

**ANALISIS *THERMAL* DAN REDESAIN ALAT PENGERING KAKAO
MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*
DI USAHA MANDIRI DESA WIYONO
KABUPATEN PESAWARAN**

(SKRIPSI)

**Oleh
M. HUSEIN MANALU**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

ANALISIS *THERMAL* DAN REDESAIN ALAT PENGERING KAKAO MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD) DI USAHA MANDIRI DESA WIYONO KABUPATEN PESAWARAN

OLEH

M. HUSEIN MANALU

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menemukan alat pengering yang lebih efektif dalam proses pengeringannya dan hasil yang didapatkan lebih baik kualitasnya. Dimana dilakukan analisis perpindahan panas dan distribusi temperature dari aliran panas yang terjadi dalam alat pengering kakao. Dilakukan redesain alat pengering kakao yang terdapat di Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran Lampung.

Membuat perhitungan kebutuhan energi pengeringan kakao, perhitungan kalor yang dibutuhkan dalam proses pengeringan kakao, perhitungan termal yang terjadi pada alat pengering, sebaran suhu pada alat pengering, laju aliran energi konveksi di dalam ruang pengering kakao, energi yang hilang dari ruang pengering serta kebutuhan bahan bakar selama proses pengeringan terjadi. Alat ini memiliki dimensi panjang 2,4 m lebar 1,2 m dan tinggi 0,6 m. Bahan bakar yang dipakai adalah kayu bakar.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka penulis dapat mengambil simpulan pada tugas akhir ini telah dilakukan redesain alat pengering kakao dan simulasi yang tepat dalam distribusi temperature pengeringannya menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Dari hasil perhitungan dan juga simulasi CFD didapatkan suhu rata-rata pengeringan $85,3421^{\circ}\text{C}$. Kalor yang dibutuhkan untuk proses pengeringan kakao 420062,3188kJ. Waktu yang dibutuhkan untuk satu kali proses pengeringan dengan alat ini adalah 16 jam, dengan kebutuhan kayu bakar sebanyak 102,956 kg atau 0,102956 kubik.

Kata kunci : Alat Pengering kakao, Kalor, *Computational Fluid Dinamics* (CFD)

ABSTRACT

COCOA DRYER RE-DESIGN AND THERMAL ANALYZE USING COMPUTATIONAL FLUID DINAMICS (CFD) FOR HOME INDUSTRIAL IN WIYONO VILLAGE, REGION OF PESAWARAN

BY

M. HUSEIN MANALU

The purpose of this study is to find a more effective drying tool in the drying process and the results obtained better quality. Where heat transfer analysis and temperature distribution of heat flow occurs in the cocoa dryer. Redesigned the cocoa dryers in the business of Mandiri Desa Wiyono, Pesawaran Lampung.

Making calculations of cocoa drying energy requirements, calorific calculations required in the cocoa drying process, thermal calculations occurring in the dryer, the temperature distribution of the dryer, the rate of convection energy flow in the drying chamber, the energy lost from the drying chamber and the fuel requirement During drying process occurs. This tool has a dimension of 2.4 m wide by 1.2 m and a height of 0.6 m. The fuel used is firewood.

From the results of the research conducted, the authors can take conclusions on this final task has been done redesign the cocoa dryer and the appropriate simulation in the distribution of drying temperature using Computational Fluid Dinamics (CFD). From calculation result and also simulation of CFD got average temperature of drying 85,3421 0C. The heat needed for the drying process is 420062,3188 kJ. The time required for a single drying process with this tool is 16 hours, with the need for firewood as much as 102.956 kg or 0.102956 cubic.

Kata kunci : Alat Pengering kakao, Kalor, *Computational Fluid Dinamics* (CFD)

**ANALISIS *THERMAL* DAN REDESAIN ALAT PENGERING
KAKAO MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS* (CFD) DI USAHA MANDIRI DESA WIYONO
KABUPATEN PESAWARAN**

Oleh

M. Husein Manalu

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **ANALISIS *THERMAL* DAN REDESAIN ALAT
PENGERING KAKAO MENGGUNAKAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)
DI USAHA MANDIRI DESA WIYONO
KABUPATEN PESAWARAN**

Nama Mahasiswa : **M. Husein Manafu**

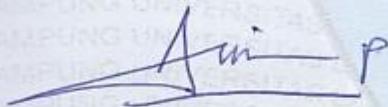
Nomor Pokok Mahasiswa : 1115021052

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

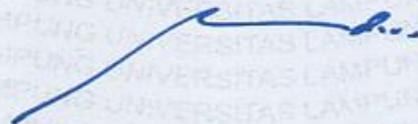


A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.
NIP 19760715 200812 1 002



M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng.
NIP 19801001 200812 1 001

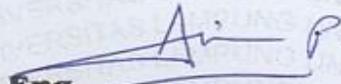
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

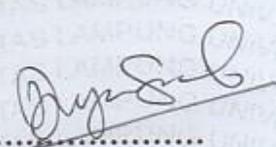


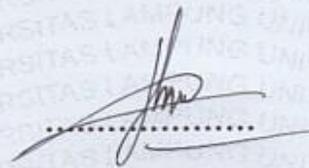
Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng. 

Anggota Penguji : M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. 

Penguji Utama : Agus Sugiri, S.T., M.Eng. 

2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 13 Juni 2017

PERNYATAAN PENULIS

SKRIPSI INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN
REKTOR No. 3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



M. Husein Manalu
NPM. 1115021052

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Siborong-borong pada tanggal 10 November 1992, sebagai anak ke 5 dari 5 bersaudara, dari pasangan Wage Suprpto Manalu dan Nurita Sihombing. Pendidikan Sekolah Dasar Negeri 173105 Tarutung yang diselesaikan pada Tahun 2005, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama Negeri 2 Tarutung, Provinsi Sumatera Utara diselesaikan pada Tahun 2008, Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Tarutung, diselesaikan pada Tahun 2011, dan pada Tahun 2011 penulis terdaftar diri sebagai mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur Penelusuran seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi Olahraga dan ketua Mech-E (2013-2014). Penulis juga pernah melakukan kerja praktik di PT. Keong Nusantara Abadi (KNA) Natar, Lampung Selatan pada Tahun 2014. Pada Tahun 2016 Penulis melakukan Penelitian dengan judul “ Analisis *Thermal* Dan Redesain Alat Pengering Kakao Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) Di Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran” di bawah bimbingan Bapak A. Yudi Eka Risano, S.T., M.eng. dan Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.eng.

PERSEMBAHAN

Dengan Kerendahan Hati Meraih Ridho Illahi Robby Kupersembahkan Karya
Kecilku Ini Untuk Orang Orang Yang Aku Sayangi Dan Cintai

Ibu dan Ayahku

Untuk Semua Keringat, Kerja Keras Do'a Dukungan
Dan Kasih Sayangnya

Saudara Kembarku

Sumber Inspirasi, Teladan Dan Dukungan Moril Yang Selalu Menguatkan

Kekasih

Yang Selalu Sabar Menemani Dan Memberi Dukungan

Sahabat TM'11 Dan Mech-E

Yang Selalu Memberi Keceriaan Dan Semangat Berjuang

MOTTO

**SELAMA BADAN MASIH KUAT UNTUK BERGERAK DAN KAKI MASIH KUAT
UNTUK BERDIRI JANGAN PERNAH MENGELUH APALAGI UNTUK BERBELAS**

KASIH ORANG LAIN

(WAGE SOEPRAPTO MANALU)

JIKA DIBERI KESUSAHAN, ITU UNTUK MEMBUAT MU LEBIH KUAT DAN

LEBIH MENGERTI

(BAPAK YUDI)

KESEMPURNAAN CINTA TERCIPTA KETIKA KAU DAN AKU SALING

MELENGKAPI

(SHINTA NURBANI)

**HIDUP TIDAK AKAN INDAH, TAKKAN BERWARNA JIKA TIDAK MEMILIKI
HALANGAN, KARENA DENGAN KESABARAN, KETEGUHAN KERJA KERAS,**

SEMUA AKAN TERLEWATI, ADA KEPUASAN DIBALIK ITU

(M. HUSEIN MANALU)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan mengucapkan lafaz *hamdalah* penulis mengucapkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang selalu mencurahkan kasih sayang, kemudahan serta rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Thermal* Dan Redesain Alat Pengering Kakao Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (Cfd) Di Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini penulis sangat berterima kasih dan memberikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih dengan hati yang tulus kepada :

1. Mamahku tercinta Nurita br.Sihombing dan Bapakku tersayang Wage Soeprapto Manalu yang senantiasa memberikan doa dan dukungan moril dan materilnya serta kasih sayangnya, dan saudara kembarku M. Hasan Manalu yang selalu menginspirasiku agar selalu berusaha menjadi lebih baik lagi.

2. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
3. Bapak Ahmad su'udi, S.T., M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lmapung.
4. Bapak A. Yudi Eka Risano S.T., M.Eng. selaku pembimbing utama tugas akhir atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, bimbingan, nasehat, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. selaku pembimbing pendamping atas kesediaannya dan keikhlasannya untuk memberikan dukungan, motivasi bimbingan, nasehat, saran serta krikitik dalam proses peyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng. sebagai dosen pembahas serta pembimbing akademik, yang telah memberikan saran dan masukan guna penyempurnaan dalam penulisan laporan ini
7. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin yang banyak memberikan ilmu selama penulis melaksanakan studi, baik berupa materi perkuliahan maupun tauladan dan motivasi sehingga dapat kami jadikan bekal untuk terjun ke tengah-tengah masyarakat.
8. Rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2011, Andreas Paskah, Maulana Effendi teman seperjuangan skripsi penulis serta yang lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas persahabatannya dan juga bantuannya, salam “SOLIDARITY FOREVER”.
9. Bapak Darmono selaku pemilik alat pengering kakao tempat penelitian penulis yang telah menyediakan waktu untuk memberikan bantuannya.

10. Abang Harumin serta keluarga yang selalu mendukung penulis.
11. Shinta Nurbani yang gembul kekasihku yang selalu membantu dan mendoakan penulis, Ibu Bapak mba Willis, ipit serta keluarga lainnya di Dusun Hanura.
12. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir skripsi ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam penulisan laporan tugas akhir ini untuk mencapai suatu dan kesempurnaan. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang bersifat yang bersifat membangun dari semua pihak. Akhirnya dengan segala kerendahan hati penulis berharap laporan ini member manfaat, baik kepada penulis khususnya maupun kepada pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, 14 juli 2017

Penulis

M. Husein Manalu

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kakao	6
2.2 Kerusakan Pada Biji Kakao	13
2.3 Karakteristik Biji Kakao	15
2.4 Pasca Panen Kakao	16
2.4.1 Fermentasi	17
2.4.2 Pengeringan.....	17
2.4.3 Konsep Dasar Sistem Pengeringan	19
2.4.4 Prinsip-prinsip Pengeringan	19
2.4.5 Pengaruh Suhu pada Proses Pengeringan	20
2.4.6 Laju Pengeringan	21
2.4.7 Kadar Air Bahan	23

2.4.8 Pengeringan dengan Udara Panas	24
2.4.9 Uap Air Pengeringan dengan uap	26
2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan	27
2.5.1 Luas Permukaan	27
2.5.2 Suhu	28
2.5.3 Kecepatan udara	28
2.5.4 Kelembaban udara.....	28
2.5.5 Tekanan atm & vakum.....	29
2.5.6 Waktu.....	29
2.6 <i>Heat Exchanger</i> (HE).....	29
2.6.1 Macam-macam <i>Heat Exchanger</i> Berdasarkan Proses Transfer Panas	30
2.6.2 Macam-macam <i>Heat</i> Berdasarkan Desain Konstruksi	32
2.7 Perpindahan panas.....	33
2.7.1 Perpindahan Kalor secara Konduksi.....	34
2.7.2 Perpindahan Kalor secara Konveksi.....	36
2.7.3 Perpindahan Panas Radiasi.....	37
2.8 Perpindahan Massa (<i>Mass Transfer</i>).....	38
2.8.1 Perpindahan Massa Konduksi	39
2.8.2 Perpindahan Massa Konveksi.....	40
2.9 Analisa Kadar Air	41
2.10 Analisa Kebutuhan Energi Selama Proses Pengeringan	42
2.11 <i>Computation Fluids Dynamics</i> (CFD).....	45

III.METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	49
3.2 Pelaksanaan Penelitian	52
3.3 Diagram Alir Penelitian	55

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis	56
4.2 Sebaran Suhu Dalam Ruang Pengereng Untuk Redesain Alat Pengereng Kakao	57
4.3 Redesain Alat Pengereng Kakao.....	59
4.4 Modifikasi Rancangan Alat Pengereng	61
4.5 Analisa Plat Penampang Kakao	63
4.6 Perhitungan Kalor Yang Dibutuhkan Dalam Proses Pengereng Kakao	66
4.7 Perhitungan Termal Yang Terjadi Pada Alat Pengereng.....	68
4.8 Sebaran suhu pada alat pengereng kakao	69
4.8.1 Kebutuhan energi proses pengeringan	70
4.8.2 Laju Aliran Energi Konveksi Di Dalam Ruang Pengereng Kakao	71
4.8.3 Energi yang hilang dari ruang pengereng (Q _{lw})	74

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran.....	78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Syarat Mutu Biji Kakao Berdasarkan Ukuran Biji	11
Tabel 2.2 Syarat Umum Mutu Biji Kakao	12
Tabel 2.3 Standar Nasional Indonesia Biji Kakao (SNI 01–2323–2012)	12
Tabel 2.4 Syarat Khusus Mutu Kakao	13
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Suhu Pada Plat Alat Pengering	59
Tabel 4.2 Perbandingan Antara Desain Asli dan Setelah Dilakukan Redesain	62
Tabel 4.3 Parameter Masukan Pada Simulasi CFD	62
Tabel 4.4 <i>Point Parameters</i> Sebaran Suhu Pada Plat	66
Tabel 4.5 <i>Point Parameters</i> Sebaran Suhu Pada Plat	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1.Skema sistem pengering udara panas.....	25
Gambar 2.2.Skema system pengeringan uap air	27
Gambar 2.3 <i>Fluidized-Bed Heat Exchanger</i>	31
Gambar 2.4 <i>Heat Exchanger Tipe Shell & Tube</i>	33
Gambar 2.5 Perpindahan panas konduksi pada dinding	34
Gambar 2.6 Perpindahan panas konveksi	36
Gambar 2.7 Perpindahan panas radiasi	38
Gambar 2.8 Perpindahan Massa Konduksi	39
Gambar 3.1 Termokopel	50
Gambar 3.2 Alat Pengering Kakao	50
Gambar 3.3 Komputer.....	51
Gambar 3.4 Software <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	51
Gambar 3.6 Rancangan Alat Pengering Kakao.....	53
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	57
Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Suhu Pada Alat Sebelum Redesain.....	60
Gambar 4.2 Hasil Simulasi Rancangan Pertama	63
Gambar 4.3 Pengering Sebelum Sesudah Modifikasi.....	64

Gambar 4.4 Hasil Simulasi CFD Pada Ruang Pengering Setelah Modifikasi	65
Gambar 4.5 Hasil Simulasi CFD Pada Plat Pengering Sebelum Modifikasi	66
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Setelah Dilakukan Modifikasi	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tumbuhan kakao merupakan tanaman perkebunan yang berasal dari Amerika Selatan namun seiring perkembangan zaman maka tumbuhan kakao dapat hidup di negara lain, salah satunya di negara Indonesia. Tumbuhan kakao ini banyak tumbuh dengan subur di beberapa daerah provinsi Lampung khususnya di kabupaten Pesawaran. Dengan adanya pengembangan komoditas kakao ini dapat memberikan pengaruh positif kepada petani karena dapat menambah pendapatan serta membuka lapangan kerja sendiri bagi masyarakatnya. Luas lahan kakao daerah Pesawaran sebesar 15.146,8 hektar dan produksi sebesar 8.517, 8 ton (BPS Kabupaten Pesawaran, 2013).

Rata-rata luas areal lahan kakao yang dimiliki petani berkisar 0,25 ha – 2,5 ha. Meskipun komoditas yang paling menonjol untuk kabupaten Pesawaran adalah kakao namun masyarakatnya masih mengalami masalah seperti harga jual yang rendah disebabkan kadar air yang tinggi dalam biji kakao. Agar kakao kabupaten Pesawaran dapat bersaing dengan kakao daerah lainnya maka kuantitas produksi kakao harus diikuti dengan yang mutu tinggi pula.

Proses pengeringan biji kakao di desa Wiyono kecamatan Gedong Tataan, Pesawaran ini dilakukan dengan dua cara yaitu dengan cara mengeringkan dengan sinar matahari dan juga dengan menggunakan alat pengering dengan model bak penampung. Seiring permintaan pasar yang semakin banyak, pengeringan secara tradisional atau dengan mengeringkan di bawah sinar matahari tidak dapat memenuhi permintaan tersebut karena waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan biji kakao relatif lama yaitu antara 3-4 hari.

Oleh karena itu dibuat alat sederhana yang bertujuan untuk mengeringkan biji kakao dengan waktu pengeringan yang sedikit lebih cepat. Alat ini dirancang dengan cukup sederhana yang terbuat dari bata dan semen dengan panjang 240 cm serta lebar 120cm. Dimana di tengah diletakkan sebuah plat dari tembaga yang berlubang-lubang sebagai tempat diletakkannya kakao selama proses pengeringan.

Pengeringan biji kakao dengan alat ini membutuhkan waktu selama 12 jam, setelah dilakukan pengukuran menggunakan alat pengukur suhu didapatkan suhu hasil pembakaran yang tidak merata di setiap sisi-sisi platnya. Dimana dilakukan pengukuran di sembilan titik, didapatkan hasil yaitu $62,6^{\circ}\text{C}$, $51,7^{\circ}\text{C}$, $59,2^{\circ}\text{C}$, $64,3^{\circ}\text{C}$, $64,8^{\circ}\text{C}$, $70,7^{\circ}\text{C}$, $65,8^{\circ}\text{C}$, $63,3^{\circ}\text{C}$, $55,5^{\circ}\text{C}$.

Dapat disimpulkan bahwa tidak meratanya suhu dalam alat pengeringan kakao ini menyebabkan pengeringan tersebut masih relatif lama dan hanya dapat

menurunkan kadar air dari biji kakao mencapai 10% dari kadar air 55-60%. Sedangkan untuk suhu yang optimal untuk pengeringan kakao adalah sebesar 65-90°C untuk menurunkan kadar air sampai 7%.

Dalam hal ini dibutuhkan analisis dan perancangan yang tepat untuk perhitungan serta model yang sesuai dari proses akhir alat pengering biji kakao itu sendiri, agar alat pengering pengering biji kakao tersebut dapat lebih optimal dan juga mendapatkan kualitas biji kakao yang baik. Salah satu alat analisis dengan metode simulasi komputer adalah melalui *software Solidwork Flow Simulation* yang dapat digunakan untuk evaluasi dalam berbagai model desain mekanik, *thermal*, maupun model aliran fluida.

Maka dari itu dengan memanfaatkan *tool* yang ada dan untuk meningkatkan ketelitian dalam desain alat pengering kakao maka penulis akan menganalisis dan merancang alat pengering kakao untuk proses akhir pengeringan kakao yang lebih optimal dalam prosesnya di desa Wiyono kabupaten Pesawaran dengan menggunakan *software Computational Fluid Dynamics (CFD)*.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung dimensi alat pengering dan besarnya kalor yang dibutuhkan untuk proses pengeringan.

2. optimalisasi alat pengering kakao pada proses akhir hasil redesain.
3. Menganalisis perpindahan panas dan distribusi temperatur dari aliran panas yang terjadi dalam alat pengering kakao setelah dilakukan redesain

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Alat pengering kakao yang akan dianalisis merupakan redesain alat pengering kakao milik Usaha mandiri di Desa Wiyono Gedong Tataan Pesawaran
2. Dalam hal ini hanya dilakukan analisis dan perancangan alat pengering kakao pada proses pengeringan yaitu sebelum kakao dikeringkan (kadar air 55%) hingga proses pengeringan selesai menjadi kakao (kadar air 7%).
3. Proses perpindahan panas yang terjadi adalah konveksi sedangkan radiasi diabaikan karena nilainya sangat kecil.
4. Jumlah kakao yang dikeringkan sebanyak 100 kg selama kurang lebih 12 jam.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan landasan teori dan beberapa literatur yang mendukung pembahasan tentang studi kasus yang diambil.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan metode yang digunakan penulis dalam pelaksanaan proses analisis desain alat pengering kakao.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang hasil simulasi-simulasi analisis dan perancangan alat pengering kakao serta optimalisasi pemodelannya.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dilakukan serta pembahasan tentang studi kasus yang diambil.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur atau referensi-referensi yang diperoleh penulis untuk menunjang penyusunan laporan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Berisikan beberapa hal yang mendukung proses analisis dan perancangan alat pengering kakao.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kakao

Kakao merupakan tanaman perkebunan yang hidup dengan naungan pohon-pohon yang tinggi, dengan curah hujan dan kelembapan yang tinggi, suhu yang relative sama sepanjang tahun. Tanaman tahunan ini dapat mulai berproduksi pada umur 18 bulan (1,5 tahun).

Pada usia tiga tahun, tanaman kakao akan mencapai tinggi 1,8-3 meter dan pada usia 12 tahun dapat mencapai tinggi 4,5 sampai 7 meter. Namun tinggi tanaman kakao pun dipengaruhi oleh intensitas naungan serta faktor-faktor tumbuh yang tersedia.

Adapun syarat-syarat tumbuh tanaman kakao, Tjitrosoepomo (dalam Pusat, 2010) :

1. Daerahnya terletak pada garis lintang 10° LS sampai 10° LU.
2. Ketinggian tempat 0-600 meter di atas permukaan laut (dpl).
3. Curah hujan 1500-2500 mm/tahun dengan bulan keringkurang dari 3 bulan (kurang 60 mm/bulan).
4. Suhu maksimum $30-32^{\circ}$ C dan suhu minimum $18-21^{\circ}$ C.
5. Kemiringan tanah kurang dari 45% dengan kedalaman olahkurang dari 150 cm.

6. Tekstur tanah terdiri atas 50% pasir, 10-20% debu dan 30-40% lempung (lempung berpasir).
7. Sifat kimia tanah terutama pada lapisan olah 0-30cm adalah: Kadar bahan organik > 3,5%, C/N ratio antara 10-12, Kapasitas Tukar Kation (KTK) > 15 me/100 g tanah, kejenuhan basa > 35%, pH (H²O) 4,0-8,5; optimum pada pH 6,0-7 serta kadar unsur hara minimum tanah yang dibutuhkan : N =0,38%, P (Bray 1) = 32 ppm, K tertukar = 0,50 me/100 gr, Ca tertukar = 5,3 me/100 gr, Mg tertukar 1 me/100 gr. (<https://www.scribd.com/doc/87208197/kakao>).

Tanaman kakao atau yang lebih dikenal dengan tanaman coklat merupakan salah satu dari marga *Theobroma* suku *Sterculiaceae* namun satu-satunya yang dapat dikomersialkan atau diperjualbelikan. Adapun sistematika dari tanaman kakao menurut Tjitrosoepomo (dalam Pusat, 2010) :

Divisi : *Spermatophyta*
 Anak Divisi : *Angiospermae*
 Kelas : *Dicotyledoneae*
 Anak Kelas : *Dialypetalae*
 Bangsa : *Malvales*
 Suku : *Sterculiaceae*
 Marga : *Theobroma*
 Genus : *Theobroma cacao L.*

Menurut Cuatrecasas (dalam Pusat, 2010) ada dua subjenis kakao diantaranya *Cacao* dan *Sphaerocarcum*. Subjenis *Cacao* mempunyai empat forma yaitu :

1. Forma *Cacao* dengan anggota *Criollo* dari Amerika Tengah. Ciri-ciri forma ini adalah bentuk biji bulat, keping biji berwarna putih dan bermutu tinggi.
2. Forma *Pentagonum* hanya terkenal di Meksiko dan Amerika Tengah dengan biji berbentuk bulat dan besar, keping biji berwarna putih dengan mutu tinggi.
3. Forma *Leiocarpum* berbiji bulat, keping biji berwarna putih atau ungu pucat dengan mutu tinggi, salah satu klon yang termasuk forma ini adalah Djati Runggo (DR).
4. Selanjutnya yaitu forma *Lacandonense*. Yang termasuk dalam forma ini adalah kakao liar yang terkenal di Chiapas, Meksiko.

Kakao terbagi dalam kelompok besar yaitu *criollo*, *forastero*, dan *trinitario* Chessman (dalam Pusat, 2010). Beberapa sifat lain dari *criollo* yaitu pertumbuhan yang kurang kuat, daya hasil yang lebih rendah, serta relatif mudah terserang oleh hama dan penyakit. Berdasarkan teksturnya, *Criollo* memiliki permukaan kulit yang kasar, berbenjol-benjol, dengan alur-alurnya yang jelas. Meskipun kulit buahnya tebal namun lunak sehingga mudah pecah. Ukuran bijinya besar dengan kadar lemak yang rendah, bijinya berbentuk bulat, namun memiliki cita rasa yang khas, serta lama fermentasi lebih singkat. Dalam tata niaga, kakao *Criollo* termasuk dalam kelompok mulia.

Kakao *forastero* termasuk dalam kakao lindak. Kakao lindak memiliki ciri-ciri yaitu bentuk biji yang lonjong, pipih dengan keping biji berwarna

ungu gelap. Memiliki permukaan kulit yang relatif halus karena alur-alurnya dangkal, dengan kulit buah yang keras namun tipis. Pertumbuhannya kuat serta cepat, daya hasil yang tinggi, dan resisten terhadap beberapa jenis hama maupun penyakit. Kadar lemak yang terkandung dalam biji cukup tinggi serta cukup lama dalam proses fermentasi daripada kakao *Criollo*. Kelompok kakao *trinitario* merupakan hibrida *Criollo* dan *forastero*. Sifat morfologi serta fisiologinya beragam, begitupun dengan daya hasil dan mutunya.

Tanaman kakao memiliki morfologi diantaranya batang, cabang, daun, akar, bunga, buah dan biji. Tanaman kakao yang tumbuh berasal dari biji setelah mencapai tinggi 0,9 sampai 1,5 meter akan berhenti bertumbuh dan membentuk jorket. Jorket adalah tempat percabangan dari pola percabangan ortotrop (tunas yang arah pertumbuhannya tumbuh ke atas) ke plagiotrop (tunas yang arah pertumbuhannya ke samping).

Daun kakao memiliki sifat yang sama dengan percabangannya yaitu dimorfisme. Pada tunas ortotrop tangkai daunnya panjang yaitu 7,5 sampai 10 cm, namun pada tunas plagiotrop tangkai daun pendek hanya 2,5 cm. tangkai daun kakao berbentuk silinder dengan sisik yang halus tergantung tipenya. Sifat khusus daun kakao yaitu adanya dua persendian yang terletak di pangkal dan ujung tangkai daun (Karmawati, 2010).

Bagian tanaman kakao selanjutnya adalah akar. Pada tanaman kakao sebagian besar akarnya mendatar berkembang dekat permukaan tanah pada kedalaman 0-30 cm dengan ujung akar yang membentuk cabang-

cabang kecil yang ruwet. Tidak hanya akar, tanaman kakao pun memiliki bunga. Bunga pada tanaman kakao akan tumbuh pada bekas ketiak daun pada batang dan cabang, yang lama kelamaan tempat tumbuh bunga tersebut akan membesar dan menebal yang disebut dengan bantalan bunga. Adapun rumus bunga kakao adalah $K5C5A5+5G$ (5), rumus tersebut memiliki arti bunga kakao disusun oleh lima kelopak yang bebas satu sama lain, lima daun mahkota, 10 tangkai sari yang tersusun dalam dua lingkaran yang masing-masing terdiri dari lima tangkai seri dengan satu lingkaran yang fertile dan lima daun buah yang bersatu. Warna bunga kakao antara lain putih, ungu, ataupun kemerahan (Karmawati, 2010).

Bagian yang tak kalah penting pada tanaman kakao adalah buah dan biji kakao. Warna buah kakao apabila saat masih muda berwarna hijau atau hijau agak putih maka saat masak warna buah kakao akan berubah menjadi kuning. Sedangkan warna buah kakao lainnya saat masih muda adalah merah dan ketika sudah masak warnanya akan berubah menjadi jingga.

Buah kakao memiliki biji didalamnya yang mana biji tersebut tersusun dalam lima bari yang kemudian akan mengelilingi poros buah dengan jumlah biji yang beragam sekitar 20-50 butir per buah. Apabila buah dipotong secara melintang terlihat biji disusun oleh dua kotiledon yang saling melipat dan bagian pangkalnya menempel pada poros lembaga. Adapun warna kotiledon untuk kakao *Criollo* adalah putih dan warna ungu untuk kakao *forastero*. Biji kakao ini pun dibungkus oleh daging buah

yang disebut pulpa berwarna putih dengan cita rasa asam manis yang diduga mengandung zat penghambat perkecambahan (Karmawati, 2010). Dalam tanaman kakao yang paling penting adalah bijinya, hal ini dikarenakan biji dari tanaman kakao akan menghasilkan bubuk coklat.

Untuk menghasilkan bubuk coklat yang baik tentu harus berasal dari biji kakao yang baik pula. Untuk itu, ada Standar Nasional Indonesia Biji Kakao yang mengatur mutu biji kakao (SNI 01-2323-2013) . Pada SNI ini, biji kakao di klasifikasikan dalam dua syarat, yaitu (Supriyanto, 2012) :

1. Syarat mutu umum

Syarat umum biji kakao yang akan di ekspor dibedakan berdasarkan ukuran biji kakao, tingkat kandungan air serta tingkat kontaminasi benda asing. Ukuran biji kakao dinyatakan dalam jumlah biji per 100 gram biji kakao kering dengan kadar air 6-7%, sedangkan untuk tingkat kandungan air serta kontaminasi benda asing ditentukan secara laboratoris atas dasar pengujian kadar air pada sampel uji yang mewakili dan diukur menggunakan alat ukur kadar air biji kakao.

Klasifikasi mutu atas dasar ukuran biji dikelompokkan menjadi 5 tingkat (SNI) yaitu :

Tabel 2.1 Syarat Mutu Biji Kakao Berdasarkan Ukuran Biji

Ukuran	Jumlah biji/100 gram
AA	Maks. 85
A	Maks. 100
B	Maks. 110
C	Maks. 120
S	>120

Sumber : (SNI 01 – 2323 2013)

Keterangan :

- AA : Jumlah biji per 100 gram maksimum 85
- A : Jumlah biji per 100 gram maksimum 100
- B : Jumlah biji per 100 gram maksimum 110
- C : Jumlah biji per 100 gram maksimum 120
- S : Substandar jumlah biji per 100 gram maksimum > 120

Syarat umum mutu biji kakao dapat dilihat pada tabel di bawah ini ;

Tabel 2.2 Syarat Umum Mutu Biji Kakao

Karakteristik	Persyaratan
Kadar air (b/b)	Maks. 7.5%
Biji berbau asap atau abnormal atau berbau asing	Tidak ada
Serangga hidup	Tidak ada
Kadar biji pecah atau pecahan biji atau pecahan kulit	Maks. 3%
Kadar benda-benda asing	Maks. 0%

Sumber : SNI 01-2323-2013

Tabel 2.3 Standar Nasional Indonesia Biji Kakao (SNI 01–2323–2013)

No	Karakteristik	MutuI	MutuII	SubStandar
1	Jumlahbiji/100gr	**	**	**
2	Kadar air,%(b/b)maks	7,5	7,5	>7,5
3	Berjamur,%(b/b)maks	3	4	>4
4	Takterfermentasi,%(b/b)maks	3	8	>8
5	Berserangga, hampa, berkecambah, %(b/b)maks	3	6	>6
6	Bijipecah,%(b/b)maks	3	3	>3
7	Bendaasing %(b/b)maks	0	0	0
8	Kemasankg,netto/karung	62,5	62,5	62,5

(Sumber : www.kadin-indonesia.or.id)

Keterangan:

* Revisi September 2013

* Ukuran biji ditentukan oleh jumlah biji per 100 gr.

AA maksimum > 120

Untuk jenis kakao mulia notasinya dengan F (*Fine Cocoa*)

Jumlah biji per 100 gram maksimum 85

- A Jumlah biji per 100 gram maksimum 100
 - B Jumlah biji per 100 gram maksimum 110
 - C Jumlah biji per 100 gram maksimum 120
- Substandar jumlah biji per 100 gram

2. Syarat Khusus Mutu Kakao

Adapun syarat khusus dari mutu kakao terkait masalah cita rasa, aroma, serta masalah kebersihan yang berkaitan dengan manusia. Mutu kakao ini diklasifikasikan kembali menjadi Mutu I dan Mutu II. Syarat khusus tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Syarat Khusus Mutu Kakao

Karakteristik	Persyaratan Maks.	
	Mutu I	Mutu II
Kadar biji berkapang	3%	4%
Kadar biji tidak terfermentasi (biji/biji)	3%	8%
Kadar biji berserangga, pipih dan berkecambah	3%	6%

2.2 Kerusakan Pada Biji Kakao

Ada beberapa klasifikasi kerusakan pada biji kakao yang ditinjau berdasarkan penyebabnya, yaitu :

1. Kerusakan Fisik Atau Mekanis

Kerusakan fisik pada biji kakao terjadi karena adanya perlakuan fisik atau adanya benturan mekanis selama pasca panen, pengemasan, pengangkutan maupun selama penyimpanan. Kerusakan ini meliputi biji yang berbau asing, biji yang tercampur benda asing, biji pecah serta biji yang kotor.

2. Kerusakan Biologis

Kerusakan biologis pada biji kakao terjadi karena hama gudang, bintang pengerat maupun perlakuan fisiologis. Kerusakan ini juga dipengaruhi oleh kadar air, suhu penyimpanan serta oksigen. Kerusakan yang disebabkan oleh hama gudang sangat sulit dicegah sebab penyimpanan kakao dalam jumlah besar yang dimasukkan dalam karung-karung besar.

3. Kerusakan Mikrobiologis

Kerusakan mikrobiologis disebabkan oleh pengeringan yang tidak optimal atau biji kering yang menyerap air selama penyimpanan sehingga hal ini dapat mendorong jamur-jamur tumbuh dalam biji kakao. Saat jamur tumbuh maka akan menguraikan molekul-molekul yang akan menyebabkan penurunan pH, penyimpangan bau dan rasa, bahkan dapat menghasilkan toksin/racun yang berbahaya bagi manusia. Jamur yang sering tumbuh pada biji kakao yaitu *Aspergillus fumigatus* dan *Aspergillus glucus*.

4. Kerusakan kimia

Kerusakan kimia ini disebabkan karena perubahan kimia yang dipengaruhi oleh suhu selama reaksi berlangsung, oksigen yang mempercepat reaksi oksidasi, reaksi biologis seperti enzimatik, pH yang mempengaruhi denaturasi protein atau perubahan warna, dan adanya logam yang menjadi prekursor reaksi. Penurunan kualitas mutu kakao dapat dicegah dengan menerapkan teknologi pascapanen kakao yang benar dan memperhatikan syarat mutu kakao yang telah ditentukan. Dengan memperhatikan hal

tersebut diharapkan mutu kakao Indonesia bukan hanya mengalami peningkatan produksi dari segi kuantitas tapi juga mempunyai daya saing dari segi kualitas di pasaran Internasional (Supriyanto, 2012).

2.3 Karakteristik Biji Kakao

Karakteristik fisik biji kakao banyak diperhatikan terutama karena berpengaruh terhadap hasil yang akan diperoleh oleh pabrik coklat, khususnya adalah kadar air, berat biji, dan kadar kulit. Sifat-sifat fisik tersebut satu sama lain saling berkaitan dan dapat ditentukan dengan mudah (Wahyudi, 2008).

Kadar air merupakan sifat fisik yang sangat penting dan sangat diperhatikan oleh konsumen. Selain sangat berpengaruh terhadap hasil (*yield*), kadar air pun berpengaruh pada daya tahan biji kakao terhadap kerusakan terutama saat penggudangan dan pengangkutan. Biji kakao yang mempunyai kadar air tinggi sangat rentan terhadap serangan jamur dan serangga. Hal ini sangat tidak disukai oleh konsumen karena akan menimbulkan kerusakan cita-rasa dan aroma dasar yang tidak dapat diperbaiki pada proses berikutnya. Standar kadar air biji kakao mutu ekspor adalah 6 - 7 %. Jika lebih tinggi dari nilai tersebut, biji kakao tidak aman disimpan dalam waktu lama, sedang jika kadar air terlalu rendah biji kakao cenderung menjadi rapuh (Azis, 1996).

Biji kakao terdiri atas keping biji (*nib*) yang dilindungi oleh kulit (*shell*). Kadar kulit dihitung atas dasar perbandingan berat kulit dan berat total biji kakao (kulit + keping) pada kadar air 6 - 7 %. Standar kadar kulit biji kakao

yang umum adalah antara 11 - 13 %. Namun, nilai kadar kulit umumnya tergantung pada permintaan konsumen. Beberapa konsumen bersedia membeli biji kakao dengan kadar kulit di atas nilai tersebut. Mereka akan memperhitungkan koreksi harga jika kadar kulit lebih tinggi dari ketentuan karena seperti halnya ukuran biji, kadar kulit berpengaruh pada randemen hasil lemak (Azis, 1996).

2.4 Pasca Panen Kakao

Biji kakao yang diperdagangkan dan dipergunakan untuk produk-produk coklat diperoleh dari pengolahan biji kakao. Untuk dapat menghasilkan biji kakao yang berkualitas baik maka harus melalui tahapan-tahapan yang benar. Adapun tahap dalam penanganan pasca panen kakao meliputi pemetikan, pengupasan/pemecahan kulit buah, fermentasi, perendaman dan pencucian, pengeringan dan penyimpanan merupakan tahapan penting dalam pengolahan untuk memperoleh biji kakao yang bermutu baik (Karmawati, 2010).

Faktor-faktor penyebab mutu kakao yang dihasilkan sangat beragam diantaranya minimnya sarana pengolahan, lemahnya pengawasan mutu serta penerapan teknologi pada seluruh tahapan proses pengolahan biji kakao rakyat yang tidak berorientasi pada mutu. Kriteria mutu biji kakao yang meliputi aspek fisik, cita rasa dan kebersihan serta aspek keseragaman dan konsistensi sangat ditentukan oleh perlakuan pada setiap tahapan proses produksinya.

Tahapan proses pengolahan dan spesifikasi alat dan mesin yang digunakan yang menjamin kepastian mutu harus didefinisikan secara jelas. Tidak hanya

itu pengawasan dan pemantauan setiap tahapan proses harus dilakukan secara rutin agar tidak terjadi penyimpangan mutu, hal ini disebabkan biji kakao merupakan bahan baku makanan atau minuman sehingga sangat diperhatikan oleh konsumen. Proses pengolahan pun menentukan mutu produk akhir biji kakao, karena dalam proses ini terjadi pembentukan calon citarasa khas kakao dan pengurangan cita rasa yang tidak dikehendaki, misalnya rasa pahit dan sepat. Adapun tahapan penting dalam penanganan pascapanen kakao adalah fermentasi dan proses pengeringan.

2.4.1 Fermentasi

Penanganan pascapanen kakao dimulai sejak pemetikan buah, fermentasi sampai pengeringan. Proses fermentasi berlangsung secara alamiah selama beberapa hari. Tahapan ini sangat penting dilalui untuk mempersiapkan biji kakao basah menjadi biji kakao kering bermutu tinggi dan layak dikonsumsi. Fermentasi dilakukan untuk mendapatkan biji kakao dengan kualitas baik, memiliki aroma serta cita rasa khas coklat. Cita rasa khas coklat dapat diperoleh melalui fermentasi dan penyangraian. Biji kakao yang kurang fermentasi ditandai beberapa ciri diantaranya yaitu berwarna ungu, tekstur yang pejal, rasa yang pahit dan sepat.

2.4.2 Pengeringan

Pengeringan zat padat berarti pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair lain dari bahan padat, sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di

dalam zat padat itu sampai suatu nilai terendah yang dapat diterima. Pengerinan biasanya merupakan alat terakhir dari sederetan operasi dan hasil pengerinan biasanya siap untuk dikemas (McCabe, 2002)

Proses pengerinan dapat dilakukan dengan menjemur, memakai mesin pengering atau dapat dilakukan dengan kombinasi keduanya (jemur dan penggunaan mesin). Pada proses pengerinan terjadi sedikit fermentasi lanjutan dan kandungan air menurun dari 55-60 % menjadi 6-7%, selain itu terjadi pula perubahan-perubahan kimia untuk menyempurnakan pembentukan aroma dan warna yang baik. Suhu pengerinan sebaiknya antara 55-66°C dan waktu yang dibutuhkan bila memakai mesin pengering antara 20-25 jam, sedang bila dijemur waktu yang dibutuhkan ± 7 hari apabila cuaca baik, tetapi apabila saat musim hujan penjemuran berkisar ± 4 minggu. Bila biji kakao kurang kering atau masih mengandung air di atas 8% maka biji mudah ditumbuhi jamur.

Klasifikasi Pengering

Pada pelaksanaan pengerinan, ada pengering yang beroperasi secara kontinyu (berkelanjutan) dan *batch*. Untuk mengurangi suhu pengerinan, beberapa pengering beroperasi dalam vakum. Beberapa pengering dapat menangani segala jenis bahan, tetapi ada pula yang sangat terbatas dalam hal umpan yang ditanganinya.

Pembagian pokok pengering:

1. Pengering (*dryer*) dimana zat yang dikeringkan bersentuhan langsung dengan gas panas (biasanya udara) disebut pengering adiabatik (*adiabatic dryer*) atau pengering langsung (*direct dryer*).
2. Pengering (*dryer*) dimana kalor berpindah dari zat ke medium luar, misalnya uap yang terkondensasi, biasanya melalui permukaan logam yang bersentuhan disebut pengering non adiabatik (*nonadiabatic dryer*) atau pengering tak langsung (*indirect dryer*) (Mc. Cabe, 2002)

2.4.3 Konsep Dasar Sistem Pengeringan

Proses pengeringan merupakan proses perpindahan panas dari sebuah permukaan benda sehingga kandungan air pada permukaan benda berkurang. Perpindahan panas dapat terjadi karena adanya perbedaan temperatur yang signifikan antara dua permukaan. Perbedaan temperatur ini ditimbulkan oleh adanya aliran udara panas diatas permukaan benda yang akan dikeringkan yang mempunyai temperatur lebih dingin (<http://akademik.che.itb.ac.id/labtek/2009/02/modul-202-pengeringan.pdf>.)

2.4.4 Prinsip-prinsip Pengeringan

Banyaknya ragam bahan yang dikeringkan di dalam peralatan komersial dan banyaknya macam peralatan yang digunakan orang, maka tidak ada satu pun teori mengenai pengeringan yang dapat meliputi semua jenis bahan dan peralatan yang ada. Hal ini disebabkan banyaknya variasi

bentuk dan ukuran bahan, keseimbangan kebasahannya (*moisture*) mekanisme aliran bahan pembasah, serta metode pemberian kalor yang diperlukan untuk penguapan.

Prinsip-prinsip yang perlu diperhatikan dalam pembuatan alat pengering antara lain :

1. Pola suhu di dalam pengering
2. Perpindahan kalor di dalam pengering
3. Perhitungan beban kalor
4. Satuan perpindahan kalor
5. Perpindahan massa di dalam pengering

(Mc. Cabe, 2002)

2.4.5 Pengaruh Suhu pada Proses Pengeringan

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Semakin besar perbedaan antara suhu media pemanas dengan bahan yang dikeringkan, semakin besar pula kecepatan pindah panas ke dalam bahan pangan, sehingga penguapan air dari bahan akan lebih banyak dan cepat. Proses pengeringan akan berlangsung cepat apabila suhu dan kecepatan aliran udara pengering semakin tinggi. Semakin tinggi suhu udara pengering makin besar energi panas yang dibawa oleh udara sehingga semakin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan. Jika kecepatan aliran udara pengering semakin tinggi maka semakin cepat pula massa uap air yang dipindahkan dari bahan ke atmosfer. Semakin tinggi suhu yang

digunakan untuk pengeringan, semakin tinggi energi yang disuplai maka semakin cepat laju pengeringan. Namun pengeringan yang terlalu cepat pun kurang baik karena dapat merusak bahan, yakni permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan kepermukaan, hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan. Selanjutnya airdalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang. Disamping itu penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak daya fisiologik biji-bijian atau benih.

Pengeringan bahan hasil pertanian menggunakan aliran udara pengering yang baik adalah antara 45°C sampai 75°C , apabila pengeringan pada suhu dibawah 45°C mikroba dan jamur yang merusak produk masih hidup, sehingga daya awet dan mutu produk rendah. Namun pada suhu udara pengering di atas 75°C menyebabkan struktur kimiawi dan fisik produk rusak, karena perpindahan panas dan massa air yang berdampak perubahan struktur sel (Setiyo, 2003).

2.4.6 Laju Pengeringan

Untuk mengetahui laju pengeringan maka kita perlu mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan suatu bahan dari kadar air tertentu sampai kadar air yang diinginkan pada kondisi tertentu, untuk mengetahuinya dapat dilakukan dengan cara :

1. *Drying test* yaitu hubungan antara *moisture content* suatu bahan vs waktu pengering pada temperatur, *humidity*, dan kecepatan pengering tetap. Kandungan air dari suatu bahan akan menurun karena adanya

pengeringan, sedangkan kandungan air yang hilang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu.

2. Kurva Laju Pengeringan menunjukkan hubungan antara laju pengeringan kandungan air, kurva ini terdiri dari 2 bagian yaitu periode kecepatan tetap dan pada kecepatan menurun. Jika mula-mula bahan sangatlah basah bila dikontakkan dengan udara yang relatif kering maka akan terjadi penguapan air yang ada pada permukaan bahan tersebut.

Rumus laju pengeringan massa menurut Treybal, 1995 dinyatakan:

$$N = \frac{-Ss \frac{dX}{d\theta}}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- N = Laju pengeringan (lb h²o yang diuapkan / jam f^{t2})
 Ss = Berat bahan kering (lb)
 A = Luas permukaan pengeringan (f^{t2})
 X = *Moisture content dry* basis (lb h²o / lb bahan kering)
 Θ = Waktu (jam)

Dimana dx/dθ dicari dengan :

$$\frac{-dx}{d\theta} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \times \frac{D'v}{s^2} \times X \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan

- D'v = *Free moisture*
 S = Setengah tebal bahan yang dikeringkan
 X = Kadar air yang teruapkan

Persamaan ini menunjukkan bahwa bila difusi menjadi faktor penentu, laju pengeringan berbanding lurus dengan kandungan *free moisture* dan berbanding terbalik dengan pangkat dua ketebalan. Persamaan ini menunjukkan bahwa jika waktu dipetakan terhadap kandungan *free moisture* akan didapatkan garis lurus dan D^2v dapat dihitung dari gradiennya (Treyal R E. 1981).

2.4.7 Kadar Air Bahan

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan. Dalam hal ini terdapat dua metode untuk menentukan kadar air bahan yaitu berdasarkan bobot kering (*dry basis*) dan berdasarkan bobot basah (*wet basis*). Dalam penentuan kadar air bahan hasil pertanian biasanya dilakukan berdasarkan bobot basah (*wet basis*). Dalam perhitungan ini berlaku rumus sebagai berikut :

$$MC_{w.b} = \frac{W_a}{W_b} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk menentukan bobot kering suatu bahan penimbangan dilakukan setelah bobot bahan tersebut tidak berubah lagi selama pengeringan berlangsung. Untuk memperoleh kadar air basis kering dapat digunakan rumus:

$$\% \text{ berat air pada gabah awal} = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat basah}} \times 100\% \quad (2.4)$$

(Taufiq, Muhamad.2004).

2.4.8 Pengeringan dengan Udara Panas

Pengeringan bertujuan untuk memperpanjang umur simpan suatu bahan dengan cara mengurangi kadar air untuk mencegah agar tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme pembusuk. Dalam proses pengeringan dilakukan pengaturan terhadap suhu, kelembaban (*humidity*) dan aliran udara. Perubahan kadar air dalam bahan pangsebabkan oleh perubahan energi dalam sistem. Untuk itu, dilakukan perhitungan terhadap neraca energi untuk mencapai keseimbangan (Banwatt, 1981).

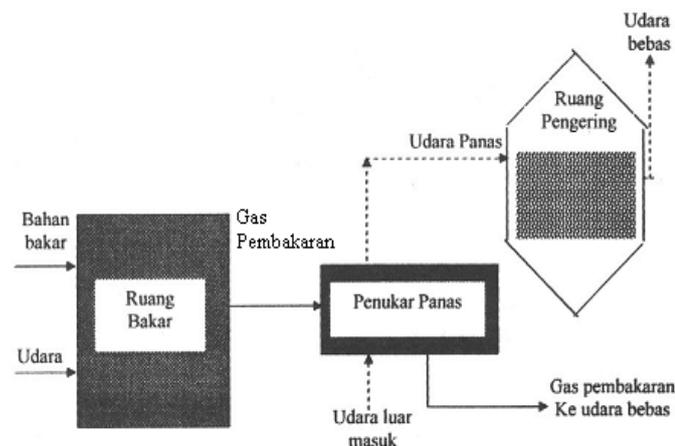
Menurut (Banwatt, 1981) beberapa alasan pendukung proses pengeringan agar menghambat pertumbuhan mikroorganisme adalah untuk mempertahankan mutu produk terhadap perubahan fisik dan kimiawi yang ditentukan oleh perubahan kadar air, mengurangi biaya penyimpanan, pengemasan dan transportasi, untuk mempersiapkan produk kering yang akan dilakukan pada tahap berikutnya, menghilangkan kadar air yang ditambahkan akibat selama proses sebelumnya, memperpanjang umur simpan dan memperbaiki kegagalan produk. Sehingga produk kering dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan produk baru.

Menurut (Karmawati, 2010) tujuan pengeringan biji kakao adalah menurunkan kadar air dari 60% menjadi 6%-7%. Ada beberapa cara pengeringan yaitu dengan sinar matahari, dengan alat pengering dan kombinasi keduanya. Pengeringan kombinasi yaitu pengeringan

dengan panas sinar matahari dan panas buatan. Cara ini lebih baik karena tidak tergantung pada cuaca dan bahan bakar lebih sedikit.

Pengeringan dengan sinar matahari menjadikan mutu biji lebih baik yaitu menjadi mengkilap. Caranya adalah biji ditebarkan di lantai penjemuran di bawah terik matahari. Tetapi pengeringan ini memiliki banyak kelemahan diantaranya membutuhkan tenaga kerja yang lebih banyak, waktu yang dibutuhkan juga sangat lama dan sangat bergantung dengan cuaca. Apabila cuaca sedang buruk seperti turun hujan atau tidak ada matahari maka pengeringan ini tidak dapat dilakukan.

Untuk mengantisipasi cuaca yang tidak menentu tersebut maka pengeringan yang baik adalah pengeringan yang dilakukan dengan alat pengering yang dalam hal ini dipakai *cabinet dryer*. Prinsip pengeringan *cabinet dryer* menggunakan udara pengering sebagai medium panas dalam menurunkan kadar air biji hingga 6% (Susanto, 1994).



Gambar 2.1. Skema sistem pengering udara panas
Sumber : (Ashiddiqie. 2010)

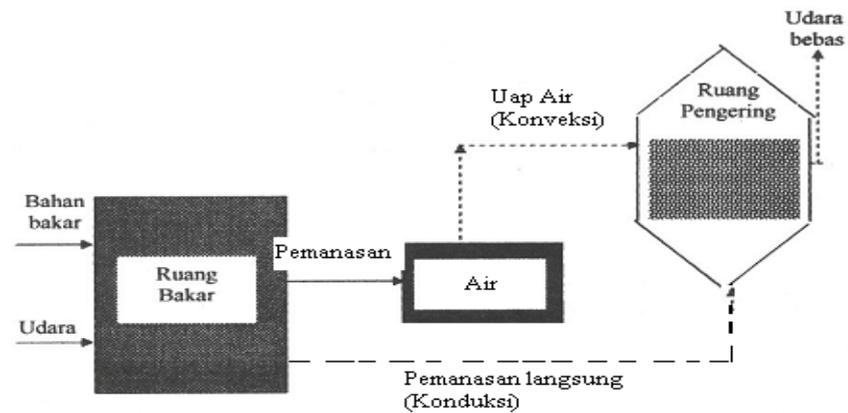
2.4.9 Pengeringan dengan Uap Air

Uap air panas mempunyai sifat pindah panas yang lebih unggul dari pada udara pada suhu yang sama. Karena tidak ada tahanan terhadap difusi uap air dalam uap itu sendiri, laju pengeringan pada periode laju konstan hanya tergantung pada laju pindah panas. Pada prinsipnya, setiap pengering langsung atau tak langsung (kombinasi konduksi dan konveksi) dapat dioperasikan sebagai pengering uap air panas (Abdulillah, 2000).

Salah satu keuntungan dari pengeringan dengan uap air panas adalah bahwa luaran pengering juga uap, meskipun pada enthalpi jenis lebih rendah. Dalam pengeringan dengan udara, panas laten dalam aliran gas luaran biasanya sukar dan mahal untuk digunakan kembali. Jika infiltrasi udara dapat dihindarkan (atau diminimumkan sampai tingkat yang dapat diterima), maka seluruh panas laten yang disuplai ke pengering uap air ini dapat dipulihkan dengan mengembunkan aliran buang atau meningkatkan enthalpi jenisnya secara mekanis atau dengan kompresi panas. Karena pengering ini akan menghasilkan uap yang sama dengan jumlah air yang diuapkan di dalam pengering, maka pabrik perlu memanfaatkan kelebihan uap tersebut.

Jika uap ini digunakan ditempat lain, panas laten yang dipulihkan tidak dibebankan pada alat pengering dan menyebabkan konsumsi energi bersih sebesar 1000-1500 kJ/kg air yang diuapkan untuk alat pengering dibandingkan dengan 4000-6000 kJ/kg air yang diuapkan untuk

pengering udara panas. Jadi penurunan konsumsi energi merupakan keuntungan yang jelas dari alat pengering dengan menggunakan uap air panas.



Gambar 2.2. Skema sistem pengeringan uap air
Sumber : (Ashiddiqie. 2010)

2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan

Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa (pindah massa dalam hal ini adalah perpindahan air keluar dari bahan yang dikeringkan dalam proses pengeringan tersebut). Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu (Voigh, 2008):

2.5.1 Luas Permukaan

Semakin luas permukaan bahan maka akan semakin cepat bahan menjadi kering. Biasanya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong untuk mempercepat pengeringan, karena perlakuan tersebut dapat menyebabkan permukaan bahan semakin luas, dimana permukaan yang

luas dapat memberikan lebih banyak permukaan yang dapat berhubungan dengan medium pemanas serta lebih banyak permukaan tempat air keluar.

2.5.2 Suhu

Semakin besar perbedaan suhu (antara medium pemanas dengan bahan pangan) maka akan semakin cepat proses pindah panas berlangsung sehingga mengakibatkan proses penguapan semakin cepat pula. Atau semakin tinggi suhu udara pengering maka akan semakin besar energi panas yang dibawa ke udara yang akan menyebabkan proses pindah panas semakin cepat sehingga pindah massa akan berlangsung juga dengan cepat.

2.5.3 Kecepatan udara

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

2.5.4 Kelembaban udara

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

2.5.5 Tekanan atm & vakum

Pada tekanan udara atmosfer 760 Hg (= 1 atm), air akan mendidih pada suhu 100°C. Pada tekanan udara lebih rendah dari 1 atmosfer air akan mendidih pada suhu lebih rendah dari 100°C.

2.5.6 Waktu

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

2.6 Heat Exchanger (HE)

Heat exchanger adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mentransfer energi panas (entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida, atau antara partikel padat dengan fluida, pada temperatur yang berbeda serta terjadi kontak termal. Lebih lanjut, *heat exchanger* dapat pula berfungsi sebagai alat pembuang panas, alat sterilisasi, pasteurisasi, pemisahancampuran, distilasi (pemurnian, ekstraksi), pembentukan konsentrat, kristalisasi atau juga untuk mengontrol sebuah proses fluida. Satu bagian terpenting dari *heat exchanger* adalah permukaan kontak panas. Pada permukaan inilah terjadi perpindahan panas dari satu zat ke zat yang lain.

2.6.1 Macam-macam *Heat Exchanger* Berdasarkan Proses Transfer Panas

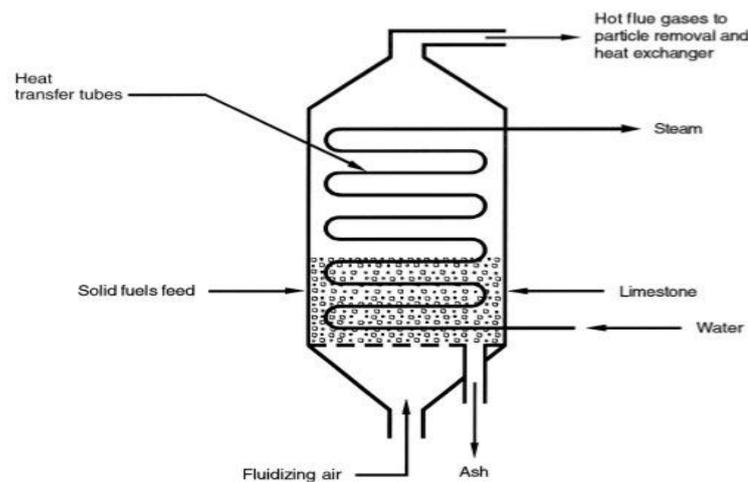
a. *Heat Exchanger* Tipe Kontak Tak Langsung

Heat exchanger tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Sehingga pada *heat exchanger* jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat. *Heat exchanger* jenis ini masih dibagi menjadi beberapa jenis lagi, yaitu:

1) *Heat Exchanger* Tipe *Direct-Transfer*, pada *heat exchanger* tipe ini, fluida-fluida kerja mengalir secara terus-menerus dan saling bertukar panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin dengan melewati dinding pemisah. Yang membedakan *heat exchanger* tipe ini dengan tipe kontak tak langsung lainnya adalah aliran fluida-fluida kerja yang terus-menerus mengalir tanpa terhenti sama sekali. *Heat exchanger* tipe ini sering disebut juga dengan *heat exchanger recuperator*.

2) *Storage Type Exchanger*, *heat exchanger* tipe ini memindahkan panas dari fluida panas ke fluida dingin secara *intermittent* (bertahap) melalui dinding pemisah. Sehingga pada jenis ini, aliran fluida tidak secara terus-menerus terjadi, ada proses penyimpanan sesaat sehingga energi panas lebih lama tersimpan di dinding-dinding pemisah antara fluida-fluida tersebut. Tipe ini biasa pula disebut dengan *regenerative heat exchanger*.

- 3) *Fluidized-Bed Heat Exchanger*, heat exchanger tipe ini menggunakan sebuah komponen solid yang berfungsi sebagai penyimpan panas yang berasal dari fluida panas yang melewatinya. Fluida panas yang melewati bagian ini akan sedikit terhalang alirannya sehingga kecepatan aliran fluida panas ini akan menurun, dan panas yang terkandung di dalamnya dapat lebih efisien diserap oleh padatan tersebut. Selanjutnya fluida dingin mengalir melalui saluran pipa-pipa yang dialirkan melewati padatan penyimpan panas tersebut dan secara bertahap panas yang terkandung di dalamnya ditransfer ke fluida dingin.



Gambar 2.3 *Fluidized-Bed Heat Exchanger*

Sumber : (Ashiddiqie. 2010)

b. *Heat Exchanger Tipe Kontak Langsung*

Suatu alat yang di dalamnya terjadi perpindahan panas antara satu atau lebih fluida dengan diikuti dengan terjadinya pencampuran sejumlah massa dari fluida-fluida tersebut disebut dengan *heat*

exchanger tipe kontak langsung. Perpindahan panas yang diikuti pencampuran fluida-fluida tersebut, biasanya diikuti dengan terjadinya perubahan fase dari salah satu atau lebih fluida kerja tersebut. Terjadinya perubahan fase tersebut menunjukkan terjadinya perpindahan energi panas yang cukup besar. Perubahan fase tersebut juga meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Macam-macam dari *heat exchanger* tipe ini antara lain adalah:

- a) *Immiscible Fluid Exchangers*
- b) *Gas-Liquid Exchanger*
- c) *Liquid-Vapour Exchanger*

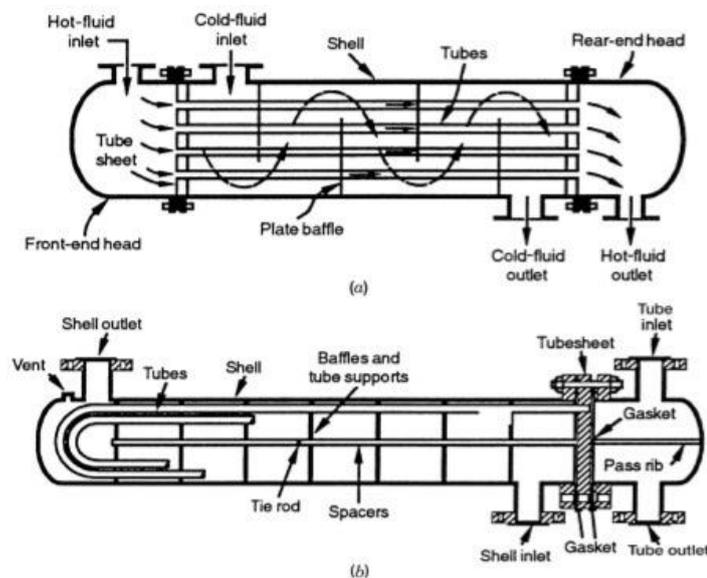
Perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida berbeda fase yakni uap air dengan air, yang juga diikuti dengan pencampuran sejumlah massa antara keduanya, termasuk ke dalam *heat exchanger* tipe kontak langsung.

2.6.2 Heat Exchanger Berdasarkan Desain Konstruksi

Heat Exchanger Tipe Tubular

Heat exchanger tipe ini melibatkan penggunaan *tube* pada desainnya. Bentuk penampang *tube* yang digunakan bisa bundar, elips, kotak, *twisted*, dan lain sebagainya. *Heat exchanger* tipe tubular didesain untuk dapat bekerja pada tekanan tinggi, baik tekanan yang berasal dari lingkungan kerjanya maupun perbedaan tekanan tinggi antar fluida kerjanya. Berikut adalah contoh *heat exchanger* tipe tubular yaitu *Shell & Tube Heat exchange*.

Tipe *shell & tube* menjadi satu tipe yang paling mudah dikenal. Tipe ini melibatkan *tube* sebagai komponen utamanya. Salah satu fluida mengalir di dalam *tube*, sedangkan fluida lainnya mengalir di luar *tube*. Pipa-pipa *tube* didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan *shell*, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa *tube* tersebut berada sejajar dengan sumbu *shell*.



Gambar 2.4 *Heat Exchanger* Tipe *Shell & Tube*(a) satu jalur *shell*, satu jalur *tube*, (b) satu jalur *shell*, dua jalur *tube*.

Sumber : (Abdulillah, 2000)

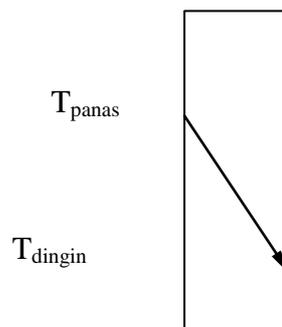
2.7 Perpindahan panas

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi atau yang lebih dikenal dengan laju

perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

2.7.1 Perpindahan Kalor secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.



Gambar 2.5 Perpindahan panas konduksi pada dinding (J.P. Holman,hal: 33)

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut Persamaan dasar konduksi :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

q = Laju Perpindahan Panas (kj/det,W)

k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

A = Luas Penampang (m²)

dT = Perbedaan Temperatur (°C, °F)

dX = Perbedaan Jarak (m/det)

ΔT = Perubahan Suhu (°C,°F)

dT/dx = Gradient temperatur kearah perpindahan kalor.konstanta positif "k" disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda.

sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala temperatur. (J.P. Holman, hal: 2).

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan Hukum *Fourier*.

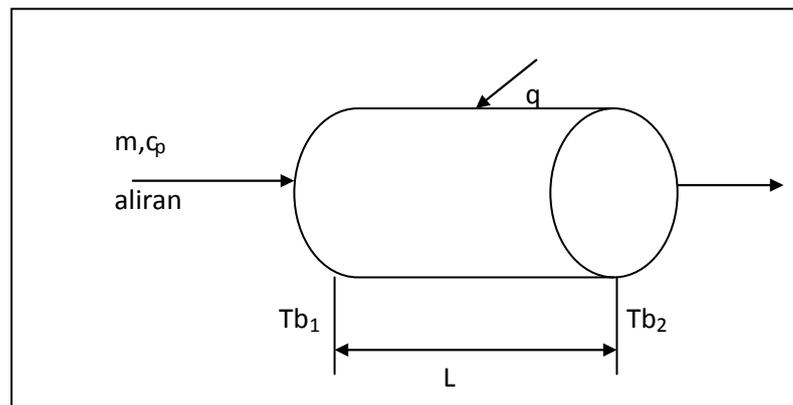
Dalam penerapan Hukum *Fourier* pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut diintegrasikan maka akan didapatkan :

$$qk = -\frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.6)$$

(J.P. Holman, hal: 26)

2.7.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dan lain-lain. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free /natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa/eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).



Gambar 2.6 Perpindahan panas konveksi (J.P.Holman, hal.: 252).

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup seperti pada gambar merupakan contoh proses

perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan:

$$q = -hA(T_w - T_\infty) \dots\dots\dots (2.7)$$

(J.P. Holman, 1994 hal: 11)

Keterangan :

q = Laju Perpindahan Panas (kJ/det atau W)

h = Koefisien perpindahan Panas Konveksi (W/ m².°C)

A = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas (ft² , m²)

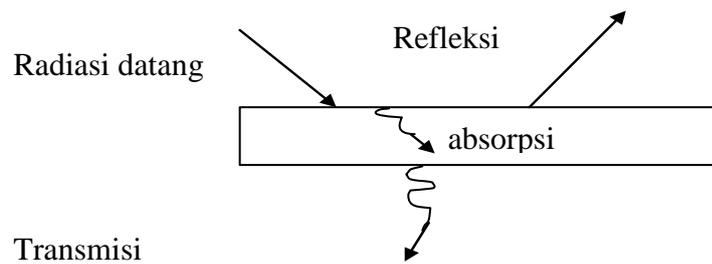
T_w = Temperature Dinding (°C, K)

T_∞ = Temperature Sekeliling (°C, K)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Thermodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+). Persamaan mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien pindah panas permukaan h , bukanlah suatu sifat zat, akan tetapi menyatakan besarnya laju pindah panas didaerah dekat pada permukaan itu.

2.7.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut.



Gambar 2.7 Perpindahan panas radiasi (J.P.Holman, hal: 343).

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti gambar 2.7. Sedangkan besarnya energi :

$$Q_{pancaran} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana :

$Q_{pancaran}$ = Laju perpindahan panas (W)

σ = Konstanta boltzman ($5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

A = Luas permukaan benda (m^2)

T = Suhu absolut benda ($^{\circ}\text{C}$)

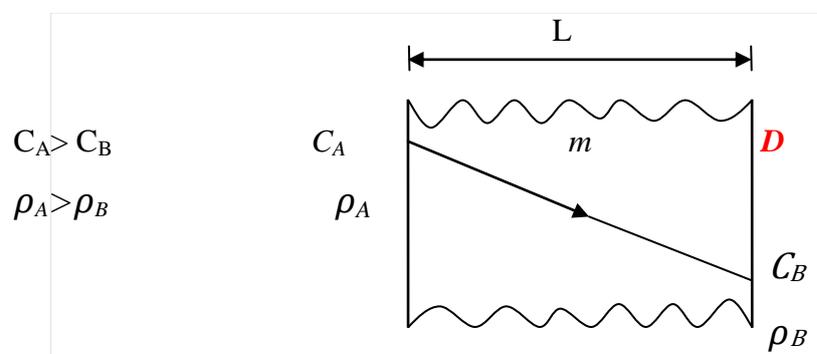
2.8 Perpindahan Massa (*Mass Transfer*)

Perpindahan massa (*mass transfer*) dapat dianalogikan dengan perpindahan panas. Massa yang berpindah (biasa disebut berdifusi) dapat dianggap sebagai panas dan tempat massa berdifusi akan disebut medium. Tidak seperti perpindahan panas, perpindahan massa hanya dibagi atas perpindahan massa

konduksi dan perpindahan panas konveksi, dengan kata lain tidak ada perpindahan massa radiasi. Perpindahan massa terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi pada suatu medium. Proses perpindahan massa dan biasa disebut difusi massa (*mass diffusion*) sangat mirip dengan proses perpindahan panas, jika pada perpindahan panas dapat dijelaskan dengan hukum Fourier dimana perbedaan temperatur sebagai gaya pendorong (*driving force*), maka perpindahan massa dijelaskan dengan Hukum *Fick* dengan perbedaan konsentrasi sebagai gaya pendorong.

2.8.1 Perpindahan Massa Konduksi

Pada permukaan plat yang masing-masing mempunyai temperatur konstan yang berbeda, permukaan A dan permukaan B, seperti yang ditampilkan pada gambar 2.5, perpindahan panas akan terjadi dari permukaan yang bertemperatur lebih rendah. Hal yang sama akan terjadi pada plat yang mempunyai konsentrasi yang berbeda pada masing-masing permukaannya. Perpindahan massa akan terjadi dari permukaan yang mempunyai konsentrasi tinggi ke permukaan yang mempunyai konsentrasi lebih rendah.



Gambar 2.8 Perpindahan Massa Konduksi (J.P.Holman, hal: 343).

Pada gambar 2.8 perpindahan massa dapat dihitung dengan menggunakan hukum difusi *Fick* atau biasa disebut *Fick's Law of Diffusion*, dalam basis mol dirumuskan dengan :

$$N = -DA \frac{dC}{dx} = DA \frac{(C_A - C_B)}{L} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

N = Laju perpindahan massa (mol/det)

D = Koeffisien difusi massa suatu zat pada mediumnya
(m²/det)

A = Luas penampang perpindahan massa (m)

C_A = Konsentrasi pada titik A (mol/m)

C_B = Konsentrasi pada titik B (mol/m)

L = Ketebalan dinding benda (m)

2.8.2 Perpindahan Massa Konveksi

Persamaan perpindahan massa akibat adanya aliran mediumnya (perpindahan massa konveksi) dapat dirumuskan dengan menggunakan hukum kekekalan massa.

Macam-macam konveksi :

- a. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)

Perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

b. Konveksi paksaan (*forced convection*)

Perpindahan panas aliran gas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar. Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas/*blower*.

2.9 Analisa Kadar Air

Kadar air kakao yang telah dikeringkan dapat dihitung melalui beberapa tahapan berikut ini. Menghitung kadar air kakao kering yang diperkirakan dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$W_f = \frac{[W_{kk} - W_{ko}]}{W_{kk}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

W_f = Kadar air kakao yang diperkirakan (%)

W_{kk} = Berat kakao kering (kg)

W_{ko} = Berat kakao dengan kadar air 0% (kg)

Nilai total kadar air setelah kakao dikeringkan (w_f)

Berat air kakao awal (W_i), kg

$$W_i = W_{kb} \times w_i \dots\dots\dots/(2.11)$$

w_i = Kadar air awal kakao (%)

W_{kb} = Berat kakao basah hasil panen (kg)

$$w_i = \frac{[W_{kb} - (W_{kk} - W_f)]}{W_{kb}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

Berat kandungan air kakao akhir (Wf), kg

$$W_f = 7,4\% \times W_{kk} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.10 Analisa Kebutuhan Energi Selama Proses Pengeringan

Kebutuhan energi untuk pengeringan kakao (Q_d), kkal

$$Q_d = Q_t + Q_w + Q_l \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana;

Q_d = Energi pengeringan kakao, kkal

Q_t = Energi pemanasan kakao, kkal

Q_w = Energi pemanasan air kakao, kkal

Q_l = Energi penguapan air kakao, kkal

1) Energi untuk pemanasan kakao (Q_t), kkal

$$Q_t = W_{kb} \cdot C_{p,kakao} (T_d - T_a) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

$C_{p,kakao}$ = Panas jenis kakao (kkal/kg °C)

T_a = Temperatur awal kakao (°C)

T_d = Temperatur rata - rata udara pengering (°C)

2) Energi pemanasan air kakao (Q_w), kkal

$$Q_w = W_i \times C_{p,air} (T_d - T_a) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

$C_{p_{air}}$ = Panas jenis air (kkal/kg oC)

3) Berat air yang dipindahkan selama proses pengeringan (W_r), kg

$$W_r = W_i - W_f \dots\dots\dots (2.17)$$

4) Energi penguapan air kakao (Q_l), kkal

$$Q_l = W_r \times h_{fg} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

h_{fg} = Panas laten air (kkal/kg)

5) Energi yang hilang dari dinding dan ventilasi ruang pengering (Q_{lt}), kkal

$$Q_{lt} = (Q_{lw} \times N) + Q_{lv} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

Q_{lw} = Energi yang hilang melalui dinding box pengering, kkal/jam

Q_{lv} = Energi yang hilang dari ventilasi, kkal/jam

N = Lama pengeringan

6) Kehilangan energi melalui dinding box pengering (Q_{lw})

$$U = \frac{1}{\frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2}} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$Q_{lw} = U \cdot A \cdot \Delta T_{menyeturuh} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

Q_{lw} = Energi yang hilang melalui dinding box pengering (kkal/jam)

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (kkal/m².h.°C)

A = Luas penampang (m²)

$\Delta T = T_d$ = Temperatur rata – rata udara pengering (°C)

k_1 = Koefisien perpindahan kalor konduksi plat (kkal/mh°C)

k_2 = Koefisien perpindahan kalor konduksi isolasi (kkal/mh°C)

Δx_1 = Tebal plat (m)

Δx_2 = Tebal lapisan isolasi (m)

7) Kehilangan energi melalui ventilasi (Q_{lv})

$$Q_{lv} = \frac{v \times cp_w (T_d - T_a)}{N} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

v = Debit udara ventilasi, m³/s

cp_w = Panas jenis udara basah (kkal/m³°C)

$$v = 1000 \times \frac{W_r}{\rho_{ar}} \dots\dots\dots(2.23)$$

8) Massa jenis uap air ventilasi (ρ_{ar}), gr/m³

$$\rho_{ar} = \rho_{sd} \cdot RH_d - \rho_{sa} \cdot R_h \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

ρ_{ar} = Massa jenis uap air ventilasi (gr/m³)

ρ_{sa} = Massa jenis *moisture* jenuh pada T_a (gr/m³)

ρ_{sd} = Massa jenis *moisture* jenuh pada T_d (gr/m³)

2.10 *Computation Fluids Dinamics (CFD)*

CFD adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida. Berikut ini beberapa contoh aliran fluida yang sering kita temui sehari-hari:

- a. Bernafas, minum, pencernaan, mencuci, berenang merokok.
- b. *Laundry* pakaian dan mengeringkannya.
- c. Pemanas ruangan, ventilasi ruangan, memadamkan api dengan air.
- d. Pembakaran bensin pada engine dan tentunya juga polusi.
- e. Membuat sup, campuran minyak pada pembuatan plastik
- f. Pesawat, parasut, berselancar, berlayar
- g. Menyolder, pembuatan besi atau baja, elektrolisis air dll.

CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebutkan tadi

atau meshing. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip ini adalah *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Boundary condition adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat. Berikut ini adalah contoh persamaan-persamaan dasar yang terlibat dalam suatu aliran laminar tanpa melibatkan perpindahan kalor :

1. Persamaan Konservasi Massa

Persamaan konservasi massa atau persamaan kontinuiti yang digunakan dalam CFD adalah:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots(2.25)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan umum dari konservasi massa dan valid untuk aliran *incompressible*.

2. Persamaan Konservasi Momentum

Persamaan konservasi momentum adalah persamaan yang mendefinisikan gerakan fluida ketika terjadi gaya-gaya pada partikel-partikelnya pada setiap elemen fluida yang didefinisikan di dalam model CFD.

Berikut adalah persamaannya :

$$\begin{aligned} \rho[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}] &= \frac{\partial p}{\partial x} + \mu [\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}] + S_{Mx} \\ \rho[u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}] &= \frac{\partial p}{\partial y} + \mu [\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}] + S_{My} \\ \rho[u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}] &= \frac{\partial p}{\partial z} + \mu [\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}] + S_{Mz} \dots\dots\dots(2.26) \end{aligned}$$

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket *software* CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa *stress* yang terjadi pada design yang dibuat. Pemakain CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

- a. Aliran dan panas.
- b. Transfer massa.
- c. Perubahan fasa seperti pada proses *melting*, pengembunan dan pendidihan.
- d. Reaksi kimia seperti pembakaran.
- e. Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- f. Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- g. Gelombang elektromagnet

CFD adalah penghitungan yang menghususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida.

Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta spesies, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan dilibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun pelaksanaan tugas akhir ini dilakukan di Desa Wiyono Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. Pada bulan Mei 2016 sampai Oktober 2016.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses penelitian adalah :

1. Termokopel

Termokopel ini digunakan untuk mengukur suhu yang berada di dalam ruang alat pengering kakao. Spesifikasi termokopel ini adalah sebagai berikut:

Nama : Termokopel Digital Tipe K

Temperature Range : -50 °C ~ 1300 °C

Ukuran : 105 x 70 x 23 mm

Berat : 200 gram

Sumber Daya : 1 buah baterai 9V



Gambar 3.1 Termokopel

2. Alat Pengering Kakao

Alat Pengering kakao ini adalah milik Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran Lampung. Alat ini memiliki dimensi panjang 240 cm, lebar 120 dan tinggi 80 cm dengan kapasitas pengeringan sebesar 100 kg biji kakao.



Gambar 3.2 Alat Pengering Kakao

Dalam proses pengeringannya, alat ini menggunakan sebuah *blower*/kipas untuk meniupkan udara panas ke dalam ruang pengering.

3. Komputer



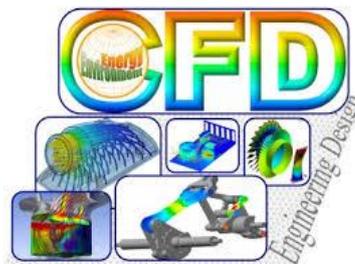
Gambar 3.3 Komputer

Dimana penelitian ini menggunakan komputer yang minimal dapat mengoperasikan sebuah *software solidwork flow simulation*. Dan spesifikasi lengkap daripada computer yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. RAM adalah 4 GB
- b. Minimal OS *Windows 7* dan versi *SW2013* minimal 64bit
- c. *Processor Intel or AMD with SSE support*
- d. Minimal memiliki *VGA Card Onboard 1GB*

4. *Software Computational Fluid Dynamics(CFD)*

Dimana *software* yang digunakan adalah *Solidwork Flow Simulation 2013*



Gambar 3.4 *Software Computational Fluid Dynamics (CFD)*

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan peneliti guna memenuhi tujuan penelitian dan penyelesaian rumusan masalah adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada penelitian ini dilakukan studi literatur untuk memahami teori dasar mengenai perhitungan termal, proses pengeringan kakao, dan perancangan alat pengering kakao. Adapun literatur tersebut diperoleh dari sumber buku, internet, jurnal-jurnal ilmiah, dan penelitian sebelumnya.

2. Pengumpulan Data-data Pendukung

Pengumpulan data-data pendukung analisis berupa data teknis, properties, dan geometris dari alat pengering kakao milik Usaha Mandiri DesaWiyono.

3. Perhitungan dan Analisis Alat Pengering Kakao

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dan analisis perpindahan panas yang terjadi pada alat pengering kakao milik Usaha Mandiri DesaWiyono.

4. Perhitungan Dimensi Alat Pengering Kakao

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dimensi untuk redesain alat pengering kakao sehingga di dapatkan waktu pengeringan yang lebih optimal.

5. *Preprocessing*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan gambar rancangan dari alat pengering kakao.

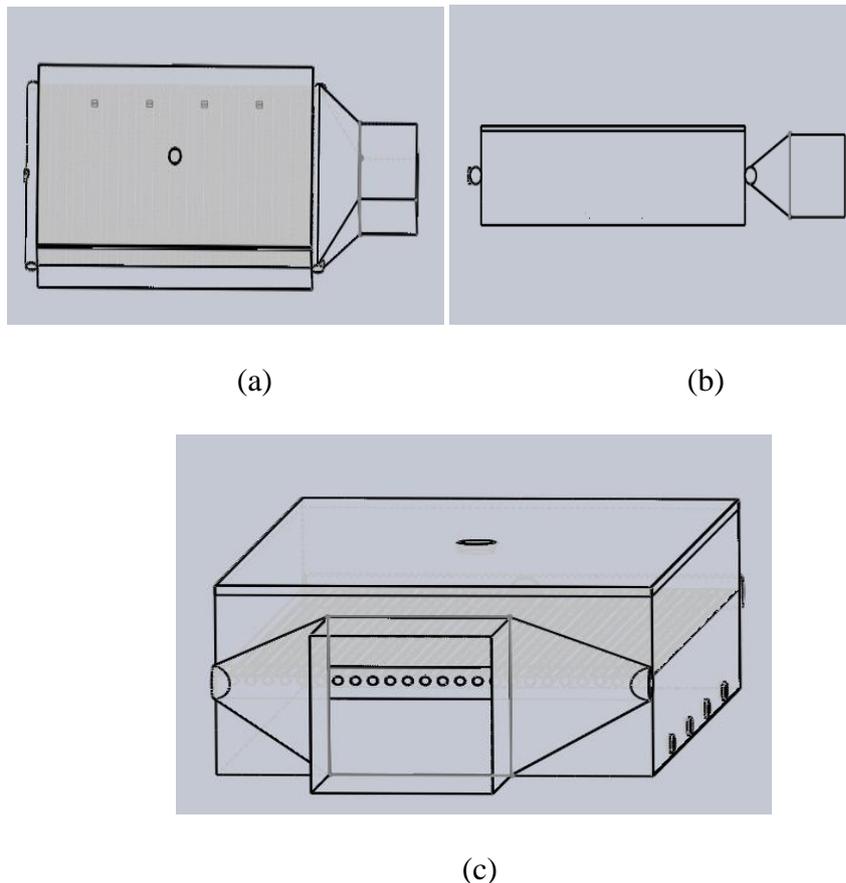
Proses *preprocessing* terbagi menjadi dua tahapan sebagai berikut:

a. Pemodelan

Tahapan pemodelan dapat dilakukan menggunakan *software SolidWork* kemudian dilanjutkan pada simulasi *software SolidWork Flow Simulation*.

b. Meshing

Tahapan meshing dilakukan pada komponen-komponen yang akan dianalisis dengan menggunakan *sizing*. Option ini dipilih karena dapat menentukan besarnya *mesh* menyesuaikan dengan geometri alat pengering kakao.



Gambar 3.6 Rancangan Alat Pengering Kakao: (a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping dan (c) Tampak Depan.

6. Analysis

Pada tahapan ini data-data yang dimasukkan pada tahap *preprocessing* sebelumnya akan digunakan sebagai input dan *code* seperti *Boundary condition*, untuk membangun dan menyelesaikan system persamaan aljabar linier atau non linier dengan menggunakan persamaan perpindahan panas.

7. Post-Processing

Menampilkan hasil akhir setelah penganalisisan dengan menampilkan data distribusi temperatur dan perpindahan panasnya pada posisi bagian yang diinginkan.

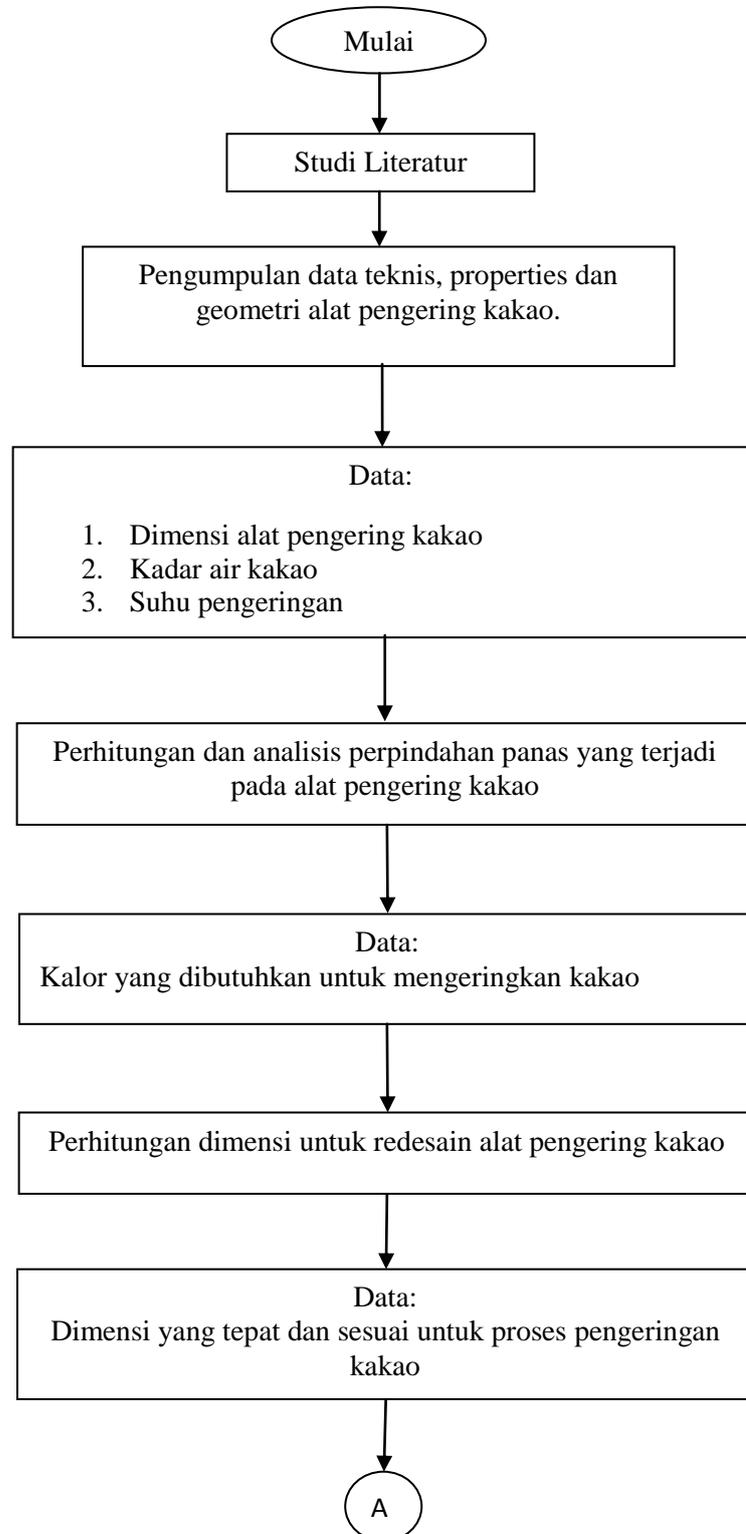
8. Pengolahan Data Post-Processing

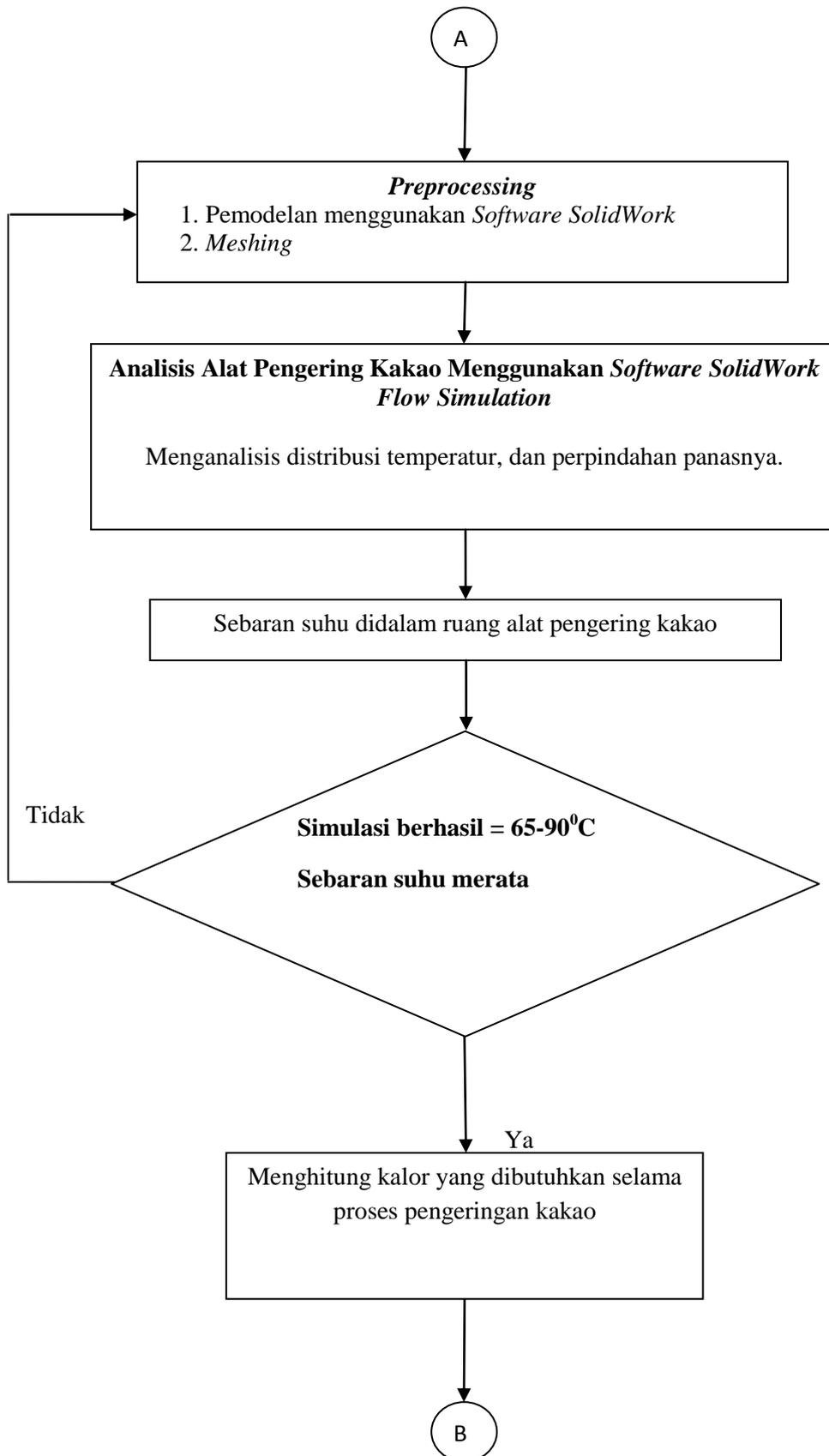
Pada pengolahan data *post-processing* dilakukan analisis data distribusi temperature dan perpindahan panasnya berdasarkan hasil pemodelan serta optimasi bila diperlukan.

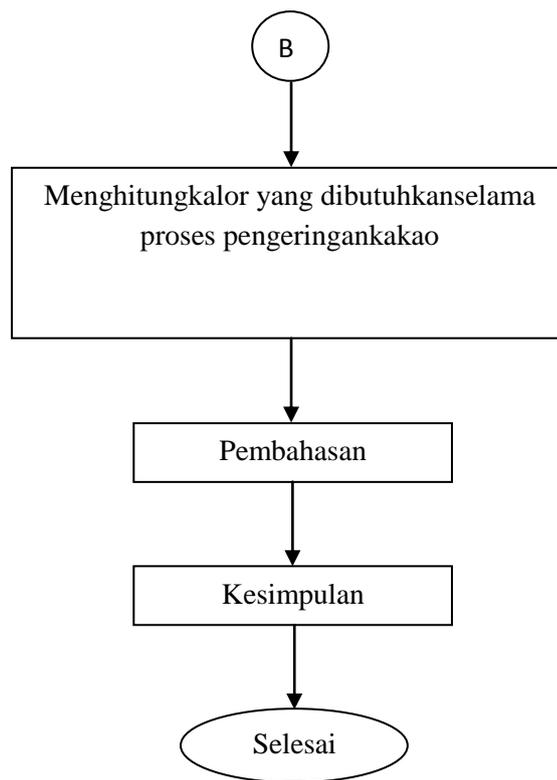
9. Perhitungan Kalor Yang Dibutuhkan

Ini adalah tahapan dimana dilakukan perhitungan kalor yang dibutuhkan selama proses pengeringan kakao pada alat yang sudah diredesain.

3.4 Diagram Alir Penelitian







Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian desain pengering kakao maka didapatkan dimensi alat 240 cm x 120 cm x 80 cm, dengan diameter pipa dalam pengering 1inci (2,54cm) dan pipa depan dan belakang masing-masing 4inci (10,16cm) dimana pipa seluruhnya terbuat dari tembaga, plat penampang kakao terbuat dari tembaga, sedangkan dinding seluruhnya terbuat dari besi baja dan dilapisi material asbes yang masing-masing tebalnya 3mm. setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan nilai kalor yang dibutuhkan untuk proses pengeringan kakao 420062,3188 kj.
2. Setelah dilakukan simulasi pada rancangan pertama didapatkan hasil sebaran suhu yang kurang merata, sehingga dilakukan optimalisasi dengan merubah

bentuk dari saluran udara dari tungku ke arah pipa pengeringan dan dihasilkan sebaran suhu yang sudah merata disetiap sisinya.

3. Dari hasil perhitungan dan juga simulasi CFD didapatkan suhu pengeringan $85,3421^{\circ}\text{C}$, dengan demikian suhu sudah mencapai suhu yang optimal dimana suhu yang optimal berada diantara $65^{\circ}-90^{\circ}\text{C}$.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, peneliti dapat menyarankan bahwa:

1. Agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam proses pengeringan kakao,, sebaiknya alat ini di buat dalam bentuk nyata. Dimana berdasarkan penelitian ini hasil yang didapat lebih maksimal dan lebih menghemat waktu serta bahan bakar.
2. Sebaiknya para usahawan kakao juga lebih memikirkan kualitas kakao agar harga kakao hasil pengeringan dapat lebih mahal, sehingga lebih menguntungkan. Oleh karena itu, di Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran ini dapat mempertimbangkan untuk membuat alat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulillah, Kamaruddin. 2000. *Pengeringan Industrial*. Penerbit IPB Press. Edisi Terjemahan. Bogor.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran. 2013. Luas Areal dan Produksi Tanaman Perkebunan Menurut Jenis Komoditi di Kabupaten Pesawaran. Lampung.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013. SNI 3747:2013 Kakao Bubuk. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Banwatt, George. 1981. *Basic Food Microbiology*. Connecticut: *The Avi Publishing Company, Inc.*
- Bernasconi, G. 1995. Teknologi Kimia. Jilid 2. Edisi pertama. Jakarta. PT. Pradaya Paramita.
- Bhattacharya dan Abdul Salam. 2002. *Biomass and Bioenergy*.
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09619534/29/3>.
- Departemen Perindustrian. 2007. *Gambaran Sekilas Industri Kakao*. Kementerian Perindustrian. Jakarta.
- Dinas Perkebunan. 2007. Pengolahan Kakao. Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Barat. http://disbun.jabarprov.go.id/backend/assets/data/arsip/Pengolahan_Kakao_KADIN-104-1605-13032007.pdf [27 September 2014]
- Holman, Jp. 1998. *Perpindahan Kalor*. Penerbit Erlangga. Edisi Keenam. Jakarta.
- Incropera, et al. 1986. *Fundamentals of Heat Transfer Sixth Edition*. Willey.
- Kern, D. Q., and Kraus, A. D., 1972. *Extended Surface Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Lachman, L., dkk. 1989. *Teori dan Praktek Farmasi Industri*. UI Press. Jakarta.
- Sunanto, Hatta., 1992. *Coklat Budidaya, Pengolahan Hasil dan Aspek Ekonominya*. Kanisius, Yogyakarta.

- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. 2004. *Panduan Lengkap BudidayaKakao*. Agromedia Pustaka. Jember.
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. 2010. *Buku Pintar Budi Daya Kakao*. AgroMedia Pustaka: Jakarta.
- Susanto, 1994. *Tanaman Kakao Budidaya dan Pengolahan Hasil*. Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Tjitrosoepomo, Gembong, 1988. *Taksonomi Tumbuhan (Spermathopyta)*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Thaib, Dahlan., dkk, 1999. *Teori dan Hukum Konstitusi*. Penerbit Grafindo, Jakarta.
- Voigh, Rudolf. 2008. *Buku Pelajaran Teknologi Farmasi*. UGM Press: Yogyakarta.
- Wahyudi, T., T.R Panggabean, Pujiyanto, A.A. Prawoto, 2008. *Panduan Lengkap Kakao Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Winarno, F.G., 1980. *Enzim Pangan*. Pusbangtepa, Bogor.
- Xia B, Sun DW. 2002. *Application Of Computational Fluid Dynamics (CFD) in The Food Industry: a review. Computers and Electronics in Agriculture*.
- Yunianto, Bambang dkk. 2014. Pengembangan Desain Tungku Bahan Bakar Kayu Rendah Polusi Dengan Menggunakan Dinding Beton Semen. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.