

PROYEK AKHIR - VK194833

PENGARUH WAKTU DAN SUHU UDARA PENDINGIN PADA PENDINGINAN BIJI KOPI DENGAN UNGGUN PANCAR (*SPOUTED BED*)

AZRIEL MAULANA

NRP 10411810000069

FINALIA TRICIPTIANI

NRP 10411810000083

Dosen Pembimbing

Ir. Agung Subyakto, MS.

NIP 19580312 198601 1 001

Program Sarjana Terapan

Departemen Teknik Kimia Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



PROYEK AKHIR - VK194833

**PENGARUH WAKTU DAN SUHU UDARA PENDINGIN
PADA PENDINGINAN BIJI KOPI DENGAN UNGGUN
PANCAR (*SPOUTED BED*)**

AZRIEL MAULANA

NRP 10411810000069

FINALIA TRICIPTIANI

NRP 10411810000083

Dosen Pembimbing

Ir. Agung Subyakto, MS.

NIP 19580312 198601 1 001

Program Sarjana Terapan

Departemen Teknik Kimia Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - VK194833

**EFFECT OF DRYING TIME AND TEMPERATURE ON
THE DRYING OF COFFEE BEANS USING SPOUTED
BED**

AZRIEL MAULANA

NRP 10411810000069

FINALIA TRICIPTIANI

NRP 10411810000083

Advisor

Ir. Agung Subyakto, MS.

NIP 19580312 198601 1 001

Program Bachelor of Applied Science

Department of Industrial Chemical Industrial

Faculty of Vocation

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Proyek Akhir dengan Judul:
“Pengaruh Waktu dan Suhu Udara Pengering Pada Pengeringan Biji Kopi dengan Unggun Pancar (Spouted Bed)”

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
Di Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Azriel Maulana

NRP: 10411810000069

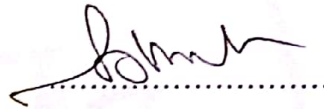
Finalia Triciptiani

NRP: 10411810000083

Disetujui Oleh:

Pembimbing:

1. Ir. Agung Subyakto, MS.
NIP. 195803121986011001



Penguji:

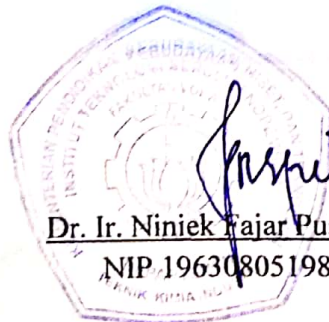
1. Ir. Agus Surono, M.T.
NIP. 195907271987011001



2. Saidah Altway, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 198808182012122002

Surabaya, 20 Juli 2022

Kepala Departemen Teknik Kimia Industri
Fakultas Vokasi



Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng.

NIP. 196308051989032002

APPROVAL SHEET

Final Project with Title:
“Effect Of Drying Time And Temperature On The Drying Of Coffee Beans Using Spouted Bed”

Submitted to fulfill one of the requirements for obtaining a degree
Bachelor of Applied Engineering (S.Tr.T)
at Department of Industrial Chemical Engineering
Faculty of Vocational Studies
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

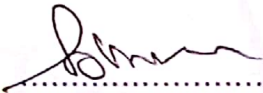
By:

Azriel Maulana
Finalia Triciptiani

NRP: 10411810000069
NRP: 10411810000083

Approved by:
Advisor:

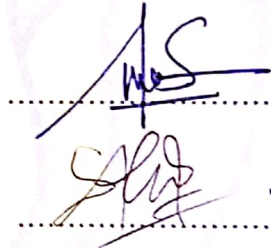
1. Ir. Agung Subyakto, MS.
NIP. 195803121986011001



.....

Examiner:

1. Ir. Agus Surono, M.T.
NIP. 195907271987011001
2. Saidah Altway, S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 198808182012122002



.....

Surabaya, 20 July 2022
Head of Industrial Chemical Engineering Department
Faculty of Vocational Studies



Dr. Ir. Niniek Fajar Puspita, M.Eng.
NIP 196308051989032002



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

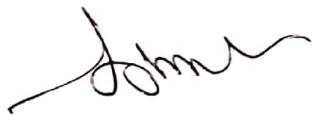
Nama mahasiswa / NRP : Azriel Maulana
NRP. 10411810000069
Finalia Triciptiani
NRP. 10411810000083
Departemen : Teknik Kimia Industri
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Agung Subyakto, MS.
NIP 195803121986011001

Dengan ini menyatakan bawah Proyek Akhir dengan judul **“Pengaruh Waktu dan Suhu Udara Pengering Pada Pengeringan Biji Kopi dengan Unggun Pancar (*Spouted Bed*)”** adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, Juli 2022

Mengetahui,
Dosen Pembimbing I



Ir. Agung Subyakto, MS.
NIP. 195803121986011001

Mahasiswa I



Azriel Maulana
NRP. 10411810000069

Mahasiswa II



Finalia Triciptiani
NRP. 10411810000083

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:


Name of student / NRP : Azriel Maulana
NRP. 10411810000069
Finalia Triciptiani
NRP. 10411810000083
Department : Industrial Chemical Engineering
Advisor / NIP : Ir. Agung Subyakto, MS.
NIP 195803121986011001

hereby declare that the Final Project with the title of "*Effect Of Drying Time And Temperature On The Drying Of Coffee Beans Using Spouted Bed*" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 2022

Acknowledged,
Advisor I



Ir. Agung Subyakto, MS.
NIP. 195803121986011001

Student I



Azriel Maulana
NRP. 10411810000069

Student II



Finalia Triciptiani
NRP. 10411810000083

PENGARUH WAKTU DAN SUHU UDARA PENGERING PADA PENGERINGAN BIJI KOPI DENGAN UNGGUN PANCAR (*SPOUTED BED*)

Nama Mahasiswa / NRP : 1. Azriel Maulana NRP. 10411810000069
2. Finalia Triciptiani NRP. 10411810000083
Departemen : Teknik Kimia Industri FV – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Agung Subyakto, MS.

ABSTRAK

Pengeringan merupakan salah satu proses pengolahan pada produk pangan maupun industri yang dilakukan untuk mencegah mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang akan membuat suatu produk kadaluarsa. Pengeringan biji kopi sangat penting untuk menghasilkan biji kopi yang berkualitas baik. Biji kopi saat panen memiliki kadar air 67.14%, dan akan dikeringkan hingga 12.5%. Pengeringan biji kopi dengan menggunakan panas matahari memiliki banyak kendala seperti waktu dan ketergantungan cuaca, yang dapat menimbulkan bau dan berkurangnya kualitas biji kopi. Hal tersebut melatarbelakangi pengembangan teknologi pengeringan dengan menggunakan unggun pancar. Pengereng unggun pancar memiliki beberapa keunggulan yaitu proses pengoperasian mudah, dan akan menghasilkan biji kopi yang berkualitas lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu pengeringan biji kopi dengan menggunakan teknik unggun pancar. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi suhu 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C, dengan variabel waktu 1 jam; 2 jam; 2,5 jam; 3 jam; 3,5 jam; dan 4 jam. Pada penelitian ini, partikel padatan di pancaran terbawa ke atas sampai puncak unggun. Di sekeliling pancaran, unggun bergerak ke bawah di daerah anulus. Fluida mengalir sebagian besar melalui pancaran dengan kecepatan sangat besar sehingga partikel terangkat, dengan demikian partikel akan bergerak ke atas dengan kecepatan tinggi di pancaran dan bergerak ke bawah dengan kecepatan rendah di anulus. Dari penelitian ini diharapkan dengan adanya unggun pancar sebagai alat pengeringan pada biji kopi dapat memudahkan para petani biji kopi agar tidak membutuhkan waktu yang lama dan tidak bergantung pada cuaca saat proses pengeringan.

Kata kunci: *Biji Kopi, Pengeringan, Suhu, Unggun Pancar.*

EFFECT OF DRYING TIME AND TEMPERATURE ON THE DRYING OF COFFEE BEANS USING SPOUTED BED

Student Name / NRP : 1. Azriel Maulana / 10411810000069
2. Finalia Triciptiani / 10411810000083
Department : Teknik Kimia Industri FV – ITS
Advisor : Ir. Agung Subyakto, MS.

ABSTRACT

Drying is the process to prevent microorganisms such as bacteria and fungi from making a product expired. Drying coffee beans is very important to produce good quality coffee beans. Coffee beans at harvest have a moisture content of 67.14%, and will be dried up to 12.5%. Drying coffee beans using the sun's heat has many constraints such as time and weather dependence, which can cause odor and reduce the quality of the coffee beans. This is the background for the development of drying technology using a spouted bed. Spouted bed has the advantage of being easy to operate, and will produce better quality coffee beans. The purpose of this study was to determine the effect of variations in temperature and drying time of coffee beans using a spouted bed technique. The variables used in this study were temperature variations of 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, and 70°C, with a time variable of 2 hours; 2.5 hours; 3 hours ; 3.5 hours; and 4 hours. In this study, the solid particles in the spouted bed were carried up to the top of the bed. Around the beam, the bed moves downward in the annulus region. Fluid flows mostly through the jet at a velocity so great that the particles are lifted, so the particles will move upward at high velocity in the jet and move down at low velocity at the annulus. From this research, it is hoped that the existence of a radiating bed as a drying tool for coffee beans can make it easier for coffee bean farmers so that they do not need a long time and do not depend on the weather during the drying process.

Keywords: *Coffee Beans, Drying, Temperature, Spouted Bed.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR GRAFIK.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SIMBOL.....	x
BAB 1 PENDAHULUAN.....	11
1.1 Latar Belakang.....	11
1.2 Rumusan Masalah	12
1.3 Tujuan.....	12
1.4 Manfaat.....	12
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Dasar Teori	13
2.1.1 Pengeringan.....	13
2.1.2 Unggun Pancar (<i>Spouted Bed</i>)	17
2.1.3 Biji Kopi.....	19
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	22
BAB 3 METODOLOGI	24
3.1 Desain Proyek.....	24
3.1.1 Prosedur Penelitian.....	24
3.1.2 Prosedur Metode Visualisasi	25
3.1.3 Variabel Percobaan	26
3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan	26
3.2.1 Bahan yang digunakan	26
3.2.2 Peralatan yang digunakan.....	26
3.3 Prosedur Percobaan	27
3.3.1 Prosedur Percobaan Alat Pengeringan <i>Spouted Bed</i>	27
3.3.2 Prosedur Pengujian Bahan	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Hasil Percobaan	30
4.2 Pembahasan	32

4.2.1	Pengaruh Pengeringan Terhadap Kadar Air Biji Kopi.....	32
4.2.2	Hubungan Laju pengeringan dengan X (kg H ₂ O / kg Biji Kopi Kering)....	33
4.2.3	Pengaruh Suhu dan Waktu Pengeringan Terhadap Visualisasi Biji Kopi ..	33
4.2.4	Pengaruh Ukuran Partikel Biji Kopi Terhadap Pengeringan	34
4.2.5	Pengaruh Desain Alat Terhadap Pengeringan.....	34
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....		36
LAMPIRAN.....		38
BIODATA PENULIS.....		52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengeringan Menggunakan Sinar Panas Matahari.....	13
Gambar 2. 2 Kandungan air beberapa bahan makanan pada suhu 25°C.....	16
Gambar 2. 3 Aliran Partikel dan Fluida dalam Unggun Pancar	18
Gambar 2. 4 Biji Kopi Basah	19
Gambar 2. 5 Tahapan proses kopi secara kering (Dry Process)	20
Gambar 2. 6 Tahapan proses kopi secara basah (Fully washed)	20
Gambar 2. 7 Tahapan proses kopi secara semi basah (Semi-Washed).....	21
Gambar 2. 8 Biji Kopi Setelah Pengeringan	22
Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Prosedur Metode Visualisasi	25
Gambar 3. 3 Visualisasi Alat Pengering (Spouted Bed).....	27

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Terhadap Kadar Air Dalam Pengeringan Biji Kopi	32
Grafik 4. 2 Hubungan Laju Pengeringan dengan X (kg H ₂ O / kg Biji Kopi Kering)	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Umum Kopi	22
Tabel 4. 1 Hasil Analisa Kadar Air Terhadap Biji Kopi.....	30
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Laju Pengeringan	30
Tabel 4. 3 Hasil Visualisasi Pengeringan Biji Kopi	31

DAFTAR SIMBOL

No.	Notasi	Keterangan	Satuan
1.	M	Massa	kg
2.	P	Tekanan	atm
3.	T	Suhu	C
4.	H	Ketinggian	cm
5.	D	Diameter	cm
6.	R	Jari-jari	m
7.	V_p	Volume Partikel	cm^3
8.	A_p	Luas Permukaan Partikel	cm^2
9.	d_{sv}	Diameter rata-rata	cm
10.	d_{pi}	Diamter suatu bidang	cm
11.	ϕ	<i>Sphercity</i>	-
12.	ΔP_s	Hilang tekan	N/m^2
13.	U_{mf}	Kecepatan Minimum Fluidisasi	cm/detik
14.	H_m	Tinggi Unggun Maksimum	cm
15.	D_c	Diameter kolom	cm
16.	D_i	Diameter nosel	cm
17.	d_p	Diameter partikel	cm
18.	ρ_p	Densitas partikel	g/cm^3
19.	G	Laju massa fluida	kg/cm^2 detik

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu faktor yang paling dominan sebagai penyebab kerusakan bahan pangan setelah lepas panen yaitu kadar air. Jika kadar air pada hasil panen cukup tinggi, maka kegiatan biologis dalam bahan pangan masih tetap berlangsung. Secara biokimia dan kimiawi, kegiatan tersebut seperti aktivitas enzim, respirasi, dan mikrobiologis sehingga hasil panen menjadi cepat busuk (Hariyadi, 2018).

Pengawetan makanan dengan cara menurunkan kadar air telah dilakukan sejak ribuan tahun yang lalu. Pengeringan atau dehidrasi adalah cara untuk menghilangkan sebagian air dari suatu bahan pangan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam bahan pangan dengan menggunakan energi panas (Hariyadi, 2018).

Cara pengeringan hasil panen terbagi dua golongan yaitu pengeringan alami (menggunakan panas matahari) dan pengeringan mekanis (menggunakan mesin buatan). Pengeringan dengan menggunakan energi matahari biasanya dilakukan dengan menjemur produk diatas alas jemuran atau lamporan, yaitu suatu permukaan yang luasnya dapat dibuat dari berbagai bahan padat. Sedangkan pengeringan mekanis yaitu pengeringan yang menggunakan bahan bakar sebagai sumber panas (bahan bakar cair, padat, listrik). Jenis-jenis pengeringan mekanis ini adalah *Tray dryer*, *Rotary Dryer*, *Spray Dryer*, dan *Freeze Dryer* (Hakim, 2017).

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan tanah air dengan harga jual yang relatif stabil dan mempunyai peranan penting dalam sumber pendapatan negara dan membangun perekonomian rakyat. Kopi sebagai komoditi ekspor masih didominasi dalam bentuk produk primer, dengan posisi Indonesia sebagai negara tropis maka produksi kopi Indonesia menduduki nomer ketiga setelah negara Brasil dan Columbia (Karyadi, Lumbanbantu, & Rahayoe, 2009). Jenis kopi yang banyak dibudidayakan di Indonesia yaitu jenis kopi Robusta dan kopi Arabica. Perkebunan rakyat banyak didominasi oleh jenis kopi Robusta dan Arabica karena dinilai memiliki citarasa yang tinggi (Anggara, 2011). Sedangkan (Santoso, Muhidong, & Mursalim, 2018) mengatakan bahwa kualitas dan cita rasa biji kopi ditentukan dari proses budidaya dan pengolahannya. Kecenderungan meningkatnya permintaan kopi dengan kualitas dan cita rasa yang diminati konsumen baik dalam negeri maupun luar negeri membuat pengolahan kopi menjadi faktor penentu dalam mencapai hal tersebut. Salah satu tahapan penting dalam pengolahan biji kopi yaitu pengeringan.

Proses pengeringan merupakan bagian penting dalam penanganan komoditi hasil pertanian salah satunya yaitu biji kopi robusta (*Coffea robusta*). Penggunaan sinar matahari sebagai sumber panas pada proses pengeringan masih memiliki kelemahan karena panas sinar matahari tidak berlangsung sepanjang hari dan hanya dapat didapatkan pada musim kemarau. Lama waktu pengeringan bergantung pada cuaca. Apabila musim hujan turun maka akan semakin lama proses pengeringan biji kopi sehingga akan mempercepat kerusakan biji kopi akibat pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini menyebabkan mutu biji kopi menjadi rendah. (Wijayanti & Hariani, 2019). Lalu Bortolotti et al (2013) melakukan percobaan pengeringan gandum dengan menggunakan *fluidized bed*. *Fluidized bed* memiliki kelebihan tidak bergantung pada cuaca. Namun percobaan tersebut memiliki kekurangan, karena gandum menempel pada pojok bawah kolom *fluidized bed* yang mengakibatkan gandum tidak kering merata. Selanjutnya Oni Napitu (2016) melakukan percobaan pengeringan gabah menggunakan *spouted bed*. Dalam percobaan tersebut memiliki beberapa kelebihan, diantaranya tidak bergantung pada cuaca, serta gabah kering secara merata dikarenakan ujung kolom berbentuk

kerucut sehingga tidak gabah tidak menempel pada pojok kolom *spouted bed*. Namun pada percobaan tersebut tidak memvariasikan suhu udara pengering.

Maka dari itu, perlu adanya penelitian pengaruh waktu dan suhu udara pengering pada pengeringan biji kopi dengan unggun pancar (*spouted bed*) untuk mengetahui pengaruh suhu udara dan waktu pengeringan terhadap kandungan kadar air biji kopi, laju difusi biji kopi, visualisasi hasil pengeringan biji kopi, dengan menggunakan teknik unggun pancar (*spouted bed*). Serta pengaruh ukuran partikel biji kopi dan desain kolom *spouted bed* terhadap pengeringan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, didapatkan perumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh suhu udara dan waktu pengeringan terhadap kandungan kadar air biji kopi, laju difusi biji kopi, visualisasi hasil pengeringan biji kopi, dengan menggunakan teknik unggun pancar (*spouted bed*). Serta pengaruh ukuran partikel biji kopi dan desain kolom *spouted bed* terhadap pengeringan.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang akan diacapai dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu udara dan waktu pengeringan terhadap kandungan kadar air biji kopi, laju difusi biji kopi, visualisasi hasil pengeringan biji kopi, dengan menggunakan teknik unggun pancar (*spouted bed*). Serta pengaruh ukuran partikel biji kopi dan desain kolom *spouted bed* terhadap pengeringan.

1.4 Manfaat

Manfaat dari inovasi ini adalah sebagai alternatif alat dalam proses pengeringan biji kopi dan diharapkan lebih efektif sebagai rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut guna memudahkan para petani Biji Kopi saat pengeringan Biji Kopi sehingga tidak membutuhkan waktu yang lama dan tidak bergantung pada cuaca.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu proses pengolahan pada produk pangan maupun industri. Pengeringan dilakukan untuk mengurangi kadar air atau kelembaban pada produk, hal ini dilakukan untuk mencegah mikroorganisme seperti bakteri dan jamur yang akan membuat suatu produk kadaluarsa. Pengeringan juga bisa dilakukan untuk mempermudah pengiriman produk secara masal pada hasil industri dan pangan, hal ini menguntungkan karena dapat mengurangi beban dan besarnya tumpukan makanan sehingga dapat menghemat biaya pengiriman (Hakim, 2017).

Pengeringan terbagi 2, yaitu pengeringan secara alami dan pengeringan menggunakan alat buatan. Masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan tersendiri. Kelebihan pengeringan secara alami adalah tidak memerlukan keahlian dan peralatan khusus, serta biayanya lebih murah. Kekurangan pengeringan secara alami adalah membutuhkan area yang luas, tergantung pada cuaca, dan kurang higienis. Kelebihan pengering buatan adalah suhu dan kecepatan proses pengeringannya dapat dikendalikan dengan mudah serta tidak tergantung pada cuaca. Kekurangan pengering buatan adalah memerlukan ketrampilan dan peralatan khusus serta mengeluarkan biaya yang tinggi (Hakim, 2017).

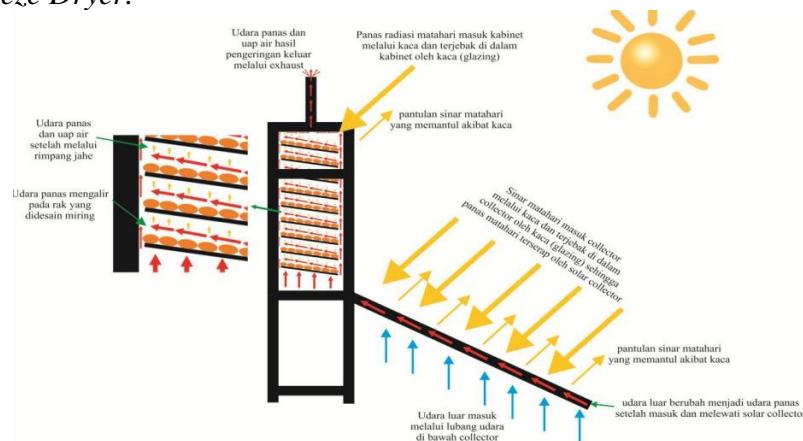
Menurut Hakim (2017), cara pengeringan hasil panen terbagi menjadi dua golongan, antara lain:

1. Pengeringan Alami (Menggunakan Panas Matahari)

Pengeringan hasil pertanian dengan menggunakan energi matahari biasanya dilakukan dengan menjemur produk diatas alas jemuran atau lamporan, yaitu suatu permukaan yang luasnya dapat dibuat dari berbagai bahan padat. Sesuai dengan sistem dan peralatannya serta pertimbangan faktor ekonomis, alat jemur dapat dibuat dari anyaman tikar, anyaman bambu, lembaran seng, lantai batu bata atau lantai semen. Pengeringan ini adalah pengeringan yang paling sederhana (dengan cara penjemuran). Penjemuran adalah usaha pembuangan atau penurunan kadar air suatu bahan untuk memperoleh tingkat kadar air yang cukup aman disimpan, yaitu yang tingkat airnya seimbang dengan lingkungannya.

2. Pengeringan Mekanis (Menggunakan Mesin Buatan)

Pengeringan ini menggunakan bahan bakar sebagai sumber panas (bahan bakar cair, padat, listrik). Jenis-jenis pengeringan mekanis ini adalah *Tray dryer*, *Rotary Dryer*, *Spray Dryer*, dan *Freeze Dryer*.



Gambar 2. 1 Pengeringan Menggunakan Sinar Panas Matahari
Sumber: (Hariyadi, 2018)

2.1.1.1 Faktor Pengeringan

Faktor yang mempengaruhi pengeringan terdiri dari faktor udara pengering dan sifat bahan. Faktor yang berhubungan dengan udara pengering adalah suhu, kecepatan aliran udara pengering, dan kelembaban udara. Sedangkan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yaitu ukuran bahan, kadar air awal dan tekanan parsial dalam bahan (Lahming, 2012).

Menurut Lahming (2012), pengeringan dengan konveksi untuk bahan padat (seperti biji-bijian hasil pertanian) dibagi dalam dua periode, yaitu:

1. Dengan kecepatan pengeringan tetap, yaitu pada saat air yang terdapat pada permukaan teruapkan. Pada periode ini kecepatan pengeringan dipengaruhi oleh suhu kelembaban udara dan kecepatan aliran udara serta kecepatan sirkulasi.
2. Dengan kecepatan pengeringan semakin menurun.

Menurut Sauer (1992), beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, antara lain :

1. Suhu Udara Pengering

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang. Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Makin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat. Biaya pengeringan dapat ditekan pada kapasitas yang besar jika digunakan pada suhu tinggi, selama suhu tersebut sampai tidak merusak bahan.

2. Kelembaban Relatif (RH) Udara Pengering

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Kelembaban relatif juga menentukan besarnya tingkat kemampuan udara pengering dalam menampung uap air di permukaan bahan. Semakin rendah RH udara pengering, maka makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi, karena mampu menyerap dan menampung uap air lebih banyak dari pada udara dengan RH yang tinggi. Laju penguapan air dapat ditentukan berdasarkan perbedaan tekanan uap air pada udara yang mengalir dengan tekanan uap air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Tekanan uap jenuh ini ditentukan oleh besarnya suhu dan kelembaban relatif udara. Semakin tinggi suhu, kelembaban relatifnya akan turun sehingga tekanan uap jenuhnya akan naik dan sebaliknya.

3. Kecepatan Aliran Udara Pengering

Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pembawa panas untuk menguapkan kandungan air pada bahan serta mengeluarkan uap air tersebut. Air dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap dan harus secepatnya dipindahkan dari bahan. Bila tidak segera dipindahkan maka air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga akan memperlambat pengeluaran air selanjutnya. Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah uap air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Semakin besar volume udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air di permukaan bahan.

4. Kadar Air Bahan

Pada proses pengeringan sering dijumpai adanya variasi kadar air bahan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh tebalnya tumpukan bahan, RH udara pengering serta kadar air awal bahan. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara mengurangi ketebalan tumpukan bahan, menaikkan kecepatan aliran udara pengering dan pengadukan bahan.

2.1.1.2 Mekanisme pengeringan

Mekanisme pengeringan diterangkan melalui teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama kali mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habis, maka terjadi migrasi air dan uap air dari

bagian dalam bahan secara difusi. Migrasi air dan uap terjadi karena perbedaan tekanan uap pada bagian dalam dan bagian luar bahan (Henderson dan Perry, 1976).

Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan melewati permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya. Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari dalam bahan ke permukaannya dan seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya (Henderson dan Perry, 1976).

2.1.1.3 Penentuan Kadar Air

Salah satu faktor kimia yang mempengaruhi kecepatan proses pengeringan adalah banyaknya panas yang dapat diserap dan dikumpulkan oleh alat pengering dan laju udara pengering. Semakin besar kadar air awal, makin besar pula energi panas yang di perlukan untuk mengeringkan bahan makanan tersebut (Sary, 2017).

Berdasarkan bahan kering (*dry basis*) dan berdasarkan bahan basis basah (*wet basis*). Kadar air secara *dry basis* adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan bahan keringnya. Kadar air secara *wet basis* adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan berat bahan basah. Persamaan untuk menentukan kadar air menurut Winarno (1993) adalah sebagai berikut:

$$KA (bb) = \frac{Wb - Wk}{Wb} \times 100\%$$

Dimana KA (bb) : kadar air bahan berdasarkan bahan basah (*wet basis*)(%)

Wb : Berat bahan basah atau sebelum pengeringan (gram)

Wk : Berat bahan kering atau setelah pengeringan (gram)

2.1.1.4 Hubungan Udara dalam Proses Pengeringan

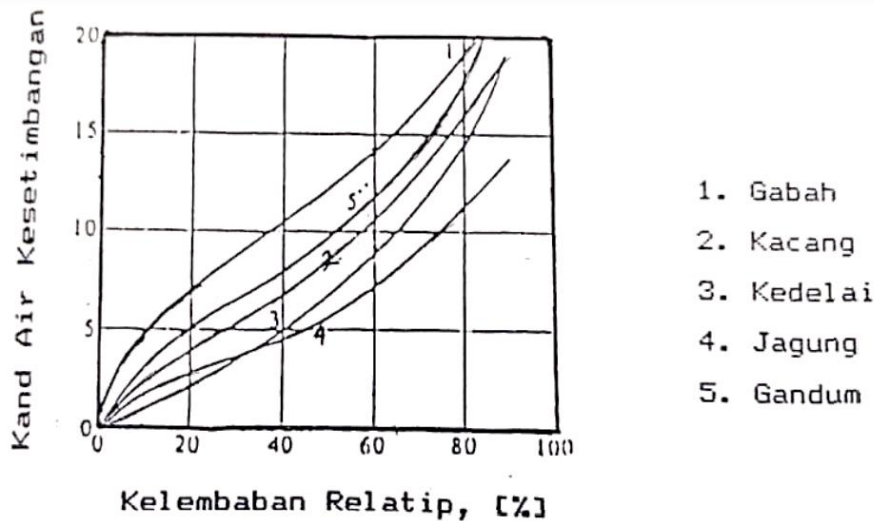
Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi dan komponen campuran gas tersebut tidak selalu konstan. Udara juga merupakan atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan manusia di dunia ini. Dalam udara terdapat oksigen untuk bernafas, karbondioksida untuk proses fotosintesis oleh klorofil daun dan ozon untuk menahan sinar ultraviolet. Udara di bumi yang kering mengandung 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1% uap air, karbon dioksida dan gas-gas lain. Kandungan elemen senyawa gas dan partikel dalam udara akan berubah-ubah tergantung dari ketinggian permukaan tanah. Demikian juga massanya, akan berkurang seiring dengan ketinggian. Semakin dekat dengan lapisan troposfer, maka udara semakin tipis, sehingga melewati batas gravitasi bumi, maka udara akan hampa sama sekali. Apabila makhluk hidup bernapas, kandungan oksigen berkurang, sementara kandungan karbon dioksida bertambah. Ketika tumbuhan menjalani sistem fotosintesa, oksigen kembali dibebaskan (Purba, L. S. L. & Harefa, 2020).

Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai media pembawa panas pada saat pengeringan bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengeringan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air

akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengeringan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat (Syah et al., 2016).

Udara yang digunakan dalam proses pengeringan mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: berbentuk gas, memiliki massa atau berat, menempati ruang, mempunyai tekanan, akan memuai jika dipanaskan, akan menyusut jika didinginkan, berhembus dari tempat yang bertekanan tinggi menuju ke tempat yang bertekanan rendah, ada dimana saja, tidak dapat dilihat, namun dapat dirasakan dan bentuk, volume serta massa jenisnya selalu berubah-ubah (Syah et al., 2016).

Hubungan antar kandungan air kesetimbangan dan kelembaban relatif udara untuk berbagai bahan pada suhu tertentu telah banyak dipelajari. Kandungan air kesetimbangan untuk bahan padat tak berpori relatif lebih rendah daripada bahan yang berpori.



Gambar 2. 2 Kandungan air beberapa bahan makanan pada suhu 25°C
 Sumber: (Mathur & Epstein, 1974)

Bahan padat yang dikenal proses pengeringan dapat berbentuk irisan tipis (*flakes*), butiran (*granules*), kristal, tepung, lapisan datar (*slabs*), atau lembaran tipis yang kontinu (*continuous sheet*) dan mempunyai sifat yang berlainan pula. Air yang dipisahkan mungkin berada pada permukaan bahan atau didalam bahan, atau sebagian berada pada permukaan, sebagian lagi didalam bahan. Sebagai akibatnya berbagai macam pesawat pengering telah dikembangkan dan dipakai didalam industri.

2.1.1.5 Laju Pengeringan

Menurut Hariyadi (2018), laju pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan per satuan waktu. Adapun yang mempengaruhi laju pengeringan dipengaruhi antara lain sebagai berikut:

- Bentuk
- Ukuran dan susunan bahan saat dikeringkan
- Suhu kelembapan
- Kecepatan aliran udara pengering

Adapun rumus laju pengeringan yang dijelaskan oleh Geankoplis (2008), yaitu:

$$AR = -Ls \frac{dx}{dt}$$

Dimana:

AR = Laju rate pengeringan (kg/jam)

L_s = Massa biji kopi kering (kg)

dx = Massa kandungan air / massa biji kopi kering

dt = waktu pengeringan (jam)

2.1.1.6 Aliran Fluida dalam Pengeringan

Definisi fluida (zat alir) adalah zat yang dapat mengalir dan memberikan sedikit hambatan terhadap bentuk ketika diberi tekanan, misalnya zat cair, gas atau udara. Fluida dapat digolongkan dalam dua macam, yaitu fluida statis (diam) dan fluida dinamis (bergerak). Fluida mempunyai kerapatan yang besarnya tertentu pada suhu dan tekanan tertentu, jika kerapatan fluida dipengaruhi oleh perubahan tekanan maka fluida itu dapat mampat atau kompresibel. Sebaliknya fluida yang kerapatannya hanya sedikit dipengaruhi oleh perubahan tekanan disebut tidak mampat atau inkompresibel. Contoh fluida kompresibel adalah udara (gas) sedangkan yang inkompresibel adalah air (zat cair). Fluida merupakan suatu zat yang dalam keadaan setimbang tidak dapat menahan gaya atau tegangan geser (shear force). Fluida juga dapat didefinisikan sebagai zat yang dapat mengalir bila ada perbedaan tekanan dan tinggi. Suatu sifat dasar fluida nyata yaitu, tahanan terhadap aliran yang diukur sebagai tegangan geser yang terjadi pada bidang geser yang dikenai tegangan tersebut adalah viskositas atau kekentalan/kerapatan zat fluida tersebut. Ketahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang (Rachman, 2018).

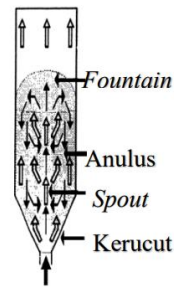
Menurut Rachman (2018), berdasarkan wujudnya, fluida dapat dibedakan menjadi dua antara lain :

1. Fluida gas, yaitu fluida dengan partikel yang renggang dimana gaya tarik antara molekul sejenis relatif lemah dan sangat ringan sehingga dapat melayang dengan bebas serta volumenya tidak menentu.
2. Fluida cair, yaitu fluida dengan partikel yang rapat dimana gaya tarik antara molekul sejenisnya sangat kuat dan mempunyai permukaan bebas serta cenderung untuk mempertahankan volumenya.

2.1.2 Unggun Pancar (*Spouted Bed*)

Pengering *Spouted Bed* merupakan pengering dengan suhu tinggi. Keuntungan pengeringan ini adalah kapasitas pengeringan yang lebih besar karena rasio laju udara dengan massa dari produk dan besarnya laju kontak suhu dengan bahan dibandingkan pengeringan suhu rendah. Selain itu, pengering dengan *spouted bed* biasanya digunakan sebagai pengering *two stage* yaitu pengering yang sebaiknya digunakan pada kadar air awal bahan 18 – 31% bb (basis basah) (Wiset et al. 2001). Kondisi pada pengering *spouted bed* diasumsikan berupa kombinasi dari dua bentuk hidrodinamika yaitu transfer pneumatic pada daerah *spout* dan perpindahan bahan pada daerah *downcomer* (Madhiyanon et al. 2007).

Unggun pancar (*spouted bed*) adalah teknik pengkontakkan padatan dengan fluida. Di dalam sistem unggun pancar, terdapat bagian unggun yang tersuspensi oleh aliran fluida ke atas atau bisa disebut pancaran. Partikel padatan di pancaran terbawa ke atas sampai puncak unggun. Di sekeliling pancaran, unggun bergerak ke bawah di daerah anulus seperti yang tertera pada **Gambar 2.3**.



Aliran inlet udara

Gambar 2.3 Aliran Partikel dan Fluida dalam Unggun Pancar
Sumber: (Bortolotti et al., 2013)

Karakteristik unggun pancar biasanya dinyatakan dalam kurva hubungan hilang tekan terhadap kecepatan fluida (**Gambar 2.3**). Karakteristik ini dipengaruhi oleh:

1. Geometri unggun: diameter kolom, diameter nosel, tinggi unggun, bentuk bagian bawah alat.
2. Sifat partikel: densitas, diameter/derajat kebolaan.
3. Sifat fluida: densitas dan viskositas.

Beberapa parameter unggun pancar diuraikan secara singkat berikut ini. Peningkatan diameter kolom menaikkan ketinggian unggun yang masih terjadinya pancaran (Davidson,1971). Dan menurunkan kecepatan superfisial fluida minimum yang diperlukan untuk terjadinya pancaran (Leva,1958).

Untuk diameter kolom dan ukuran partikel tertentu, terdapat ukuran diameter nosel maksimum, di atas diameter nosel maksimum, pancaran tidak terjadi tetapi unggun akan berubah menjadi aggregative fluidized bed (Mathur, 1974). Makin besar ukuran diameter nosel, ketinggian unggun maksimum akan berkurang (Mathur, 1974).

Bagian bawah kolom bisa berbentuk kerucut atau datar. atau kadang-kadang seluruh alat berbentuk kerucut. Bentuk kerucut memudahkan aliran partikel padat dari anulus ke dalam daerah pancaran dan menghindari daerah mati. Makin kecil sudut kerucut, udara yang dibutuhkan untuk pancaran minimum lebih sedikit (Leva, 1959). Tetapi bila sudut kerucut terlalu tajam/kecil, pancaran menjadi tidak stabil karena seluruh unggun cenderung untuk terangkat ke atas oleh fluida (Mathur, 1974). Bentuk datar dapat menyebabkan terbentuknya daerah diam (stagnan) di dalam kolom (Madonna, 1960).

Kecenderungan untuk memancar makin bertambah bila ukuran partikel makin besar (Leva, 1959). Menurut Malek dan Lu bila ukuran partikel makin besar, tinggi unggun maksimum akan berkurang, sedangkan menurut Reddy (Mathur, 1974) dengan bertambah besarnya ukuran partikel, tinggi unggun maksimum mula-mula akan bertambah, kemudian akan berkurang.

Spouted bed merupakan alternatif untuk fluidisasi untuk partikel padat yang terlalu kasar untuk fluidisasi yang baik untuk banyak proses seperti pengeringan, pelapisan, granulasi, ekstraksi mekanis dan *pyrolysis*. Teknik ini merupakan alternatif untuk fluidisasi untuk partikel padat yang terlalu kasar untuk fluidisasi yang baik. Selain kemampuannya untuk menangani partikel kasar, *spouted bed* memiliki pola aliran struktural dan siklik dengan kontak fluida-padat yang efektif, menjadikan teknik ini alternatif yang sangat baik untuk mengeringkan residu buah (Bortolotti et al., 2013).

Dalam proses seperti pengeringan udara panas dari produk pertanian, *spouted bed* cocok untuk partikel yang relatif kasar yang dicapai oleh *fluidized bed* gas untuk partikel yang lebih halus. Batas antara halus dan kasar adalah diameter bola volume-setara 0,5–1,0 mm. Selain mencapai kontak gas-padatan yang menguntungkan, *spouting* lebih baik daripada fluidisasi pada partikel kasar dengan gas yang menyebabkan kontak padatan-padatan substantif. Keistimewaan tambahan dari unggun dengan cerat ini khususnya dapat diterapkan pada operasi mekanis seperti penghancuran padatan dan pengupasan biji-bijian (Epstein & Grace, 2010).

Teknologi alas berbentuk kerucut memberikan kecepatan perpindahan panas yang sebanding dengan *fluidized bed* silindris yang lebih umum, sekaligus menghasilkan sirkulasi partikel padat yang lebih kuat. Karena pembentukan sirkulasi padatan yang kuat dan gas yang tinggi, kontak padat pada alas berbentuk kerucut ini telah menemukan aplikasi yang luas dalam banyak proses kimia (Hosseini et al., 2010).

2.1.3 Biji Kopi

Kopi merupakan salah satu minuman yang sering dikonsumsi dan diperdagangkan oleh masyarakat Indonesia. Selain itu, kopi dijadikan sebagai komoditas andalan dalam sektor perkebunan Indonesia. Tidak hanya di Indonesia saja, banyak masyarakat dunia mengolah kopi menjadi minuman bahkan makanan berkualitas dan memiliki harga jual yang tinggi. Hal tersebut diperkuat oleh Fujioka and Shibamoto (2008) yang menyatakan bahwa kopi menempati urutan kedua dari semua komoditas pangan yang dikonsumsi dan diperdagangkan diseluruh dunia (Farhaty & Muchtaridi, 2014).



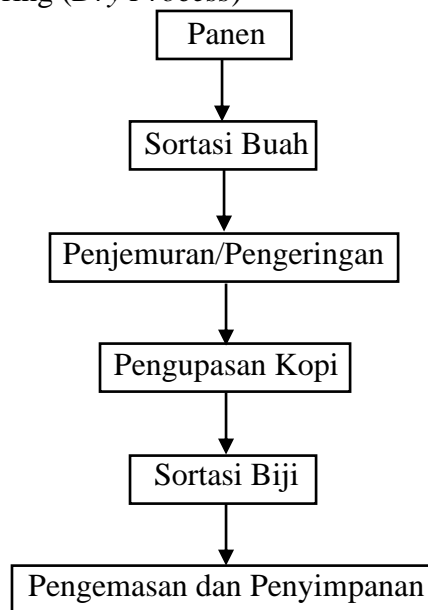
Gambar 2. 4 Biji Kopi Basah
Sumber: (Sary, 2017)

Dari data statistik 2015 (angka estimasi), Indonesia memiliki luas areal perkebunan kopi 1.254.382 Ha, dengan hasil produksi 739.005 ton. Sedangkan untuk Aceh memiliki luas areal perkebunan 123.764 Ha, dengan hasil produksi 48.282 ton. Untuk wilayah Aceh hasil produksi kopi yang paling banyak adalah Aceh Tengah. Berdasarkan data Dinas Perkebunan dan Kehutanan Aceh Tengah sampai akhir 2012 dengan hasil produksi kopi arabika mencapai 25.370 ton dan robusta 793 ton pertahun (Sary, 2017).

Dua spesies kopi yang sering dibudidayakan dan memberikan nilai ekonomis yaitu *Coffea arabica* atau yang sering disebut dengan kopi Arabica dan *Coffea canephora* atau yang sering disebut dengan kopi Robusta. Kopi Arabica dan Robusta memiliki perbedaan diantaranya iklim ideal untuk tumbuh, aspek fisik, dan komposisi kimia (Chu, 2012). Selain itu, rasa yang dihasilkan dari dua jenis kopi ini berbeda, Kopi Arabica memiliki rasa yang lebih enak dan aroma lebih menarik jika dibandingkan dengan yang kopi lainnya, sedangkan kopi Robusta memiliki rasa yang lebih pahit. Banyaknya perbedaan pada dua jenis kopi ini tentu berhubungan dengan komponen kimia yang terdapat pada dua jenis kopi tersebut (Jaiswal et al., 2010).

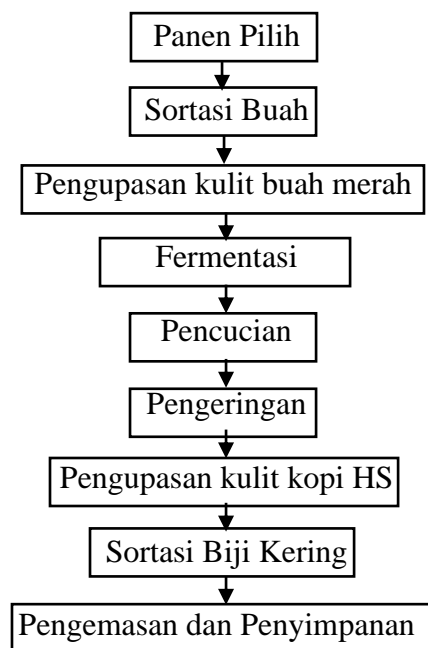
Ada beberapa proses penanganan kopi paska panen. Menurut Sary (2017), proses penanganan paska panen terbagi menjadi tiga antara lain:

1. Proses Kopi Secara Kering (*Dry Process*)



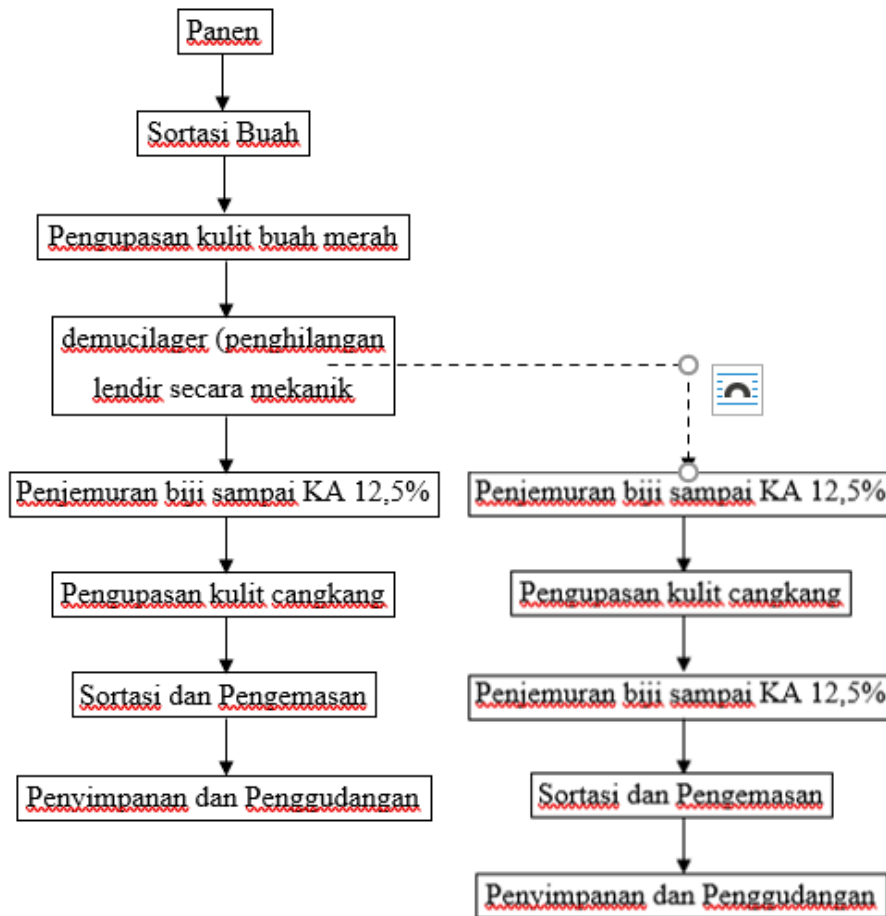
Gambar 2. 5 Tahapan proses kopi secara kering (*Dry Process*)

2. Proses Secara Basah (*Fully Washed*)



Gambar 2. 6 Tahapan proses kopi secara basah (*Fully washed*)

3. Proses Secara Semi Basah (*Semi Washed Process*)



Gambar 2. 7 Tahapan proses kopi secara semi basah (*Semi-Washed*)

2.1.3.1 Pengeringan Biji Kopi

Kecenderungan meningkatnya permintaan kopi dengan kualitas dan cita rasa yang diminati konsumen baik dalam negeri maupun luar negeri membuat pengolahan kopi menjadi faktor penentu dalam mencapai hal tersebut. Salah satu tahapan penting dalam pengolahan biji kopi yaitu pengeringan.

Proses pengolahan produksi biji kopi mentah (hasil petikan dari pohon) menjadi kopi bubuk bercita rasa tinggi melibatkan serangkaian kegiatan yang berkesinambungan. Masing-masing tahapan kegiatan dilakukan secara terpisah dan menggunakan peralatan yang berbeda-beda dengan sistem operasi yang terpisah, akan tetapi mempunyai potensi untuk diintegrasikan satu dengan yang lainnya. Tahap awal adalah proses pemetikan biji kopi dari pohon kopi yang dilakukan oleh para petani kopi secara manual. Tahapan selanjutnya dilakukan secara berurutan, yang dapat dibagikan kepada dua kelompok besar yaitu proses pengolahan kopi primer dan proses pengolahan kopi sekunder (Hamni, A. Ibrahim, Gusri Akhyar Harun, 2014).

Biji kopi saat panen memiliki kadar air 42%. Proses pengolahan kopi primer, secara berurutan, adalah proses pengeringan tahap pertama hingga mencapai kandungan kadar air 25%, proses pengupasan kulit buah, pengeringan tahap kedua sehingga kandungan kadar air 12% dan proses penyortiran. Sementara itu, proses pengolahan kopi sekunder adalah proses penyangraian, pendinginan, pengilingan menjadi bubuk kopi, pengepakan dan pengemasan serta pemasaran. Salah satu proses pengolahan biji kopi yang sangat penting dan krusial adalah proses pengeringan karena hasil dari capaian proses pengeringan akan menentukan kualitas biji

kopi untuk proses berikutnya, termasuk mengolah biji kopi menjadi kopi bubuk. Setelah biji kopi dikeringkan hingga mencapai kadar air 12,5%, proses selanjutnya adalah proses pengolahan untuk menjadi kopi bubuk (Hamni, A. Ibrahim, Gusri Akhyar Harun, 2014).



Gambar 2. 8 Biji Kopi Setelah Pengeringan
Sumber: (Sary, 2017)

2.1.3.2 Standar Mutu Biji Kopi

Standar mutu diperlukan sebagai tolok ukur dalam pengawasan mutu dan merupakan perangkat pemasaran dalam menghadapi klaim dari konsumen dan dalam memberikan umpan balik ke bagian pabrik dan bagian kebun (Sary, 2017).

Standar Nasional Indonesia biji kopi yang telah dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional yaitu SNI Nomor 01-2907-2008. Persyaratan umum mutu biji kopi dapat terlihat pada **Tabel 2.1.**

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Umum Kopi

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Kadar air (b/b)	%	Maks 12,5
2.	Kadar kotoran berupa rasing, batu, tanah, dan benda-benda asing lainnya	%	Maks 0,5
3.	Serangga hidup	-	Tidak ada
4.	Berbau busuk dan berbau kapang	-	Tidak ada

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Ratna Sary (2016) melakukan eksperimen pengeringan biji kopi dengan menggunakan sistem konveksi paksa. Percobaan tersebut dilakukan di daerah Aceh dengan cara menambahkan kipas yang berguna untuk mempercepat proses pengeringan pada biji kopi. Nilai kadar air awal dari kopi tersebut yaitu sebesar 42 %, lalu ditambahkan kipas dengan temperatur rata-rata 60⁰C selama 4 jam, dan dengan 3 variasi kecepatan udara yaitu 3,15 m/s dapat mengurangi kadar air sebanyak 31 % dan menghabiskan bahan bakar sebanyak 1,2 kg. Kecepatan udara 3,75 m/s dapat mengurangi kadar air sebanyak 33 % dan menghabiskan bahan bakar sebanyak 1,3 kg. Sedangkan kecepatan udara 4,03 m/s dapat mengurangi kadar air sebanyak 36% dan menghabiskan bahan bakar 1,5 kg. Hasil pengeringan tergantung pada kecepatan udara pengeringan.

Arinal Hamni , Gusri Akhyar Ibrahim, dan Suryadiwansa Harun (2014) melakukan implementasi sistem gasifikasi untuk pengeringan biji kopi. Penelitian dilakukan di Provinsi Lampung. Proses pengeringan menggunakan sistem gasifikasi yang dikombinasi dengan alat penukas kalor, dan memanfaatkan panas hasil pembakaran limbah kopi sebagai sumber panas untuk proses pengeringan. Reaktor gasifikasi mampu menghasilkan suhu tinggi pada pipa keluar reaktor yaitu sekitar 350⁰C. Penyaluran udara panas ke alat penukar kalor akan memanaskan udara di dalam pipa kecil penukar kalor. Udara panas bersih di dalam pipa kecil

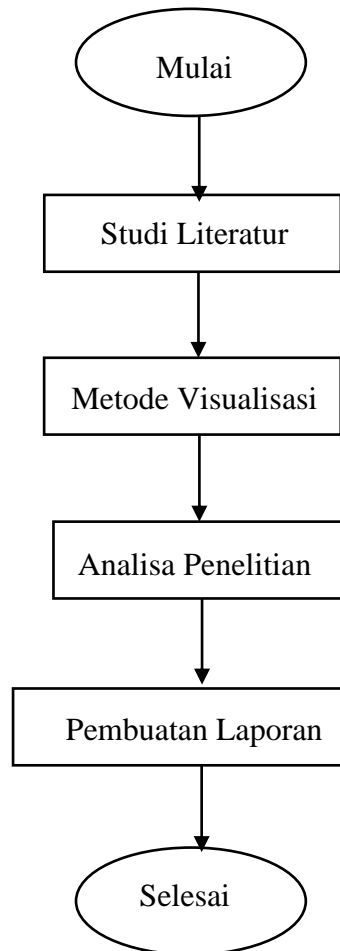
yang disalurkan ke dalam ruang pengering dapat mencapai suhu 55°C. Suhu ini yang digunakan untuk mengering biji kopi hingga mencapai kadar kekeringan yang diperlukan. Untuk bahan baku reaktor (kulit kopi kering) dengan berat 35-45 kg dapat menghasilkan gas panas selama 3 jam.

Yusnita Oni Napitu, Leopold Oscar Nelwan, dan Dyah Wulandani (2016) melakukan simulasi pengeringan gabah pada pengering *spouted bed* dua dimensi. Pengering unggun pancar tersebut dilakukan secara kontinyu. Pada proses simulasi, ruang pengering dibagi menjadi dua daerah, yaitu daerah *spout* dan daerah *downcomer*. Udara dan bahan di daerah *spout* dan *downcomer* diasumsikan bergerak dengan prinsip aliran co- dan *counterflow*. Suhu udara yang digunakan selama pengujian adalah suhu 80°C dengan kadar air awal bahan yang berbeda-beda yaitu 41% bk, 36% bk dan 30% bk. Dari data pengujian menunjukkan bahwa suhu udara di daerah *spout* akan menurun secara signifikan terhadap posisi aksial ruang pengering tetapi pada daerah *downcomer* suhu udara bernilai fluktuatif. Nilai rata-rata deviasi pada pendugaan suhu udara daerah *spout* bernilai kurang dari 4.5% dan pada daerah *downcomer* deviasi bernilai kurang dari 4.2%. Suhu gabah dan kelembaban mutlak udara pada daerah *spout* menunjukkan bahwa nilai akan naik secara bertahap sementara untuk daerah *downcomer* nilai menurun secara bertahap terhadap posisi aksial. Penurunan kadar air menunjukkan bahwa untuk daerah *spout* dan daerah *downcomer* mengalami penurunan nilai. Penurunan kadar air daerah *spout* lebih besar dibandingkan daerah *downcomer* karena pada daerah *spout* laju aliran udara lebih besar.

BAB 3 METODOLOGI

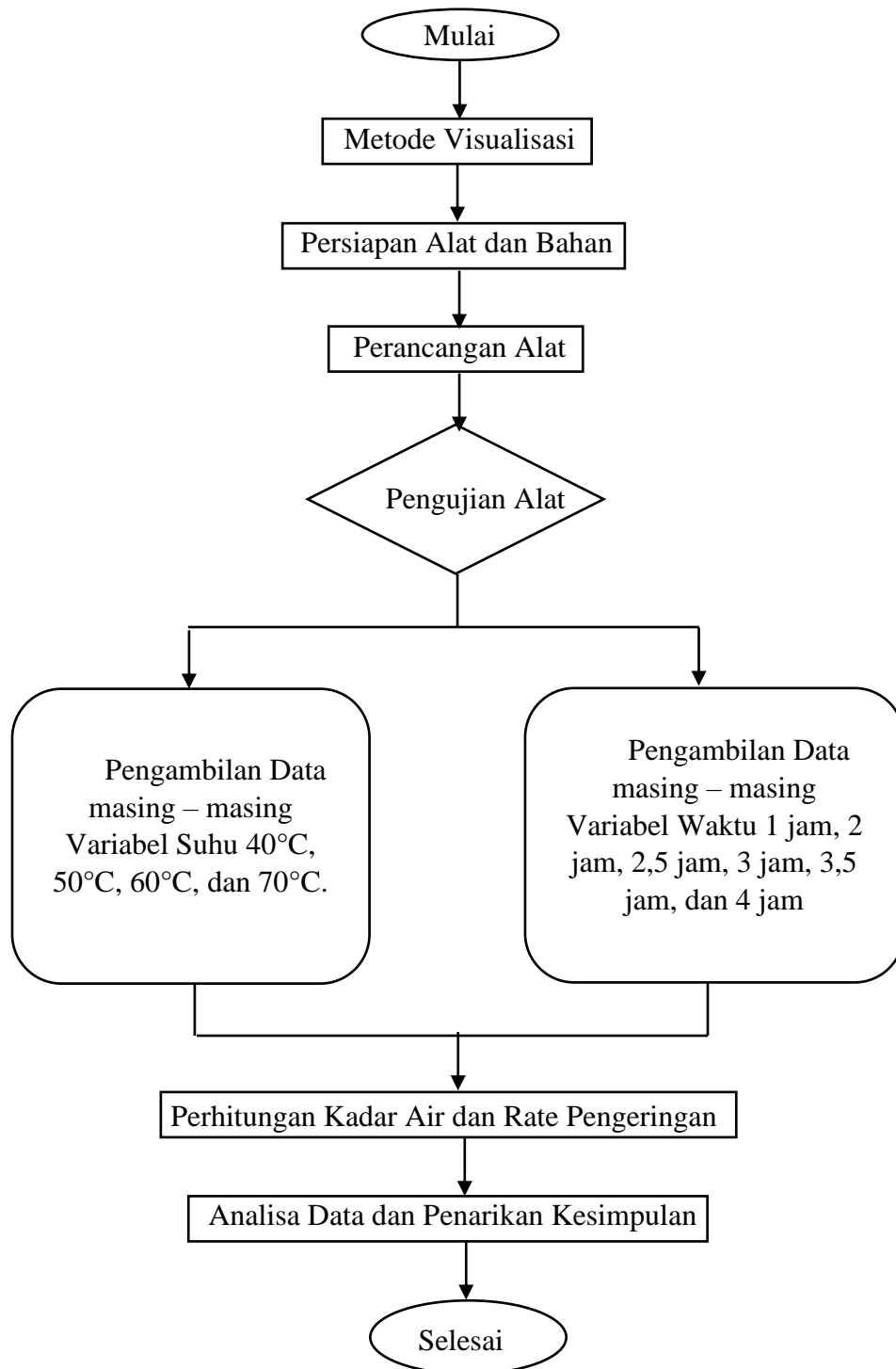
3.1 Desain Proyek

3.1.1 Prosedur Penelitian



Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian

3.1.2 Prosedur Metode Visualisasi



Gambar 3. 2 Prosedur Metode Visualisasi

3.1.3 Variabel Percobaan

Variabel yang digunakan dalam sistem yang dipelajari adalah :

1. Variabel Tetap :
 - a. Ketinggian fix bed 10 cm
 - b. Ketinggian unggun pancar 10 cm
2. Variabel Bebas :
 - a. Suhu Kolom Unggun : 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C
 - b. Waktu: Pengeringan 1 jam, 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, 3,5 jam, dan 4 jam

3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan

3.2.1 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan di dalam proses pengeringan Biji Kopi dengan teknik unggun pancar (*spouted bed*) adalah Biji Kopi Robusta. Biji Kopi Robusta yang digunakan merupakan hasil panen dari Petani Biji Kopi Robusta pada Desa Tamiajeng, Kecamatan Trawas, Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur.

3.2.2 Peralatan yang digunakan

3.2.2.1 Perancangan Alat *Spouted bed drying*

1. Kolom *Spouted bed*

Bahan Alat	Spesifikasi
Pipa PVC Ukuran 8"	D : 16 cm, p : 60 cm
Akrilik 5 mm	l : 4 cm, p : 60 cm
Stainless Conical Cone	D : 16 cm, t : 5cm

2. *Electric Air Heater*

Bahan Alat	Spesifikasi
Finned Heater	l : 18 cm, p : 24 cm, 220Volt, 1 Kw
Panci Stainless Stell	D : 22 cm, p : 30cm
Dimmer AC	220 Volt, 2 Kw
Thermometer Digital	-
Reducer Galvanis	3 inc – 1 inc
Elbow Galvanis	1 inc

3. Ring Blower Takafan

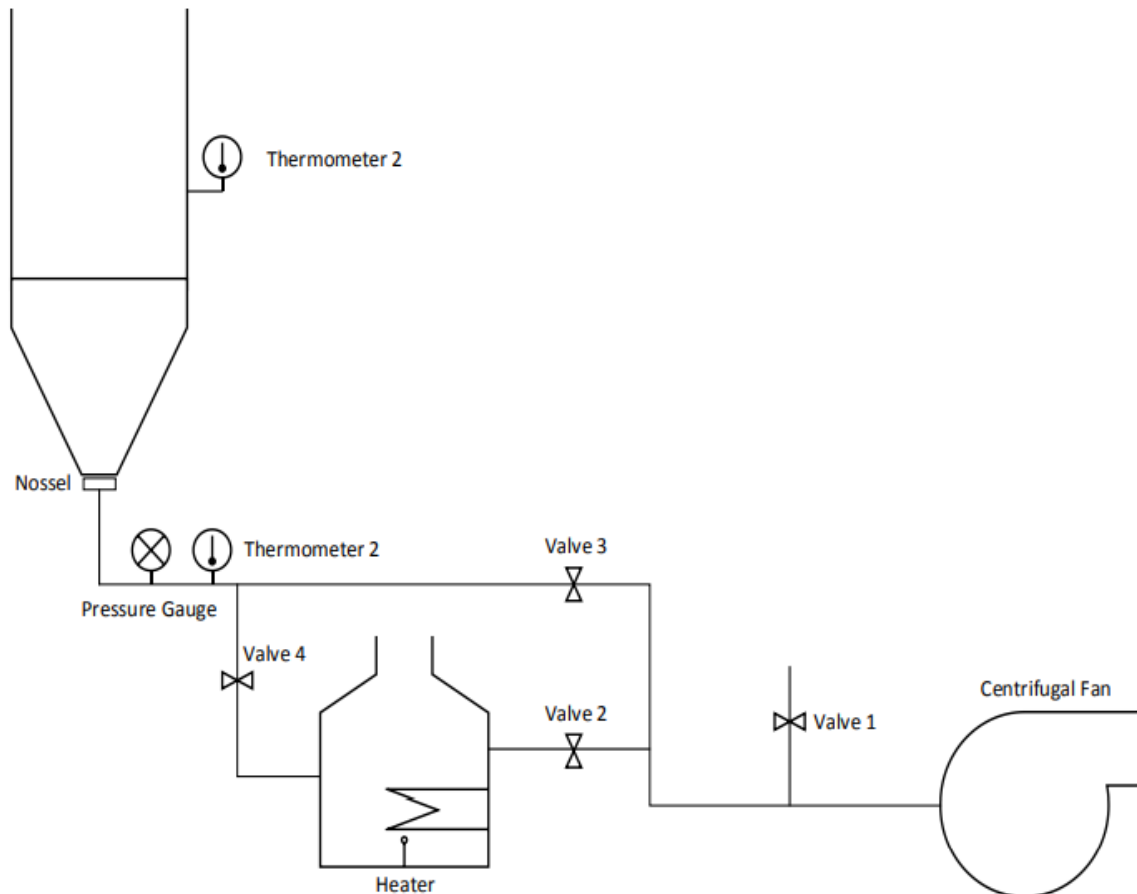
Spesifikasi	
Speed	2800 Rpm
Air Flow	110 cmH ₂ O
Power	750 Watt
ST Press	16.000 Pa
Voltage	380 Volt

4. Rangkaian Perpipaan

Jenis Pipa	Spesifikasi
Pipa PVC 3"	p : 100 cm
Pipa PVC 2"	p : 100 cm
Pipa PVC 1"	P : 100 cm

Suction Tee PVC	Ukuran 2" 1 buah dan 1" buah
Sucton Elbow PVC	Ukuran 1" 1 buah
Double Nipple PVC	Ukuran 1" 2 buah
Ball Valve PVC	Ukuran 2" 1 buah dan 1" 3 buah
Pipa Galvanis 1"	P : 200 cm
Suction Tee Galvanis	Ukuran 1" 2 buah
Suction Elbov Galvanis	Ukuran 1" 1 buah
Double Nipple Galvanis	Ukuran 1" 1 buah

3.2.2.2 Visualisasi Alat



Gambar 3. 3 Visualisasi Alat Pengering (*Spouted Bed*)

3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Prosedur Percobaan Alat Pengeringan *Spouted Bed*

1. Menghidupkan saklar pada *ring blower* dan *electric air heater* untuk persiapan percobaan alat.
2. Membuka Valve 1 sebesar 90° untuk mengalirkan udara yang keluar dari *blower* sebagai tahap awal persiapan
3. Menyalakan *ring blower* dan *electric air heater*
4. Mengatur *rate* udara yang keluar dari *ring blower* dengan mengendalikan Valve 1
5. Mengatur *dimmer* alat *electric air heater* untuk mengatur arus listrik yang keluar dari *finned heater*.
6. Membuka Valve 2 serta menutup Valve 3 dan Valve 4 untuk memanaskan udara yang masuk pada *electric air heater* hingga temperature udara *steady state*.

7. Membuka valve 4 untuk dialirkan udara dari *Electric Air Heater* menuju kolom pengering setelah temperature udara pada electric air heater *steady state*
8. Membuka valve 3 untuk menurunkan suhu agar sesuai dengan variabel yang diinginkan ketika suhu udara pada nossel mengalami *overheating*.
9. Menggunakan Valve 1 untuk mengatur ketinggian dari pancaran fluida yang mengalir pada kolom unggun

3.3.2 Prosedur Pengujian Bahan

1. Biji Kopi yang baru panen dibersihkan terlebih dulu dari kulit air, kotoran dan benda asing yang terdapat pada Biji Kopi
2. Setelah Biji Kopi dibersihkan, untuk mengetahui kadar awal Biji Kopi diambil 3 sampel yang kemudian diukur airnya dengan metode oven. Biji Kopi yang akan diukur kadar airnya dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang. Sebelumnya dilakukan penimbangan pada cawan. Kemudian masukkan cawan dan Biji Kopi tersebut ke dalam oven pada suhu 105°C hingga berat konstan. Berikut persamaan dalam penentuan kadar air dengan metode oven:

$$KA_0 = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

Keterangan :

KA_0 : Kadar air awal bahan (% basis basah)

m_1 : Berat bahan dan cawan sebelum dimasukkan ke dalam oven (g)

m_2 : Berat bahan dan cawan setelah di oven (g)

m_0 : Berat cawan tanpa bahan (g)

3. Setelah kadar air awal diketahui, maka dilakukan proses pengeringan dengan metode unggun pancar (*spouted bed*), Biji Kopi dimasukkan kedalam kolom sesuai dengan variabel suhu yaitu 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C serta variabel waktu yaitu 1 jam, 2 jam, 2.5 jam, 3 jam, 3.5 jam, dan 4 jam.
4. Selama proses pengeringan berlangsung, terdapat sejumlah Biji Kopi yang akan bergerak ke atas didaerah pancaran ruang pengering. Biji Kopi yang bergerak ke atas dari ruang pengering akan diambil dan ditampung di wadah ditimbang massa dan diukur kadar airnya.
5. Kadar air yang bergerak ke atas didaerah pancaran ruang pengering diuji dengan metode oven dengan mengambil sampel dari massa Biji Kopi selama variabel waktu hingga didapatkan kadar air sebesar 0 – 12.5%.
6. Setelah didapatkan data dari variabel tersebut, data diaplikasikan dalam bentuk grafik sehingga dapat di Analisa kadar air biji kopi.
7. Setelah didapatkan kadar air, kemudian dilakukan perhitungan laju pengeringan dengan mencari literatur rumus laju pengeringan.
8. Menentukan rumus laju penegeringan dengan laju pengeringan sebagai berikut:

$$AR = -Ls \frac{dx}{dt}$$

AR = Laju rate pengeringan (kg/jam)

Ls = Massa biji kopi kering (kg)

dx = Massa kandungan air / massa biji kopi kering

dt = waktu pengeringan (jam)

9. Kemudian dilakukan perhitungan sesuai dengan rumus laju difusi dengan menginput perhitungan dari difusi koefisien dan perhitungan dari kadar air dengan variabel yang sudah di tentukan.

10. Lalu mengaplikasikan perhitungan laju difusi dengan menggunakan grafik.
11. Analisa data dan menarik kesimpulan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Percobaan

Pada percobaan pengeringan biji kopi menggunakan unggun pancar (*spouted bed*) dilakukan perhitungan kadar air sebelum dan sesudah dikeringkan. Berikut merupakan hasil analisa kadar air dari pengeringan biji kopi tertera pada **Tabel 4.1** dibawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Kadar Air Terhadap Biji Kopi

	Kadar Air (%)			
Waktu (Jam)	Variabel Suhu 40°C	Variabel Suhu 50°C	Variabel Suhu 60°C	Variabel Suhu 70°C
0	67.1365	67.1365	67.1365	67.1365
1	58.5185	56.1383	50.9642	40.0362
2	55.755	52.8235	46.2382	30.4029
2.5	53.537	45.8844	41.6834	25.5319
3	51.8182	38.1783	36.1888	14.9856
3.5	47.2834	36.5449	31.7422	9.00322
4	44.2017	33.0097	20.1946	6.72269
























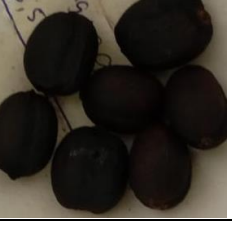
Pada percobaan pengeringan biji kopi menggunakan unggun pancar (*spouted bed*) juga dilakukan perhitungan laju pengeringan. Berikut merupakan hasil perhitungan laju pengeringan tertera pada **Tabel 4.2** dibawah ini.

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Laju Pengeringan

	Laju Pengeringan (kg/jam)			
Waktu (Jam)	Variabel Suhu 40°C	Variabel Suhu 50°C	Variabel Suhu 60°C	Variabel Suhu 70°C
0	0	0	0	0
1	0.5645406	0.70681538	0.99571203	1.51414486
2	0.62111275	0.78881995	1.12781953	1.6475449
2.5	0.63120555	0.79833765	1.12185411	1.45211665
3	0.63647854	0.79546512	1.09702425	1.30481391
3.5	0.63883376	0.75612038	1.04215538	0.87430161
4	0.63779163	0.74289289	0.97780251	0.56223591

Adapun gambar hasil percobaan pengeringan biji kopi menggunakan unggun pancar (*spouted bed*) tersaji pada **Tabel 4.3** dibawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil Visualisasi Pengeringan Biji Kopi

Gambar Hasil Pengeringan Biji Kopi				
Waktu (Jam)	Variabel Suhu 40°C	Variabel Suhu 50°C	Variabel Suhu 60°C	Variabel Suhu 70°C
0				
1				
2				
2.5				
3				
3.5				

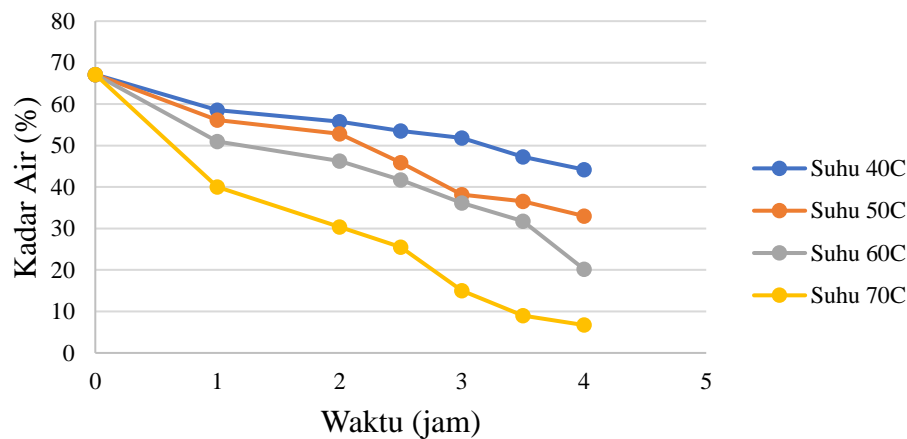


4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Pengeringan Terhadap Kadar Air Biji Kopi

Berdasarkan Tabel 4.1 diatas didapatkan hasil analisa kadar air pengeringan biji kopi dengan berbagai variasi suhu dan waktu. Menurut SNI 01-2907-2008 syarat mutu kadar air dari biji kopi yang telah ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional berkisar maksimal 12.5%. Mulai dari variasi suhu 40°C didapatkan hasil tidak memenuhi SNI 01-2907-2008, karena kadar air minimal yang diperoleh sebesar 44.20% pada waktu 4 jam. Pada Suhu 50°C didapatkan hasil tidak memenuhi SNI 01-2907-2008, karena kadar air minimal yang diperoleh sebesar 33.00% pada waktu 4 jam. Pada Suhu 60°C didapatkan hasil tidak memenuhi SNI 01-2907-2008, karena kadar air minimal yang diperoleh sebesar 20.19% pada waktu 4 jam. Sedangkan pada Suhu 70°C didapatkan hasil optimasi pengeringan dengan variasi waktu 3.5 jam kadar air yang diperoleh sebesar 6.72%, dan variasi waktu 4 jam kadar air yang diperoleh 9.00%. Laju pengeringan paling optimal didapatkan pada variasi suhu 70°C serta pada variabel waktu 3.5 jam dan 4 jam dengan keberhasilan penurunan kadar air sesuai SNI 01-2907-2008.

Hubungan antara kandungan air dan waktu pengeringan terhadap suhu pengeringan di sajikan dalam **Grafik 4.1**.



Grafik 4. 1 Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Terhadap Kadar Air Dalam Pengeringan Biji Kopi

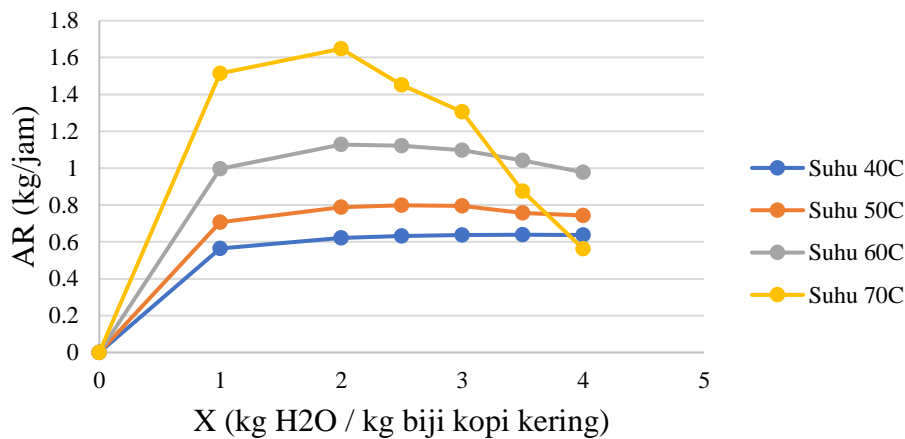
Berdasarkan **Grafik 4.1** diatas dapat diketahui bahwa kenaikan suhu pada kolom *spouted bed* sangat berpengaruh terhadap laju pengeringan biji kopi secara signifikan, dimana semakin besar variabel suhu yang digunakan maka waktu pengeringan akan semakin cepat dan kadar air biji kopi akan semakin berkurang. Kenaikan suhu udara pemanas mengakibatkan laju pengeringan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh penurunan kelembapan relatif udara pemanas. Penurunan kelembapan relatif udara akan menurunkan tekanan uap air di udara, sehingga perbedaan tekanan uap air di udara dan di partikel makin besar. Perbedaan tekanan

uap air akan memperbesar gaya dorong air di dalam partikel untuk keluar, sehingga laju pengeringan makin cepat atau waktu pengeringan semakin singkat.

Pada percobaan pengeringan biji kopi dengan menggunakan *spouted bed* ini, partikel padatan pada bawah permukaan kolom terbawa ke atas pancaran sampai puncak unggun. Di sekeliling pancaran, unggun bergerak ke bawah di daerah annulus. Fluida mengalir sebagian besar melalui pancaran dengan kecepatan sangat besar sehingga partikel terangkat, dengan demikian partikel akan bergerak ke atas dengan kecepatan tinggi di pancaran dan bergerak ke bawah dengan kecepatan rendah di annulus.

4.2.2 Hubungan Laju pengeringan dengan X (kg H₂O / kg Biji Kopi Kering)

Berdasarkan Tabel 4.2 diatas didapatkan hasil perhitungan laju pengeringan biji kopi dengan berbagai variasi suhu dan waktu. Dibawah ini merupakan grafik dari hasil perhitungan laju pengeringan biji kopi dengan berbagai variasi suhu dan waktu yang tergambar pada Grafik 4.2.



Grafik 4. 2 Hubungan Laju Pengeringan dengan X (kg H₂O / kg Biji Kopi Kering)

Pada Grafik 4.2 menggambarkan hubungan antara laju pengeringan terhadap suhu dengan X (kg H₂O / kg Biji Kopi Kering). Dapat dilihat pada Grafik 4.2 bahwa pada laju pengeringan percobaan ini termasuk pada *constant rate* dan *falling rate*. Hal tersebut sesuai dengan literatur oleh Geankoplis (2008), yang menyebutkan bahwa laju pengeringan ada dua macam, yaitu *constant rate* dan *falling rate*. Pada periode pengeringan *constant rate*, bahan - bahan yang dikeringkan memiliki kecepatan pengeringan yang konstan. Pada periode *falling rate*, air yang diuapkan sangat kecil dan membutuhkan waktu pengeringan yang lama. Namun pada variasi suhu 70⁰C laju pengeringan mengalami kenaikan, hal tersebut tidak sesuai dengan literatur. Ketidaksesuaian hasil percobaan dengan literatur kemungkinan disebabkan karena kurang terkontrolnya suhu pada alat *spouted bed* dikarenakan sensor suhu di *heater* pada saat 70⁰C mengalami *error* atau suhu tidak terbaca sehingga mengatur suhu kurang maksimal saat percobaan.

4.2.3 Pengaruh Suhu dan Waktu Pengeringan Terhadap Visualisasi Biji Kopi

Berdasarkan Tabel 4.3 diatas didapatkan visualisasi hasil pengeringan biji kopi dengan berbagai variasi suhu dan waktu. Dapat diketahui bahwa kenaikan suhu pada kolom *spouted bed* sangat berpengaruh terhadap visualisasi biji kopi secara signifikan, dimana semakin besar variabel suhu yang digunakan maka warna biji kopi akan semakin gelap walau dengan variabel waktu yang sama. Hal ini disebabkan karena koefisien difusi air biji kopi meningkat dengan meningkatnya suhu. Tingginya koefisien difusi air pada biji kopi tersebut menyebabkan kadar

air yang terdapat dalam biji kopi tersebut berkurang cukup banyak, sehingga warna biji kopi menjadi lebih gelap.

Dari **Tabel 4.3** diatas juga dapat dilihat dari visualisasi hasil pengeringan biji kopi bahwa dari seluruh variasi suhu dan waktu tidak ada serangga hidup yang menempel pada biji kopi, serta tidak berbau busuk maupun kapang. Hal ini disebabkan karena pada peningkatan panas terjadi dehidrasi sel yang mengakibatkan sel menderita shock osmotik dan terjadinya kebocoran sel. Panas telah merusak berbagai struktur sel termasuk kerusakan membran sel, ribosom, DNA, RNA, dan enzim. Hal tersebut sesuai dengan SNI 01-2907-2008 yang menyebutkan standar biji kopi yaitu tidak ada serangga hidup yang menempel pada biji kopi, serta tidak berbau busuk maupun kapang.

4.2.4 Pengaruh Ukuran Partikel Biji Kopi Terhadap Pengeringan

Tebalnya biji kopi akan membuat kadar air yang terkandung di dalam biji kopi semakin meningkat. Dengan semakin tebal biji kopi, maka semakin sulit proses pengeringan berlangsung, karena semakin jauh jarak yang ditempuh oleh uap air. Hal ini berhubungan langsung dengan medium pemanasan sehingga semakin tebal biji kopi, maka air tidak mudah berdifusi (Sugito et al., 2013).

Semakin tebal biji kopi maka susut bobot biji kopi semakin rendah. Hal tersebut terjadi karena proses transpirasi sehingga air yang terdapat di dalam biji kopi berpindah ke lingkungan yang menyebabkan terjadinya penyusutan (susut bobot) pada biji kopi (Novita et al., 2012).

4.2.5 Pengaruh Desain Alat Terhadap Pengeringan

Pada percobaan kali ini desain kolom *spouted bed* di ubah menjadi lebih kecil. Dari yang awalnya desain kolom *spouted bed* ukuran berdiameter 20 cm dan tinggi unggun pancar 120 cm ternyata biji kopi tidak dapat terangkat. Lalu desain kolom *spouted bed* di ubah menjadi lebih kecil, yaitu diameter 16 cm dan tinggi unggun pancar 60 cm akhirnya biji kopi dapat terangkat. Hal ini dikarenakan pada kecepatan superfisial gas yang lebih tinggi, fluidisasi partikel inert akan semakin intens dan tumbukan antar partikel inert semakin kuat. Selain itu, penggumpalan di dalam unggun juga dapat dicegah, sehingga pencampuran (*mixing*) di dalam unggun akan lebih baik dan pengeringan pun akan meningkat. Pada kecepatan udara yang lebih tinggi, fluidisasi partikel inert akan lebih baik dan tumbukan antar partikel akan lebih kuat. Sehingga, lapisan kering di permukaan partikel inert bisa terkelupas dengan lebih mudah. Selain itu, peningkatan kecepatan superfisial udara akan meningkatkan laju perpindahan massa dan panas, yang merupakan faktor penting dalam proses pengeringan (Pan dkk., 2001).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengeringan biji kopi dengan menggunakan teknik unggun pancar, dengan memvariasikan suhu pengeringan yaitu 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C dapat menurunkan kadar air biji kopi dengan kadar air mula-mula sebesar 67.14% dan setelah dilakukan pengeringan, kadar air biji kopi mengalami penurunan hingga mencapai 9% pada suhu 70°C selama 3.5 jam, dan 6.72% pada suhu 70°C selama 4 jam yang telah memenuhi standart SNI 01-2907-2008 oleh Badan Standarisasi Nasional yang telah ditetapkan yaitu kadar air biji kopi maksimal 12.5%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan, maka kadar air biji kopi akan semakin kecil. Semakin banyaknya kadar air biji kopi yang hilang, menyebabkan warna biji kopi

Laju pengeringan biji kopi pada suhu 40°C selama 4 jam yaitu sebesar 0.63722 kg/jam, pada suhu 50°C selama 4 jam yaitu sebesar 0.7428 kg/jam, pada suhu 60°C selama 4 jam yaitu sebesar 0.97722 kg/jam, dan pada suhu 70°C selama 4 jam yaitu sebesar 0.562 kg/jam. Pada variasi suhu 70°C laju pengeringan mengalami kenaikan, hal tersebut tidak sesuai dengan literatur. Ketidaksiesuaian dengan literatur kemungkinan disebabkan karena kurang terkontrolnya suhu pada alat *spouted bed* dikarenakan sensor suhu di *heater* pada saat 70°C mengalami *error* atau suhu tidak terbaca sehingga mengatur suhu kurang maksimal saat percobaan.

Selain itu, desain kolom *spouted bed* juga berpengaruh pada waktu pengeringan. Dari yang awalnya desain kolom *spouted bed* ukuran berdiameter 20 cm dan tinggi unggun pancar 120 cm ternyata biji kopi tidak dapat terangkat. Lalu desain kolom *spouted bed* di ubah menjadi lebih kecil, yaitu diameter 16 cm dan tinggi unggun pancar 60 cm akhirnya biji kopi dapat terangkat. Dapat disimpulkan bahwa semakin kecil diameter kolom *spouted bed*, maka kecepatan superfisial gas yang lebih tinggi, fluidisasi partikel inert akan semakin intens dan tumbukan antar partikel inert semakin kuat.

5.2 Saran

Untuk kedepanya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perancangan *spouted bed* secara *continuous* agar dapat bekerja secara terus-menerus.

DAFTAR PUSTAKA

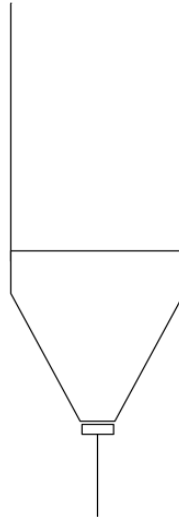
- Bortolotti, C. T., Santos, K. G., Francisquetti, M. C. C., Duarte, C. R., & Barrozo, M. A. S. (2013). Hydrodynamic study of a mixture of West Indian Cherry Residue and Soybean Grains in a spouted bed. *Canadian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1002/cjce.21870>
- Chu, Y. F. (2012). Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention. In *Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention*. <https://doi.org/10.1002/9781119949893>
- Coulson, & Richardson. (2006). Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications. In □□□□ □□□□□ □□□□□□□□ (Vol. 1999, Issue December).
- Dill, Bromberg, K. A., & Sarina. (2003). *Molecular Driving Forces: Statistical Thermodynamics in Chemistry and Biology*. Garland Science.
- Epstein, N., & Grace, J. R. (2010). Spouted and spout-fluid beds: Fundamentals and applications. In *Spouted and Spout-Fluid Beds: Fundamentals and Applications*. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511777936>
- Farhaty, N., & Muchtaridi. (2014). Tinjauan Kimia Dan Aspek Farmakologi Senyawa Asam Klorogenat Pada Biji Kopi : Review. *Farmaka Suplemen*.
- Fujioka, K., & Shibamoto, T. (2008). Chlorogenic acid and caffeine contents in various commercial brewed coffees. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.091>
- Hamni, A. Ibrahim, Gusri Akhyar Harun, dan S. (2014). Implementasi Sistem Gasifikasi untuk Pengerinan Biji Kopi. *Jurnal Mechanical*.
- Hariyadi, T. (2018). Pengaruh Suhu Operasi terhadap Penentuan Karakteristik Pengerinan Busa Sari Buah Tomat Menggunakan Tray Dryer. *Jurnal Rekayasa Proses*. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.39019>
- Hosseini, S. H., Ahmadi, G., Saeedi Razavi, B., & Zhong, W. (2010). Computational fluid dynamic simulation of hydrodynamic behavior in a two-dimensional conical spouted bed. *Energy and Fuels*. <https://doi.org/10.1021/ef100612r>
- Jaiswal, R., Patras, M. A., Eravuchira, P. J., & Kuhnert, N. (2010). Profile and characterization of the chlorogenic acids in green Robusta coffee beans by LC-MSn: Identification of seven new classes of compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/jf1014457>
- Juwana, W. E. (2007). Koefisien Difusi Pada Proses Pengerinan Kayu Mahoni Di Sekitar Kandungan Air Kritis. *GEMA TEKNIK Majalah Ilmiah Teknik*, 10(1).
- Kuntari, F. R., Pranoto, S., Tiswati, K. A., & Sutresno, A. (2019). Studi Proses Difusi melalui Membran dengan Pendekatan Kompartemen. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(2), 62. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v15i2.4617>
- Mathur, K. B., & Epstein, N. (1974). Developments in spouted bed technology. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450520201>
- Novita, M., Satriana, Martunis, Rohaya, S., & Hasmarita, E. (2012). Pengaruh Pelapisan Kitosan Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Tomat Segar (*Lycopersicum pyriforme*) pada Berbagai Tingkat Kematangan. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 4(3).
- Oni Napitu, Y. (2016). Desain model pengering spouted bed dua dimensi untuk pengeringan gabah. *Sekolah Pascasarjana*.
- PERANCANGAN MESIN PENERING HASIL PERTANIAN SECARA KONVEKSI DENGAN ELEMEN PEMANAS INFRARED BERBASIS MIKROKONTROLER

- ARDUINO UNO DENGAN SENSOR DS18B20. (2017). *Jurnal Karya Ilmiah Teknik Elektro*.
- Purba, L. S. L. & Harefa, N. (2020). Pengaruh Kandungan Oksigen Udara Sekolah terhadap Konsentrasi Belajar Pengaruh Kandungan Oksigen Udara Sekolah terhadap Konsentrasi Belajar Siswa SMA N 9 Jakarta Timur. *Jurnal EduMatSains*.
- Rachman, D. M. (2018). Dasar-Dasar Aliran Fluida. *Institut Teknologi Surabaya*.
- Sary, R. (2017). Kaji eksperimental pengeringan biji kopi dengan menggunakan sistem konveksi paksa. *Jurnal POLIMESIN*. <https://doi.org/10.30811/jpl.v14i2.337>
- Sauer, D. B. (1992). Storage of Cereal Grains and Their Products. In *American Association of Cereal Chemists Monograph Series*.
- Sugito, Hermanto, & Arfah. (2013). Pengaruh ketebalan irisan dan suhu penggorengan hampa (vakum) terhadap karakteristik keripik labu kuning (*Cucurbita moschata*). *Jurnal Agroindustri*, 3(2).
- Syah, H., Agustina, R., & Moulana, R. (2016). Rancang Bangun Pengering Surya Tipe Bak Untuk Biji Kopi. *Rona Teknik Pertanian*. <https://doi.org/10.17969/rtp.v9i1.4382>
- Wijayanti, F., & Hariani, S. (2019). Pengaruh Pengeringan Biji Kopi dengan Metode Rumah Kaca dan Penyinaran Sinar Matahari Terhadap Kadar Air Biji Kopi Robusta (*Coffea Robusta*). *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Vol. 2. No. 1*.

LAMPIRAN

1. Perhitungan massa gabah pada kolom Spouted Bed
Fungsi: Mengetahui kapasitas kolom pengering

Kolom Spouted Bed



Diketahui :

- Tinggi kolom unggun diam = 10 cm
- Diameter kolom unggun = 16 cm
- Tinggi conical head = 5 cm
- Diameter conical head = 16 cm
- ρ Biji Kopi = 1,28 g/cm³
- r (jari-jari) conical head = 8 cm
- r (jari-jari) kolom unggun = 8 cm
- H = 60 cm

Volume Tabung

$$V_{\text{tabung}} = \pi \times r^2 \times t$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tabung}} &= 3.14 \times 8^2 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \\ &= 2009.6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volume Conical Head

$$V_{\text{kerucut}} = 1/3 \times \pi \times r^2 \times t$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Conical Head} &= 1/3 \times 3.14 \times 8^2 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \\ &= 669.87 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Volume Total = Volume Tabung + Volume Conical Head

$$\begin{aligned} &= 2009.6 \text{ cm}^3 + 669.87 \text{ cm}^3 \\ &= 2679.47 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Massa Biji Kopi pada Fix Bed = $\rho \times V$

$$\begin{aligned} &= 1.28 \text{ gr/ cm}^3 \times 2679.47 \text{ cm}^3 \\ &= 3429.717 \text{ gr} \\ &= 3.43 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Kadar Air

T/t	m1	m2 (0)	m2 (40)	m2 (50)	m2 (60)	m2 (70)
1 jam	31.21%	67.14%	58.5185%	56.1383%	50.9642%	40.0362%
2 jam	31.62%	67.14%	55.755%	52.8235%	46.2382%	30.4029%
2.5 jam	45.73%	67.14%	53.537%	45.8844%	41.6834%	25.5319%
3 jam	33.92%	67.14%	51.8182%	38.1783%	36.1888%	14.9856%
3.5 jam	29.5%	67.14%	47.2834%	36.5449%	31.7422%	9.00322%
4 jam	44.21%	67.14%	44.2017%	33.0097%	20.1946%	6.72269%

3. Kadar air biji kopi

$$KA_0 = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_0 = \frac{(59,21 - 50,16)}{(59,21 - 45,73)} \times 100\%$$

$$KA_0 = 67,14\%$$

4. Kadar kopi Pada Suhu 40°C

• Jam ke 1

$$KA_{40} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = \frac{(42,01 - 35,69)}{(42,01 - 31,21)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = 58,52\%$$

• Jam ke 2

$$KA_{40} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = \frac{(41,09 - 35,81)}{(41,09 - 31,62)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = 55,76\%$$

• Jam ke 2,5

$$KA_{40} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = \frac{(51,95 - 48,62)}{(51,95 - 45,73)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = 53,54\%$$

- Jam ke 3

$$KA_{40} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = \frac{(40,52 - 37,1)}{(40,52 - 33,92)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = 51,82\%$$

- Jam ke 3,5

$$KA_{40} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = \frac{(36,31 - 33,09)}{(36,31 - 29,5)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = 47,28\%$$

- Jam ke 4

$$KA_{40} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = \frac{(50,16 - 47,53)}{(50,16 - 44,21)} \times 100\%$$

$$KA_{40} = 44,2\%$$

5. Kadar kopi Pada Suhu 50°C

- Jam ke 1

$$KA_{50} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = \frac{(39,6 - 34,89)}{(39,6 - 31,21)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = 56,14\%$$

- Jam ke 2

$$KA_{50} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = \frac{(40,12 - 35,63)}{(40,12 - 31,62)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = 52,82\%$$

- Jam ke 2,5

$$KA_{50} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = \frac{(51,44 - 48,82)}{(51,44 - 45,73)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = 45,88\%$$

- Jam ke 3

$$KA_{50} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = \frac{(39,08 - 37,11)}{(39,08 - 33,92)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = 58,52\%$$

- Jam ke 3,5

$$KA_{50} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = \frac{(35,52 - 33,32)}{(35,52 - 29,5)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = 36,54\%$$

- Jam ke 4

$$KA_{50} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = \frac{(49,36 - 47,66)}{(49,36 - 44,21)} \times 100\%$$

$$KA_{50} = 33,01\%$$

6. Kadar kopi Pada Suhu 60°C

- Jam ke 1

$$KA_{60} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = \frac{(38,47 - 34,77)}{(38,47 - 31,21)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = 50,96\%$$

- Jam ke 2

$$KA_{60} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = \frac{(38 - 35,05)}{(38 - 31,62)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = 46,24\%$$

- Jam ke 2,5

$$KA_{60} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = \frac{(50,72 - 48,64)}{(50,72 - 45,73)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = 41,68\%$$

- Jam ke 3

$$KA_{60} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = \frac{(39,64 - 37,57)}{(39,64 - 33,92)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = 36,19\%$$

- Jam ke 3,5

$$KA_{60} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = \frac{(33,69 - 32,36)}{(33,69 - 29,5)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = 31,74\%$$

- Jam ke 4

$$KA_{60} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = \frac{(48,32 - 47,49)}{(48,32 - 44,21)} \times 100\%$$

$$KA_{60} = 20,19\%$$

7. Kadar kopi Pada Suhu 70°C

- Jam ke 1

$$KA_{70} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = \frac{(36,73 - 34,52)}{(36,73 - 31,21)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = 40,04\%$$

- Jam ke 2

$$KA_{70} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = \frac{(34,35 - 33,52)}{(34,35 - 31,62)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = 30,4\%$$

- Jam ke 2,5

$$KA_{70} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = \frac{(49,02 - 48,18)}{(49,02 - 45,73)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = 25,53\%$$

- Jam ke 3

$$KA_{70} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = \frac{(37,39 - 36,87)}{(37,39 - 33,92)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = 14,99\%$$

- Jam ke 3,5

$$KA_{70} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = \frac{(32,61 - 32,33)}{(32,61 - 29,5)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = 9\%$$

- Jam ke 4

$$KA_{70} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_0)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = \frac{(47,78 - 47,54)}{(47,78 - 44,21)} \times 100\%$$

$$KA_{70} = 3,33\%$$

8. Perhitungan laju pengeringan

- Laju pengeringan saat 40°C

- Saat 0 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ = \frac{2.3498}{1.1502} \text{ kg} \\ = 2.0429 \text{ jam}$$

- Saat 1 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ = \frac{1.7852}{1.1502} \text{ kg} \\ = 1.552 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_0 - X_1}{t_1 - t_0} \\ = \frac{2.0429 - 1.4107}{1 - 0} \\ = 0.4922$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ = (1.1502 \text{ kg}) (0.493) \\ = 0.564 \text{ kg/jam}$$

- Saat 2 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ = \frac{1.6206}{1.1502} \text{ kg} \\ = 1.408 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_1 - X_2}{t_2 - t_1} \\ = \frac{1.4107 - 1.2601}{2 - 1} \\ = 0.2106$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ = (1.1502 \text{ kg}) (0.2106) \\ = 0.6236 \text{ kg/jam}$$

o Saat 2,5 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{1.4942}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.164 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_2 - X_3}{t_3 - t_2}$$

$$= \frac{1.2601 - 1.1523}{2.5 - 2}$$

$$= 0.1648$$

$$\text{AR} = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.164)$$

$$= 0.636 \text{ kg/jam}$$

o Saat 3 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{1.3998}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 1.0755 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_3 - X_4}{t_4 - t_3}$$

$$= \frac{1.1523 - 1.0755}{3 - 2.5}$$

$$= 0.1536$$

$$\text{AR} = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.21 \text{ kg}) (0.1536)$$

$$= 0.638 \text{ kg/jam}$$

o Saat 3,5 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{1.1655}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.8969 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_4 - X_5}{t_5 - t_4}$$

$$= \frac{1.0755 - 0.8969}{3.5 - 3}$$

$$= 1.02$$

$$\text{AR} = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.357)$$

$$= 0.637 \text{ kg/jam}$$

o Saat 4 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{1.0186}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.7922 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= \frac{X_5 - X_6}{t_6 - t_5} \\ &= \frac{0.8969 - 0.7922}{4 - 3.5} \\ &= 0.2095\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ &= (1.1502 \text{ kg}) (0.2095) \\ &= 0.6310 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

- Laju penegringan saat 50°C

- Saat 0 jam

$$\begin{aligned}X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{1.1502}{2.3498} \text{ kg} \\ &= 2.0429 \text{ jam}\end{aligned}$$

- Saat 1 jam

$$\begin{aligned}X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{1.643}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 1.4284 \text{ jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= \frac{X_0 - X_1}{t_1 - t_0} \\ &= \frac{2.0429 - 1.4284}{1 - 0} \\ &= 0.4165\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ &= (1.1502 \text{ kg}) (0.4165) \\ &= 0.7068 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

- Saat 2 jam

$$\begin{aligned}X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{1.4547}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 1.2647 \text{ jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dX}{dt} &= \frac{X_1 - X_2}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{1.4284 - 1.2647}{2 - 1} \\ &= 0.1637\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ &= (1.1502 \text{ kg}) (0.1637) \\ &= 0.7888 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

- Saat 2,5 jam

$$\begin{aligned}X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{1.0976}{1.1502} \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.6209 \text{ jam} \\
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_2 - X_3}{t_3 - t_2} \\
 &= \frac{1.2647 - 0.6209}{2.5 - 2} \\
 &= 0.5436
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\
 &= (1.1502 \text{ kg}) (0.5436) \\
 &= 0.7983 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Saat 3 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{0.7599}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 0.6176 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_3 - X_4}{t_4 - t_3} \\
 &= \frac{0.8479 - 0.6176}{3 - 2.5} \\
 &= 0.4607
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\
 &= (1.1502 \text{ kg}) (0.4607) \\
 &= 0.7955 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Saat 3,5 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{0.6962}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 0.5759 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_4 - X_5}{t_5 - t_4} \\
 &= \frac{0.6176 - 0.5759}{3.5 - 3} \\
 &= 0.0833
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\
 &= (1.1502 \text{ kg}) (0.0833) \\
 &= 0.7561 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Saat 4 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{0.568}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 0.4928 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_5 - X_6}{t_6 - t_5} \\
 &= \frac{0.5759 - 0.4928}{4 - 3.5} \\
 &= 0.1663
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\
 &= (1.1502 \text{ kg}) (0.1663) \\
 &= 0.7429 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Laju pengeringan saat 60°C

- Saat 0 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{1.3498}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 2.0429 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

- Saat 1 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{1.354}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 1.552 \text{ jam} \\
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_0 - X_1}{t_1 - t_0} \\
 &= \frac{2.0429 - 1.552}{1 - 0} \\
 &= 0.61
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\
 &= (1.1502 \text{ kg}) (0,61) \\
 &= 0.706 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Saat 2 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{1.1146}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 1.236 \text{ jam} \\
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_1 - X_2}{t_2 - t_1} \\
 &= \frac{1.0393 - 0.86}{2 - 1} \\
 &= 0.3693
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\
 &= (1.1502 \text{ kg}) (0.3693) \\
 &= 0.78846 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Saat 2,5 jam

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\
 &= \frac{0.9058}{1.1502} \text{ kg} \\
 &= 0.468 \text{ jam} \\
 \frac{dX}{dt} &= \frac{X_2 - X_3}{t_3 - t_2}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0.86 - 0.7148}{2.5 - 2}$$

$$= 0.2906$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.2906)$$

$$= 0.7885 \text{ kg/jam}$$

- Saat 3 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{0.6827}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.5671 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X3 - X4}{t4 - t3}$$

$$= \frac{0.7148 - 0.5671}{3 - 2.5}$$

$$= 0.2953$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.2953)$$

$$= 0.79855 \text{ kg/jam}$$

- Saat 3,5 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{0.5253}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.465$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X4 - X5}{t5 - t4}$$

$$= \frac{0.5671 - 0.465}{3.5 - 3}$$

$$= 0.2356$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.2356)$$

$$= 0.756 \text{ kg/jam}$$

- Saat 4 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{0.2126}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.253 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X5 - X6}{t6 - t5}$$

$$= \frac{0.465 - 0.253}{4 - 3.5}$$

$$= 0.424$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (0.8402 \text{ kg}) (0.424)$$

$$= 0.742 \text{ kg/jam}$$

- Laju pengeringan saat 70°C

- Saat 0 jam

$$\begin{aligned} X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{2.3498}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 2.0429 \text{ jam} \end{aligned}$$

- Saat 1 jam

$$\begin{aligned} X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{1.79}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 1.41 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{0.835}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 0.66 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= \frac{X_0 - X_1}{t_1 - t_0} \\ &= \frac{2.0429 - 0.66}{1 - 0} \\ &= 1.375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ &= (1.1502 \text{ kg}) (0.1375) \\ &= 1.5141 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Saat 2 jam

$$\begin{aligned} X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{0.481}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 0.2546 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= \frac{X_1 - X_2}{t_2 - t_1} \\ &= \frac{0.66 - 1.41}{2 - 1} \\ &= 0.43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} AR &= (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right) \\ &= (1.1502 \text{ kg}) (0.15) \\ &= 1.6475 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Saat 2,5 jam

$$\begin{aligned} X &= \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}} \\ &= \frac{0.339}{1.1502} \text{ kg} \\ &= 0.34 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_2 - X_3}{t_3 - t_2}$$

$$= \frac{0.43 - 0.34}{2.5 - 2}$$

$$= 0.187$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.187)$$

$$= 1.304 \text{ kg/jam}$$

- Saat 3 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{0.117}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.1763 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_3 - X_4}{t_4 - t_3}$$

$$= \frac{0.3429 - 0.1763}{3 - 2.5}$$

$$= 0.3332$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.3332)$$

$$= 0,874 \text{ kg/jam}$$

- Saat 3,5 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{0.0423}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.0989 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_4 - X_5}{t_5 - t_4}$$

$$= \frac{0.1763 - 0.0989}{3.5 - 3}$$

$$= 0.1547$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.1547)$$

$$= 0.562 \text{ kg/jam}$$

- Saat 4 jam

$$X = \frac{\text{Massa air}}{\text{Massa kering}}$$

$$= \frac{0.0236}{1.1502} \text{ kg}$$

$$= 0.0721 \text{ jam}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{X_5 - X_6}{t_6 - t_5}$$

$$= \frac{0.0989 - 0.0721}{4 - 3.5}$$

$$= 0.0537$$

$$AR = (\text{massa kering}) \left(\frac{dX}{dt} \right)$$

$$= (1.1502 \text{ kg}) (0.0537)$$

$$= 0.430 \text{ kg/jam}$$