

**ANALISIS KINERJA *FLAT BED DRYER*
BERPEMANAS LISTRIK 2000 W DALAM PROSES
PENGERINGAN BIJI KAKAO**

(Skripsi)

Oleh :

MUHAMMAD HAMIM MIHADA

2115021130



PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

**ANALISIS KINERJA *FLAT BED DRYER*
BERPEMANAS LISTRIK 2000 W DALAM PROSES
PENGERINGAN BIJI KAKAO**

Oleh

Muhammad Hamim Mihada

NPM 2115021130

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

ANALISIS KINERJA *FLAT BED DRYER* BERPEMANAS LISTRIK 2000 W DALAM PROSES PENGERINGAN BIJI KAKAO

OLEH

MUHAMMAD HAMIM MIHADA

Proses pengeringan hasil pertanian merupakan tahap penting dalam penanganan pascapanen untuk menurunkan kadar air bahan sehingga kualitas dan daya simpan produk dapat terjaga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat dengan pemanas listrik berdaya 2000 W dalam proses pengeringan biji kakao.

Penelitian dilakukan dengan menguji proses pengeringan biji kakao menggunakan mesin pengering berbasis pemanas listrik yang dilengkapi blower sebagai media sirkulasi udara panas. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi temperatur ruang pengering, laju aliran udara, penurunan massa dan kadar air biji kakao, konsumsi energi listrik, kesetimbangan energi, serta efisiensi pengeringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin pengering tipe *flat bed dryer* dengan pemanas listrik 2000 W mampu menghasilkan distribusi temperatur yang relatif merata di dalam ruang pengering dan mempercepat proses penurunan kadar air biji kakao secara signifikan. Laju aliran udara berpengaruh terhadap kecepatan pengeringan dan efisiensi energi sistem. Analisis kesetimbangan energi menunjukkan bahwa sebagian besar energi listrik dimanfaatkan untuk proses penguapan air, meskipun masih terdapat kehilangan panas pada dinding dan udara buang. Secara keseluruhan, mesin pengering ini memiliki kinerja yang cukup baik dan berpotensi digunakan sebagai alternatif pengeringan hasil pertanian yang lebih efisien, stabil, dan tidak bergantung pada kondisi cuaca.

Kata kunci : pengeringan kakao, *flat bed dryer*, pemanas listrik, efisiensi energi, udara panas.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF A 2000 W ELECTRICALLY HEATED FLAT BED DRYER IN THE COCOA BEAN DRYING PROCESS

By

MUHAMMAD HAMIM MIHADA

The agricultural drying process is an important stage in post-harvest handling to reduce the moisture content of materials so that product quality and shelf life can be maintained. Therefore, this study aims to analyze the performance of a multi-level flat bed dryer equipped with a 2000 W electric heater in the cocoa bean drying process.

The study was conducted by testing the cocoa bean drying process using an electric-heater-based drying machine equipped with a blower as a hot air circulation medium. The analyzed parameters included temperature distribution inside the drying chamber, air flow rate, reduction in mass and moisture content of cocoa beans, electrical energy consumption, energy balance, and drying efficiency.

The results show that the flat bed dryer with a 2000 W electric heater is able to produce a relatively uniform temperature distribution inside the drying chamber and significantly accelerate the reduction of cocoa bean moisture content. The air flow rate affects the drying rate and the energy efficiency of the system. Energy balance analysis indicates that most of the electrical energy is utilized for the water evaporation process, although heat losses still occur through the walls and exhaust air. Overall, this drying machine demonstrates good performance and has the potential to be used as an alternative agricultural drying system that is more efficient, stable, and independent of weather conditions.

Keywords: cocoa drying, flat bed dryer, electric heater, energy efficiency, hot air.

Judul Skripsi : **ANALISIS KINERJA *FLAT BED DRYER*
BERPEMANAS LISTRIK 2000 W DALAM
PROSES PENGERINGAN BIJI KAKAO**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Hamim Mihada**

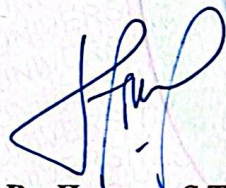
Mahasiswa : 2115021130

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing

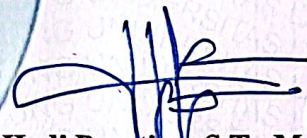
Dosen Pembimbing I



Dr. Harmen, S.T., M.T.

NIP. 196906202000031001

Dosen Pembimbing II

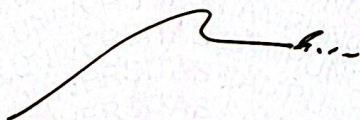


Hadi Prayitno, S.T., M.T.

NIP. 198805142019031012

MENGETAHUI

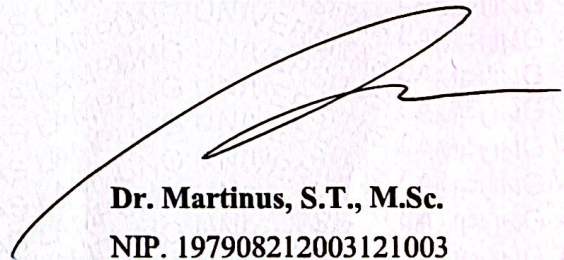
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ahmad Su'udi, S.T., M.T.

NIP. 197408162000121001

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin



Dr. Martinus, S.T., M.Sc.

NIP. 197908212003121003

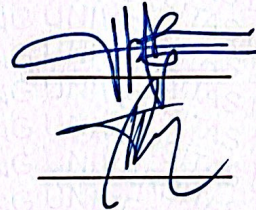
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

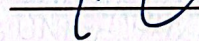
Ketua : Dr. Harmen, S.T., M.T.



Anggota Penguji : Hadi Prayitno, S.T., M.T.



Penguji Utama : Prof. Amrizal, S.T., M.T., Phd.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Januari 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul “ANALISIS KINERJA FLAT BED DRYER BERPEMANAS LISTRIK 2000 W DALAM PROSES PENGERINGAN BIJI KAKAO” dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat siapapun sebagaimana diatur dalam pasal 27 Peraturan Akademik Universitas Lampung dengan Surat Keputusan Rektor Nomor 3187/H26/DT/2010.

Bandar Lampung, 05 Februari 2026

Pembuat Pernyataan,



Muhammad Hamim Mihada

NPM. 2115021130

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada tanggal 14 November 2000 sebagai anak keempat dari empat bersaudara di desa Candimas 1, Rt009, Rw004, Natar, Lampung Selatan. Anak dari bapak Abdul Mudjib dan ibu Sri Wahyuni. Penulis menyelesaikan pendidikan SD Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2013. Selanjutnya penulis menyelesaikan pendidikan di SMP Al-Kautsar Bandar Lampung pada tahun 2016. Kemudian tahun 2019 penulis menyelesaikan pendidikannya di SMA Global Madani Bandar Lampung pada tahun 2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa D3 Teknik Mesin Universitas Lampung. Dan pada tahun 2023 melanjutkan program studi sebagai Mahasiswa S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa Universitas Lampung, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Anggota di Bidang Otomotif periode 2020 – 2022.

Sejak bulan Maret 2022 penulis mulai mengerjakan Proyek Akhir tentang **“Pembuatan Mesin Pencacah Tebon Multifungsi (*Chopper*)”**. Penulis mengerjakan Proyek Akhir di bawah bimbingan bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng. dan dengan dosen penguji bapak M. Dyan Susila ES, S.T., M.Eng. Pada lanjut studi penulis merupakan alumni Program Kopetensi Kampus Merdeka (PKKM) yang diselenggarakan selama 4 bulan, di Desa Pesawaran Indah, Kecamatan Way Ratai. Pada tahun 2025 penulis menyelesaikan program studi S1 Teknik Mesin dengan judul skripsi **“Analisis Kinerja *Flat Bed Dryer* Berpemanas Listrik 2000 W Dalam Proses Pengeringan Biji Kakao”** di bawah bimbingan Bapak Dr. Harmen, S.T., M.T. Bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T. serta Prof. Amrizal, S.T., M.T., Phd. sebagai dosen pembahas.

Motto

"Jangan kamu merasa lemah dan jangan bersedih, sebab kamu paling tinggi derajatnya jika kamu beriman."

(Q.S Ali Imran: 139)

"Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya."

(QS. Al-Baqarah: 286)

"Kebaikan tidak sama dengan kejahatan. Tolaklah kejahatan itu dengan cara yang lebih baik sehingga yang memusuhimu akan seperti teman yang setia."

(Q.S Fussilat: 34)

"Pandai Membagi Waktu Dan Memanfaatkan Sisa Umur Yang Paling Berharga Itu."

(Hadratussyaikh hasyim asy'ari)

"Kemudahan adalah orang yang tidak pernah menyerah di setiap kesulitan yang dihadapi dengan ikhlas."

(Muhammad Hamim Mihada)

PERSEMBAHAN

*Dengan kerendahan hati
Ku persembahkan karya ini untuk :*

Ayah, Ibu, dan Keluarga Tercinta

*Almamater
Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung*

Dan

*Rekan - Rekan Seperjuangan
Teknik Mesin 2019*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan nikmat, rahmat dan karunia-Nya, sehingga proyek akhir yang bertempat di CV. Buana Inti Teknik, Natar, Lampung Selatan. Pelaksanaan proyek akhir ini dimulai sejak bulan Mei 2022 sampai dengan bulan Juli 2022, dapat dilaksanakan dengan sebaik – baiknya dan disusun proyek akhir ini tepat waktu.

Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan mata kuliah praktik yang dilakukan oleh penulis. Laporan ini disusun berdasarkan data yang sesungguhnya yang penulis dapatkan selama pengujian. Selama melakukan pembuatan maupun pengujian skripsi ini penulis banyak menerima bantuan, baik berupa moril maupun material dan bimbingan serta arahan dari semua orang terdekat. Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT, karena rahmat-Nya, hidayah-Nya, anugerah ilmu, kesempatan dan kesehatan dari-Nya, penulis mampu melaksanakan laporan proyek akhir dengan tepat waktu.
2. Orang Tua Bapak Abdul Mudjib dan Ibu Sri Wahyuni, atas nasehat, do'a restu, cinta dan kasih sayangnya serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, motivasi dan do'anya.
3. Novri Tanti, S.T., M.T. Pembimbing Akademik S1 Teknik Mesin angkatan 2021.
4. Bapak Dr. Harmen, S.T.,M.T. Selaku pembimbing I yang telah menyediakan banyak waktu untuk membimbing hingga laporan ini selesai.

5. Bapak Hadi Prayitno, S.T.,M.T. Selaku pembimbing II yang telah menyediakan banyak waktu untuk membimbing hingga laporan ini selesai.
6. Prof. Amrizal, S.T., M.T., Ph.D. Selaku penguji yang telah menyediakan banyak waktu untuk menguji laporan hingga laporan ini selesai.
7. Kedua orang tua dan saudara-saudaraku yang selalu memberikan do'a restu, dukungan berupa motivasi dan nasehat, bantuan moril maupun materil sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Teman-teman D3 Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan semangat untuk saya melanjutkan Program Studi Lanjut.
9. Ihda Sabila Rosa yang telah memberikan semangat, dukungan, dan motivasi.

Terimakasih atas segala perhatian yang diberikan, semoga semua amalan yang kita kerjakan menjadi ibadah disisi Allah SWT, aamiin ya Robbal 'Alaamiin.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	13
DAFTAR GAMBAR	17
DAFTAR TABEL	19
I. PENDAHULUAN	20
1.1. Latar Belakang	20
1.2. Tujuan Penelitian.....	22
1.3. Batasan Masalah.....	22
1.4. Sistematika Penulisan.....	23
II. TINJAUAN PUSTAKA	24
2.1. Kakao.....	24
2.2. Proses Pengeringan.....	26
2.3. Jenis-Jenis Pengeringan.....	29
2.3.1. <i>Flat Bed Dryer</i>	31
2.3.2. <i>Tray Dryer</i>	31
2.3.3. <i>Spray Dryer</i>	32
2.3.4. <i>Rotary Dryer</i>	33
2.3.5. <i>Vacuum Dryer</i>	33
2.3.6. <i>Pneumatic Dryer</i>	34
2.4. Perpindahan Kalor dan Massa	35
2.4.1. Konduksi.....	35

2.4.2. Konveksi.....	36
2.4.3. Radiasi	37
2.4.4. Perpindahan Massa	38
2.5. Aliran Fluida.....	39
2.6. Sifat-Sifat Udara Basah	41
2.6.1. Diagram Psikrometri.....	41
2.6.2. Suhu Bola Kering (Tdb)	43
2.6.3. Suhu Bola Basah (Twb).....	43
2.6.4. Kelembapan Relatif (ϕ)	43
2.6.5. Rasio Kelembapan (ω).....	44
2.6.6. Entalpi Udara Basah (h)	44
2.6.7. Volume Spesifik Udara Basah (v).....	44
2.7. Keseimbangan Energi Pada Ruang Pengering	45
III. METODOLOGI PENELITIAN	48
3.1. Alur Tahapan Penelitian	48
3.2. Perancangan Alat.....	50
3.3. Proses Pembuatan Mesin Pengering Menggunakan Pemanas Listrik.....	52
3.3.1. Pembuatan rangka <i>bed dryer</i>	52
3.3.2. Pembuatan dinding pengering	53
3.3.3. Penempelan dinding pengering	53
3.3.4. Finishing penempelan dinding <i>bed dryer</i>	54
3.3.5. Proses pembuatan dan pengabungan elemen pemanas <i>heater</i>	54
3.4. Waktu dan Tempat Penelitian	55
3.5. Alat dan Bahan	56

3.5.1. Alat pengering hasil pertanian dengan sistem pemanas listrik (<i>heater</i>).....	56
3.5.2. <i>Channel Temperature Recorder Datalogger</i>	58
3.5.3. <i>Thermocouple Type-K</i>	58
3.5.4. <i>Anemometer</i>	59
3.5.5. <i>Cerra Tester</i>	60
3.5.6. Elemen Pemanas (<i>Heater</i>).....	61
3.5.7. Blower	62
3.5.8. <i>Hygrometer</i>	62
3.5.9. Timbangan Digital	64
3.6. Prosedur Pengujian Pengeringan.....	64
3.7. Tahapan Penelitian	65
3.8. Alur proses pengeringan.....	67
IV. DATA DAN HASIL PENELITIAN	68
4.1. Data Hasil Penelitian	68
4.1.1. Data Pada Pengujian.....	68
4.1.2. Data Kecepatan Udara	72
4.1.3. Data Konsumsi Listrik.....	73
4.2. Distribusi Temperatur Ruang Pengering dan Temperatur Lingkungan	74
4.3. Penurunan Massa dan Kadar Air Biji Kakao	78
4.4. Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Proses Pengeringan Kakao.....	81
4.5. Analisa Energi Pada Proses Pengeringan Kakao.....	83
4.5.1. Energi Masuk.....	84
4.5.2. Energi Pengeringan.....	85
4.5.3. Energi Keluar (<i>Losses</i>)	85

4.6. Hasil Perhitungan Efisiensi Pengeringan	86
4.7. Analisa Perbandingan Tiap Pengujian.....	86
V.PENUTUP.....	88
5.1. Kesimpulan.....	88
5.2. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kakao	25
Gambar 2.2 Hubungan Tekanan Uap Jenuh terhadap Temperatur	28
Gambar 2.3 <i>Flat Bed Dryer</i>	31
Gambar 2.4 Tray Dryer	32
Gambar 2.5 <i>Spray Dryer</i>	32
Gambar 2.6 <i>Rotary Dryer</i>	33
Gambar 2.7 <i>Vacuum Dryer</i>	33
Gambar 2.8 <i>Pneumatic Dryer</i>	34
Gambar 2.9 Diagram Psikometri.....	42
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian	49
Gambar 3.2 Isometrik Perancangan Alat Pengering <i>Bed Dryer Solidworks</i>	50
Gambar 3.3 Proses Pembuatan Rangka <i>Bed Dryer</i>	52
Gambar 3.4 Pembuatan Dinding Pengering dari Plat 1.2 mm	53
Gambar 3.5 Proses Penempelan Dinding Pengering ke Rangka.....	53
Gambar 3.6 Finishing Penempelan Dinding <i>Bed Dryer</i>	54
Gambar 3.7 Proses Pembuatan dan Penggabungan Elemen Pemanas <i>Heater</i>	54
Gambar 3.8 Ruang Pengering	56
Gambar 3.9 <i>Channel Temperature Recorder Datalogger</i>	58
Gambar 3.10 <i>Thermocouple Type-K</i>	59
Gambar 3.11 <i>Anemometer</i>	59
Gambar 3.12 Alat Kadar Air <i>Cerra Tester</i>	61

Gambar 3.13 <i>Heater</i>	61
Gambar 3.14 Blower	62
Gambar 3.15 <i>Hygrometer</i>	63
Gambar 3.16 Timbangan digital	64
Gambar 3.17 Alur proses pengeringan menggunakan <i>Heater</i>	67
Gambar 4.1 Simulasi Tata Letak Pengukuran Kecepatan Udara.....	72
Gambar 4.2 Grafik Data Pengujian Ke-1	75
Gambar 4.3 Grafik Data Pengujian Ke-2.....	76
Gambar 4.4 Grafik Data Pengujian Ke-3.....	77
Gambar 4.5 Penurunan Massa Bahan Pengeringan Biji Kakao Variasi <i>Heater</i> ...	79
Gambar 4.6 Grafik Kadar Air, pada Pengeringan Variasi <i>Heater</i>	80
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Efisiensi Pengeringan	87

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Alur Penelitian.....	56
Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Pengering menggunakan Heater Listrik	57
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Hygrometer</i>	63
Tabel 4.1 Hasil Data Distribusi Panas pada Proses Pengeringan Biji Kakao	69
Tabel 4.2 Hasil Data Distribusi Panas dengan <i>Heater</i> Pengujian Ke-2.....	70
Tabel 4.3 Hasil Data Distribusi Panas dengan <i>Heater</i> Pengujian Ke-3.....	71
Tabel 4.4 Data Konsumsi Daya Listrik Per Jam	74
Tabel 4.5 Massa Bahan dan Kadar Air Biji Kakao	79
Tabel 4.6 Laju Aliran Massa Pengujian pada <i>Heater</i>	82
Tabel 4.7 Data Psikometri Pengujian.....	83
Tabel 4.8 Perbandingan Uji Pengeringan	86

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengeringan hasil pertanian merupakan salah satu tahap penting dalam proses paska panen yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam produk sehingga meningkatkan daya simpan dan kualitas produk. Metode pengeringan yang efektif tidak hanya mampu menjaga kualitas produk tetapi juga mengoptimalkan penggunaan energi. Pengeringan yang kurang optimal dapat menyebabkan penurunan kualitas, kerusakan, bahkan kerugian ekonomi bagi petani.

Selama ini, proses pengeringan hasil pertanian umumnya masih mengandalkan sinar matahari langsung. Metode ini memang murah dan mudah dilakukan, namun sangat bergantung pada kondisi cuaca yang tidak menentu. Pada musim hujan atau cuaca lembap, proses pengeringan menjadi tidak efisien dan membutuhkan waktu lebih lama. Oleh karena itu, diperlukan alternatif teknologi pengeringan yang lebih andal, efisien, dan berkelanjutan. Salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah sistem pengeringan berbasis energi listrik yang bersumber dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang memanfaatkan aliran air berdebit kecil untuk menghasilkan energi listrik. Teknologi ini memiliki keunggulan berupa keberlanjutan, ramah lingkungan, dan dapat diterapkan di daerah pedesaan yang memiliki potensi sumber air melimpah.

Berdasarkan pengalaman saat Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pesawaran Indah, Kecamatan Way Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung, ditemukan potensi besar dalam pemanfaatan sumber daya alam setempat, khususnya aliran sungai yang cukup deras dan kontinu. Potensi ini sangat

memungkinkan untuk dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Penggunaan PLTMH di desa ini tidak hanya memberikan manfaat energi bersih dan berkelanjutan, tetapi juga dapat meningkatkan kemandirian energi dan mengurangi biaya operasional dalam proses pengeringan hasil pertanian. Masyarakat di desa tersebut selama ini hanya mengandalkan sinar matahari untuk mengeringkan hasil panen, padahal kondisi kelembapan udara di wilayah tersebut cukup tinggi, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung antara 7 hingga 15 hari untuk mencapai kadar air yang rendah. Kelembapan yang tinggi pada hasil pertanian tidak hanya menurunkan kualitas dan umur simpan produk, tetapi juga dapat menurunkan nilai jual. Sebagai contoh, padi dengan kadar air tinggi lebih rentan terhadap serangan hama dan penyakit selama penyimpanan. (Fadlih, 2021)

Dengan memanfaatkan energi listrik dari PLTMH untuk menggerakkan pemanas listrik pada sistem pengering hasil pertanian, diharapkan proses pengeringan dapat berjalan lebih cepat, efisien, dan konsisten, tanpa bergantung pada kondisi cuaca. Teknologi ini diharapkan mampu memberikan solusi praktis dan ekonomis bagi petani dalam menjaga kualitas produk serta mendukung program pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan di pedesaan.

Melalui penelitian ini, dilakukan analisis kinerja pengeringan hasil pertanian menggunakan pemanas listrik berbasis PLTMH, yang meliputi efisiensi energi, laju penurunan kadar air, serta kualitas hasil pengeringan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem pengering berbasis energi terbarukan yang efektif dan aplikatif di wilayah pedesaan. (Rahman. M, 2020)

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penggunaan pemanas listrik pada mesin pengering ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa kemampuan pengeringan hasil pertanian menggunakan mesin pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat berbasis pemanas listrik 2000 W.
2. Menganalisa pengurangan massa basah sampai kering dan beban maksimal yang dibutuhkan untuk mengeringkan hasil pertanian menggunakan mesin pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat berbasis pemanas listrik 2000 W.
3. Menganalisa efesiensi pada proses pengeringan hasil pertanian menggunakan mesin pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat berbasis pemanas listrik 2000 W.
4. Menghitung kesetimbangan energi pada sistem pengering hasil pertanian berbasis pemanas listrik 2000 W.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini menggunakan hasil pertanian kakao sebagai bahan uji coba proses pengeringan.
2. Penelitian ini menggunakan mesin pengering hasil pertanian tipe *flat bed dryer* bertingkat dengan pemanas listrik 2000 W yang dilakukan di Hanggar Teknik Mesin, Universitas Lampung.
3. Kecepatan aliran udara pada proses pengeringan ditentukan oleh *fan blower* sebagai pemasok udara untuk membawa panas dari pemanas listrik ke ruang pengering.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya penelitian ini, batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, sistematika penulisan berupa format yang dipakai pada penulisan laporan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar yang meliputi: penjelasan tentang kalor, temperature, jeni-jenis perpindahan kalor, kakao, proses pengeringan, jenis-jenis pengeringan, alat-alat pengeringan, pengaruh udara pada proses pengeringan, alat pengering *flat bed dryer*, dan laju pengeringan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang alat dan bahan yang digunakan, tempat dan waktu penelitian, rancangan penelitian, serta alur tahapan pelaksanaan penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil analisis laju pengeringan dan pembahasan analisis data-data yang telah didapatkan setelah pengujian.

5. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau diberikan atas hasil penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kakao

Tanaman Kakao adalah tanaman perkebunan yang menjadi komoditas paling banyak diekspor setelah komoditas kopi. Tanaman kakao mempunyai nama latin *Theobroma cacao* L. yang merupakan bahan baku utama pembuatan produk. yang selama ini kita kenal yaitu coklat yang memiliki ciri khas rasa yang gurih dan aroma wangi yang khas, tak heran banyak yang menyukai produk coklat (Farhanandi, 2022).

Tanaman kakao merupakan tumbuhan tahunan berbentuk pohon, di alam dapat mencapai ketinggian 10 m. Meskipun demikian, dalam pembudidayaan tingginya dibuat tidak lebih dari 5 m, tetapi dengan tajuk menyamping yang meluas. Hal ini dilakukan untuk memperbanyak cabang produktif. Tanaman kakao tumbuh di daerah tropika basah, memiliki akar tunggang dan berbatang lurus. Tanaman kakao bersifat *Cauliflorous* yaitu bunga tumbuh langsung dari batang ataupun cabang-cabang. Bunga sempurna berukuran kecil (diameter maksimum 3 cm), tunggal, namun nampak terangkai karena muncul dari satu titik tunas. Bunga berwarna putih kemerah-merahan dan tidak berbau. Kakao secara umum adalah tumbuhan penyerbuk silang dan memiliki sistem inkompatibilitas sendiri. Walaupun demikian, beberapa varietas kakao mampu melakukan penyerbukan sendiri dan menghasilkan jenis komoditi dengan nilai jual yang lebih tinggi. Buah tumbuh dari bunga yang diserbuki. Berikut pemahaman lengkap tentang tanaman kakao menurut fisiologi dan botani yang mencakup tentang morfologi dan fisiologi tanaman kakao yang ada pada Gambar 2.1 Kakao dibawah ini sebagai berikut.



Gambar 2.1 Kakao

Sumber: (perkebunan.brmp.pertanian.go.id)

Defisi : Spermatophyta
Anak Devisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledoneae
Anak Kelas : Dialypetalae
Bangsa : Malvales
Suku : Sterculiaceae
Marga : Theobroma
Jenis : *Theobroma cacao L.*

Sumber : Kementerian Pertanian (2011)

Tanaman kakao adalah tanaman penyerbuk yang bersimbiosis dengan serangga dalam proses penyerbukannya, Tanaman kakao merupakan tanaman perkebunan tahunan yang dapat mengalami perubahan. Tanaman kakao memiliki jumlah klorofil yang rendah sehingga siklus fotosintesis tanaman kakao menjadi rendah. Proses fotosintesis sangat terhambat dengan adanya stomata. Jika intensitas cahaya bertambah maka jumlah stomata juga akan

bertambah. Namun peningkatan tersebut disebabkan oleh semakin kecilnya ukuran sel pada epidermis sehingga jarak antar stomata semakin rapat.

2.2. Proses Pengeringan

Pengeringan adalah salah satu metode pengawetan tertua dan paling alami serta menggunakan panas untuk menguapkan sejumlah uap air dari makanan basah. Penurunan kadar air juga menyebabkan penurunan nilai aktivitas air (A_w). Nilai (A_w) yang rendah menghambat potensi pertumbuhan mikroorganisme, menonaktifkan enzim, dan mencegah berbagai potensi reaksi kimia dan biokimia yang menyebabkan penurunan kualitas pangan. Hal ini membuat makanan kering lebih stabil dan tahan lebih lama. Pengeringan juga merupakan pilihan penyimpanan yang cocok, khususnya jika mesin pendingin tidak tersedia atau kapasitas penyimpanan terbatas. Hal ini dikarenakan produk kering memerlukan ruang penyimpanan yang relatif lebih sedikit akibat hilangnya massa dan volume bahan selama proses pengeringan. (Nugroho, D. F., & Wijayanti, D. A. (2021).

Mekanisme pengeringan dapat diterangkan dengan teori tekanan uap, yakni; air yang berada dipermukaan bahan yang dikeringkan menguap ke udara, sehingga menghasilkan daerah yang memiliki tekanan uap air yang rendah dipermukaan bahan. Hal ini menyebabkan adanya beda potensial antara bagian permukaan bahan yang bertekanan uap rendah dengan bagian dalam yang tekanan airnya masih relatif tinggi, sehingga terbentuklah gradien tekanan. Gradien tekanan inilah yang menjadi tenaga pendorong bagi air untuk berpindah dari bagian dalam bahan ke permukaan bahan yang disebut difusi. Mekanisme pengeringan dapat dijelaskan pula dengan teori perpindahan massa. Dimana peristiwa lepasnya molekul air dari permukaan bahan tergantung bentuk dan luas permukaan. Bila suatu bahan, sangat basah pada lapisan air yang menyelimuti bahan itu tebal. Maka akan menarik molekul-molekul air dari permukaan datar. Bila pengeringan diteruskan, kecepatan penguapan air yang lepas dari molekul-molekul akan tetap sama. Besarnya laju pengeringan berbeda pada setiap bahan,

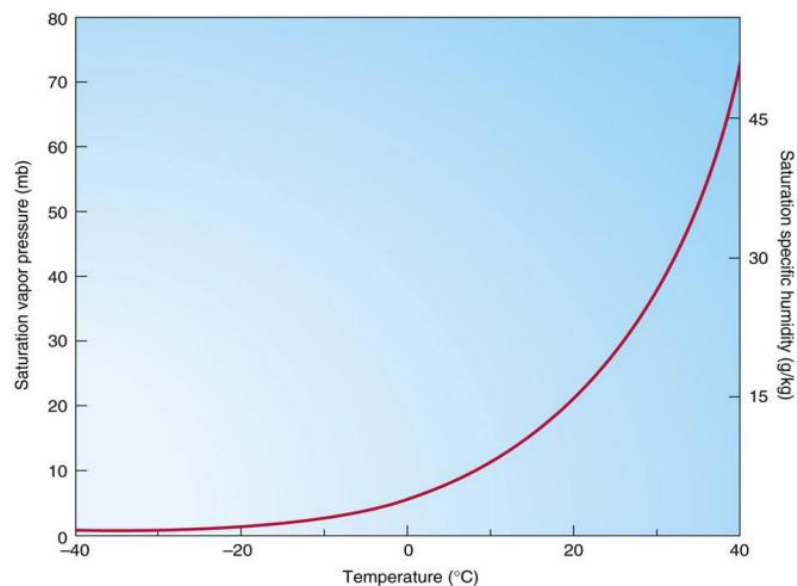
penguapan air yang berada di permukaan bahan dipengaruhi oleh kondisi luar yaitu suhu, kelembaban, kecepatan udara pengering, luas permukaan terbuka dan tekanan. Sedangkan perpindahan air di dalam bahan dipengaruhi oleh keadaan fisik bahan, suhu dan kadar air. Setiap kondisi yang berpengaruh di atas dapat menjadi faktor pembatas pada laju pengeringan.

Di bidang pertanian, khususnya pada saat pasca panen para petani di Desa Pesawaran Indah masih menggunakan cara tradisional dalam melakukan pengeringan hasil pertanian yaitu dengan menjemur dibawah sinar matahari sedangkan pada musim hujan para petani tidak lagi bisa untuk mengandalkan matahari dalam mengeringkan hasil panen mereka. Hal ini banyak kaitannya dengan seberapa jauh kegiatan pasca panen hasil pertanian seperti kopi, cengkeh, dan kakao diterapkan di tingkat petani. Penanganan pasca panen di tingkat petani memegang peranan penting karena Penanganan awal dari kegiatan pasca panen akan menentukan mutu yang dihasilkan pada proses-proses selanjutnya. Berdasarkan sumber tersebut proses pasca panen memegang peranan penting dalam proses pengelolaan basah hingga menjadi kering. Selama ini proses pengeringan ini yang dilakukan oleh petani desa Pesawaran Indah masih dengan cara tradisional yaitu dengan menjemur di latar rumah sedangkan cuaca di pegunungan yang kadang tidak menentu, mengakibatkan proses pengeringan menjadi lebih lama, harapannya alat pengering yang kami bangun ini dapat membantu para petani dalam proses pengeringan sehingga menghemat waktu dan tenaga.

Pengeringan pada dasarnya adalah proses pemindahan atau pengeluaran kandungan air bahan hingga mencapai kandungan tertentu agar kecepatan kerusakan bahan dapat diperlambat. Untuk melakukan pengeringan dapat dilakukan secara tradisional dengan melakukan penjemuran langsung dibawah sinar matahari atau menggunakan alat pengering. Perubahan iklim berdampak terhadap kenaikan frekuensi maupun intensitas kejadian cuaca ekstrim, perubahan pola hujan, serta peningkatan suhu dan permukaan air laut. Berdasarkan sumber tersebut para petani Desa Pesawaran Indah tidak lagi bisa

mengandalkan matahari dalam proses pengeringan hasil pertanian. Berdasarkan masalah tersebut tim kami ingin mengusulkan untuk membuat sebuah mesin pengering dengan sumber tenaga listrik dan dengan tungku, serta mesin pengering ini nanti akan kami desain portable sehingga para petani dapat dengan mudah memindahkan mesin pengering ini nantinya.

Kelembapan ini membandingkan antara kandungan atau tekanan uap air aktual dengan keadaan jenuhnya atau pada kapasitas udara untuk menampung uap air. Kapasitas udara untuk menampung uap air (pada keadaan jenuh) tergantung pada suhu udara. Tingkat kejenuhan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Hubungan ketiganya digambarkan dalam dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan Tekanan Uap Jenuh terhadap Temperatur dan Kelembapan Spesifikasi Jenuh

Sumber: (<https://www.researchgate.net>)

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses pengeringan antara lain suhu, kelembapan udara, laju aliran udara, kadar air awal bahan dan kadar air akhir bahan. Pengeringan secara mekanis dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu: *Continuous Drying* yaitu suatu pengeringan bahan dimana pemasukan dan

pengeluaran bahan dilakukan terus menerus. Dan *Batch Drying* adalah suatu pengeringan dimana bahan masuk ke alat pengering sampai pengeluaran hasil kering, kemudian baru dimasukkan bahan yang berikutnya. Menurut sistem proses pengeringan dibedakan menjadi 2 yaitu: *Direct Drying*, pada sistem ini bahan dikeringkan dengan cara mengalirkan udara pengering melewati bahan sehingga panas yang diserap diperoleh dari sentuhan langsung antara bahan dengan udara pengering, biasanya disebut pengeringan konveksi. Dan *Indirect Drying* pada sistem ini panas pengeringan didapat dari dinding pemanas yang bersentuhan dengan bahan yang dikeringkan secara konduksi (Rahayuningtyas, 2016).

Terdapat jenis teknologi pengeringan yang telah dikembangkan, teknologi yang paling sederhana *flatbed dryer* (mesin pengering bak datar), teknologi pengering yang lebih canggih seperti *re-circulating batch dryer* (pengering tipe sirkulasi), *continuous flow dryer* (mesin pengering tipe mengalir) serta *in-store drying* (pengering terintegrasi dalam sistem penyimpanan). Adapun alat pengering yang sudah ada di pasaran antara lain *Flat Bed Dryer*, *Tunnel Dryer*, *Screen Conveyor*, *Rotary Dryer* dan *Tray Dryer*. Namun mesin pengering tersebut mempunyai kelemahan dan kelebihan baik dari jenis material maupun produk yang dihasilkan.

2.3. Jenis-Jenis Pengeringan

Masalah yang sering dijumpai petani salah satunya adalah harga mesin yang relatif mahal, sedangkan petani melakukan pekerjaan yang cukup lama jangka waktunya dan terbatas. Faktor yang mempengaruhi permasalahan tersebut tersebut antara lain transportasi, dan perubahan cuaca yang tidak menentu.

Pengeringan adalah penurunan air hasil pertanian hingga memenuhi batas sehingga siap untuk diolah atau digiling untuk disimpan agar aman dalam waktu yang lama. Pengeringan ini terjadi pada saat penguapan air dari bahan ke udara karena perbedaan kandungan dari uap air antara udara dengan bahan yang akan dikeringkan. Penyebab kekeringan ini terjadi perpindahan dari lingkungan ke

panas karena uap air ke permukaan bahan. Dalam massa air, terjadi perpindahan yang mengakibatkan penguapan pada proses awal. Penguapan terjadi apabila air yang dikandung oleh suatu bahan teruap, yaitu apabila panas diberikan kepada bahan tersebut. Panas ini dapat diberikan melalui berbagai sumber, seperti kayu api, minyak dan gas, arang baru ataupun tenaga surya. Proses pengeringan hasil pertanian tidak selalu memerlukan suhu yang mencapai 100°C untuk mengurangi kadar air. Berikut adalah beberapa alasan mengapa ini bisa terjadi:

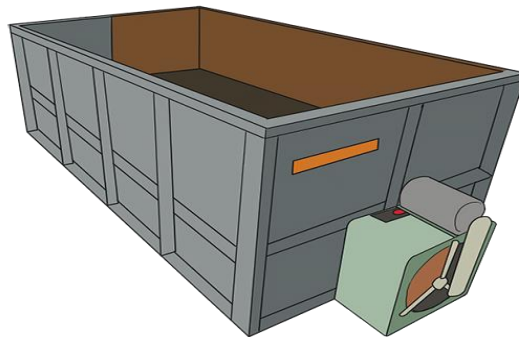
- 1) Evaporasi pada Suhu Rendah: Air dapat menguap pada suhu di bawah titik didih (100°C) karena molekul air di permukaan bahan pertanian dapat memperoleh cukup energi untuk menguap. Udara yang lebih hangat dari lingkungan sekitar dapat mempercepat proses ini.
- 2) Aliran Udara: Pengeringan sering melibatkan aliran udara yang kontinu di sekitar produk. Blower atau kipas digunakan untuk meningkatkan sirkulasi udara, yang membantu mengangkut uap air yang telah menguap dari permukaan produk, sehingga mempercepat pengeringan.
- 3) Kelembaban Relatif Udara: Udara dengan kelembaban relatif rendah memiliki kapasitas lebih besar untuk menyerap uap air dari bahan pertanian. Pemanas, meskipun tidak mencapai 100°C , dapat mengurangi kelembaban relatif udara sehingga mempercepat pengeringan.
- 4) Konduksi Panas: Pemanas dapat mentransfer panas melalui konduksi ke produk pertanian, meningkatkan suhu internal dan permukaannya. Panas ini membantu menguapkan air dari dalam bahan.
- 5) Metode Pengeringan: Beberapa metode pengeringan menggunakan pemanasan bertahap yang tidak mencapai 100°C tetapi tetap cukup efektif untuk mengurangi kadar air secara bertahap.

Pengeringan pada suhu di bawah titik didih juga membantu menjaga kualitas produk dan menghindari kerusakan akibat panas berlebihan. Oleh karena itu, meskipun pemanas tidak mencapai 100°C , proses pengeringan masih dapat

berjalan efektif. Cara pengeringan dapat dilakukan secara alami maupun buatan. Adapun jenis-jenis pengeringan secara buatan adalah sebagai berikut.

2.3.1. *Flat Bed Dryer*

Pengering sistem “*flat bed*” yang digunakan adalah model “*box*” atau kotak yang dikenal juga sebagai *Flat Bed Dryer* (Majid. A, 2022). Mesin pengering *flat bed dryer* menggunakan prinsip kerja *forced convection* dimana aliran udara panas didorong secara paksa oleh blower, Semakin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat dan biaya pengeringan. Pada proses pengeringan ini memanfaatkan kipas atau blower untuk mengalirkan udara panas secara merata ke seluruh permukaan bahan didalam box, sehingga kelembaban dalam bahan berkurang secara bertahap. Alat pengering tipe *bed dryer* seperti Gambar 2.3 ini paling banyak digunakan petani di Indonesia.

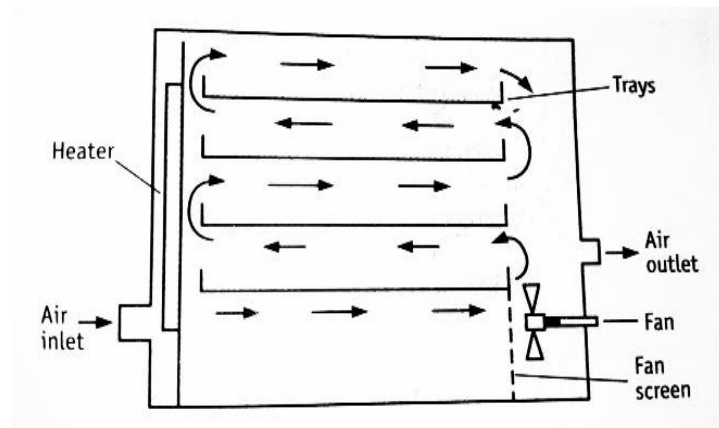


Gambar 2.3 *Flat Bed Dryer*

Sumber: (www.vogeldisposal.com)

2.3.2. *Tray Dryer*

Prinsip kerjanya adalah rak-rak yang tersusun bertingkat dari bawah ke atas dialiri panas secara zig-zag menggunakan blower / *fan*. Panas berasal dari listrik, kumparan koil, dan steam seperti Gambar 2.4 dibawah.

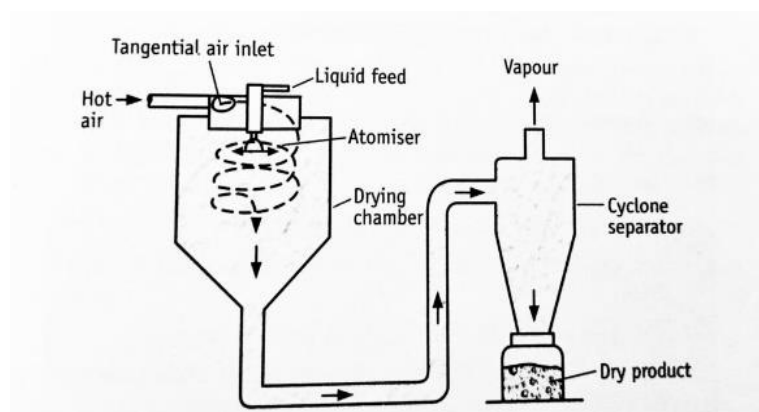


Gambar 2.4 Tray Dryer

Sumber: (<https://pharmaguddu.com>)

2.3.3. Spray Dryer

Seperti pada Gambar 2.5 dibawah, *spray dryer* menggunakan prinsip kerja air yang terkandung dalam butiran produk yang akan dikeringkan diubah menjadi partikel halus dengan penguapan oleh *atomizer*. Partikel produk akan jatuh ke bawah dengan disemprotkan dan dikontakkan dengan udara panas yang mengalir baik secara *co-current* atau *counter current*. Produk akan jatuh ke bawah sebagai serbuk dan untuk pemisahan partikel padatan terikut udara panas maka digunakan *cyclone*.

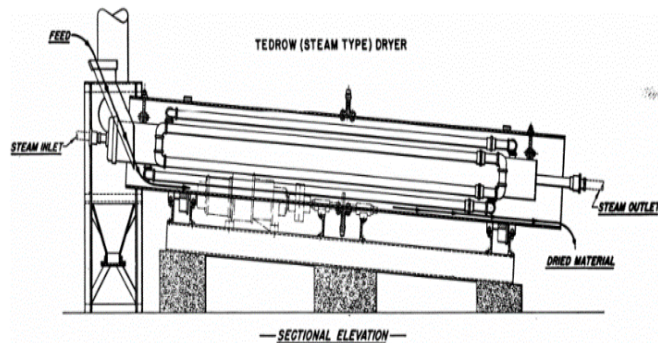


Gambar 2.5 Spray Dryer

Sumber: (www.ijpsjournal.com)

2.3.4. Rotary Dryer

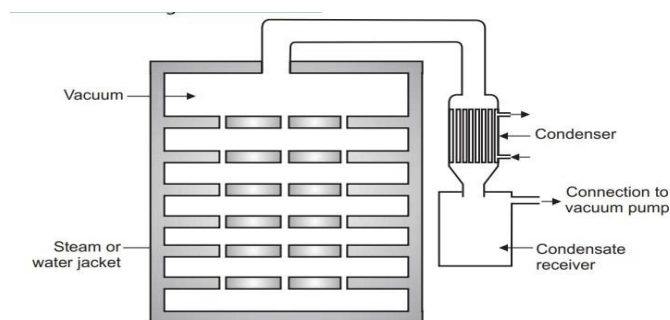
Prinsip kerja pada Gambar 2.6 dibawah ini dengan cara menggunakan drum panjang horizontal yang berputar, dimana bagian bawah turun sehingga produk berjalan secara gravitasi mengikuti putaran tabung.



Gambar 2.6 Rotary Dryer

2.3.5. Vacuum Dryer

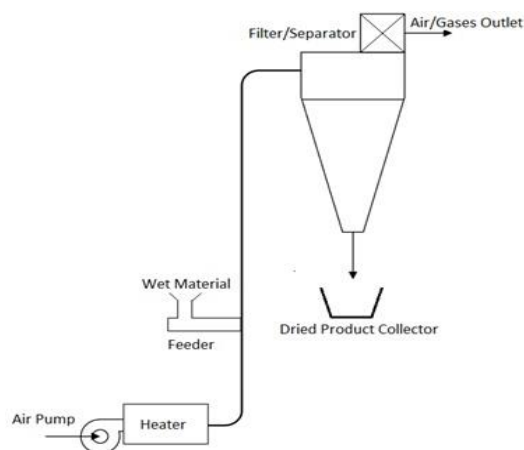
Vacuum dryer adalah salah satu jenis alat yang digunakan untuk melakukan pengeringan dengan cara menurunkan tekanan di sekitar benda yang dikeringkan. Operasi pemisahan pada pengeringan adalah kegiatan mengubah suatu bahan umpan berbentuk padatan, semi-padatan atau cairan menjadi produk berbentuk padatan dengan cara mengeluarkan air yang terkandung dalam bahan ke lingkungannya. Maka penekanan hasil dari pengeringan adalah padatan seperti Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Vacuum Dryer

2.3.6. *Pneumatic Dryer*

Pneumatic Dryer prinsip kerjanya adalah melewati produk pada kolom dan biasanya berbentuk huruf “U” agar kontak antara produk yang akan dikeringkan dengan media pemanas lebih lama. *Flash* artinya kilat dengan maksud bahwa produk dikeringkan dengan sangat cepat saat berjalan pada kolom dan *Pneumatic* artinya gas bertekanan tinggi sehingga dapat menggerakkan fluida biasanya blower. Media pemanas bisa berupa *heater* listrik, udara panas dan lain-lain yang bisa dilewatkan secara *co-current* atau *counter current* tergantung kebutuhan seperti pada Gambar 2.8 dibawah ini sebagai berikut.



Gambar 2.8 *Pneumatic Dryer*

Pengeringan zat padat adalah pemisahan sejumlah kecil air atau zat cair dari bahan sehingga mengurangi kandungan sisa zat cair di dalam zat padat itu sampai suatu nilai rendah yang dapat diterima. Pengeringan biasanya merupakan langkah terakhir dari sederetan operasi, dan hasil pengeringan biasanya siap dikemas. Pada proses pengeringan terjadi 2 proses, yaitu :

1. Proses perpindahan panas yaitu sebuah proses pengeringan yang terjadi karena perbedaan temperatur, pada proses ini panas yang dialirkan akan meningkatkan suhu pada bahan yang lebih rendah dan

akan menyebabkan tekanan uap air didalam bahan lebih tinggi dari tekanan uap air di udara.

2. Proses perpindahan massa yaitu sebuah proses pengeringan yang terjadi karena kelembapan relatif udara pengering lebih rendah dari kelembapan relatif bahan, panas yang dialirkan di atas permukaan bahan akan meningkatkan tekanan uap air bahan sehingga tekanan uap air bahan akan lebih tinggi dari tekanan uap air udara pengering.

2.4. Perpindahan Kalor dan Massa

Proses perpindahan kalor dan massa merupakan dasar penting dalam berbagai sistem termal, termasuk pada proses pengeringan hasil pertanian. Dalam sistem tersebut, energi panas berpindah dari sumber panas menuju bahan yang dikeringkan, sementara uap air berpindah dari permukaan bahan menuju udara pengering. Pemahaman yang baik terhadap mekanisme perpindahan kalor dan massa sangat penting untuk menganalisis kinerja alat pengering, menentukan efisiensi energi, serta mengoptimalkan waktu dan mutu hasil pengeringan.

Perpindahan kalor pada dasarnya terjadi melalui tiga mekanisme utama, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Sementara itu, perpindahan massa berkaitan dengan pergerakan molekul air atau uap air akibat perbedaan konsentrasi antara permukaan bahan dan udara sekitarnya. Keempat mekanisme ini sering kali berlangsung secara bersamaan dan saling mempengaruhi selama proses pengeringan berlangsung. Oleh karena itu, pemahaman terhadap setiap mekanisme perpindahan kalor dan massa menjadi hal yang mendasar dalam perancangan dan analisis sistem pengeringan berbasis pemanas listrik maupun metode konvensional.

2.4.1. Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses transfer energi kalor melalui materi (padat, cair atau gas) yang disebabkan oleh gradien temperatur, tanpa perpindahan makroskopik massa zat. (Levenspiel. O,

2014) Menurut Hukum Fourier, laju aliran panas konduksi dapat dirumuskan sebagai persamaan (1) berikut.

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Dimana:

q_k = laju perpindahan panas konduksi (W)

k = konduktivitas termal bahan ($W/m^\circ C$)

A = luas penampang (m^2)

$\frac{dT}{dX}$ = gradien temperatur ke arah perpindahan panas ($^\circ C$)

Untuk keadaan tunak (*steady state*) tanpa sumber panas dirumuskan persamaan (2) sebagai berikut.

$$k \frac{d^2T}{dx} \quad (2)$$

Konduksi berperan penting dalam proses pengeringan karena menjadi media awal perpindahan panas dari elemen pemanas ke udara, dan dari udara ke bahan yang dikeringkan. (Levenspiel. O, 1998)

2.4.2. Konveksi

Konveksi merupakan proses perpindahan kalor melalui pergerakan fluida (gas atau cairan) akibat perbedaan temperatur. Konveksi dapat terjadi secara alami (*natural convection*) maupun akibat pengaruh eksternal seperti kipas atau blower (*forced convection*).

Rumus dasar konveksi mengikuti Hukum Pendinginan Newton dirumuskan persamaan (3) sebagai berikut.

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m²)

T_s = Temperatur permukaan (K)

T_∞ = Temperatur fluida jauh dari permukaan (K)

Selain itu, hubungan tak berdimensi antara konveksi dan konduksi dinyatakan dengan Bilangan *Nusselt* (Nu) dirumuskan persamaan (4) sebagai berikut.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (4)$$

Dalam proses pengeringan, konveksi merupakan mekanisme utama yang memindahkan panas dari udara panas ke permukaan bahan, serta membantu penguapan air dari bahan ke udara. (Huang. T. et al, 2024)

2.4.3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan energi panas dalam bentuk gelombang elektromagnetik, yang dapat terjadi tanpa memerlukan medium perantara. Radiasi menjadi penting terutama pada temperatur tinggi atau permukaan logam yang memancarkan panas.

Hukum dasar perpindahan panas radiasi dinyatakan dengan Hukum Stefan Boltzmann dirumuskan persamaan (5) sebagai berikut.

$$q = \varepsilon \sigma AT^4 \quad (5)$$

Dimana:

ε = Emisivitas permukaan (0–1)

A = Luas permukaan (m^2)

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

T = Temperatur mutlak permukaan (K)

Pada alat pengering dengan pemanas listrik, radiasi sering menjadi tambahan sumber panas langsung ke permukaan bahan, sehingga mempercepat pengeringan. (Cess. R. D, 1964)

2.4.4. Perpindahan Massa

Perpindahan massa pada proses pengeringan merupakan proses keluarnya air dari bahan menuju udara pengering akibat perbedaan tekanan uap air antara permukaan bahan dan udara di sekitarnya. Air di bagian dalam bahan akan berdifusi ke permukaan melalui pori-pori bahan, lalu menguap ke udara karena adanya perbedaan kelembapan relatif dan energi antar lapisan bahan (Mujumdar. A. S, 2014)

Secara teoritis, perpindahan massa mengikuti Hukum Fick I, yang dirumuskan persamaan (6) sebagai berikut.

$$J = -D_{eff} \frac{dC}{dx} \quad (6)$$

Dimana:

J = Fluks massa air ($kg/m^2 \cdot s$)

D_{eff} = Koefisien difusi efektif (m^2/s)

$\frac{dC}{dx}$ = Gradien konsentrasi uap air di dalam bahan ($kg/m^3 \cdot m$)

Dalam penerapannya pada pengeringan bahan pertanian, hubungan antara kadar air dan waktu sering disederhanakan menjadi bentuk empiris dirumuskan persamaan (7) sebagai berikut.

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - M_e) \quad (7)$$

Dimana:

M = Kadar air bahan pada waktu (kg air/kg bahan kering)

M_e = Kadar air setimbang (kg air/kg bahan kering)

k = Konstanta laju pengeringan (1/s)

Semakin besar perbedaan kadar air bahan terhadap kadar air setimbang, maka laju pengeringan akan semakin tinggi. Dalam pengeringan menggunakan pemanas listrik, udara panas yang dialirkan mempercepat perpindahan uap air dari bahan ke udara sehingga meningkatkan efisiensi pengeringan. (Geankoplis. C. J, 2003)

2.5. Aliran Fluida

Aliran fluida merupakan fenomena pergerakan zat cair atau gas yang disebabkan oleh perbedaan tekanan, energi, atau gaya gravitasi. Pemahaman mengenai aliran fluida sangat penting dalam sistem pengeringan, karena udara panas sebagai fluida kerja berperan dalam membawa energi panas ke bahan dan mengangkut uap air hasil evaporasi keluar dari ruang pengering. Menurut Çengel dan Cimbala (2014), fluida dapat mengalami dua jenis pola aliran utama, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen.

- Aliran laminar terjadi apabila partikel fluida bergerak secara teratur dalam lapisan-lapisan sejajar tanpa terjadi pencampuran antar lapisan.
- Aliran turbulen terjadi apabila kecepatan fluida tinggi sehingga gerak partikel menjadi acak dan bercampur secara intensif.

Kondisi aliran dapat ditentukan menggunakan bilangan Reynolds (Re), yaitu bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya viskos fluida dirumuskan persamaan (8) sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (8)$$

Dimana:

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

V = kecepatan aliran (m/s)

D = diameter pipa atau saluran (m)

μ = viskositas dinamik fluida ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa massa fluida yang masuk ke suatu sistem sama dengan massa yang keluar, selama tidak ada akumulasi massa di dalam sistem. Rumus dinyatakan seperti persamaan (9) sebagai berikut.

$$\dot{m} = \rho V A \quad (9)$$

Dimana:

$\dot{m}$ = laju aliran massa (kg/s)

ρ = rapat massa / kerapatan (kg/m^3)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang pipa (m^2)

Persamaan ini menjadi dasar perhitungan laju udara panas pada sistem pengeringan, di mana aliran udara memengaruhi laju perpindahan kalor dan massa di dalam ruang pengering. Dalam sistem pengering berbasis pemanas listrik, aliran udara panas dihasilkan oleh blower yang mendorong udara

melalui elemen pemanas menuju ruang pengering. Kestabilan dan kecepatan aliran udara sangat memengaruhi proses perpindahan panas (konveksi) dan perpindahan massa (evaporasi).

Pada kecepatan rendah, udara mengalir laminar dan perpindahan panas terjadi secara terbatas. Namun pada kecepatan tinggi (aliran turbulen), perpindahan panas meningkat karena pencampuran udara lebih merata. Oleh karena itu, rancangan sistem pengering harus mempertimbangkan kecepatan udara, tekanan, dan debit aliran agar proses pengeringan berlangsung efisien.

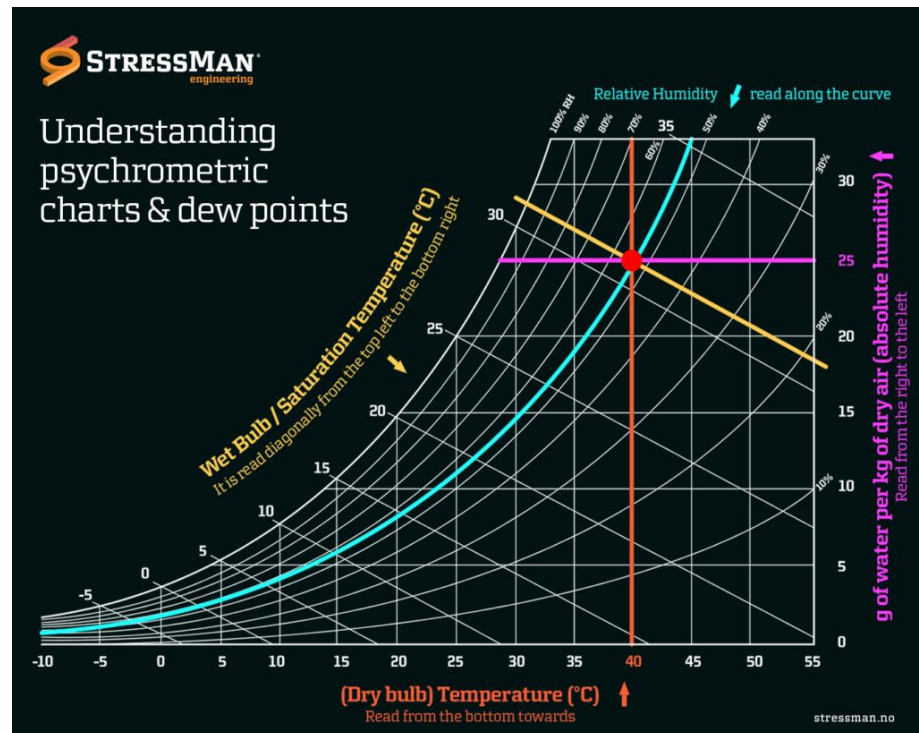
2.6. Sifat-Sifat Udara Basah

Udara basah (*moist air*) merupakan campuran udara kering (*dry air*) dan uap air (*water vapor*) pada tekanan dan suhu tertentu. Sifat-sifat termodinamika udara basah sangat penting dalam analisis sistem pengeringan, pendinginan, dan pengkondisian udara karena udara berfungsi sebagai media pembawa panas dan massa air.

Menurut ASHRAE Handbook of Fundamentals (2021) dan penelitian oleh Hussain (2007), sifat-sifat udara basah ditentukan oleh hubungan antara tekanan parsial uap air, suhu udara, dan kandungan uap air di dalam udara tersebut. Adapun sifat-sifat utama udara basah adalah sebagai berikut.

2.6.1. Diagram Psikometri

Diagram Psikrometri menunjukkan sifat-sifat dari udara yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam sistem pengkondisian udara (*air conditioning system*).



Gambar 2.9 Diagram Psikometri

Pada Gambar 2.9 Diagram psikometri ini digunakan untuk menganalisis perubahan kondisi udara selama proses pemanasan, pendinginan, pelembapan, maupun pengeringan. Pada sistem pengering, titik kondisi udara berubah dari udara masuk (kering) ke udara keluar (lebih lembap) seiring penyerapan uap air dari bahan. (Çengel. Y, A, 2015)

Adapun kondisi fisik dari sifat-sifat udara basah ada 6 adalah sebagai berikut.

- Suhu Bola Kering (T_{db})
- Suhu Bola Basah (T_{wb})
- Kelembapan Relatif (ϕ)
- Rasio Kelembapan (ω)
- Entalpi Udara Basah (h)
- Volume Spesifik Udara Basah (v)

2.6.2. Suhu Bola Kering (Tdb)

Suhu bola kering (Tdb) adalah temperatur udara yang diukur dengan termometer biasa yang tidak terpengaruh oleh kelembapan. Nilai ini menunjukkan tingkat panas udara aktual dan merupakan suhu referensi pada diagram psikrometri. Dalam perhitungan pengeringan, Tdb menentukan kapasitas udara dalam menampung uap air. Jadi semakin tinggi Tdb, semakin besar kemampuan udara untuk menguapkan air dari bahan.

2.6.3. Suhu Bola Basah (Twb)

Suhu bola basah (Twb) adalah temperatur yang diukur dengan termometer yang ujung sensornya dibungkus kain basah dan dialiri udara. Twb menunjukkan keseimbangan antara panas sensibel yang hilang akibat penguapan air dan panas yang diserap dari udara.

Twb selalu lebih rendah dari Tdb (kecuali pada kondisi udara jenuh). Selisih antara Tdb dan Twb disebut depresi bola basah, yang menggambarkan tingkat kelembapan udara.

2.6.4. Kelembapan Relatif (ϕ)

Kelembapan relatif (ϕ) adalah perbandingan antara tekanan parsial uap air di udara (P_v) dengan tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama (P_{vs}). Rumus yang digunakan pada kelembapan relatif adalah persamaan (10) sebagai berikut.

$$\phi = \frac{P_v}{P_{vs}} \times 100\% \quad (10)$$

Nilai ϕ menunjukkan tingkat kejenuhan udara terhadap uap air. Udara dengan $\phi = 100\%$ berarti jenuh dan tidak dapat menyerap uap air lagi, sedangkan udara dengan ϕ rendah memiliki kemampuan tinggi untuk mengeringkan bahan.

2.6.5. Rasio Kelembapan (ω)

Rasio kelembapan (ω) atau *humidity ratio* adalah perbandingan massa uap air terhadap massa udara kering dalam campuran dirumuskan persamaan (11) sebagai berikut.

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_{atm} - P_v} \quad (11)$$

Dimana:

P_v = Tekanan parsial uap air (kPa)

P_{atm} = Tekanan atmosfer (kPa)

Konstanta 0.622 adalah perbandingan berat molekul uap air terhadap berat molekul udara kering. Nilai ω menunjukkan seberapa banyak uap air yang terkandung dalam udara dan menjadi parameter penting dalam menghitung perubahan kadar air bahan pada proses pengeringan.

2.6.6. Entalpi Udara Basah (h)

Entalpi udara basah adalah jumlah energi panas per satuan massa udara kering, yang terdiri atas panas udara kering dan panas yang terkandung dalam uap air, dirumuskan persamaan (12) sebagai berikut.

$$h = 1.005T + \omega(2500 + 1.88T) \quad (12)$$

Persamaan ini digunakan untuk menentukan energi yang dibawa udara masuk dan keluar dari ruang pengering. Selisih entalpi antara dua kondisi menunjukkan energi yang diserap bahan untuk menguapkan air.

2.6.7. Volume Spesifik Udara Basah (v)

Volume spesifik (v) adalah volume total campuran udara per satuan massa udara kering, dirumuskan persamaan (13) sebagai berikut.

$$v = \frac{(0.287)(T + 273)(1 + 1.607\omega)}{P} \quad (13)$$

Dimana:

v = Volume spesifik (m^3/kg udara kering)

T = Suhu bola kering ($^{\circ}\text{C}$)

P = Tekanan total (kPa)

Nilai ini menunjukkan kerapatan udara basah dan digunakan untuk menghitung laju aliran massa udara pada sistem pengeringan.

2.7. Keseimbangan Energi Pada Ruang Pengering

Keseimbangan energi merupakan konsep dasar termodinamika yang digunakan untuk menganalisis aliran energi yang masuk, keluar, tersimpan, dan hilang pada suatu sistem. Dalam proses pengeringan, keseimbangan energi digunakan untuk menentukan berapa besar energi yang diperlukan untuk menguapkan air dari bahan, menghitung kehilangan panas, serta menentukan efisiensi termal sistem pengering. Menurut Çengel & Boles (2015), suatu sistem memenuhi hukum pertama termodinamika, yaitu bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan; energi hanya dapat berpindah bentuk atau berpindah dari satu sistem ke sistem lain. Oleh karena itu, total energi masuk ke sistem harus sama dengan total energi keluar ditambah perubahan energi yang tersimpan.

Pada sistem pengering, udara panas masuk dan keluar secara terus menerus, sehingga dapat dimodelkan sebagai sistem aliran tunak (*steady-flow system*). Untuk sistem aliran tunak, persamaan umum keseimbangan energi dirumuskan persamaan (14) sebagai berikut.

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}(h + \frac{V^2}{2} + gz)_{in} = \sum \dot{m}(h + \frac{V^2}{2} + gz)_{out} \quad (14)$$

Karena pada sistem pengering tidak ada kerja poros ($\dot{W} = 0$) dan perubahan energi kinetik serta potensial relatif kecil, maka persamaan dapat disederhanakan seperti persamaan (15) sebagai berikut.

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_{out} - h_{in}) \quad (15)$$

Dimana:

$\dot{Q}$ = laju perpindahan panas ke udara (kW)

$\dot{m}$ = laju aliran massa udara kering (kg/s)

h = entalpi udara basah (kJ/kg udara kering)

Persamaan ini digunakan untuk menghitung berapa besar energi yang dibutuhkan udara untuk mengangkut uap air hasil pengeringan. Analisis kesetimbangan energi penting untuk menentukan seberapa besar energi yang benar-benar dimanfaatkan selama proses pengeringan serta untuk memahami penyebab rendahnya efisiensi termal.

Energi masuk pada sistem pengering berasal dari dua sumber, yaitu elemen pemanas listrik dan blower. Energi listrik ini kemudian dikonversi menjadi panas sesuai hukum kekekalan energi. Energi total masuk dapat dihitung dan dirumuskan (16) sebagai berikut.

$$Q_{in} = Q_{heater} + Q_{blower} \quad (16)$$

Perhitungan energi listrik ini mengacu pada konsep energi listrik terhadap waktu sebagai bentuk dasar suplai energi pada sistem aliran.

Energi Penguapan Air berguna dalam ruang pengering adalah energi yang digunakan untuk menguapkan air dari bahan. Energi ini ditentukan oleh massa air yang diuapkan seperti persamaan (17) sebagai berikut.

$$Q = mh_{fg} \quad (17)$$

Dimana nilai h_{fg} diperoleh dari tabel sifat-sifat uap air (*steam tables*). Pada ruang pengering, sebagian besar energi tidak digunakan untuk penguapan air, tetapi keluar dalam beberapa bentuk kehilangan panas, yaitu:

- Kehilangan panas melalui dinding (konduksi)

$$Q_{loss,dinding} = UA(T_{dalam} - T_{luar}) \quad (18)$$

Persamaan pada (18) ini merupakan persamaan dasar perpindahan panas total pada dinding berlapis

- Kehilangan panas melalui udara keluar (panas sensibel udara)

$$Q_{loss,udara} = \dot{m}_{udara} C_p (T_{keluar} - T_{ling}) \quad (19)$$

Persamaan (19) ini mengacu pada perpindahan energi sensibel fluida yang dibahas pada bab pemanasan udara (*air heating*).

- Kehilangan panas radiasi permukaan

$$Q_{loss,radiasi} = \varepsilon \sigma A (T_s - T_{\infty}) \quad (20)$$

Persamaan (20) ini merupakan formulasi dasar radiasi termal menurut hukum Stefan–Boltzmann.

Dalam penelitian ini, nilai Q dihitung menggunakan pendekatan keseluruhan yang dirumuskan seperti persamaan (21) sebagai berikut.

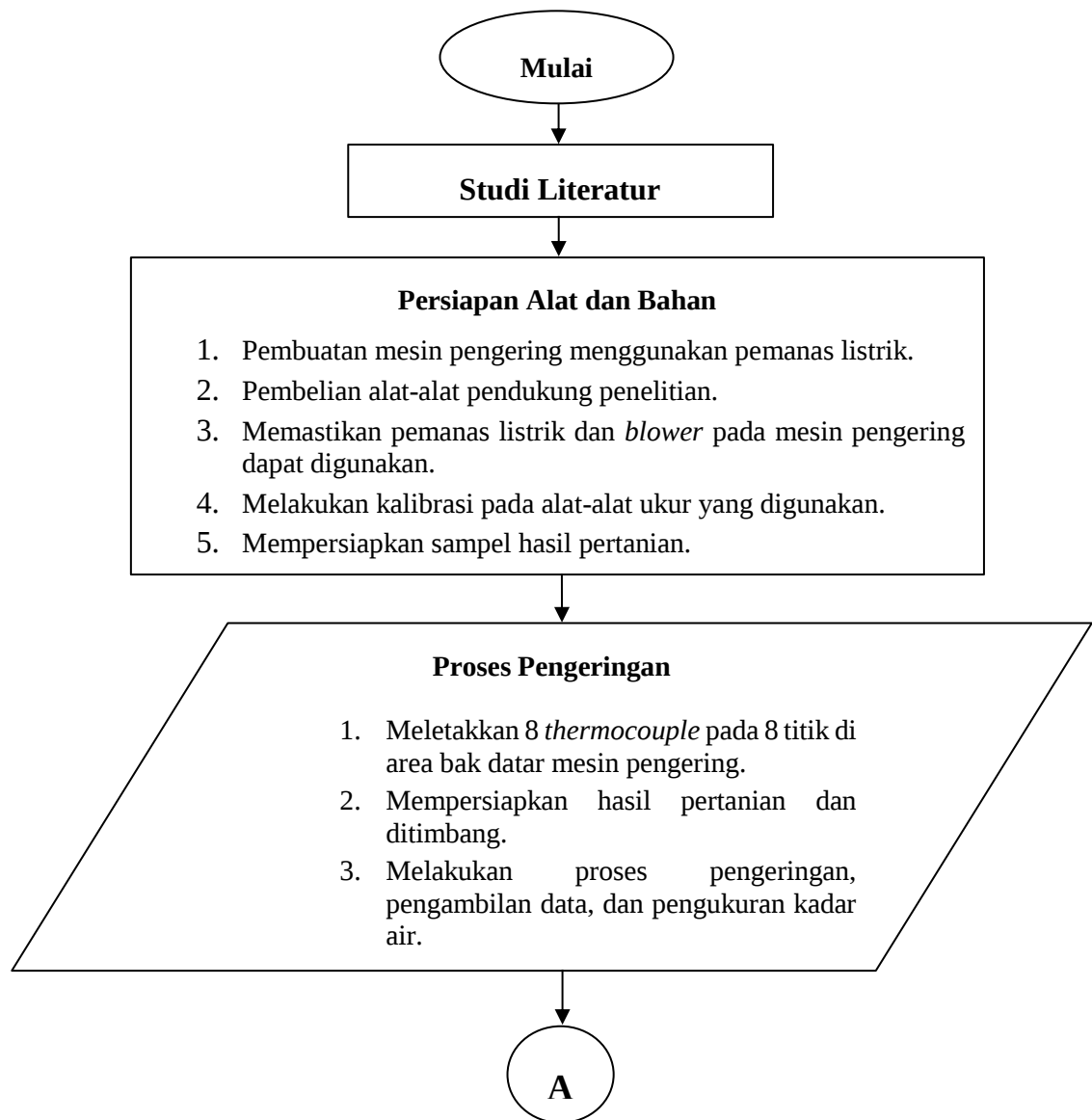
$$Q_{loss} = Q_{masuk} - Q_{pengeringan} \quad (21)$$

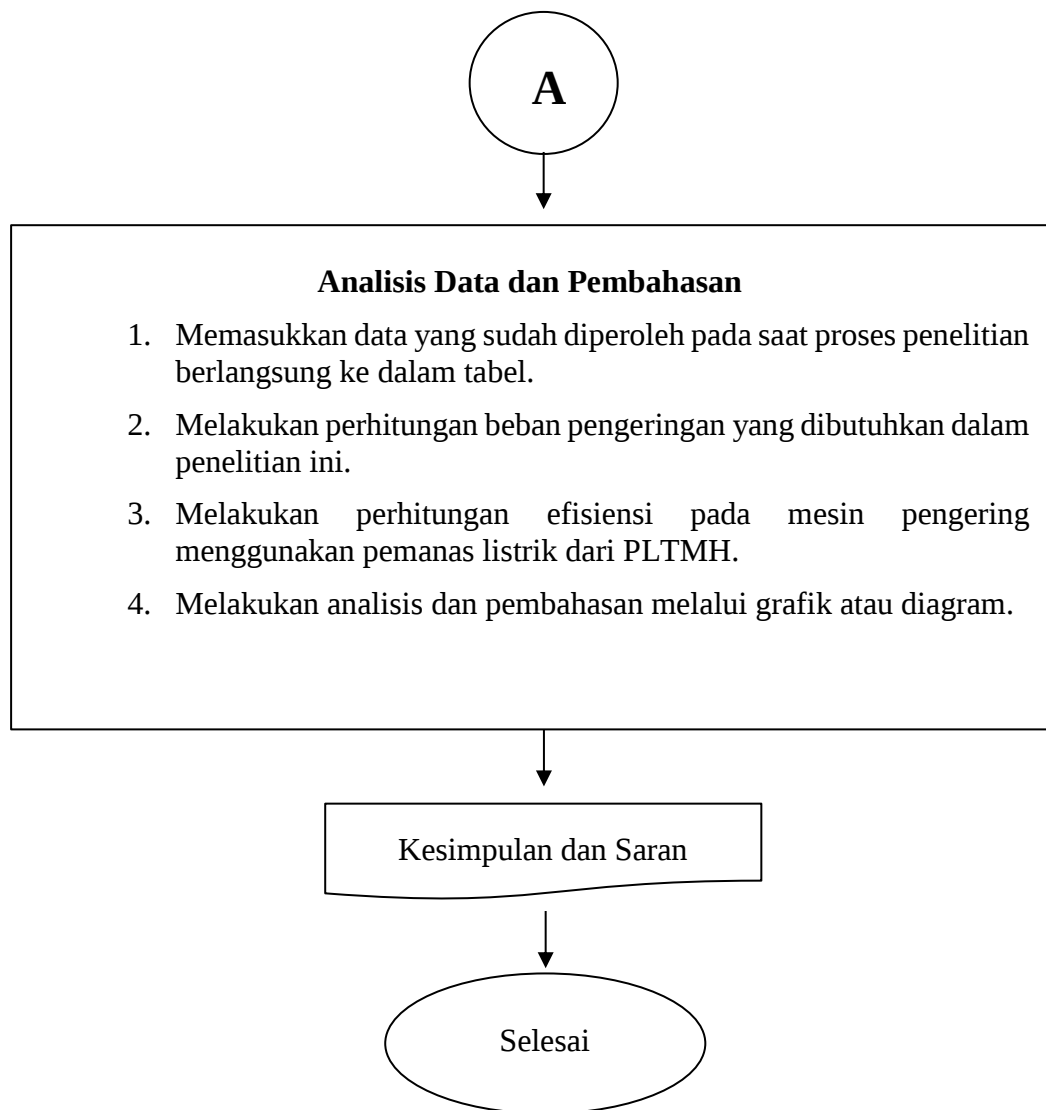
Pendekatan ini sah digunakan pada sistem aktual ketika kehilangan panas tidak diukur secara langsung namun dihitung berdasarkan selisih energi masuk dan energi berguna. (Çengel, Y. A., & Boles, M. A, 2015)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alur Tahapan Penelitian

Berikut merupakan *flowchart* penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.

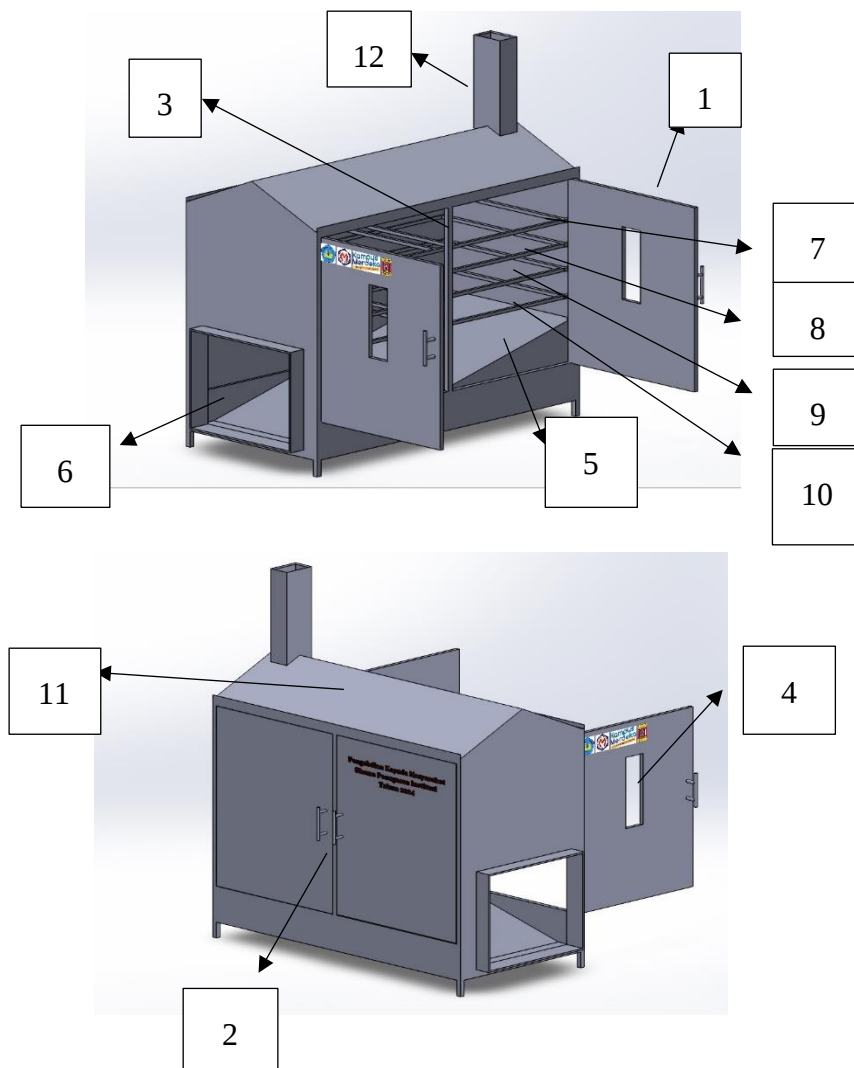




Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.2. Perancangan Alat

Berikut ini gambar perancangan alat pengering atau *bed dryer* tampak depan dan tampak samping kita bisa lihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Isometrik Perancangan Alat Pengering *Bed Dryer Solidworks*

Keterangan gambar :

1. Pintu
2. Pengunci pintu
3. Rangka
4. Kaca
5. Ruang plenum (ruang kosong yang berbentuk miring berfungsi sebagai meratakan dan menyalurkan udara panas ke ruang pengering).
6. Tempat bongkar pasang pemanas (*heater* dan tungku)
7. Rak 1,2
8. Rak 3,4
9. Rak 5,6
10. Rak 7,8
11. Ruang pengering
12. Cerobong *Exhaust*

3.3. Proses Pembuatan Mesin Pengering Menggunakan Pemanas Listrik

Adapun proses pembuatan mesin pengering ini selama 1 bulan, dan terdiri dari persiapan alat dan bahan untuk pembuatan mesin pengering ini terdiri dari pembuatan rangka pengering, pembuatan plat dinding pengering, penempelan plat dinding pengering, dan pembuatan tempat elemen pemanas tungku sampai *finishing*.

3.3.1. Pembuatan rangka *bed dryer*

Pada proses pembuatan rangka *bed dryer* mesin pengering ini terbuat dari besi siku seperti pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Proses Pembuatan Rangka *Bed Dryer*

3.3.2. Pembuatan dinding pengering

Pada proses ini pembuatan dinding dari plat besi ukuran 1,2 mm dan di lapisi oleh peredam busa didalamnya seperti Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Pembuatan Dinding Pengering dari Plat 1.2 mm

3.3.3. Penempelan dinding pengering

Proses penempelan dinding pengering pintu, atap pengering, dan dinding samping kanan dan kiri seperti Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Proses Penempelan Dinding Pengering ke Rangka

3.3.4. Finishing penempelan dinding *bed dryer*

Proses *fishing* pada penempelan dinding *bed dryer* mesin pengering seperti Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 *Finishing* Penempelan Dinding *Bed Dryer*

3.3.5. Proses pembuatan dan pengabungan elemen pemanas *heater* dan tungku pembakaran pada mesin pengering *hybrid*.

Proses ini meliputi pembuatan bingkai pada *heater* yang akan diletakkan didepan blower yang akan mendorong udara masuk ke ruang pengering seperti Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Proses Pembuatan dan Penggabungan Elemen Pemanas *Heater* dan Tungku

3.4. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Hanggar di dekat Laboratorium jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung. Penelitian ini menggunakan perhitungan analisis laju pengeringan pada alat pengering tipe bak bertingkat dan juga melakukan perhitungan analisis tentang kadar air (*moisture content*) pada kopi, cengkeh, dan kakao. Penelitian ini juga menggunakan dua variasi pada blower yang digunakan tujuan pada saat proses pengeringan. Untuk menganalisis laju pengeringan dan menentukan nilai kadar air pada alat pengering dibutuhkan alat dan bahan adalah sebagai berikut.

1. Alat pengering hasil pertanian (kakao) tipe *bed* bertingkat dengan menggunakan *heater* listrik.
2. *Temperature Recorder Datalogger*.
3. *Thermocouple*.
4. *Anemometer*.
5. *Hygrometer*.
6. *Grain Moisture Meter*.
7. Kakao.

Adapun Waktu Alur Penelitian seperti pada Tabel 3.1, sebagai berikut.

Tabel 3.1 Waktu Alur Penelitian

no	Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Perancangan alat																								
2	Pembuatan alat																								
3	Pengajuan judul																								
4	Seminar proposal																								
5	Pengujian																								
6	Analisis data																								
7	Penyelesaian																								

3.5. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama melakukan penelitian ini, alat dan bahan pendukung ini adalah sebagai berikut.

3.5.1. Alat pengering hasil pertanian dengan sistem pemanas listrik (*heater*)



Gambar 3.8 Ruang Pengering

Alat utama yang digunakan pada Gambar 3.8 antara lain: Blower, Ruang Pengering, Elemen Pemanas (*Heater*) Listrik, dan Panel Listrik. Sedangkan untuk alat pendukung yang digunakan adalah Termokopel, *Temperature Recorder Datalogger*, *Moisture Meter*, *Anemometer*, Neraca, Kamera, dan Kabel Listrik. Alat pengering hasil pertanian dengan sistem pemanas listrik memiliki spesifikasi lengkap seperti pada Tabel 3.2 dibawah ini sebagai berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Pengering menggunakan Heater Listrik

Spesifikasi mesin pengering menggunakan *heater*

1. Tipe	: <i>Bed dryer</i> bertingkat
2. Model	: Pengering tipe rak
3. Kapasitas	: 4 x 20 kg
4. Dimensi keseluruhan <i>dryer</i>	: 220 x 100 x 150 cm
5. Rangka	: Besi <i>hollow</i>
6. Dinding	: Plat Besi <i>Double Jacket</i>
7. Jumlah pintu	: 4 pintu
8. Jumlah rak	: 4 rak
9. Jumlah Loyang	: 8 loyang
10. Lebar loyang/rak	: 85 x 130 cm
11. Jarak antar rak	: 20 cm
12. Blower/kipas	: 2 blower
13. Unit pemanas	: <i>Heater</i> pemanas
- <i>Heater</i>	: 2 heater
- Daya <i>heater</i>	: 2000 watt
- Energi	: Listrik
- Kabel	: 5 meter
- Dimensi heater	: 50x50 cm

3.5.2. Channel Temperature Recorder Datalogger

Data logger temperature atau alat ukur suhu digunakan untuk mengukur dan mencatat kondisi lingkungan seperti temperatur. 12 Channel Temperature Recorder Datalogger memiliki tampilan pada fungsi sebagai alat ukur temperatur yang dapat merekam data sampling sebanyak 1 sampai 3600 detik dengan keluaran data *excel* secara otomatis. Alat *instrument* dapat terhubung dengan 12 channel *thermocouple probe* tipe J/T/E/R/S dengan resolusi 0,1°C/1°C, 0,1°F/1°F. Menggunakan (8) AA 1.5 Volt baterai sebagai daya utama pada alat ini seperti pada Gambar 3.9 dibawah ini sebagai berikut.



Gambar 3.9 Channel Temperature Recorder Datalogger

3.5.3. Thermocouple Type-K

Termokopel (*Thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek “*Thermo-electric*”. Dapat dilihat pada Gambar 3.10 dibawah sebagai berikut.



Gambar 3.10 *Thermocouple Type-K*

3.5.4. *Anemometer*

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Biasanya, anemometer terdiri dari beberapa cangkir atau baling-baling yang berputar ketika terkena angin. Putaran ini kemudian diterjemahkan menjadi kecepatan angin melalui mekanisme internal atau sensor elektronik seperti Gambar 3.11 berikut ini.



Gambar 3.11 *Anemometer*

3.5.5. *Cerra Tester*

Cerra Tester adalah alat ukur kadar air manual (*grain moisture meter*) yang banyak dipakai untuk biji-bijian seperti kopi, cengkeh, dan kakao. beras. padi, jagung, kedelai, kacang dan bijian lainnya. Alat ini umumnya bekerja dengan memasukkan sampel ke sel uji, karena kualitasnya yang tidak diragukan lagi dari 40 tahun yang lalu alat ini laris dipakai untuk pengukuran kadar air biji bijian, alat ini dibuat di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.12 dibawah. Langkah-langkah Penggunaan *Cerra Tester* adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan Sampel dan menimbang sampel

Ambil sampel biji-bijian kakao yang akan diuji. Gunakan timbangan mini yang terintegrasi pada alat untuk menimbang berat sampel sesuai standar yang ditentukan.

2. Memasukkan Sampel

Tuangkan sampel biji kakao yang sudah ditimbang ke dalam alat, lalu tutup rapat alatnya.

3. Melakukan Pengukuran

Nyalakan alat dan operasikan meter analognya berwarna (merah & hitam) sesuai dengan tombol yang ada untuk membaca kadar air yang ditampilkan.

4. Membaca Hasil

Hasil pengukuran kadar air kakao akan muncul pada meter analog tulisan pada didepan alat sebagai persentase kadar air yang didapat berapa % kadar air.



Gambar 3.12 Alat Kadar Air *Cerra Tester*

Sumber: (<https://alat-ukur-indonesia.com>)

3.5.6. Elemen Pemanas (*Heater*)

Elemen pemanas yang dipakai adalah jenis *Positive Temperature Coefficient* (PTC). PTC *Heater* merupakan pemanas udara menggunakan listrik untuk penyalur suhu dengan memiliki resistansi positif terhadap suhu. Ini berarti bahwa saat suhu naik, resistansi dari PTC *Heater* juga meningkat seperti Gambar 3.13 dibawah sebagai berikut.



Gambar 3.13 *Heater*

Sumber: (<https://id.heater-technology.com>)

3.5.7. Blower

Blower adalah alat mekanis yang digunakan untuk menghasilkan aliran gas (biasanya udara) dengan meningkatkan tekanan udara dari suatu sumber. Blower sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan komersial, termasuk ventilasi, pendinginan, pengeringan, dan pemanasan seperti Gambar 3.14 berikut ini.



Gambar 3.14 Blower

3.5.8. *Hygrometer*

Hygrometer adalah sebuah alat untuk mengukur kelembapan udara atau kandungan uap di atmosfer, tanah, atau ruangan tertutup. Pengukuran kelembapan ini sangat penting dalam berbagai bidang industri dan pertanian, karena kelembapan udara dapat mempengaruhi cuaca, kondisi penyimpanan barang, dan membantu memonitor dan mengontrol kondisi lingkungan, menjaga kualitas produk, kesehatan, dan kenyamanan dapat dilihat pada Gambar 3.15 dibawah adalah sebagai berikut.



Gambar 3.15 *Hygrometer*

Sumber: (<https://alat-test.com>)

Adapun spesifikasi dari *hygrometer* adalah seperti pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Spesifikasi *hygrometer*

Kecepatan Udara Ukur	0 s/d 30 m/s
Temperatur Udara Ukur	-10 s/d 50 °C
Kelembaban Udara Ukur	20% s/d 99%
Ketelitian Kecepatan udara	+/- 5%
Ketelitian Temperatur udara	+/- 1 °C
Ketelitian Kelembaban udara	5%

3.5.9. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa bahan secara akurat selama penelitian. Alat ini membantu memperoleh data massa awal, massa akhir, dan massa yang diuapkan dengan presisi dapat dilihat seperti pada Gambar 3.16 dibawah sebagai berikut.



Gambar 3.16 Timbangan Digital

3.6. Prosedur Pengujian Pengeringan

Prosedur proses pengeringan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan kelengkapan alat dan bahan yang akan digunakan sebagai bahan penelitian dan melakukan kalibrasi pada alat ukur yang akan digunakan.
2. Mempersiapkan dan menghitung kapasitas kakao yang akan dikeringkan.
3. Memasang 8 titik *Thermocouple* pada dinding ruang pengering ke *Channel Temperature Recorder Datalogger* untuk mendapatkan data *temperature*.
4. Menyambungkan *heater* ke listrik.
5. Menyalakan blower untuk mendorong udara panas masuk ke ruang pengering.
6. Menunggu pada 8 titik *Thermocouple* mencapai suhu yang diinginkan.

7. Melakukan pengukuran setiap 30 menit sekali dalam rentang waktu 08.00-12.00 WIB untuk mendapatkan data temperatur pada 8 titik *Thermocouple* yang sebelumnya sudah diletakkan.
8. Menghitung jumlah kadar air pada bahan sampel kakao dengan alat *grain moisture meter* setiap 30 menit sekali dalam rentang waktu 08.00–12.00.
9. Mencatat hasil pada langkah ke 7 dan 8.
10. Mengulangi langkah ke 7-9 dengan menggunakan tiga variasi pada ukuran plat penutup yang digunakan.

3.7. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan – tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan Penelitian

Pada tahapan ini dilakukan studi literatur dan pendalaman pemahaman sebagai dasar perencanaan terhadap konsep pengeringan dengan pengering buatan, laju pengeringan, nilai kadar air, dan juga nilai analisis energi pada saat proses pengeringan berlangsung. Melakukan pemahaman tentang konsep jumlah energi panas pada udara yang digunakan untuk mengeringkan suatu bahan.

2. Tahap Persiapan Alat dan Bahan Uji

Pada tahapan ini dilakukan persiapan pada mesin pengering hasil pertanian tipe *bed dryer* bertingkat dengan memastikan blower dapat beroperasi sesuai dengan kapasitas hasil pertanian yang akan dikeringkan. Melakukan persiapan dan kalibrasi pada alat-alat ukur seperti *Channel Temperature Recorder Datalogger*, *Thermocouple Type K*, *Anemometer*, dan *Grain Moisture Meter* untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan pada penelitian ini. Setelah semua tahapan selesai dilakukan, seluruh alat dan bahan uji siap untuk digunakan.

3. Tahap Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di Hanggar Teknik Mesin Universitas Lampung. Pada tahapan ini dilakukan pengambilan data-data yang diperlukan dengan menggunakan beberapa macam alat ukur antara lain: *Channel Temperature Recorder Datalogger*, *Thermocouple Type K*, *Anemometer*, dan *Grain Moisture Meter*. Data-data yang didapatkan berupa laju aliran massa udara, temperatur, temperatur masuk, temperatur pada 8 titik *Thermocouple* yang sebelumnya sudah diletakkan, kapasitas hasil pertanian, dan jumlah kandungan kadar air pada hasil pertanian. Kemudian, setelah data-data pada penelitian ini didapatkan selanjutnya dicatat dan juga dimasukkan kedalam tabel perhitungan. Pengambilan data laju pengeringan dan nilai kadar air pada penelitian ini dilakukan setiap 30 menit sekali dalam rentang waktu 08.00-16.00 WIB.

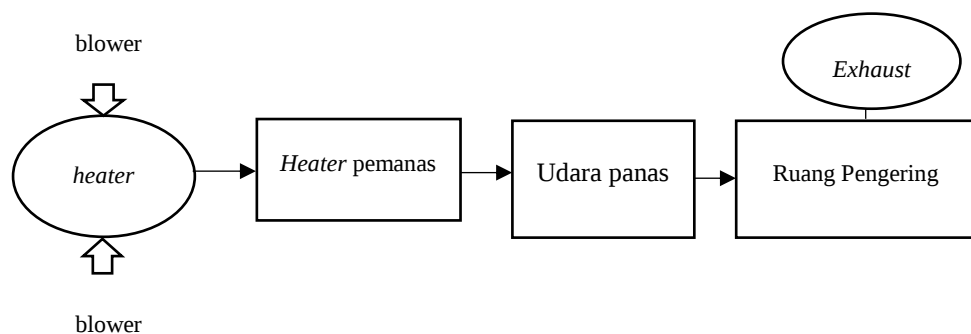
4. Tahap Analisis Data

Dilakukan perhitungan pada data-data yang sudah diperoleh sesuai pada prinsip-prinsip termodinamika yang berlaku. Parameter-parameter yang dimasukkan dalam perhitungan laju pengeringan diantara lain temperatur yang tertera pada 8 titik termokopel yang sudah diletakkan pada alat pengering tipe *bed dryer* bertingkat, laju aliran massa pada udara, temperatur ruangan (*ambient*), dan massa sampel (kakao) itu sendiri. Kemudian dilakukan perhitungan terhadap jumlah energi panas yang diperlukan untuk memanaskan udara dalam proses pengeringan kakao dengan menggunakan persamaan: $q = \dot{m}(h_B - h_A)$ dan untuk mencari nilai laju aliran massa udara menggunakan persamaan: $\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A$. Selanjutnya pada data-data yang sudah diperoleh dan sudah dilakukan metode perhitungan pada saat penelitian berlangsung akan dikonversikan ke dalam grafik atau diagram.

Pada tahapan ini seluruh hasil yang diperoleh dari tahapan sebelumnya dibuat dalam bentuk laporan hasil penelitian. Laporan hasil penelitian ini juga dapat dipublikasikan di jurnal-jurnal ilmiah terakreditasi, atau dapat dipublikasikan pada seminar-seminar yang relevan, sehingga dapat diperoleh masukan-masukan untuk kesempurnaan penelitian selanjutnya.

3.8. Alur proses pengeringan

Adapun alur proses pengeringan dengan sistem *hybrid* menggunakan 2 sistem pengeringan seperti pada Gambar 3.17 adalah sebagai berikut.



Gambar 3.17 Alur Proses Pengeringan menggunakan *Heater* Pemanas Listrik

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian analisis kinerja pengeringan hasil pertanian menggunakan pemanas listrik pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat dengan pemanas listrik mampu bekerja dengan baik dalam menurunkan kadar air biji kakao dari kondisi basah menuju kadar aman penyimpanan. Proses pengeringan rata-rata berlangsung lebih cepat dibandingkan pengeringan konvensional menggunakan sinar matahari.
2. Distribusi temperatur dalam ruang pengering menunjukkan kestabilan yang cukup baik pada rentang suhu 37°C–52°C, dengan kelembapan relatif menurun dari 80% menjadi sekitar 60%. Hal ini menunjukkan proses perpindahan kalor melalui konveksi berjalan efektif berkat peran blower dan desain ruang pengering bertingkat.
3. Laju penurunan massa dan kadar air berbanding lurus dengan kenaikan suhu dan laju aliran udara. Pada pengujian terbaik, penurunan kadar air mencapai lebih dari 50% dari kadar awal dalam waktu 4–5 jam, sementara metode konvensional membutuhkan waktu hingga 2–3 hari pada kondisi cuaca tidak menentu.
4. Efisiensi energi pengeringan yang dihitung dari perbandingan energi pengeringan terhadap energi masuk menunjukkan hasil yang cukup baik, yaitu di atas 50%, menandakan sistem pemanas listrik mampu memanfaatkan daya secara optimal untuk proses penguapan air.

5. Penggunaan energi listrik pada pengering ini layak untuk wilayah pedesaan yang memiliki potensi PLTMH.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan di atas, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem kontrol otomatis pada *flat bed dryer* untuk mengatur temperatur dan aliran udara secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses pengeringan.
2. Kapasitas bahan uji perlu disesuaikan dengan kapasitas rancang alat. Pada penelitian ini, alat memiliki kapasitas 80 kg namun hanya digunakan 5 kg bahan uji, sehingga energi panas tidak termanfaatkan secara optimal dan nilai efisiensi menjadi rendah. Pengujian ulang dengan beban mendekati kapasitas maksimum diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dan representatif.
3. Perlu dilakukan uji coba terhadap berbagai jenis hasil pertanian seperti kopi, padi, dan cengkeh guna menilai performa alat terhadap bahan dengan karakteristik kadar air yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrofi, M., Rosyadi. A. A., Sholahudin. I., Mulyadi. S., Setyawan. D. L., Duddin. A. I. (2022). “ANALISIS PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA BLOWER SENTRIFUGAL TYPE *BACKWARD* DENGAN *HONEYCOMB* DAN TANPA *HONEYCOMB*”. Jember, Vol.5 No.2, Desember 2022, Jurnal STATOR Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, 56-60.
- Brilliantina, A., Hermanuadi, D., Sari, E. K. N. (2022). “Analisis Pindah Panas pada Pengeringan Kulit Biji Kopi (Cascara) dengan Menggunakan Mesin Pengering Tipe *Flash Dryer* Cum UV”. Jember, Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Politeknik Negeri Jember, 9-15.
- Cengel, A. Y., Boles, A. M., & Kanoglu, M. (2019). *Termodinamics AN Engineering Approach. Ninth Edition*.
- Cess, R. D. (1964). *The interaction of thermal radiation with conduction and convection heat transfer. In Advances in heat transfer* (Vol. 1, pp. 1-50). Elsevier.
- Dewi, E., Yuliaty. S., Julyantiya, R. T., Mentari, I. A., Putri A. O. (2021). “RANCANG BANGUN ALAT TIPE *SPRAY DRYER* UNTUK PROSES PENGERINGAN SUSU BUBUK BERBASIS JAGUNG MANIS (*Zea mays saccharata*)”. Palembang, Vol.12 No.03, Jurnal Kinetika Politeknik Negeri Sriwijaya, 31-37.
- FADLIH, ACHSYAN. VIABILITAS BENIH KAKAO (*Theobroma cacao L.*) PADA JENIS MEDIA PENYIMPANAN BERBEDA DAN PERIODE WAKTU PENYIMPANAN BERBEDA. 2021. PhD Thesis. UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU.

- Farhanandi, B. W., & Indah, N. K. (2022). Karakteristik morfologi dan anatomi tanaman kakao (*Theobroma cacao* L) yang tumbuh pada ketinggian berbeda. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 310-325.
- Geankoplis, C. J. (2003). *Separation Process Principles*.
- Hariyadi, T. (2018). Pengaruh Suhu Operasi terhadap Penentuan Karakteristik Pengeringan Busa Sari Buah Tomat Menggunakan *Tray Dryer*. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(2), 46. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.39019>
- Hernández-Díaz, J., et al. (2021). *Thermal efficiency analysis of hybrid solar–electric dryers for cocoa beans*. *Renewable Energy*, 173, 936–946.
- Huang, T., Wang, M., Feng, S., Peng, Z., Huang, X., & Song, Y. (2024). *Study on the Coupled Heat Transfer of Conduction, Convection, and Radiation in Foam Concrete Based on a Microstructure Numerical Model*. *Buildings*, 14(5), 1287.
- Hussain, M. M., Dincer, I., & Li, X. (2007). A preliminary life cycle assessment of PEM fuel cell powered automobiles. *Applied Thermal Engineering*, 27(13), 2294-2299.
- Khasanah, Nofiatul, Suprianto, Bambang, Haryudo, I., Subuh, Baskoro, & Farid. (2021). Studi Literatur: Pengering Jagung Dengan Elemen Pemanas Menggunakan Sensor Dht1 Dan Sersor Kadar Air Berbasis Arduino Uno. *Teknik Elektro*, 10(01), 163–171.
- Levenspiel, O. (2014). *The three mechanisms of heat transfer: Conduction, convection, and radiation*. In *Engineering Flow and Heat Exchange* (pp. 179-210). Boston, MA: Springer US.
- Majid, A., Kardiman, K., & Hanifi, R. (2022). Perancangan alat bantu untuk optimalisasi proses produksi sayap cover blower di CV. DEF. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(12), 25-32.
- Mujumdar, A. S. (2006). *Handbook of industrial drying*. CRC press.
- Ningsi, S. (2021). Metode Elemen Hingga Untuk Perpindahan Panas Konduksi

- Steady State pada Domain 2D dengan Menggunakan Elemen Segitiga. *Saintifik*, 7(2), 146–156. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v7i2.336>
- Nugroho, D. F., & Wijayanti, D. A. (2021). Pengaruh penambahan sari wortel pada yoghurt ditinjau dari aw, kadar air, viskositas, total asam tertitrasi dan kadar protein. *AGRISAINTEFIKA: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 5(1), 18-23.
- No, V., Tahun, M., & Trisnaningtyas, R. (2016). *Terakreditasi : SK No .: 66b / DIKTI / Kep / 2011 Website : http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/ Analisis Energi dan Eksergi pada Pengeringan Tepung Tapioka Menggunakan Pengering Kontinu Unggun Fluidisasi Getar ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF CASS*. 16(1), 24–31.
- Rahman, M. S., et al. (2020). *Design and performance evaluation of an electric cabinet dryer for agricultural products. Journal of Agricultural Engineering Research*, 9(3), 155–164.
- Rahayuningtyas, A., & Kuala, S. I. (2016). Pengaruh suhu dan kelembaban udara pada proses pengeringan singkong (studi kasus: pengering tipe rak). *ETHOS: Jurnal Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*, 99-104.
- Rachmawati, V., & -, K. (2015). Simulasi perpindahan panas pada lapisan tengah pelat menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 4(2), A13–A18.
https://ejournal.its.ac.id/index.php/sains_seni/article/view/10852%0Ahttps://ejournal.its.ac.id
- Rahmayani, R., Sahara, & Zelviani, S. (2020). *Jurnal fisika dan terapannya. Pengukuran Dan Analisis Dosis Proteksi Radiasi Sinar-X Di Unit Radiologi Rs. Ibnu Sina Yw-Umi*, 7(2020), 87–96.
<https://doi.org/10.24252/jft.v7i2.18064>
- Ramli, I. A., Yanto, S., & Jamaluddin. (2017). LAJU PENDINGERIAN GABAH MENGGUNAKAN PENDINGER TIPE EFEK RUMAH KACA (ERK) *Drying Rate Of Grain Using Dryer Greenhouse Effect Type. Jurnal*

Pendidikan Teknologi Pertanian, 3, 158–164.

- Rifan, Nurrahman, & Aminah, S. (2017). Pengaruh Jenis Alat Pengering Terhadap Karakteristik Fisik, Kimia, dan Organoleptik Sup Labu Kuning Instan. *Jurnal Pangan Dan Gizi*, 7(2), 104–116.
- Suhelmi, M. F., Anjani, R. D., & Fauji, N. (2022). Perhitungan Efisiensi Pengeringan pada Mesin Pengering Gabah Tipe Flat Bed Dryer di CV. XYZ. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(1), 15. <https://doi.org/10.32497/jrm.v17i1.2848>
- Sitorus, S., & Rachmat, B. (2019). Analisis Kinerja Pengeringan Gabah Menggunakan Energi Listrik. *Jurnal Keteknikan Pertanian Indonesia*, 7(2), 85–92
- Syam, S. M., Hapeni, R. S., & Muliawati, E. C. (2023). Pengaruh Suhu dalam Penentuan Kapasitas Panas Kalorimeter dan Hubungan Konsentrasi NaOH dalam Penentuan Panas Pelarutan juga Panas Netralisasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan III, Senastitan Iii*, 1–7.
- Wahyono, W., & Rochani, I. (2019). Pembuatan Alat Uji Perpindahan Panas Secara Radiasi. *Eksergi*, 15(2), 50. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i2.1506>
- Wahyu Saputra, T., Waluyo, S., Septiawan, A., & Ristiyana, S. (2020). PENGEMBANGAN MODEL PREDIKSI LAJU PENGERINGAN PADA IRISAN WORTEL (*Daucus carota*) BERBASIS REGRESI LINIER BERGANDA (RLB) DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 8(2), 209–218. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v8i2.191>
- Yahya, M. (2015). Kajian Karakteristik Pengering Fluidisasi Terintegrasi Dengan Tungku Biomassa Untuk Pengeringan Padi. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2), 65–71.
- Yulianto, T., Widodo, S., Helmy, H., & ... (2023). Pendampingan Proses Pengeringan Bahan Baku Wedang Uwuh Pada Umkm Asmantogo Handayaniingrat Kabupaten Boyolali. *Community Development Journal*, 4(2), 3094–3098. <http://journal.universitaspahlawan.ac.id>