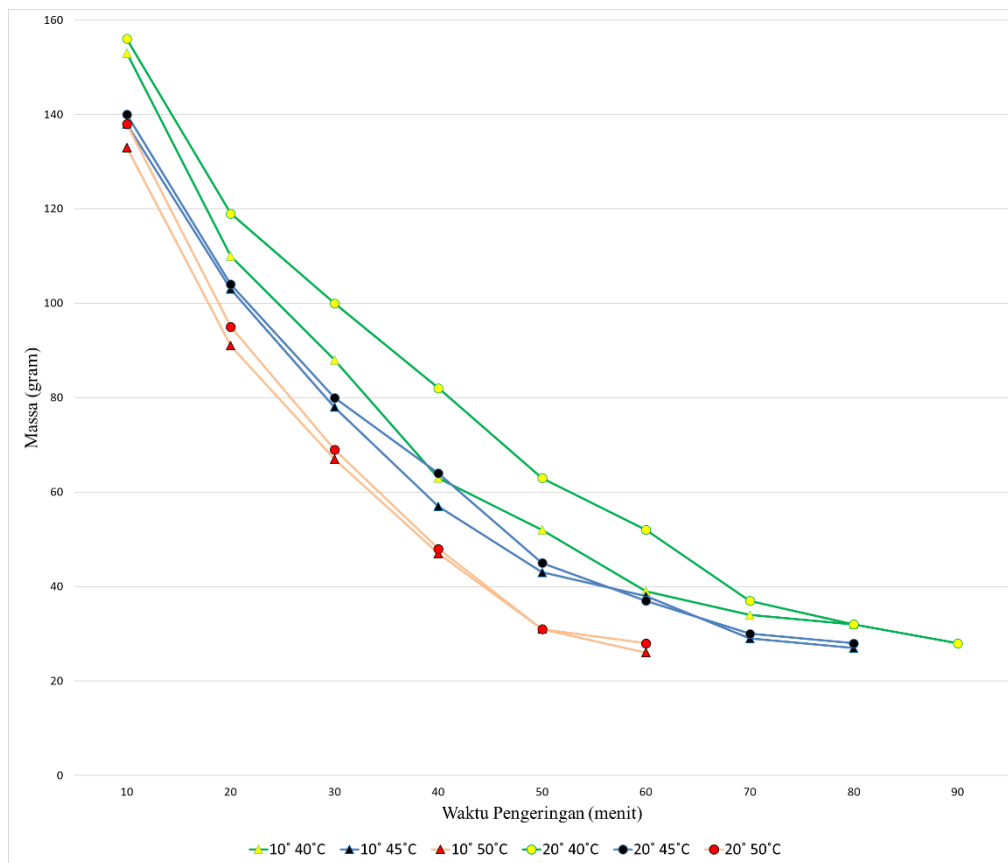
4.1 Data Hasil Eksperimen

Data didapatkan melalui eksperimen pengeringan kulit buah kopi/cascara menggunakan *Swirling Fluidized Bed Dryer* dengan variasi temperatur pengeringan 40°C, 45°C, 50°C, sudut *blade* 10°, dan 20°, dan beban pengeringan 200 gram. Data tersebut akan ditunjukkan pada Lampiran 1.

4.2. Analisis Cascara

4.2.1 Interpretasi Grafik Massa Cascara

Gambar dibawah ini menunjukkan hubungan antara massa cascara dan waktu pengeringan cascara pada variasi sudut *blade* 10° dan 20° serta temperatur *inlet* 40°C, 45°C, dan 50°C. Pengeringan dilakukan sampai kandungan air yang terdapat di dalam cascara kurang dari atau sama dengan 8%



Gambar 4.23 Grafik Hubungan Antara Massa Dan Waktu Pengeringan Cascara

Terjadinya penurunan pada grafik disebabkan oleh berkurangnya kadar air cascara selama proses pengeringan. Pada variasi temperatur *inlet* 50°C penurunan massa terjadi dalam waktu yang lebih singkat karena penguapan air di dalam cascara terjadi lebih cepat. Bisa disimpulkan dari grafik diatas bahwa sudut *blade* 10° dengan temperatur *inlet* 50°C merupakan variasi terbaik karena mampu menurunkan massa cascara dalam waktu tersingkat dan mencapai massa akhir terendah. Sedangkan sudut *blade* 20° dengan temperatur *inlet* 40°C merupakan variasi

terburuk karena waktu pengeringannya paling lama, yaitu selama 90 menit. Hal ini bisa disebabkan oleh temperatur *inlet* 40°C membuat proses penguapan air menjadi lebih lambat dibandingkan temperatur *inlet* 45°C atau 50°C, sedangkan sudut *blade* 20° menghasilkan kecepatan udara yang lebih rendah dibandingkan sudut *blade* 10° sehingga mengurangi nilai koefisien perpindahan massanya.

4.2.2 Perhitungan Kadar Air Cascara

Dari Lampiran 1 diambil sampel data pada sudut 10° dan temperatur 45°C dengan waktu pengeringan 80 menit. Berikut perhitungan yang dilakukan:

- a. Menghitung kadar air awal

$$KA1 = \frac{Mb - Mk}{Mb} \times 100\%$$

$$KA1 = \frac{200 \text{ gr} - 25 \text{ gr}}{200 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$= 88\%$$

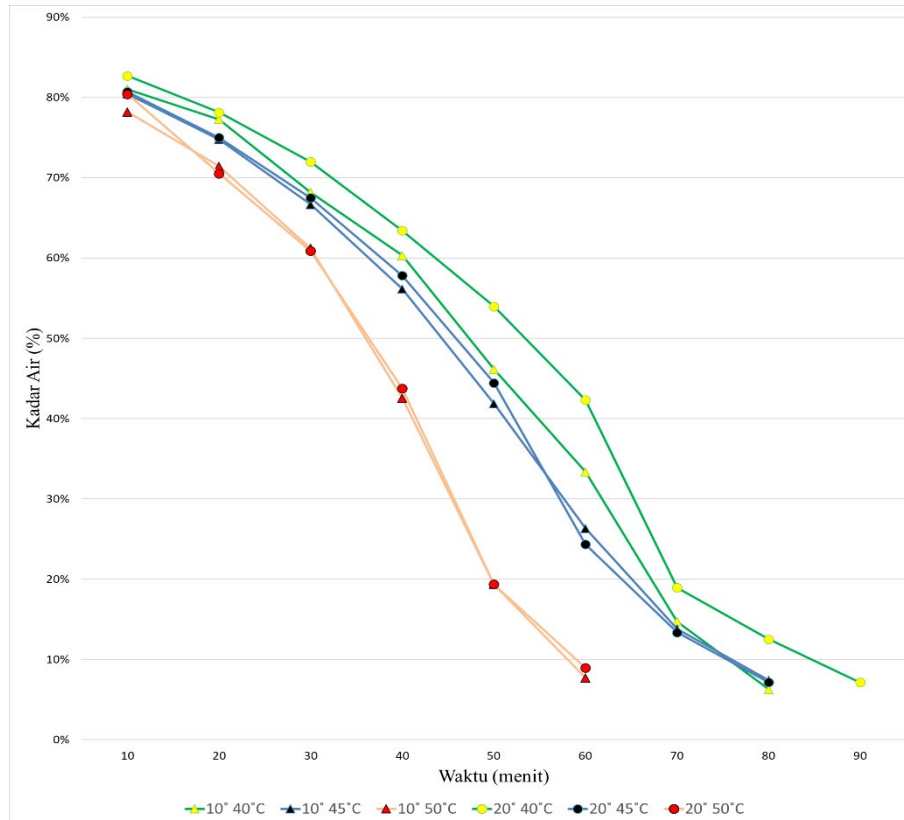
- b. Menghitung kadar air setelah dikeringkan

$$KA2 = \frac{Md - Mk}{Md} \times 100\%$$

$$KA2 = \frac{27 \text{ gr} - 25 \text{ gr}}{27 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$= 7\%$$

4.2.3 Interpretasi Grafik Kadar Air Cascara



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Antara Kadar Air Dan Waktu Pengeringan

Terjadinya penurunan pada grafik disebabkan oleh berkurangnya kandungan air di permukaan maupun di dalam cascara akibat proses penguapan. Pada variasi temperatur *inlet* 50°C, kadar air cascara menurun hingga 8% dalam waktu 60 menit. Sedangkan pada temperatur *inlet* 40°C diperlukan waktu 90 menit. Hal ini karena semakin tinggi temperatur maka proses penguapan air akan semakin mudah dan cepat. Pada variasi temperatur *inlet* 50°C, yang membedakan antara sudut *blade* 10° dan 20° adalah pengurangan kadar air tiap 10 menitnya. Bisa dilihat pada grafik menit ke-10, 40, dan 60 kadar air cascara pada variasi sudut *blade* 10° lebih sedikit dibandingkan sudut *blade* 20°. Sehingga bisa disimpulkan variasi terbaik adalah temperatur *inlet* 50°C dan sudut *blade* 10°.

4.2.4 Perhitungan Laju Pengeringan

Contoh yang digunakan adalah pada variasi sudut *blade* 10° dan temperatur 45°C dalam waktu 80 menit dengan beban pengeringan 200 gram. Berikut perhitungan yang dilakukan:

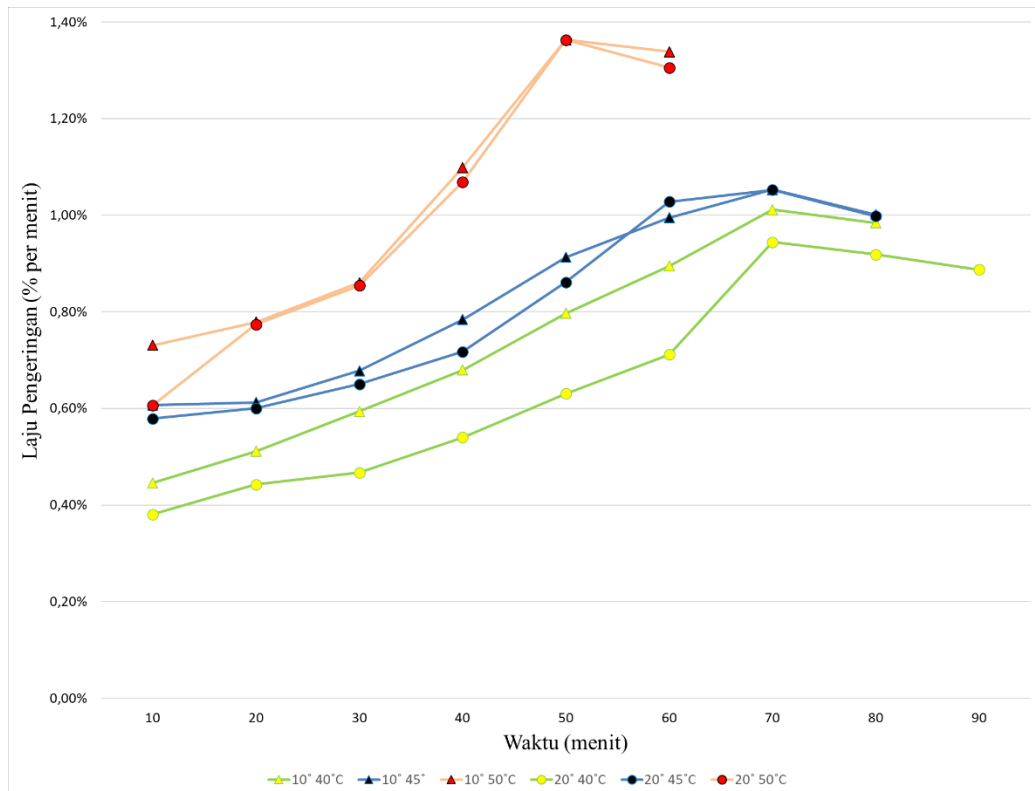
1. Menghitung laju pengeringan

$$LP = \frac{KA1 - KA2}{\Delta t} = \frac{\%}{\text{menit}}$$

$$LP = \frac{88\% - 7\%}{80 \text{ menit}} = \frac{1,0125\%}{\text{menit}}$$

4.2.5 Interpretasi Grafik Laju Pengeringan

Pada gambar dibawah ini akan ditunjukkan hubungan antara laju pengeringan dan waktu pengeringan cascara pada variasi sudut *blade* 10° dan 20° serta temperatur *inlet* 40°C, 45°C, dan 50°C.



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Antara Laju Pengeringan Dan Waktu Pengeringan Cascara

Bisa dilihat dari grafik diatas bahwa laju pengeringan meningkat setiap 10 menit, namun kemudian menurun pada 10 atau 20 menit terakhir. Hal ini karena pada menit-menit terakhir kadar air di permukaan cascara yang bisa dikeringkan hanya tersisa sedikit, maka perlu menarik kadar air dari dalam cascara yang membutuhkan waktu lama, sehingga menurunkan laju pengeringan. Pada menit ke 50, variasi temperatur *inlet* 50°C dan sudut *blade* 10° memiliki laju pengeringan tertinggi yaitu senilai 1,36% per menit. Sedangkan laju pengeringan terendah, yaitu variasi temperatur *inlet* 40°C dan sudut *blade* 20° mencapai tertinggi pada menit ke 70 dengan nilai 0,94% per menit. Perbedaan nilai laju pengeringan tersebut disebabkan oleh faktor temperatur yang mempengaruhi proses penguapan kadar air, selain itu sudut *blade* 10° juga memiliki nilai koefisien perpindahan massa lebih tinggi karena menghasilkan kecepatan udara yang lebih tinggi, sehingga mampu meningkatkan laju pengeringan.

4.2.6 Koefisien Perpindahan Massa Konveksi Udara Pengering Dengan Cascara

Data yang akan digunakan sebagai sampel perhitungan adalah variasi sudut *blade* 10°, temperatur 45°C dan, dan ukuran partikel 8 mm. Berikut ini perhitungan yang dilakukan:

1. Perhitungan *Reynolds Number*

Menggunakan Persamaan 2.6 dan data dari Lampiran 3, berikut perhitungannya:

$$Re_D = \frac{6,45 \text{ m/s} \times 0,008 \text{ m}}{17,7008 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 0,0516$$

$$Re_D = 2915,12$$

2. Perhitungan *Schmidt Number* menggunakan Persamaan 2.7 dan data dari Lampiran 3:

$$Sc = \frac{17,7008 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}{0,2847 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Sc = 0,62$$

3. Perhitungan *Sherwood Number* menggunakan Persamaan 2.5:

$$Sh = 2 + 0,6 \times 2915,12^{\frac{1}{2}} \times 0,62^{\frac{1}{3}}$$

$$Sh = 2 + 0,6 \times 53,99 \times 0,85$$

$$Sh = 29,65$$

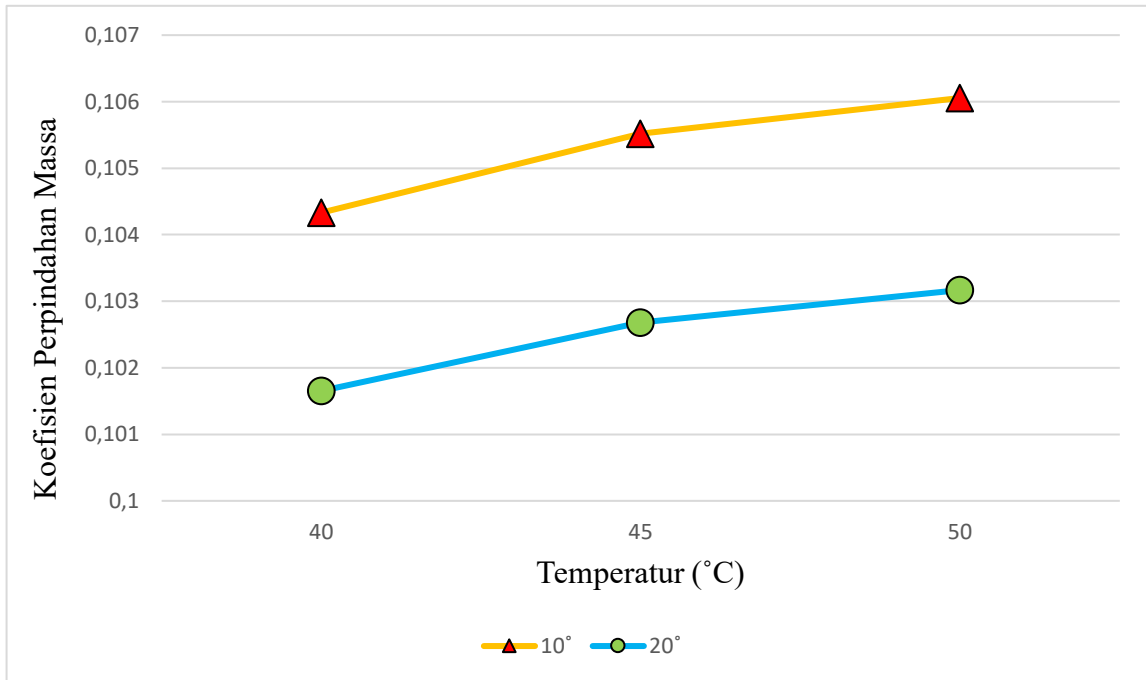
4. Perhitungan koefisien perpindahan massa menggunakan Persamaan 2.8:

$$h_m = \frac{29,65 \times 0,2847 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}{0,008 \text{ m}}$$

$$h_m = 0,1055 \text{ m/s}$$

4.2.7 Interpretasi Grafik Koefisien Perpindahan Massa

Pada gambar dibawah ini ditunjukkan hubungan antara koefisien perpindahan massa dan temperatur *inlet* SFB pada variasi sudut *blade* 10° dan 20°. Perhitungan koefisien perpindahan massa dilakukan pada waktu cascara sudah mencapai kadar air kurang dari atau sama dengan 8%, yaitu pada waktu 60 menit untuk variasi temperatur *inlet* 50°C dan 80 menit untuk variasi temperatur *inlet* 40°C dan 45°C.



Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara Koefisien Perpindahan Massa dan Temperatur Pengeringan

Bisa dilihat pada grafik diatas bahwa semakin tinggi temperatur maka koefisien perpindahan massanya juga semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh kenaikan nilai temperatur akan ikut menaikkan nilai *Reynolds Number* sehingga *Sherwood Number* juga akan mengalami kenaikan dan secara perhitungan akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa. Pada variasi temperatur *inlet* 50°C dan sudut *blade* 10° memiliki nilai koefisien perpindahan massa tertinggi yaitu senilai 0,106 m/s. Sedangkan pada variasi temperatur *inlet* 50°C dan sudut *blade* 20° hanya senilai 0,103 m/s. Perbedaan tersebut disebabkan oleh sudut *blade* 10° mampu menghasilkan udara dengan kecepatan yang lebih tinggi sehingga akan meningkatkan nilai *Reynolds Number* serta *Sherwood Number* dan menyebabkan nilai koefisien perpindahan massa mengalami kenaikan.

4.3 Analisis Efisiensi Swirling Fluidized Bed Dryer

Data yang digunakan yaitu $T_{in} = 50^{\circ}\text{C} = 323\text{K}$ dan $T_{out} = 46,5^{\circ}\text{C} = 319,5\text{K}$ pada sudut *blade* 10°. Berikut perhitungan yang dilakukan:

1. Perhitungan temperatur film menggunakan Persamaan 2.9:

$$T_f = \frac{323\text{ K} + 319,5\text{ K}}{2}$$

$$T_f = 321,5\text{ K}$$

Sifat-sifat udara pada temperatur tersebut diatas menurut Tabel A.4 adalah:

Tabel 4.3 Sifat-sifat Udara Pada Temperatur 321,5 K

ρ (kg/m^3)	C_p kJ/kg.K	$v \cdot 10^{-6}$ m^2/s	k W/m.K	α m^2/s	Pr
1,09068	1,00785	18,02775	27,8725	25,645	0,704

2. Perhitungan laju aliran massa menggunakan Persamaan 2.10:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 1,09 \text{ kg/m}^3 \times 7,5 \text{ m/s} \times 0,048 \text{ m}^2 \\ \dot{m} &= 0,157 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

3. Perhitungan kalor masuk menggunakan Persamaan 2.11:

$$\begin{aligned} Q_{in} &= 0,157 \text{ kg/s} \times 1,00785 \text{ kJ/kgK} \times 3,5 \text{ K} \\ Q_{in} &= 474,87 \text{ J/s} = 474,87 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4. Perhitungan kalor terbuang

Menghitung perpindahan panas konveksi antara udara di dalam SFB dengan dinding SFB (q_{conv1}) dengan cara mencari temperatur film memakai Persamaan 2.12:

$$T_f = \frac{320 + 315}{2} = 317,5 \text{ K}$$

Sifat-sifat udaranya yaitu:

Tabel 4.4 Sifat-sifat Udara Pada Temperatur 317,5 K

ρ (kg/m ³)	Cp kJ/kg.K	$\nu \cdot 10^{-6}$ m ² /s	$k \cdot 10^{-3}$ W/m.K	$\alpha \cdot 10^{-6}$ m ² /s	Pr
1,104	1,0077	17,61	27,56	25,03	0,7046

Maka koefisien ekspansinya menggunakan Persamaan 2.13:

$$\beta = \frac{1}{317,5 \text{ K}} = 0,00315$$

Menghitung bilangan Rayleigh dengan Persamaan 2.14:

$$Ra_L = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00315 \cdot 5 \text{ K} \cdot 0,8^3}{25,03 \text{ m}^2/\text{s} \cdot 17,61 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 1,79 \times 10^8$$

Menghitung bilangan Nusselt dengan Persamaan 2.15:

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67(1,79 \times 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,7046}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{4}{9}}} = 60,13$$

Menghitung nilai koefisien perpindahan panas konveksi antara udara di dalam SFB dengan dinding SFB menggunakan Persamaan 2.16:

$$\bar{h} = \frac{60,13 \times 27,56 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,8 \text{ m}} = 2,07 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Menghitung perpindahan panas konduksi pada dinding dengan tebal 0,0004m dan nilai k sebesar 0,71 W/m.K menggunakan Persamaan 2.17:

$$q_{cond} = \frac{0,0004 \text{ m}}{0,71 \text{ W/mK}}$$

Menghitung perpindahan panas konveksi antara udara lingkungan dengan dinding SFB (q_{conv2}), dimulai dari mencari temperatur film menggunakan Persamaan 2.12 dengan mengubah T_{out} menjadi $T_{lingkungan}$:

$$T_f = \frac{315 \text{ K} + 303 \text{ K}}{2} = 309 \text{ K}$$

Sifat-sifat udaranya:

Tabel 4.5 Sifat-sifat Udara Pada Temperatur 309 K

ρ (kg/m ³)	Cp kJ/kg.K	$\nu \cdot 10^{-6}$ m ² /s	$k \cdot 10^{-3}$ W/m.K	$\alpha \cdot 10^{-6}$ m ² /s	Pr
1,132	1,0073	16,78	26,95	23,81	0,7057

Maka koefisien ekspansinya menggunakan Persamaan 2.13:

$$\beta = \frac{1}{309 \text{ K}} = 0,00323 \text{ K}^{-1}$$

Menghitung bilangan Rayleigh menggunakan Persamaan 2.14:

$$Ra_L = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00323 \text{ K}^{-1} \cdot 12 \text{ K} \cdot (0,8 \text{ m})^3}{23,81 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \cdot 16,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 4,877 \times 10^8$$

Maka nilai bilangan Nusselt-nya menggunakan Persamaan 2.15:

$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67(4,877 \times 10^8)^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,7057}\right)^{\frac{4}{9}}\right)^{\frac{9}{16}}} = 77,05$$

Sehingga nilai koefisien perpindahan panas konveksi antara udara lingkungan dengan dinding SFB menggunakan Persamaan 2.16:

$$\bar{h} = \frac{77,05 \times 26,95 \cdot 10^{-3} \text{ W/m.K}}{0,8 \text{ m}} = 2,5961 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Perhitungan total kalor yang terbuang menggunakan Persamaan 2.18 dan 2.19:

$$R_{total} = \frac{1}{2,07 \text{ W/m}^2\text{K}} + \frac{0,0004 \text{ m}}{0,71 \text{ W/mK}} + \frac{1}{2,596 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$R_{total} = 0,8684 \text{ K/W}$$

$$Q_{\text{loss}} = \frac{17 \text{ K}}{0,8684 \text{ K/W}} = 19,57 \text{ Watt}$$

5. Menghitung kalor yang diserap produk menggunakan Persamaan 2.20:

$$Q_{\text{produk}} = 474,87 \text{ Watt} - 19,57 \text{ Watt} = 455,3 \text{ Watt}$$

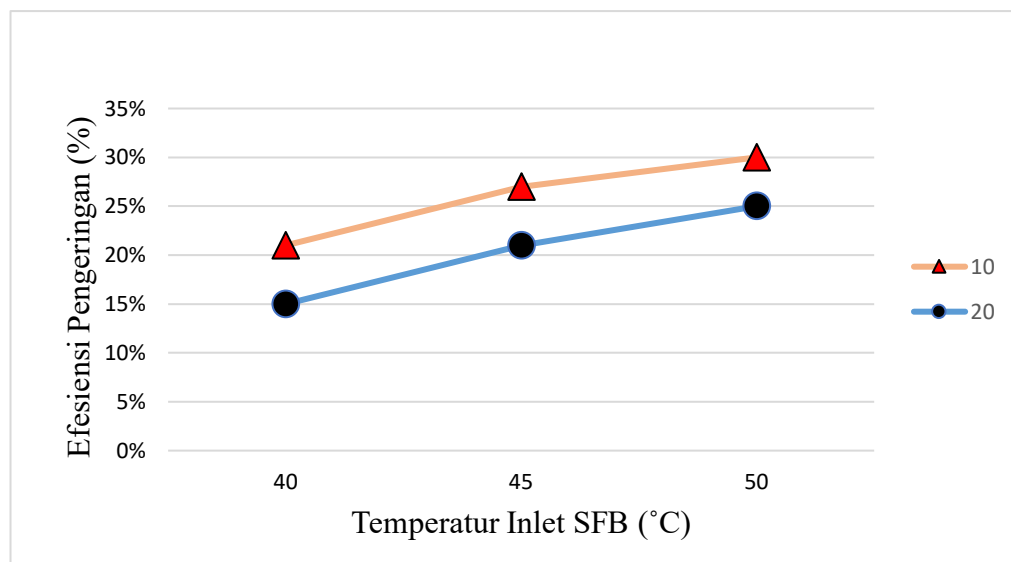
6. Menghitung energi yang digunakan oleh sistem pengering:

Berdasarkan alat ukur *Power Meter* selama 60 menit, daya yang digunakan oleh *blower* sebesar 0,18 kWh, sedangkan pada *heater* sebesar 1,32 kWh.

7. Perhitungan efisiensi pengeringan menggunakan Persamaan 2.21:

$$\eta = \frac{455,3 \text{ Watt}}{180 \text{ Watt} + 1320 \text{ Watt}} \times 100\% = 30\%$$

4.3.1 Interpretasi Grafik Efisiensi Pengeringan



Gambar 4.27 Grafik Hubungan Antara Efisiensi Pengeringan Dan Temperatur Inlet SFB

Bisa dilihat pada grafik diatas bahwa semakin tinggi temperatur maka efisiensi pengeringannya juga semakin tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh kalor yang diterima oleh produk akan semakin besar sedangkan daya yang digunakan oleh blower tidak berubah, sehingga hal tersebut akan meningkatkan nilai efisiensi pengeringan. Pada variasi temperatur *inlet* 50°C dan sudut *blade* 10° memiliki nilai efisiensi pengeringan tertinggi yaitu senilai 30%. Sedangkan pada variasi temperatur *inlet* 50°C dan sudut *blade* 20° hanya senilai 25%. Perbedaan nilai efisiensi ini disebabkan oleh sudut *blade* 20° menghasilkan kecepatan udara yang lebih rendah dibandingkan sudut *blade* 10°, hal ini akan mengurangi nilai laju aliran massa dan nilai kalor masuk, sehingga akan menurunkan nilai kalor yang diterima oleh produk.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengamatan fenomena di lapangan, dapat penulis simpulkan:

1. Nilai koefisien perpindahan massa tertinggi terjadi pada variasi sudut *blade* 10° dan temperatur *inlet* 50°C sebesar 0,106 m/s. Hal ini dikarenakan pada sudut *blade* 10° mampu menghasilkan kecepatan udara yang lebih tinggi dibanding pada sudut *blade* 20°. Sehingga nilai *Reynolds Number*-nya menjadi lebih besar dan meningkatkan nilai koefisien perpindahan massa.
2. Nilai laju pengeringan tertinggi dan waktu pengeringan tercepat didapatkan pada variasi sudut *blade* 10° dan temperatur *inlet* 50°C yaitu sebesar 1,36% per menit. Hal tersebut disebabkan oleh nilai koefisien perpindahan massanya yang lebih tinggi sebesar 0,106 m/s dan waktu pengeringannya yang lebih singkat yaitu selama 60 menit.
3. Efisiensi pengeringan tertinggi didapatkan pada sudut *blade* 10° dan temperatur *inlet* 50°C, dengan nilai sebesar 30%. Hal tersebut disebabkan oleh kalor yang diterima oleh produk akan semakin besar sedangkan daya yang digunakan oleh blower tidak berubah dan daya yang digunakan oleh heater mengalami kenaikan yang sepadan, sehingga hal tersebut akan meningkatkan nilai efisiensi pengeringan.
4. Waktu pengeringan tercepat diperoleh pada variasi sudut *blade* 10° dan temperatur *inlet* 50°C yaitu selama 60 menit. Hal ini disebabkan oleh nilai koefisien perpindahan massanya paling tinggi sehingga memiliki laju pengeringan tertinggi.

5.2 Saran

Setelah melakukan pengeringan cascara menggunakan *Swirling Fluidized Bed* dan mengamati fenomena-fenomena yang terjadi selama proses tersebut, penulis ingin menyampaikan beberapa saran untuk perbaikan sekaligus peningkatan kualitas penelitian berikutnya yang menggunakan metode serupa. Saran tersebut yaitu:

1. Menggunakan variasi sudut *blade* 15°, 25°, atau 35° untuk memastikan dan memperjelas perubahan nilai efisiensi pengeringan, koefisien perpindahan massa, laju pengeringan, dan waktu pengeringan.
2. Menggunakan interval waktu pengeringan selama lima menit dan kelipatannya untuk memperjelas perubahan nilai dari efisien pengeringan, koefisien perpindahan massa, laju pengeringan, dan waktu pengeringan.
3. Menguji rasa, warna, dan kandungan polifenol pada cascara untuk mengetahui dampak perubahannya terhadap perbedaan sudut *blade* dan temperatur *inlet*.

BIODATA PENULIS



Penulis yang lahir di Kabupaten Tulungagung, 29 Mei 2000, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 06 Ngunut, SMPN 01 Ngunut, dan SMA Negeri 01 Kedungwari. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2018, penulis mengikuti ujian seleksi masuk perguruan tinggi dan diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Fakultas Vokasi Departemen Teknik Mesin Industri pada tahun 2018 dengan NRP 10211810010006. Program studi yang dipilih oleh penulis adalah Teknologi Rekayasa Konversi Energi. Saat menjalani perkuliahan penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan diantaranya: menjadi anggota himpunan mahasiswa HMDM-FV ITS sebagai staf marketing dalam Badan Semi Otonom Bengkel DTMI pada tahun 2020, dilanjutkan menjadi panitia sie acara pada Otomotalk BSO

Bengkel HMDM 2020, kemudian menjadi staf divisi kamjinkes pada SEC 2.0 oleh HMDM-FV ITS pada tahun 2019, lalu mengikuti pelatihan LKMM-TD XII HMDM pada tahun 2019, disusul dengan menjadi panitia divisi kamjinber pada LKMM-TD XIII HMDM tahun 2020. Pelatihan lain yang pernah diikuti diantaranya Kursus Dasar Dasar Otomotif 2019 oleh Departemen Teknik Mesin FTI-ITS dan Private Class Autodesk Inventor Professional 2014 Level Advance pada 2018 oleh Decimo CAD. Penulis juga melakukan kegiatan magang industri di PT. PAL Indonesia (Persero) selama 4 bulan pada Divisi Desain Departemen Perlengkapan Permesinan, dengan fokus kerja di bidang HVAC menggunakan Ansys.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariva, A. N., Widyasanti, A., & Nurjanah, S. (2020). Pengaruh Suhu Pengeringan Terhadap Mutu Teh Cascara dari Kulit Kopi Arabika (*Coffea arabica*). *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 12(1), 21–28. <https://doi.org/10.17969/jtipi.v12i1.15744>
- Arora, C. P. (2000). *Refrigeration and air conditioning*. Tata McGraw-Hill Education.
- Bergman, T. L., Bergman, T. L., Incropera, F. P., Dewitt, D. P., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
- Yunus, A. C. (2010). *Fluid Mechanics: Fundamentals And Applications (Si Units)*. Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- Chuwattanakul, V., & Eiamsa-Ard, S. (2019). Hydrodynamics investigation of pepper drying in a swirling fluidized bed dryer with multiple-group twisted tape swirl generators. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100389. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100389>
- Sari, E. K. N., Handayani, A.M., Wardani, D. K., Hariono, B., Brilliantina, A., Rizza Wijaya. (2021). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Menjadi Produk Cascara Bernilai Ekonomis Tinggi Di Desa Kemuning Lor. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-7 ISAS Publishing Series: Community Service*, 7(3), 166–172.
- Milawarni, M., & Muzaiifa, M. (2021). Pembuatan Minumam Herbal Cascara Dari Kulit Kopi Menggunakan Mesin Pengering Tenaga Surya. In *SNPKM: Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat* (Vol. 3, pp. 183-193).
- Nafisah, D., & Widyaningsih, T. D. (2018). Kajian metode pengeringan dan rasio penyeduhan pada proses pembuatan teh cascara kopi arabika (*Coffea arabica* L.). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 6(3). <https://doi.org/10.21776/ub.jp.a.2018.006.03.5>
- Oktianto, A. T., & Prabowo, P. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Blade Tipe Single Row Distributor pada Swirling Fluidized Bed Coal Dryer terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), B86-B90.
- Özbey, M., & Söylemez, M. S. (2005). Effect of swirling flow on fluidized bed drying of wheat grains. *Energy conversion and management*, 46(9-10), 1495-1512.
- Putra, S. A., & Novrinaldi, N. (2020). Studi Numerik Pengaruh Bentuk Center Body Ruang Plenum Terhadap Distribusi Kecepatan Udara Pada Pengering Tipe Swirling Fluidized Bed. In *SEMASTER" Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan"* (Vol. 1, No. 1).
- Simanjuntak, M. E., Prabowo, Ichani, D., & Widodo, W. A. (2016). Experimental study on

- the effect of temperature and fluidization velocity on coal swirl fluidized bed drying with 100 angle of blade inclination. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(21), 12499–12505.
- Sugiyono, D. (2010). Metode penelitian kuantitatif dan R&D. *Bandung: Alfabeta*, 26-33.
- Sundaram, P., & Sudhakar, P. (2016). Experimental performance investigation of swirling flow enhancement on fluidized bed dryer. *ARPN journal of engineering and applied sciences*, 11, 12529-12533.
- Syahrul, S., Romdhani, R., & Mirmanto, M. (2016). Pengaruh variasi kecepatan udara dan massa bahan terhadap waktu pengeringan jagung pada alat fluidized bed. *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*, 6(2).
- Tawfik, M. H. M., Diab, M. R., & Abdelmotalib, H. M. (2020). Heat transfer and hydrodynamics of particles mixture in swirling fluidized bed. *International Journal of Thermal Sciences*, 147, 106134. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.106134>
- Thirumaleshwar, M. (2006). *Fundamentals of heat and mass transfer*. Pearson Education India.
- Yahya, M. (2015). Kajian karakteristik pengering fluidisasi terintegrasi dengan tungku biomassa untuk pengeringan padi. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 65-71.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Hasil Eksperimen

Sudut 10° Temperatur 40														
Waktu	Massa Basah	Massa Kering	Massa Awal	Temperatur Inlet	Temperatur Outlet	Kecepatan Inlet	Kecepatan Outlet	Heater kWh	Blower kWh	Temperatur Lingk.	KadarAir	LP	K.A Awal	T Wall
10	153	29	200	40	38,3	14	6,45	0,13	0,03	30	81%	0,45%	86%	35,7
20	110	25	200		38,4			0,27	0,06	30	77%	0,51%	88%	35,8
30	88	28	200		38,5			0,42	0,09	30	68%	0,59%	86%	35,8
40	63	25	200		38,5			0,57	0,12	30	60%	0,68%	88%	35,9
50	52	28	200		38,6			0,65	0,15	30	46%	0,80%	86%	35,9
60	39	26	200		38,8			0,84	0,18	30	33%	0,89%	87%	36
70	34	29	200		38,8			0,9	0,21	30	15%	1,01%	86%	36
80	32	30	200		38,9			1,111	0,24	30	6%	0,98%	85%	36,1

Sudut 10° Temperatur 45														
Waktu	Massa Basah	Massa Kering	Massa Awal	Temperatur Inlet	Temperatur Outlet	Kecepatan Inlet	Kecepatan Outlet	Heater kWh	Blower kWh	Temperatur Lingk.	KadarAir	LP	K.A Awal	T Wall
10	138	27	200	45	41,2	14	6,45	0,16	0,03	30	80%	0,61%	87%	34,5
20	103	26	200		41,4			0,3	0,06	30	75%	0,61%	87%	35
30	78	26	200		41,6			0,47	0,09	30	67%	0,68%	87%	35,6
40	57	25	200		42			0,6	0,12	30	56%	0,78%	88%	36,1
50	43	25	200		42,5			0,74	0,15	30	42%	0,91%	88%	36,7
60	38	28	200		42,8			0,9	0,18	30	26%	0,99%	86%	37
70	29	25	200		43,2			1,05	0,21	30	14%	1,05%	88%	37,4
80	27	25	200		43,4			1,273	0,24	30	7%	1,00%	88%	37,8

Sudut 10° Temperatur 50														
Waktu	Massa Basah	Massa Kering	Massa Awal	Temperatur Inlet	Temperatur Outlet	Kecepatan Inlet	Kecepatan Outlet	Heater kWh	Blower kWh	Temperatur Lingk.	KadarAir	LP	K.A Awal	T Wall
10	133	29	200	50	44,8	14	6,45	0,307	0,03	30	78%	0,73%	86%	40,7
20	91	26	200		45,3			0,664	0,06	30	71%	0,78%	87%	41,1
30	67	26	200		45,9			0,75	0,09	30	61%	0,86%	87%	41,5
40	47	27	200		46			0,934	0,12	30	43%	1,10%	87%	41,6
50	31	25	200		46,2			1,084	0,15	30	19%	1,36%	88%	41,7
60	26	24	200		47			1,32	0,18	30	8%	1,34%	88%	42

Sudut 20° Temperatur 40														
Waktu	Massa Basah	Massa Kering	Massa Awal	Temperatur Inlet	Temperatur Outlet	Kecepatan Inlet	Kecepatan Outlet	Heater kWh	Blower kWh	Temperatur Lingk.	KadarAir	LP	K.A Awal	T Wall
10	156	27	200	40	38	14	6,1	0,13	0,03	30	83%	0,38%	87%	35,4
20	119	26	200		38,1			0,26	0,06	30	78%	0,44%	87%	35,4
30	100	28	200		38,1			0,43	0,09	30	72%	0,47%	86%	35,5
40	82	30	200		38,2			0,56	0,12	30	63%	0,54%	85%	35,6
50	63	29	200		38,2			0,65	0,15	30	54%	0,63%	86%	35,6
60	52	30	200		38,4			0,85	0,18	30	42%	0,71%	85%	35,7
70	37	30	200		38,5			0,9	0,21	30	19%	0,94%	85%	35,8
80	32	28	200		38,6			1,1	0,24	30	13%	0,92%	86%	35,9
90	28	26	200		38,6			1,25	0,27	30	7%	0,89%	87%	36,1

Sudut 20° Temperatur 45														
Waktu	Massa Basah	Massa Kering	Massa Awal	Temperatur Inlet	Temperatur Outlet	Kecepatan Inlet	Kecepatan Outlet	Heater kWh	Blower kWh	Temperatur Lingk.	KadarAir	LP	K.A Awal	T Wall
10	140	27	200	45	41	14	6,1	0,15	0,03	30	81%	0,58%	87%	34,4
20	104	26	200		41,2			0,31	0,06	30	75%	0,60%	87%	34,7
30	80	26	200		41,4			0,4	0,09	30	68%	0,65%	87%	35,5
40	64	27	200		41,8			0,6	0,12	30	58%	0,72%	87%	35,8
50	45	25	200		42,2			0,75	0,15	30	44%	0,86%	88%	36,5
60	37	28	200		42,6			0,92	0,18	30	24%	1,03%	86%	36,9
70	30	26	200		43			1,05	0,21	30	13%	1,05%	87%	37,4
80	28	26	200		43,1			1,2	0,24	30	7%	1,00%	87%	37,7

Sudut 20° Temperatur 50														
Waktu	Massa Basah	Massa Kering	Massa Awal	Temperatur Inlet	Temperatur Outlet	Kecepatan Inlet	Kecepatan Outlet	Heater kWh	Blower kWh	Temperatur Lingk.	KadarAir	LP	K.A Awal	T Wall
10	138	27	200	50	44,6	14	6,1	0,307	0,03	30	80%	0,61%	87%	40,2
20	95	28	200		45,5			0,664	0,06	30	71%	0,77%	86%	40,7
30	69	27	200		45,7			0,75	0,09	30	61%	0,85%	87%	41,1
40	48	27	200		45,8			0,934	0,12	30	44%	1,07%	87%	41,3
50	31	25	200		45,9			1,084	0,15	30	19%	1,36%	88%	41,5
60	28	25,5	200		46			1,32	0,18	30	9%	1,31%	87%	41,6

Lampiran 2: Pengukuran Data Kecepatan Udara Pengering



TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

<i>T</i> (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	<i>Pr</i>
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Ammonia (NH₃), $M = 17.03$ kg/kmol							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

TABLE A.8 Binary Diffusion Coefficients at One Atmosphere^{a,b}

Substance A	Substance B	<i>T</i> (K)	<i>D</i> _{AB} (m ² /s)
Gases			
NH ₃	Air	298	0.28 × 10 ⁻⁴
H ₂ O	Air	298	0.26 × 10 ⁻⁴
CO ₂	Air	298	0.16 × 10 ⁻⁴
H ₂	Air	298	0.41 × 10 ⁻⁴
O ₂	Air	298	0.21 × 10 ⁻⁴
Acetone	Air	273	0.11 × 10 ⁻⁴
Benzene	Air	298	0.88 × 10 ⁻⁵
Naphthalene	Air	300	0.62 × 10 ⁻⁵
Ar	N ₂	293	0.19 × 10 ⁻⁴
H ₂	O ₂	273	0.70 × 10 ⁻⁴
H ₂	N ₂	273	0.68 × 10 ⁻⁴
H ₂	CO ₂	273	0.55 × 10 ⁻⁴
CO ₂	N ₂	293	0.16 × 10 ⁻⁴
CO ₂	O ₂	273	0.14 × 10 ⁻⁴
O ₂	N ₂	273	0.18 × 10 ⁻⁴
Dilute Solutions			
Caffeine	H ₂ O	298	0.63 × 10 ⁻⁹
Ethanol	H ₂ O	298	0.12 × 10 ⁻⁸
Glucose	H ₂ O	298	0.69 × 10 ⁻⁹
Glycerol	H ₂ O	298	0.94 × 10 ⁻⁹
Acetone	H ₂ O	298	0.13 × 10 ⁻⁸
CO ₂	H ₂ O	298	0.20 × 10 ⁻⁸
O ₂	H ₂ O	298	0.24 × 10 ⁻⁸
H ₂	H ₂ O	298	0.63 × 10 ⁻⁸
N ₂	H ₂ O	298	0.26 × 10 ⁻⁸
Solids			
O ₂	Rubber	298	0.21 × 10 ⁻⁹
N ₂	Rubber	298	0.15 × 10 ⁻⁹
CO ₂	Rubber	298	0.11 × 10 ⁻⁹
He	SiO ₂	293	0.4 × 10 ⁻¹³
H ₂	Fe	293	0.26 × 10 ⁻¹²
Cd	Cu	293	0.27 × 10 ⁻¹⁸
Al	Cu	293	0.13 × 10 ⁻³³

^aAdapted with permission from References 24, 25, and 26.

^bAssuming ideal gas behavior, the pressure and temperature dependence of the diffusion coefficient for a binary mixture of gases may be estimated from the relation

$$D_{AB} \propto p^{-1} T^{3/2}$$