

**ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING HASIL PERTANIAN
BERBASIS TUNGKU BIOMASSA**

Skripsi

Oleh

GUNAWAN AFIF FUDIN

NPM 2115021119



**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING HASIL PERTANIAN
BERBASIS TUNGKU BIOMASSA**

Oleh
GUNAWAN AFIF FUDIN
NPM 2115021119

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING HASIL PERTANIAN BERBASIS TUNGKU BIOMASSA

OLEH

GUNAWAN AFIF FUDIN

Pengeringan biji kakao merupakan tahapan penting dalam proses pascapanen untuk menurunkan kadar air hingga batas aman penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin pengering hasil pertanian berbasis tungku biomassa ditinjau dari distribusi temperatur, penurunan massa bahan, kadar air, serta efisiensi pengeringan dan efisiensi tungku. Pengujian dilakukan menggunakan mesin pengering rak bertingkat berbasis tungku biomassa dengan bahan bakar kayu jati, menggunakan sampel biji kakao sebanyak ± 5 kg. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pengujian dengan parameter meliputi temperatur ruang pengering, temperatur lingkungan, kelembaban udara, waktu pengeringan, serta massa bahan sebelum dan sesudah pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur ruang pengering berada pada kisaran 37,5 °C hingga 89,4 °C. Massa biji kakao mengalami penurunan dari rata-rata 5,28 kg menjadi 2,31 kg dengan rata-rata massa air yang diuapkan sebesar 2,97 kg. Kadar air akhir biji kakao mencapai nilai rata-rata 7,29% dalam waktu pengeringan 7,2–8 jam sehingga memenuhi standar kadar air aman penyimpanan. Efisiensi termal pengeringan yang diperoleh berturut-turut sebesar 3,5%, 3,9%, dan 2,7%, sedangkan efisiensi tungku biomassa meningkat dari 42% menjadi 46%. Rendahnya efisiensi pengeringan disebabkan oleh jumlah sampel yang jauh di bawah kapasitas mesin serta adanya kehilangan panas melalui dinding ruang pengering. Secara keseluruhan, mesin pengering berbasis tungku biomassa efektif digunakan untuk pengeringan biji kakao, namun masih memerlukan optimasi untuk meningkatkan efisiensi energi.

Kata kunci: biji kakao; tungku biomassa; mesin pengering; efisiensi pengeringan.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF A BIOMASS FURNACE-BASED AGRICULTURAL PRODUCT DRYING MACHINE

BY

GUNAWAN AFIF FUDIN

Drying of cocoa beans is an essential post-harvest process to reduce moisture content to a safe level for storage. This study aims to analyze the performance of an agricultural dryer based on a biomass furnace in terms of temperature distribution, mass reduction, moisture content, drying efficiency, and furnace efficiency. The experiment was conducted using a multi-rack drying machine powered by a biomass furnace fueled with teak wood, with approximately 5 kg of cocoa beans as the drying sample. The experiment was carried out in three test runs by measuring drying chamber temperature, ambient temperature, air humidity, drying time, and material mass before and after drying. The results show that the drying chamber temperature ranged from 37.5 °C to 89.4 °C. The average mass of cocoa beans decreased from 5.28 kg to 2.31 kg, with an average evaporated water mass of 2.97 kg. The final moisture content reached an average value of 7.29% within a drying time of 7.2–8 hours, which meets the safe moisture standard for cocoa storage. The thermal drying efficiency obtained was 3.5%, 3.9%, and 2.7% for the first, second, and third tests, respectively. Meanwhile, the biomass furnace efficiency increased from 42% to 46%. The low drying efficiency was influenced by the small sample mass compared to the machine capacity and significant heat losses through the dryer walls. Overall, the biomass furnace-based dryer is effective for drying cocoa beans, although further optimization is required to improve energy efficiency.

Keywords: cocoa beans; biomass furnace; drying machine; drying efficiency.

Judul Skripsi : **ANALISIS KINERJA MESIN PENDINGERING
HASIL PERTANIAN BERBASIS TUNGKU
BIOMASSA**

Nama Mahasiswa : **Gunawan Afif Fudin**

NPM : 2115021119

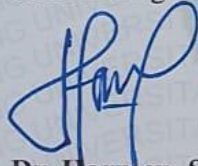
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

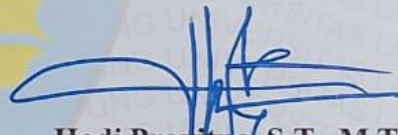
Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Harmen, S.T., M.T.
NIP. 196906202000031001


Pembimbing II



Hadi Prayitno, S.T., M.T.
NIP. 198805142019031012

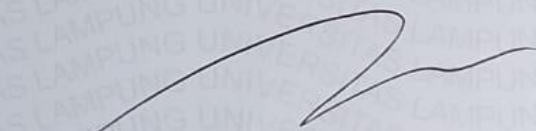
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin
FT Unila,



Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 197408162000121001

Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin,

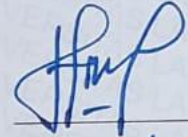


Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

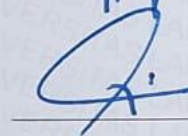
Ketua : **Dr. Harmen, S.T., M.T.**



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



Penguji Utama : **Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **2 April 2026**

LEMBAR PERNYATAAN

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN DARI HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR No. 13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung , 09 April 2026.

Pembuat Pernyataan,



Gunawan Afif Fudin

NPM. 2115021119

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sukamulya, kec. Banyumas, kab. Pringsewu, Lampung pada tanggal 05 Januari 2003 sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Aep Saipudin dan Ibu Lasiyem. Penulis beralamat di Rt 002, Rw 001 Desa Banjarejo, Kecamatan Banyumas, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung. Penulis mengawali pendidikan di SD Negeri 1 Banjarejo (2009-2015), MTs Negeri 2 Pringsewu (2015-2018), SMA Negeri 1 Banyumas (2018-2019) dan pindah ke SMA 2 Pringsewu (2019-2021), Universitas Lampung (2021-sekarang). Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai bidang minat dan bakat divisi olahraga periode 2023/2024 dan Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) sepak bola Universitas Lampung. Selanjutnya penulis mengikuti Kerja Praktik di PT BSSW Tbk Tulang Bawang Barat tahun 2024. Penulis mengikuti Program Kopetensi Kampus Merdeka (PKKM) yang diselenggarakan selama 4 bulan, di Desa Pesawaran Indah, Kecamatan Way Ratai. Penulis melakukan penelitian di bidang konversi energi dengan judul “Analisis Kinerja Mesin Pengering Hasil Pertanian Berbasis Tungku Biomassa”. Di bawah bimbingan Bapak Dr. Harmen, S.T.,M.T. dan Bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T. Serta Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. sebagai pembahas.

MOTTO

“Allah akan memberi pada waktunya, saat kita sudah benar – benar layak mendapatkannya, sabar semua hanya prihal waktu”

(Qs. Fatir:13)

“Jangan jadi orang yang harus bahagia dulu untuk bisa bersyukur, atau harus susah dulu untuk ingat Allah Swt”

-Penulis-

“Ilmu membuatmu tinggi dan dihormati, tetapi adab membuatmu mulia dan dihargai”

(7.30 p.m)

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati,

Saya mempersembahkan karya sederhana ini

Sebagai ungkapan cinta, kasih sayang, dan rasa terimakasih saya

KARYA TULISKU INI AKU PERSEMBAHKAN KEPADA :

Ayah Aep Saipudin, Ibu Lasiyem dan Kakak Reni Anggraeni,

yang dengan segala keterbatasan dan pengorbanan tanpa pamrih, selalu mengiringi setiap langkah penulis dengan doa dan kasih sayang yang tak pernah terucap, menjadi alasan utama penulis untuk terus bertahan dan menyelesaikan skripsi ini.

Serta teman-teman teknik mesin 21 yang telah bersama-sama melewati masa perkuliahan dengan segala cerita, perjuangan, dan kebersamaan hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan.

SANWACANA

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Kinerja Mesin Pengering Hasil Pertanian Berbasis Tungku Biomassa” Laporan Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Skripsi bagi mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin.

Penyusunan Skripsi ini berhasil berjalan dengan baik berkat peran serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang ditunjukkan kepada :

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.,Sc. Selaku ketua program studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T. Ph.D., IPU. selaku dosen pembimbing akademik.
5. Bapak Dr. Harmen, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak arahan dan masukan dalam penyusunan Skripsi.
6. Bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak arahan dan masukan dalam penyusunan Skripsi.
7. Bapak Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T. yang berkenan menjadi dosen pembahas dan memberikan kritik dan saran pada skripsi ini.

8. Seluruh staf program studi S1 Teknik Mesin yang telah membantu dan memberikan pengarahan dalam proses kepengurusan berkas perkuliahan
9. Kedua orang tua penulis Ayah Aep Saipudin, Ibu Lasiyem, kakak, serta keluarga besar penulis yang penulis cintai dan selalu memberi doa, motivasi, semangat dan dukungan penuh dalam menyelesaikan program studi Teknik Mesin di Universitas Lampung.
10. Teman sekaligus sahabat Syahrul, Faldo, grup Pppp, dan KKN Binadesa Pesawaran Indah, yang telah menemani dalam penyelesaian skripsi.
11. Teman-teman Angkatan 2021 Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
12. Semua pihak yang telah memberi dorongan, dukungan dan bimbingan dalam membantu penyelesaian skripsi.

Semoga laporan skripsi ini bisa menjadi sumber referensi yang bermanfaat untuk menambah pengetahuan bagi para pembaca. Penulis memohon maaf jika terdapat kesalahan atau kekurangan dalam pelaksanaan maupun penulisan laporan ini. Demikian yang dapat penulis sampaikan, atas perhatian dan kontribusi dari semua pihak, penulis ucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 09 April 2026

Penulis

Gunawan Afif Fudin
NPM. 2115021119

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kakao.....	7
2.2 Pengeringan	10
2.3 Pengeringan Kakao.....	12
2.3.1 Metode pengeringan kakao	13
2.3.2 Pengaruh suhu dan lama pengeringan	13
2.4 Jenis – jenis Alat Pengering	14
2.4.1 <i>Flat – bed (tray) dryer</i>	14
2.4.2 <i>Rotary dryer</i>	15
2.4.3 <i>Cabinet dryer</i>	16
2.5 Kadar Air Bahan.....	17
2.6 Sifat – sifat udara basah.....	18
2.7 Tungku biomassa.....	23
2.8 Penyebaran udara dari tungku ke ruang pengering	26
2.9 Perpindahan Panas.....	27
2.9.1 Konduksi.....	28
2.9.2 Konveksi	28

2.9.3 Radiasi	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Perancangan Alat.....	30
3.2 Proses pembuatan mesin pengering <i>bed dryer</i> berbasis tungku biomassa..	31
3.2.1 Pembuatan rangka <i>bed dryer</i>	32
3.2.2 Pembuatan dinding pengering	32
3.2.3 Penempelan dinding pengering.....	33
3.2.4 <i>Finishing</i> penempelan dinding <i>bed dryer</i>	33
3.2.5 Proses pembuatan tungku dan penggabungan dengan ruang pengering	34
3.3 Waktu dan Tempat penelitian.....	34
3.4 Alat dan Bahan	34
3.4.1 Alat pengering.....	35
3.4.2 Blower.....	36
3.4.3 <i>Thermocouple</i> (alat pengukur suhu)	36
3.4.4 Alat Kelembaban udara (<i>Termohyrometer</i>) <i>Humidity</i>	37
3.4.5 <i>Termorecorder 12 channel temperature recorder</i> datalogger.....	38
3.4.6 <i>Anemometer</i> (Alat ukur <i>flow</i> udara pada blower).....	38
3.4.7 Timbangan digital	39
3.4.8 Kayu untuk tungku pembakaran.....	39
3.4.9 Buah kakao	40
3.5 Rancangan Penelitian	40
3.6 Prosedur Penelitian.....	42
3.7 Alur penelitian	44
3.8 Tahapan Penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Hasil Penelitian.....	48
4.1.1 Hasil pada pengujian.....	48
4.2 Distribusi Temperatur Ruang Pengering, Temperatur Lingkungan Skeitar (<i>ambient</i>), dan <i>Humidity</i> Selama Pengujian.	52
4.3 Penurunan Massa dan Kadar Air Biji Kakao	57
4.4 Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Proses Pengeringan Kakao.....	61
4.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Termal Pengeringan.....	63

4.6 Hasil Perhitungan Pembakaran Tungku	66
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 spesifikasi mesin pengering bed dryer berbasis tungku pembakaran biomassa.....	35
Tabel 4. 1 Hasil dan Distribusi panas pada proses pengeringan kakao dengan Tungku biomassa pengujian ke 1	49
Tabel 4. 2 Hasil dan Distribusi panas pada proses pengeringan kakao dengan Tungku biomassa pengujian ke 2.....	50
Tabel 4. 3 Hasil dan Distribusi panas pada proses pengeringan kakao dengan Tungku biomassa pengujian ke 3.....	51
Tabel 4. 4 Massa bahan dan kadar air biji kakao.....	58
Tabel 4. 5 Kecepatan udara.....	61
Tabel 4. 6 Laju aliran massa pengujian pada tungku biomassa	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Buah kakao.....	7
Gambar 2. 2 Syarat SNI mutu biji kakao.....	9
Gambar 2. 3 <i>Flat-bed dryer</i>	15
Gambar 2. 4 <i>Rotary dryer</i>	16
Gambar 2. 5 <i>cabinet dryer</i>	17
Gambar 3. 1 Perancangan alat pengering dengan <i>solidworks</i>	30
Gambar 3. 2 Tungku biomassa.....	31
Gambar 3. 3 Proses pembuatan rangka pengering.....	32
Gambar 3. 4 Pembuatan dinding pengering dari plat 2,5 mm.	32
Gambar 3. 5 Proses penempelan dinding pengering ke rangka.	33
Gambar 3. 6 <i>Finishing</i> penempelan dinding <i>bed dryer</i>	33
Gambar 3. 7 Proses pembuatan tungku dan penggabungan dengan ruang pengering.....	34
Gambar 3. 8 Pengeringan <i>bed dryer</i> berbasis tungku pembakaran biomassa.....	35
Gambar 3. 9 Blower.	36
Gambar 3. 10 <i>Thermocouple</i>	37
Gambar 3. 11 <i>Termohygrometer</i>	37
Gambar 3. 12 <i>Termorecorder</i> 12 channel.	38
Gambar 3. 13 <i>Anemometer</i>	38
Gambar 3. 14 Timbangan digital.	39
Gambar 3. 15 Kayu bakar.	39
Gambar 3. 16 Buah kakao.....	40
Gambar 3. 17 Letak <i>thermocouple</i> pengamatan temperatur proses pengeringan .	41
Gambar 4. 1 Grafik distribusi panas pengujian ke 1.....	53
Gambar 4. 2 Grafik distribusi panas pengujian ke 2.....	54
Gambar 4. 3 Grafik distribusi panas pengujian ke 3.....	56

Gambar 4. 4 Penurunan massa bahan pengeringan biji kakao variasi tungku pembakaran	59
Gambar 4. 5 Grafik Kadar Air	60
Gambar 4. 6 Efisiensi termal pengeringan	65
Gambar 4. 7 Efisiensi pembakaran tungku	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris yang sebagai besar penduduknya bermata pencarian sebagai petani. Sektor pertanian menjadi sumber utama dalam produksi pangan dan pertanian yang produktif mampu menghasilkan ketersediaan pangan yang mencukupi sehingga meningkatkan perekonomian. Hal tersebut karena mayoritas masyarakat di Indonesia mengutamakan kehidupan pada sektor pertanian. Pulau Sumatra merupakan salah satu pulau di Indonesia yang mempunyai sumber daya alam yang melimpah, salah satunya kesuburan pada lahan pertanian dan kekayaan hayati yang sangat melimpah (Azzahraa, dkk., 2025). Provinsi Lampung merupakan salah satu wilayah penghasil kakao penting di Indonesia. Menurut laporan terbaru, produksi biji kakao provinsi lampung tahun 2023 mencapai 49.544 ton biji kakao kering, dengan luas areal perkebunan mencapai puluhan ribu hektar sumber (Dinas perkebunan lampung, 2024).

Desa Pesawaran Indah merupakan salah satu desa yang berada di Kecamatan Wai Ratai, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung. Desa ini memiliki luas wilayah sekitar 24.261,14 hektar dan terbagi menjadi enam dusun. Sebagian besar penduduknya bekerja sebagai buruh tani, dengan lahan pertanian yang cukup beragam seperti kopi, kakao, cengkeh, pala, padi, dan komoditas lainnya. Hal ini tidak terlepas dari kondisi geografis desa yang berada di kawasan perbukitan Gunung Ratai. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran (BPSKP), rata-rata produksi kakao di wilayah

Pesawaran selama periode 2020–2025 mencapai sekitar 126,68 ton kakao kering. Angka ini menunjukkan bahwa Pesawaran merupakan salah satu sentra penghasil kakao yang cukup penting di Provinsi Lampung. Dalam proses pengolahan pascapanen, pengeringan menjadi tahap penting untuk menjaga mutu biji kakao.

Pengeringan merupakan proses mengurangi kadar air dalam suatu bahan dengan bantuan energi panas, sehingga air di dalamnya menguap. Tujuan utama pengeringan adalah untuk memperpanjang umur simpan bahan dan menjaga kualitasnya. Pada biji kakao, proses pengeringan sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap mutu akhir produk. Pengeringan dilakukan dengan menurunkan kadar air biji kakao hingga mencapai batas aman untuk diolah, dijual, atau disimpan dalam jangka waktu lama. Namun, proses pengeringan harus dilakukan dengan hati-hati. Jika pengeringan berlangsung terlalu cepat atau menggunakan suhu yang terlalu tinggi, mutu biji kakao dapat menurun. Karena itu, suhu pengeringan biji kakao tidak boleh melebihi 70°C (Satria, 2021).

Di lapangan, terdapat dua metode pengeringan yang umum digunakan. Pertama adalah pengeringan menggunakan panas matahari (*sun-drying*). Metode ini mudah dilakukan dan tidak membutuhkan biaya besar. Namun, cara ini memiliki beberapa kelemahan, seperti ketergantungan pada kondisi cuaca, waktu pengeringan yang lama, serta hasil akhir yang sering tidak merata sehingga mutu produk sulit dikontrol. Metode kedua adalah pengeringan menggunakan tungku biomassa, penggunaan biomassa sebagai sumber energi dalam proses pengeringan dipilih karena memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bahan bakar konvensional. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik seperti kayu, tempurung kelapa, dan limbah pertanian yang ketersediaannya melimpah di lingkungan pedesaan, khususnya di Desa Pesawaran Indah. Selain itu, biomassa memiliki biaya yang relatif rendah sehingga dapat menekan biaya operasional proses pengeringan. Dari sisi teknis, pembakaran biomassa

mampu menghasilkan panas yang cukup tinggi dan stabil, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih cepat dan tidak bergantung pada kondisi cuaca seperti pada metode penjemuran tradisional. Penggunaan biomassa juga lebih ramah lingkungan karena menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, pemanfaatan tungku biomassa menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan efisiensi, kemandirian energi, serta keberlanjutan dalam proses pengeringan hasil pertanian.

Menurut penelitian(Akbar dkk., 2024)) Pengeringan menggunakan tungku biomassa mampu menjaga suhu stabil pada kisaran 50-60°C. Waktu pengeringan menjadi lebih cepat sekitar 35% dibanding penjemuran matahari, dan kadar air akhir dapat mencapai 6-7% yang sesuai standar SNI. Menurut (Ansori dkk., 2022) tungku biomassa dapat menghasilkan aliran udara panas yang stabil tanpa paparan asap langsung ke biji kakao. Biji kakao dapat dikeringkan dari kadar air 55% hingga 7% dalam 2-3 hari, lebih cepat dari metode penjemuran tradisional yang memerlukan 5-7 hari. Menurut (Khathir & Kurniawan, 2023) konsumsi bahan bakar biomassa sekitar 1,8-2,4 kg/jam dapat menjaga suhu ruang pengering 55-70°C.

Melalui penelitian ini, dilakukan analisis kinerja pengeringan hasil pertanian dengan menggunakan pengering berbasis tungku biomassa, yang meliputi efisiensi energi, laju penurunan kadar air, serta kualitas hasil pengeringan. Penelitian semacam ini diharapkan mendukung pengembangan teknologi pascapanen yang efisien, ekonomis, dan mampu meningkatkan daya saing kakao Lampung di pasar nasional maupun internasional.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian analisis proses pengeringan pada mesin pengering untuk kakao dengan berbasis tungku pembakaran adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kemampuan pengeringan hasil pertanian menggunakan mesin pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat berbasis tungku biomassa.
2. Menganalisis pengurangan massa sampai kering dan beban maksimal yang dibutuhkan untuk mengeringkan hasil pertanian menggunakan mesin pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat berbasis tungku biomassa.
3. Menganalisis efisiensi pada proses pengeringan hasil pertanian menggunakan alat pengering tipe *flat bed dryer* bertingkat berbasis tungku biomassa.
4. Menghitung kesetimbangan energi pada sistem pengering hasil pertanian berbasis tungku biomassa.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang terdapat di penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan mesin pengering hasil pertanian tipe bed dryer bertingkat yang dilengkapi dengan tungku pembakaran biomassa sebagai sumber panas utama.
2. Bahan bakar yang digunakan pada tungku biomassa dalam penelitian ini adalah kayu bakar, tanpa membandingkan dengan jenis biomassa lain.
3. Bahan uji pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji kakao.
4. Pengujian dilakukan dengan jumlah sampel biji kakao sekitar ± 5 kg, yang berada di bawah kapasitas maksimum mesin pengering.
5. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi distribusi temperatur ruang pengering, penurunan massa bahan, kadar air biji kakao, efisiensi pengeringan, dan efisiensi tungku biomassa.

6. Proses pengeringan dilakukan pada rentang waktu 7–8 jam untuk setiap pengujian, dengan pengambilan data temperatur dan kelembapan udara secara berkala.
7. Pengujian dilakukan di hangar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung, bukan di lokasi petani secara langsung.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini mesin pengeringan alat yang dijadikan sebagai salah satu solusi permasalahan para petani desa pesawaran indah dalam proses pengeringan hasil pertanian.
2. Manfaat dari penelitian ini memanfaatkan kayu-kayu biomasa yang melimpah yang ada didesa pesawaran indah.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penulisan ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada Bab ini menguraikan pada latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya pada penelitian ini, pada batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian ini terarah, pada manfaat penelitian ini juga berguna untuk penerapan kedepannya, dan sistematika penulisan berupa format dan contoh yang dipakai pada penulisan laporan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan isi teori-teori dasar yang menjelaskan tentang meliputi :

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan lokasi/tempat dan waktu penelitian yang dilakukan serta alur tahapan pelaksanaan penelitian ini.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan tentang data hasil analisis proses pengeringan pada mesin pengering dan pembahasan analisis data-data yang telah didapatkan pada setelah pengujian.

V. PENUTUP

Pada bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau hasil dari penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kakao

Kakao (*Theobroma cacao*) merupakan salah satu komoditas perkebunan utama di Indonesia yang banyak diolah menjadi berbagai produk, seperti cokelat dan bubuk kakao. Produk berbahan dasar kakao sangat digemari oleh berbagai kalangan, terutama anak-anak dan remaja, karena rasanya yang gurih serta aromanya yang khas (Farhanandi & Indah, 2022). Indonesia sendiri termasuk dalam tiga negara penghasil kakao terbesar di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana, dengan produksi mencapai lebih dari 1,3 juta ton per tahun, di mana sekitar 90% perkebunan kakao dikelola oleh petani rakyat (Sabahnur dkk., 2025). Biji kakao diketahui mengandung senyawa polifenol seperti flavanol dan proisianidin yang berfungsi sebagai antioksidan dan memberikan berbagai manfaat fisiologis bagi kesehatan. Di tingkat budidaya, para petani di Indonesia banyak menggunakan klon unggulan seperti Sulawesi 1 dan Sulawesi 2 karena kedua klon ini memiliki produktivitas tinggi serta menghasilkan biji kakao dengan kualitas yang baik (Arsana dkk., 2023).



Gambar 2.1 Buah kakao

Sumber : (Farhanandi 2022).

Buah kakao memiliki variasi bentuk, ukuran, dan warna sesuai tingkat kematangannya. Pada Gambar 2.1 terlihat tiga contoh buah kakao yang berbeda. Buah pertama berwarna kuning dengan ukuran 16,3 cm × 7,8 cm, menandakan bahwa buah tersebut hampir mencapai tahap matang. Buah kedua masih berwarna hijau dengan ukuran 21,1 cm × 7,4 cm, menunjukkan bahwa buah tersebut masih muda. Sementara itu, buah ketiga berwarna kemerahan kecokelatan berukuran 21,7 cm × 9,7 cm, yang menandakan buah yang sudah lebih tua atau mendekati kematangan penuh. Di dalam setiap polong kakao terdapat biji yang diselimuti pulp manis, dan biji inilah yang menjadi bahan baku pembuatan cokelat. Setelah dipanen, biji dikeluarkan dari polong lalu difermentasi, dikeringkan, dan dipanggang untuk menghasilkan aroma dan rasa khas cokelat. Kandungan air biji kakao segar masih sangat tinggi, yaitu sekitar 50–60% (Rahman dkk., 2024), sedangkan menurut BSN SNI 2323:2008 kadar air yang memenuhi standar mutu adalah maksimal 7,5%.

Buah kakao memiliki peran penting tidak hanya dalam industri makanan, tetapi juga dalam aspek ekonomi dan sosial karena menjadi sumber penghidupan bagi jutaan petani di berbagai negara berkembang. Menurut (Cherie dkk., 2023), pengaturan suhu yang tepat pada proses pengeringan biji kakao setelah fermentasi sangat menentukan mutu biji kakao kering. Jika suhu pengeringan terlalu tinggi, waktu pengeringan dapat berubah dan memengaruhi kualitas akhir. Sebaliknya, suhu yang terlalu rendah dapat menurunkan mutu dan kandungan biji, sehingga berdampak buruk pada kualitas produk yang akan dipasarkan, terutama untuk ekspor. Di Indonesia, banyak petani masih mengandalkan pengeringan tradisional dengan menjemur biji kakao di bawah sinar matahari, yang sering menjadi hambatan ketika cuaca tidak mendukung, seperti saat musim hujan. Secara umum, terdapat 2 proses pengeringan kakao:

1. Pengeringan dengan sinar matahari alami:

Biji kakao yang telah melalui proses fermentasi biasanya dikeringkan dengan cara dijemur di atas balai-balai bambu atau tikar pada area terbuka

yang mendapat paparan sinar matahari langsung. Selama proses penjemuran, ketinggian tumpukan biji tidak boleh melebihi tiga lapis agar sirkulasi udara tetap baik dan pengeringan berlangsung merata. Lama penjemuran umumnya sekitar lima hari, tetapi dapat berubah tergantung intensitas matahari. Pengeringan yang baik harus mampu menurunkan kadar air biji dari sekitar 70–80% hingga mencapai standar SNI, yaitu di bawah 7,5% (Badan Standardisasi Nasional SNI 2323:2008, 2017). Metode ini dinilai mampu menjaga aroma khas kakao serta meminimalkan pertumbuhan jamur, sehingga banyak digunakan oleh petani.

2. Pengeringan menggunakan mesin:

Selain penjemuran alami, biji kakao juga dapat dikeringkan menggunakan mesin seperti *kabinet dryer* atau oven. Keunggulan metode ini adalah suhu pengeringan dapat dikontrol secara elektronik, biasanya pada rentang 50°C hingga 60°C untuk mendapatkan hasil yang optimal. Proses ini dapat pula dikombinasikan dengan energi matahari, listrik, atau tungku pembakaran agar lebih efisien dan berkelanjutan. Waktu pengeringannya relatif lebih singkat dibanding metode alami. Sama seperti pengeringan matahari, pengeringan dengan mesin juga bertujuan menurunkan kadar air biji dari sekitar 70–80% hingga memenuhi standar SNI di bawah 7,5% (Badan Standardisasi Nasional SNI 2323:2008, 2017), dapat dilihat pada gambar 2.2.

<u>No</u>	Parameter	Satuan	Persyaratan
1	Serangga hidup	-	Tidak ada
2	Kadar air (b/b)	%	<u>Maks 7,5</u>
3	Biji berbau asap & berbau asing	-	Tidak ada
4	Kadar benda asing (b/b)	%	Tidak ada
5	Kadar biji pecah (b/b)	%	<u>Maks. 2</u>

Gambar 2. 2 Syarat SNI mutu biji kakao

Sumber : (BSN SNI 2323:2008, 2017).

2.2 Pengeringan

Pengeringan merupakan suatu proses pemindahan panas dan uap air simultan, yang membutuhkan energi untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan. Pengeringan juga dapat disebut penghilangan sebagian atau keseluruhan uap air dari suatu bahan atau penghidratan (Tjanring dkk., 2025). Prinsip pengeringan terdiri dari dua hal yaitu panas yang diberikan pada bahan dan air yang perlu dikeluarkan dari bahan. Tujuan dilakukan pengeringan dalam komoditas pertanian adalah untuk menurunkan kadar air pada bahan dengan penambahan panas untuk mendorong air pada bahan keluar sehingga mempunyai daya simpan yang lebih lama, selain itu pengeringan perlu dilakukan untuk meningkatkan daya tahan, mengurangi biaya pengemasan, mengurangi bobot pengangkutan, memperbaiki cita rasa bahan dan mempertahankan kandungan nutrisi bahan.

Pengeringan dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan sinar matahari dan dilakukan secara mekanis dengan cara menggunakan alat pengering buatan. Pengeringan menggunakan sinar matahari mempunyai kekurangan yaitu pengeringan sangat bergantung pada cuaca, memerlukan daerah pengeringan yang luas dan rentan tercampur dengan zat asing, sementara pengeringan menggunakan alat pengering buatan dapat dilakukan dimana saja dan tidak bergantung dengan cuaca dan lebih higienis (Sebayang, dkk., 2024). Menurut (Rachmatullah dkk., 2021) hasil dari proses pengeringan yaitu bahan kering yang memiliki kadar air yang setara dengan kadar air keseimbangan udara normal atau dengan nilai aktivitas air yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatis, dan kimiawi. Untuk mengetahui laju pengeringan dapat dihitung dengan persamaan (2.1) :

$$W_a = \frac{m_o - m_1}{T_p} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

W_a = laju pengeringan

m_o = Massa air dalam bahan

m_1 = Massa bahan produk dalam kering

T_p = Waktu pengeringan

Melakukan perhitungan efisiensi termal pengeringan menggunakan persamaan :

$$Q_{serap} = (massa_{awal} - massa_{akhir}) \times hfg \text{ (tabel A4 termo)} \dots\dots (2.2)$$

$$Q_{in} = \dot{m} \times Cp \times \Delta T (T_{in \text{ ruang}} - T_{ruang}) \times t \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\eta = \frac{Q_{sersp}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

η = Efisiensi pengeringan (%)

Q_{sersp} = Q penguapan air dari bahan (kJ/s)

Q_{in} = Q energi panas masuk (kJ/s)

Menghitung panas yang hilang selama proses pengeringan (Q_{loss}) persamaa (2.5).

$$Q_{loss} = Q_{in} - Q_{serap} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

Q_{loss} = panas yang hilang selama proses pengeringan (kJ/s)

Q_{in} = Q energi panas masuk (kJ/s)

Q_{sersp} = Q penguapan air dari bahan (kJ/s)

Menghitung Nilai *heat loss* (kehilangan panas) persamaan (2.6) :

$$Heat\ loss = \frac{Q_{loss}}{Q_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

Heat loss = kehilangan panas (%)

Q_{loss} = panas yang hilang selama proses pengeringan (kJ/s)

Q_{in} = Q energi panas masuk (kJ/s)

2.3 Pengeringan Kakao

Pengeringan biji kakao adalah tahapan yang sangat penting dalam proses pengolahan biji kakao pascapanen yang bertujuan untuk menurunkan kadar air biji kakao dari kondisi basah (sekitar 46 – 60%) menjadi kadar air yang optimal yaitu sekitar 5 – 7% supaya biji dapat disimpan dengan aman tanpa resiko pertumbuhan *mikroorganisme* dan kerusakan mutu (Ifmalinda dkk., 2023). Selain itu, pengeringan berperan dalam mengembangkan cita rasa, aroma, dan warna yang khas dari kakao yang sangat menentukan nilai jual dan daya saing produk di pasar domestik maupun internasional.

Proses pengeringan yang tidak tepat dapat menyebabkan kerusakan mutu biji kakao, seperti perubahan warna yang tidak diinginkan, penurunan kadar lemak, peningkatan asam lemak bebas, serta muncul aroma dan rasa yang kurang sedap. Pemilihan metode pengeringan, pengaturan suhu, lama waktu pengeringan, dan, media pengeringan menjadi aspek penting yang harus diperhatikan untuk menghasilkan biji kakao dengan nilai mutu yang optimal. Berikut ini merupakan metode pengeringan biji kakao, pengaturan suhu dan lama waktu pengeringan biji kakao:

2.3.1 Metode pengeringan kakao

Metode pengeringan biji kakao yang seing atau umum digunakan adalah sebagai berikut:

1. Penjemuran dengan sinar matahari

Penjemuran menggunakan sinar matahari merupakan teknik penjemuran secara tradisional, metode ini masih banyak digunakan para petani karena biayanya yang murah dan mudah untuk dilakukan. Penjemuran ini biasa dilakukan diatas lantai semen atau terpal. Namun, metode penjemuran menggunakan matahari sangat bergantung dengan kondisi cuaca dan memerlukan waktu yang cukup lama, sekitar 9 – 12 hari untuk mencapai kadar air yang ideal (Santoso dkk., 2024).

2. Pengeringan mekanik (alat pengering)

Pengeringan mekanik biasanya menggunakan oven, *cabinet dryer*, atau mesin pengering tipe *tray* dengan menggunakan suhu yang terkontrol antara 50 – 60°C. Pengeringan menggunakan alat pengering dapat mempercepat waktu pengeringan menjadi 8 – 24 jam dengan menghasilkan kadar air akhir yang lebih seragam dan nilai mutu fisik dan *organoleptic* yang lebih stabil (Pramuji dkk., 2022).

3. Pengeringan *hybrid*

Pengeringan ini adalah pengeringan kombinasi antara energi matahari dan energi gas atau listrik sebagai media pemanasnya, yang bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi waktu dan kualitas hasil pengeringan. Pengeringan *hybrid* dapat menurunkan waktu pengeringan hingga 9 hari dibandingkan penjemuran konvensional yang memerlukan waktu 11 – 12 hari.

2.3.2 Pengaruh suhu dan lama pengeringan

Suhu dan durasi pengeringan merupakan dua hal yang sangat menentukan kualitas biji kakao. Menurut (Sudarsa dkk., 2023) suhu

pengeringan yang optimal berapa pada kisaran suhu 50 - 60°C. Pada rentan suhu ini, kadar lemak dan rendemen dari biji kakao cenderung lebih tinggi, serta laju pengeringan berlangsung secara efisien tanpa merusak senyawa penyusun aroma dan rasa dari kakao. Sedangkan pengeringan pada suhu diatas 70°C dapat meningkatkan keasaman biji kakao dan menurunkan mutu organoleptic akibat terjadinya reaksi oksidasi yang tidak sempurna, serta pengerasan pada lapisan kulit biji kakao yang menghambat pelapisan senyawa volatile asam.

Durasi pengeringan juga harus diperhatikan dengan baik. Karena lama pengeringan yang terlalu singkat dapat menyebabkan kadar air dalam biji kakao tidak merata, sehingga menghasilkan rasa yang kurang optimal dan memperbesar resiko kerusakan pada saat penyimpanan. Sementara pengeringan yang berlangsung terlalu lama berpotensi memicu pertumbuhan jamur serta menurunkan kualitas fisik dan sensori biji kakao. Oleh karena itu pengaturan suhu dan waktu pengeringan yang tepat sangat dibutuhkan untuk menghasilkan biji kakao kering dengan mutu yang optimal.

2.4 Jenis – jenis Alat Pengering

Pada kehidupan sehari-hari terdapat berbagai macam – jenis alat pengering, yang sering kita jumpai yaitu seperti berikut.

2.4.1 Flat – bed (tray) dryer

Flat-bed dryer (sering disebut *tray dryer* atau *static flat-bed dryer*) adalah alat pengering sederhana berupa rak datar atau petak yang menampung bahan dalam satu lapisan tipis. Panas disalurkan ke bawah atau dari samping dan udara hangat mengalir melewati lapisan biji, sehingga kelembapan diangkat secara difusi ke permukaan dan diangkat oleh aliran udara. Alat ini banyak dikembangkan untuk skala kecil hingga menengah karena konstruksinya sederhana, mudah dibuat lokal,

dan cocok untuk petani yang ingin menggantikan penjemuran terbuka tanpa bergantung penuh pada cuaca. *Flat-bed dryer* dapat berupa sistem beraliran tetap atau berbalik (*reversible airflow*) untuk meratakan pengeringan. Keuntungan utamanya adalah biaya investasi relatif rendah dan pengoperasian sederhana; kekurangannya adalah kapasitas terbatas dan kecepatan pengeringan lebih lambat dibandingkan *rotary dryer*. Dapat dilihat pada gambar 2.3 merupakan alat *Flat-bed dryer*.



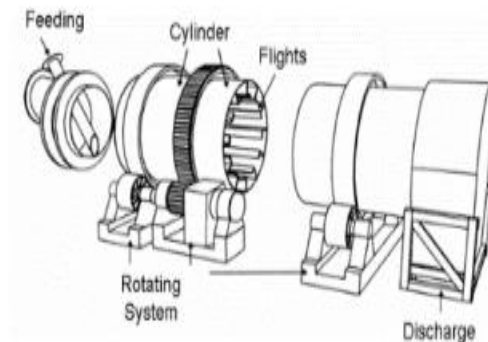
Gambar 2. 3 *Flat-bed dryer*.

Sumber (Dubey dkk., 2019)

2.4.2 *Rotary dryer*

Rotary dryer (pengering drum/*rotary*) adalah silinder besar yang berputar pada porosnya dan dirancang untuk pengeringan kontinu bahan berbutir seperti biji kakao. Biji dimasukkan ke dalam drum yang dipanaskan (sumber panas bisa biomassa, gas, atau listrik) dan diangkat-jatuhkan berulang oleh lifter (pengangkat internal) sehingga setiap butir mendapat paparan udara panas yang merata. Desain lifter, kecepatan rotasi, suhu udara, dan laju aliran udara adalah parameter kritis yang menentukan efisiensi dan kualitas pengeringan. *Rotary dryer* cocok untuk kapasitas besar karena mampu memproses volume besar secara terus-menerus dengan waktu tinggal (*residence time*) yang dapat diatur. Kelebihan utamanya adalah kapasitas tinggi dan efisiensi untuk

pengeringan massal; kelemahannya adalah investasi awal tinggi, kebutuhan perawatan, dan potensi kerusakan mekanis pada biji jika desain tidak sesuai. Dapat dilihat alat *Rotary dryer* pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2. 4 *Rotary dryer*

Sumber :(Marcel dkk ., 2024)

2.4.3 *Cabinet dryer*

Oven pengering atau *cabinet dryer* adalah ruang tertutup berisi rak/radai yang memuat bahan dalam beberapa baki (*tray*). Udara panas yang dihasilkan pemanas (elektrik, gas, atau sumber lain) bersirkulasi di dalam kabinet sehingga kelembapan diangkat dari bahan ke udara lalu dibuang melalui ventilasi. Oven ini memungkinkan kontrol suhu dan kelembapan yang baik sehingga cocok untuk pengeringan yang memerlukan kondisi terkontrol guna menjaga sifat kimia dan organoleptik biji kakao (mis. perlindungan terhadap degradasi aroma). Oven kabinet banyak dipakai dalam laboratorium, pengolahan skala kecil hingga menengah, dan sebagai standar perbandingan dalam studi ilmiah karena kondisi pengeringannya konsisten dan dapat direproduksi. Kelebihan oven adalah kontrol proses yang baik dan kualitas hasil yang konsisten; kelemahannya adalah kapasitas terbatas per siklus dan kebutuhan energi (listrik atau bahan bakar). Dapat dilihat pada gambar 2.5 *cabinet dryer*.



Gambar 2. 5 *cabinet dryer*

Sumber : (Mujaffar dkk., 2017)

2.5 Kadar Air Bahan

Kadar air adalah jumlah atau persentase air yang terkandung didalam suatu bahan, yang mempengaruhi kualitas, daya simpan, dan sifat fisik dari suatu bahan. Dalam simplisia dan bahan makanan, kadar air yang sesuai dapat mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan menjaga kesetabilan dari produk selama penyimpanan (Wandira, dkk., 2023). Pengeringan sebaiknya tidak dilakukan dengan sinar matahari langsung, karena paparan sinar ultraviolet dan suhu yang terlalu tinggi dapat merusak kandungan kimia dalam bahan.

Kadar air dapat diukur dengan metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung yang paling umum digunakan adalah metode gravimetric, khususnya metode oven kering (*thermogravimetri*), dimana sampel dipanaskan dengan suhu 105 - 110°C sampai beratnya konstan. Selisih dari berat sebelum dan sesudah pengeringan digunakan untuk menghitung kadar air. Metode ini diakui oleh AOAC sebagai standar pengukuran kadar air dikarenakan akurasi yang tinggi, walaupun membutuhkan waktu yang lama (Warmiati & Nurhidayati, 2024).

Selain metode oven, terdapat metode alternatif yang memakai alat elektronik yaitu *Moisture Analyzer* yang menggunakan halogen atau infrared sebagai prinsip pengeringan, dan mengukur kadar air berdasarkan sifat listrik bahan digunakan *moisture* meter tipe kapasitasi dan resistansi. Metode ini memiliki akurasi yang lebih rendah dari oven namun memiliki waktu yang lebih cepat dan praktis (Wijaya dkk., 2025).

Kadar air basis basah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7):

$$Ka = \frac{w_1 - w_2}{w_2} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

Ka = Kadar air basis basah (%)

W1 = Massa awal basah (kg)

W2 = Massa akhir kering (kg)

Sementara untuk perhitungan penurunan pada kadar air tiap jam dapat dihitung dengan persamaan (2.8).

$$\text{Penurunan kadar air tiap jam (\%)} = \frac{W_t - W_k}{W_o} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

W_t = Massa di waktu tertentu (kg)

W_k = Massa pada kondisi seimbang (kg)

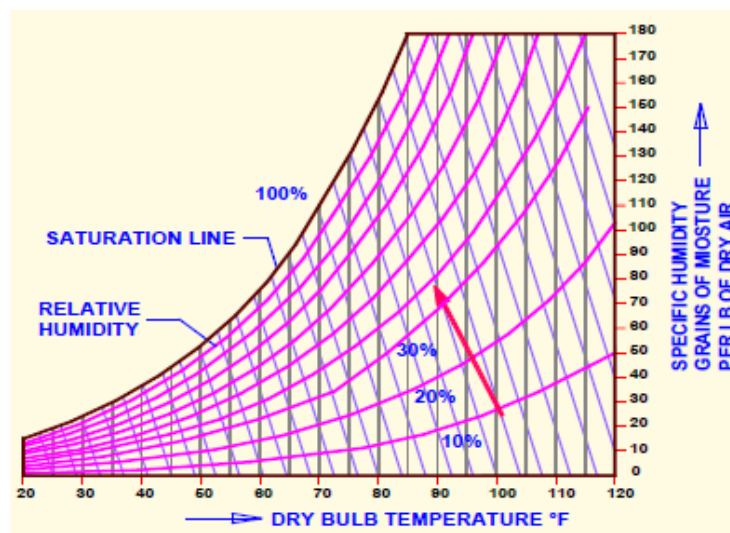
W_o = Massa awal kandungan air (kg)

2.6 Sifat – sifat udara basah

Kelembapan udara adalah ukuran banyaknya uap air yang terdapat di udara. Ketika jumlah uap air di udara meningkat, maka kelembapannya juga semakin tinggi. Besarnya uap air yang dapat ditampung udara sangat

dipengaruhi oleh suhu. Pada suhu rendah, udara hanya mampu menampung sedikit uap air untuk mencapai kondisi jenuh. Ilmu yang mempelajari karakteristik udara beserta kandungan uap airnya disebut psikometri. Bidang ini juga membahas sifat termodinamika udara lembap dan digunakan untuk memahami perubahan sifat panas dan kelembapan pada sistem pengkondisian udara.

Faktor-faktor yang dapat memengaruhi kelembapan di suatu daerah antara lain suhu, intensitas penyinaran matahari, pergerakan angin, tekanan udara, kondisi vegetasi, serta ketersediaan air tanah. Kelembapan udara sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu kelembapan absolut dan kelembapan relatif. Kelembapan absolut menunjukkan jumlah uap air dalam satu kilogram udara dan biasanya dinyatakan dalam satuan gram per kilogram (g/kg), atau bisa juga dihitung per volume udara dalam satuan gram per meter kubik (g/m³). Sementara itu, kelembapan relatif (*Relative Humidity* atau RH) adalah perbandingan antara jumlah uap air yang ada di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu yang sama. Nilai RH sangat dipengaruhi oleh suhu udara dan proses perpindahan uap air dari tanaman atau tanah ke udara, yang terjadi akibat perbedaan tekanan uap antara sumber uap air dan udara sekitarnya.



Gambar 2.6 Diagram psikometrik

Sumber :Jacob dan Ebin 2021

Gambar 2.6 menunjukkan diagram psikrometri yang digunakan untuk mempelajari berbagai sifat udara lembap secara termodinamika. Diagram ini membantu menjelaskan dan menganalisis bagaimana udara berubah sifatnya, terutama pada proses dan siklus sistem pengkondisian udara. Komposisi udara kering dapat berbeda-beda tergantung wilayah dan waktu, sehingga sifat udaranya pun bisa berubah. Melalui diagram psikrometri, beberapa karakteristik udara dapat diketahui, seperti suhu udara kering, suhu udara basah, kelembapan relatif, volume spesifik, serta kelembapan spesifik (Jacob., 2021).

1. Temperatur bola kering (*Dry-bulb temperature*, T_{db})

Temperatur bola kering adalah suhu udara yang diukur menggunakan termometer biasa tanpa dipengaruhi oleh kelembapan. Nilai ini menunjukkan suhu udara sebenarnya dan menjadi dasar dalam banyak perhitungan tentang sifat udara.

2. Temperatur bola basah (*Wet-bulb temperature*, T_{wb})

Temperatur bola basah adalah suhu terendah yang dapat dicapai udara ketika air menguap pada tekanan tetap. Pengukuran dilakukan dengan membungkus ujung termometer menggunakan kain basah dan mengalirkan udara melewatinya. Selisih antara suhu bola kering dan bola basah menunjukkan tingkat kekeringan udara — semakin besar selisihnya, semakin kering udaranya.

3. Kelembapan relatif (*Relative humidity*, RH)

Kelembapan relatif adalah perbandingan antara jumlah uap air yang ada di udara dengan jumlah maksimum uap air yang bisa ditampung udara pada suhu tertentu. Nilai ini dinyatakan dalam persen (%).

4. Volume spesifik (*Specific volume*, v)

Volume spesifik adalah jumlah ruang yang ditempati udara lembap untuk setiap satu kilogram udara kering, dinyatakan dalam satuan m^3/kg .

Nilainya akan meningkat jika suhu atau kadar uap air di udara semakin tinggi.

5. Kelembapan mutlak atau kelembapan spesifik (*humidity ratio*, ω)

Kelembapan mutlak menunjukkan jumlah uap air dalam udara, dinyatakan sebagai massa uap air per satuan massa udara kering (kg uap air/kg udara kering). Nilai ini menggambarkan seberapa banyak uap air yang terkandung di dalam udara.

6. *Enthalpy* (h)

Enthalpy adalah total energi panas yang terdapat dalam udara lembap, dinyatakan dalam kJ/kg udara kering. *Enthalpy* mencakup panas karena suhu udara (panas sensibel) dan panas yang berasal dari kandungan uap air (panas laten).

Menurut (Cengel dkk., 2019), rumus dari Tekanan uap air aktual dari T_{wb} dapat dilihat pada persamaan (2.9) Sebagai berikut:

$$P_w = P_{ws}(T_{wb}) - \gamma (T_{db} - T_{wb}) \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

P_{ws} = tekanan parsial uap air dalam udara (kPa)

$P_{ws}(T_{wb})$ = tekanan uap jenuh pada temperatur bola basah (kPa)

γ = konstanta psikrometrik (kPa/°C)

T_{db} = temperatur bola kering (°C)

T_{wb} = temperatur bola basah (°C)

Kelembaban relatif dapat dihitung menggunakan persamaan (2.10) sebagai berikut:

$$\phi = \frac{P_w}{P_{ws}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

ϕ = kelembaban relatif (%)

P_w = tekanan parsial uap air dalam udara (kPa)

$P_{ws}(T_{wb})$ = tekanan uap jenuh pada temperatur bola basah (kPa)

Kelembaban mutlak dapat dihitung menggunakan persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$\omega = 0,622 \cdot \frac{p_w}{p-p_w} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

ω = kelembaban mutlak (g/m²)

P_w = tekanan parsial uap air dalam udara (kPa)

$P_{ws}(T_{wb})$ = tekanan uap jenuh pada temperatur bola basah (kPa)

0,622 = rasio massa molekul air

Menghitung entalpi udara dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12) sebagai berikut:

$$h = C_p \cdot T + \omega \cdot (h_v + C_{pv} \cdot T_{db}) \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

h = entalpi udara

C_p = kalor jenis udara kering (kJ/ (kg.K))

T = suhu udara (K atau °C)

ω = rasio kelembaban (g/m²)

h_v = panas penguapan uap air

p_v = kalor jenis uap

Volume spesifik dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13) sebagai berikut:

$$U = \frac{0,287 \cdot T_{db} + 273}{p - P_w} \cdot (1 + 1,607 \cdot \omega) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

U = volume spesifik udara lembab (m^3/kg udara kering)

T_{db} = temperatur bola kering ($^{\circ}C$)

P = tekanan atmosfer (kPa)

P_w = tekanan parsial uap air dalam udara (kPa)

ω = rasio kelembaban (g/m^2)

2.7 Tungku biomassa

Tungku biomassa adalah alat pembakaran yang digunakan untuk menghasilkan panas dari bahan organik seperti kayu, tempurung kelapa, serbuk gergaji, dan limbah pertanian lainnya. Biomassa banyak dipilih sebagai sumber energi karena sifatnya yang terbarukan, mudah ditemukan di lingkungan sekitar, dan lebih murah dibandingkan bahan bakar fosil. Menurut (Khanam dkk., 2022), biomassa memiliki nilai kalor yang cukup besar sehingga mampu menghasilkan panas yang stabil. Hal ini membuatnya sangat cocok digunakan dalam proses pengeringan hasil pertanian, termasuk biji kakao. Secara umum, tungku biomassa terdiri dari ruang pembakaran, saluran untuk menyalurkan panas ke ruang pengering, dan cerobong asap. Kinerja tungku sangat dipengaruhi oleh desain ruang bakar serta pengaturan aliran udara. (Rohman & Amrullah, 2022) menjelaskan bahwa jika udara primer dan sekunder diatur dengan baik, maka proses pembakaran akan lebih efisien.

Pembakaran yang baik menghasilkan suhu tinggi dan asap yang lebih sedikit, sehingga proses pengeringan dapat berjalan lebih cepat dan merata.

Sejumlah penelitian juga telah mengembangkan desain tungku biomassa agar lebih efisien. (Rohman & Amrullah, 2022)) menambahkan aliran udara sekunder pada tungku sehingga proses pembakaran lebih sempurna, menghasilkan panas lebih tinggi, dan mengurangi sisa pembakaran. (Risano dkk., 2022) merancang tungku tipe downdraft yang memiliki efisiensi termal 32–38%, lebih baik dibandingkan tungku tradisional. Inovasi ini menunjukkan bahwa tungku biomassa tidak hanya murah dan mudah dibuat, tetapi juga dapat ditingkatkan agar lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Secara keseluruhan, tungku biomassa sangat sesuai digunakan untuk pengeringan komoditas pertanian di Indonesia. Selain biaya operasional yang rendah, tungku ini mampu menyediakan panas yang stabil untuk menurunkan kadar air kakao hingga mencapai standar SNI 2323:2008, yaitu $\leq 7,5\%$. Dengan desain yang tepat, tungku biomassa dapat menghasilkan biji kakao kering yang berkualitas serta mendukung proses pascapanen yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Energi yang berasal dari proses pembakaran maka dapat dihitung dengan persamaan (2.14) menurut (Satria dkk., 2021) sebagai berikut:

$$E = m \cdot LHV \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

m = Konsumsi bahan bakar (kg)

LHV = Low Heating Value (kJ/kg)

Menghitung laju aliran massa (\dot{m}) bahan bakar dapat dihitung menggunakan persamaan (2.15) sebagai berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\text{massa bahan bakar}}{\text{waktu habis bahan bakar}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

\dot{m}_{bb} = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

Massa bahan bakar (kg)

Waktu habis bahan bakar (s)

Menghitung energi yang masuk pada tungku (Q_{bb}) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.16) sebagai berikut:

$$Q_{bb} = \dot{m} \times LHV \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

Q_{bb} = Energi yang masuk tungku (kJ/s)

\dot{m} = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

LHV = Low Heating Value (kJ/kg)

Menghitung energi yang dikeluarkan oleh tungku ($Q_{out\ tungku}$) dihitung menggunakan persamaan (2.16) sebagai berikut:

$$Q_{out\ tungku} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T (T_{in\ ruang} - T_{ruang}) \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan:

$Q_{out\ tungku}$ = Energi yang keluar tungku (kJ/s)

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

C_p = Panas spesifik (kJ/kg.K)

ΔT = Perbedaan suhu (K)

Menghitung efisiensi tungku dapat dihitung menggunakan persamaan (2.17) sebagai berikut:

$$\eta_{tungku} = \frac{Q_{bb}}{Q_{out\ tungku}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

η_{tungku} = Efisiensi tungku (%)

Q_{bb} = Energi yang masuk tungku (kJ/s)

$Q_{out\ tungku}$ = Energi yang keluar tungku (kJ/s)

2.8 Penyebaran udara dari tungku ke ruang pengering

Penyebaran udara panas dari tungku ke ruang pengering merupakan proses yang sangat menentukan kualitas dan kecepatan pengeringan bahan, terutama pada produk pertanian seperti biji kakao. Udara panas yang dihasilkan oleh tungku biomassa dialirkan melalui saluran (*ducting*) menuju ruang pengering, kemudian disirkulasikan secara merata dengan bantuan blower atau kipas. Distribusi udara yang baik sangat penting karena ketidakseragaman suhu dan kecepatan udara dapat menyebabkan perbedaan kadar air antar lapisan bahan, sehingga mutu akhir produk tidak merata. Penelitian oleh (Santander dkk., 2025) menjelaskan bahwa pemerataan aliran udara merupakan faktor kunci pada proses pengeringan kakao berbasis panas tidak langsung.

Secara teori, penyebaran udara panas dalam sistem pengering dianalisis menggunakan rumus dasar perpindahan fluida dan perpindahan panas. Debit udara yang masuk ke ruang pengering dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$Q = A \cdot v \dots\dots\dots 2.18$$

Keterangan :

Q = Debit udara

A = Luas penampang saluran

V = Kecepatan aliran udara

Hubungan ini penting untuk mengetahui seberapa besar suplai udara panas dari tungku, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian (Furnace dkk., 2023) tentang distribusi udara pada sistem pemanas berbahan bakar biomassa. Setelah debit udara diketahui, laju aliran massa udara dihitung menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \dots\dots\dots 2.19$$

Keterangan:

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

ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

V = Kecepatan udara (m/s)

A = Luas penampang (m²)

2.9 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi panas dari satu daerah ke daerah lain yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara kedua daerah tersebut. Dalam ilmu termodinamika dan rekayasa termal, perpindahan panas adalah fenomena penting yang menjelaskan bagaimana energi kalor berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah hingga mencapai kesetimbangan suhu. Besarnya laju perpindahan panas sangat dipengaruhi oleh sifat termal material, luas permukaan kontak, perbedaan suhu, dan kondisi aliran fluida disekitar media yang terlibat (Jamilah, dkk., 2021).

Adapun tiga jenis utama perpindahan panas dibedakan menjadi tiga cara yaitu:

2.9.1 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas yang terjadi melalui zat padat tanpa disertai dengan perpindahan massa, dari suhu tinggi ke suhu rendah akibat dari interaksi antar partikel. Konduksi dapat terjadi dalam keadaan tunak (*steady state*) maupun dalam kondisi tak tunak (*unsteady state*). Hukum fourire menjadi dasar utama dalam analisi perpindahan panas konduksi (As Syukri dkk., 2023). Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.20).

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana:

q = laju perpindahan panas (Watt)

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

A = luas penampang tegak lurus arah perpindahan panas (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = gradient temperatur sepanjang arah perpindahan panas ($^{\circ}C/m$)

2.9.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi fluida (cair atau gas) yang bergerak, membawa energi panas dari permukaan benda ke fluida atau sebaliknya. Konveksi dapat dibedakan menjadi dua yaitu konveksi secara alamiah (pergerakan fluida akibat perbedaan densitas) dan konveksi secara paksa (fluida digerakkan oleh alat eksternal). Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.21).

$$q = hA (T_s - T_{\infty}) \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana :

q = laju perpindahan panas (Watt)

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2^{\circ}C$)

A = luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s = suhu permukaan benda ($^{\circ}\text{C}$)

T_{∞} = suhu fluida jatuh dari permukaan ($^{\circ}\text{C}$)

Koefisien perpindahan panas h dapat dihitung menggunakan bilangan *Nusselt*, *Reynolds*, dan Prandtl sesuai kondisi aliran fluida (As Syukri dkk., 2023).

2.9.3 Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang melalui gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan media perantara. Semua benda dengan suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi panas. Besar radiasi yang dipancarkan bergantung pada suhu mutlak dan sifat permukaan benda. Dapat dihitung menggunakan persamaan (2.22).

$$Q = e\sigma A(T_s^4 - T_{lingkungan}^4) \dots \dots \dots (2.22)$$

Dimana:

Q = laju perpindahan panas radiasi (Watt)

e = emisivitas permukaan

σ = konstanta Stefan - Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$)

A = luas permukaan (m^2)

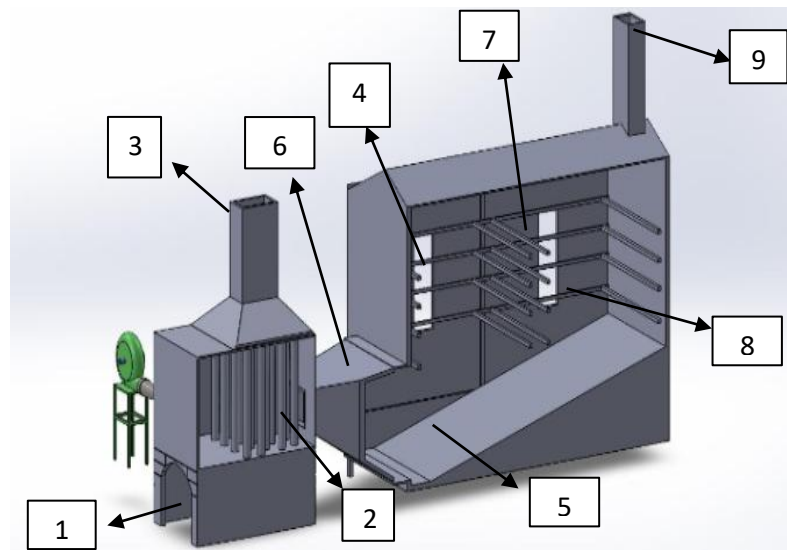
$T_s, T_{lingkungan}$ = suhu permukaan dan lingkungan dalam kelvin (K)

Radiasi sering terjadi bersamaan dengan konduksi dan konveksi dalam sistem perpindahan panas nyata.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Alat

Berikut ini gambar perancangan alat pengering berbasis tungku pembakaran, bisa di lihat pada gambar 3.1 berikut ini:



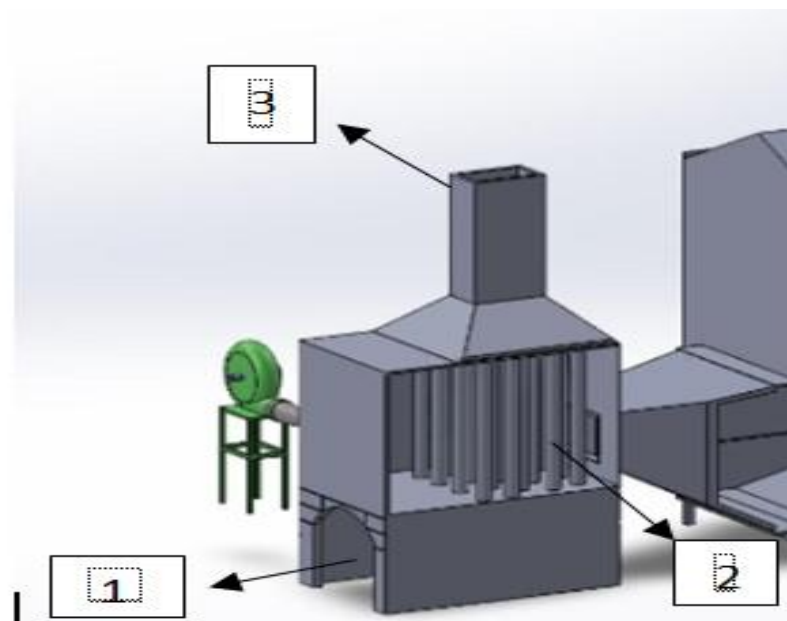
Gambar 3. 1 Perancangan alat pengering dengan *solidworks*.

Keterangan gambar:

1. Ruang pembakaran
2. Pipa baja untuk menghasilkan panas
3. Cerobong *exhaust* tungku
4. Kaca
5. Ruang plenum (ruang kosong yang berbentuk miring berfungsi untuk meratakan dan menyalutkan udara panas ke ruang pengering).

6. Tempat penyambung tungku dan ruang pengering
7. Rak pengering
8. Ruang pengering
9. Cerobong *exhaust* ruang pengering

Berikut ini Berikut ini gambar tungku biomassa, bisa di lihat pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3. 2 Tungku biomassa.

Keterangan gambar :

1. Ruang pembakaran
2. Pipa baja
3. Cerobong *exhaust* tungku

3.2 Proses pembuatan mesin pengering *bed dryer* berbasis tungku biomassa

Adapun proses pembuatan mesin pengering ini selama 1 bulan, dan terdiri dari persiapan alat dan bahan untuk pembuatan mesin pengering *bed dryer* berbasis tungku pembakaran biomassa ini terdiri dari pembuatan rangka

pengering, pembuatan plat dinding pengering, penempelan plat dinding pengering, dan pembuatan tungku sampai *finishing*.

3.2.1 Pembuatan rangka *bed dryer*

Pada proses ini pembuatan rangka *bed dryer* mesin pengering ini terbuat dari besi siku. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Proses pembuatan rangka pengering

3.2.2 Pembuatan dinding pengering

Pada proses ini pembuatan dinding dari plat besi ukuran 2,5 mm dan dilapisi oleh peredam busa didalamnya. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Pembuatan dinding pengering dari plat 2,5 mm.

3.2.3 Penempelan dinding pengering

Proses penempelan dinding pengering pintu, atap pengering dan dinding samping kanan dan kiri. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Proses penempelan dinding pengering ke rangka.

3.2.4 *Finishing* penempelan dinding *bed dryer*

Proses *finishing* pada penempelan dinding *bed dryer* mesin pengering. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3. 6 *Finishing* penempelan dinding *bed dryer*.

3.2.5 Proses pembuatan tungku dan penggabungan dengan ruang pengering.

Pada proses pembuatan tungku ini terdapat 18 pipa bulat berbahan baja yang digunakan sebagai panas. Proses ini dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Proses pembuatan tungku dan penggabungan dengan ruang pengering.

3.3 Waktu dan Tempat penelitian

Adapun pelaksanaan dari penelitian ini dilakukan di lokasi kampus tepatnya di hangar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Pada bulan Agustus 2025.

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini terdapat alat utama dan alat pendukung seperti gambar 3.8 dibawah ini:

3.4.1 Alat pengering



Gambar 3. 8 Pengeringan bed dryer berbasis tungku pembakaran biomassa.

Adapun spesifikasi mesin pengering *bed dryer* berbasis tungku pembakaran biomassa ini dapat dilihat pada tabel 3.2 adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 spesifikasi mesin pengering *bed dryer* berbasis tungku pembakaran biomassa.

Spesifikasi mesin pengering <i>bed dryer</i> berbasis tungku pembakaran biomassa	
1. Tipe	: <i>Bed dryer</i>
2. Model	: Pengering tipe rak
3. Kapasitas	: 4 x 20 kg
4. Dimensi keseluruhan <i>bed dryer</i> (PxLxT):	220x10 x150 cm
5. Ra	: Besi siku
6. Dinding	: Besi plat
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	: Api tungku pembakaran
1. Energi	: Kayu bakar
2. Dimensi tungku (PxlxT)	: 80 x 60 x 150 cm

3.4.2 Blower

Alat yang digunakan untuk menaikkan atau memperbesar tekanan udara atau gas yang akan dialirkan dalam suatu ruangan tertentu dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Blower.

3.4.3 *Thermocouple* (alat pengukur suhu)

Thermocouple (termokopel) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu dua jenis logam konduktor berbeda yang digabungkan pada ujungnya sehingga menimbulkan efek *thermoelektrik* (adalah konversi langsung perbedaan suhu menjadi

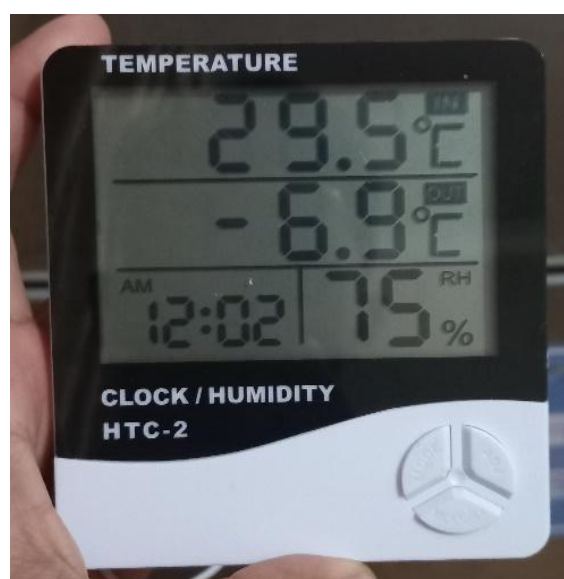
tegangan listrik dan sebaliknya melalui termokopel) dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3. 10 *Thermocouple*.

3.4.4 Alat Kelembaban udara (*Termohygrometer*) *Humdity*

Alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kelembaban udara atau kandungan air di suatu ruangan dapat dilihat pada gambar 3.11,



Gambar 3. 11 *Termohygrometer*.

3.4.5 Termorecorder 12 channel temperature recorder datalogger

Data *logger temperature* berfungsi sebagai alat ukur temperature yang dapat direkam data sampling sebanyak 1 kali sampai 3600 detik dengan keluaran data *excel* secara otomatis dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Termorecorder 12 channel.

3.4.6 Anemometer (Alat ukur *flow* udara pada blower)

Anemometer adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Alat ini bekerja dengan mendeteksi putaran baling – baling atau mangkuk yang berputar tersebut kemudian dikonversi menjadi data kecepatan angin dapat dilihat pada gambar 3.13.



Gambar 3. 13 Anemometer.

3.4.7 Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat atau massa suatu benda, mulai dari bahan makanan hingga barang dagangan dan sampel laboratorium dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Timbangan digital.

3.4.8 Kayu untuk tungku pembakaran

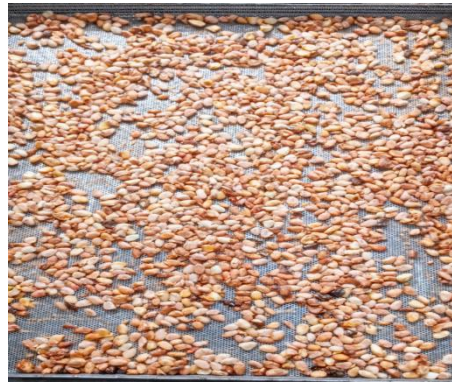
Kayu digunakan untuk bahan bakar tungku dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Kayu bakar.

3.4.9 Buah kakao

Sempel yang digunakan untuk pengujian pengeringan dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Buah kakao.

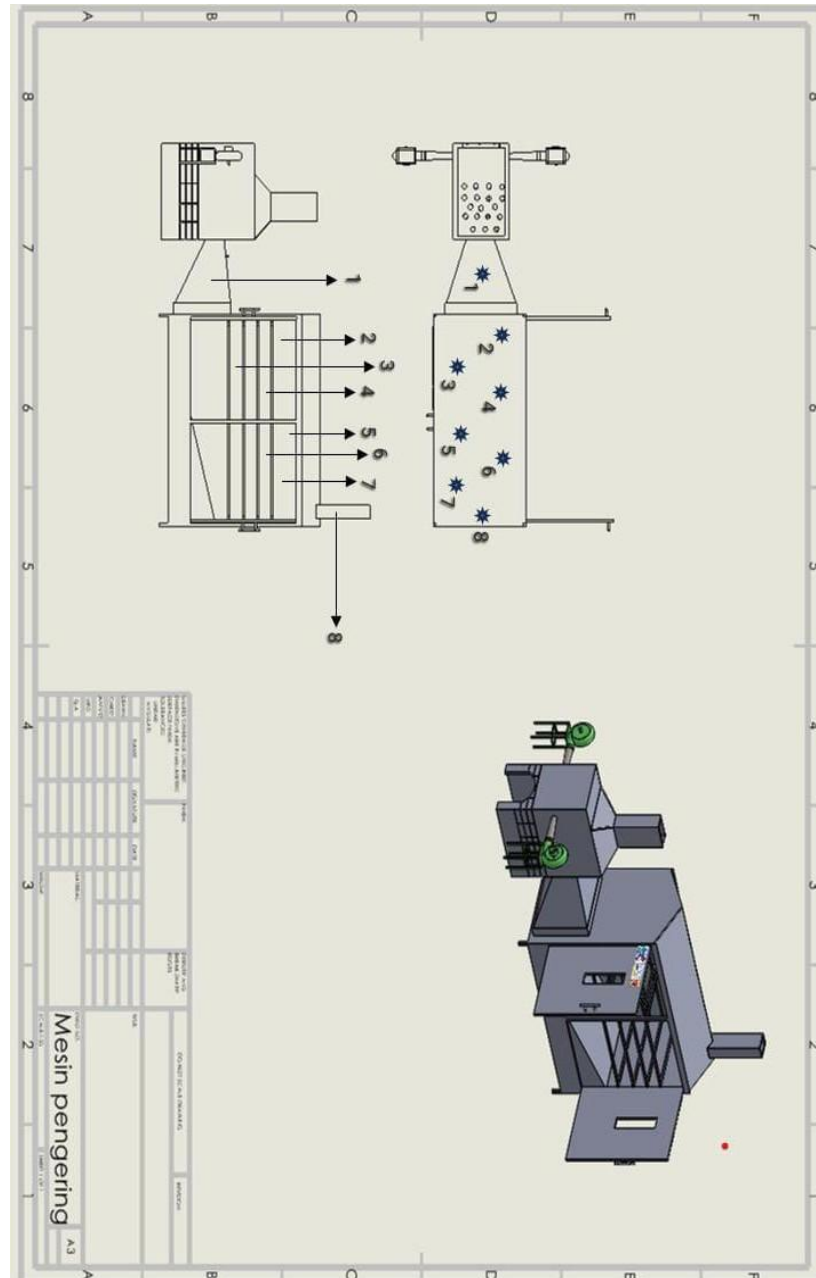
3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan mesin pengering tipe *bed dryer* berbasis tungku pembakaran biomassa. Dengan rumah pengeringannya *bed dryer*. Tujuan penelitian ini adalah mengukur suhu ruang dan kelembaban udara selama proses pengeringan, dengan biji kakao sebagai sempel penelitian. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis laju pengeringan pada alat pengering tersebut serta menghitung kadar air pada kakao. Penelitian ini menggunakan dua variasi blower yang berfungsi untuk mendorong udara panas dari tungku ke ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung. Untuk menganalisis laju pengeringan dan menentukan nilai kadar air pada alat pengering dibutuhkan alat dan bahan sebagai berikut:

1. Alat pengering hasil pertanian tipe *bed dryer* berbasis tungku pembakaran biomassa.
2. *Termorecorder 12 channel temperature recorder datalogger*.
3. *Thermocouple*.

4. *Anemometer*.
5. *Hygrometer*.
6. Blower
7. *Grain Moisture Meter*.

Pengamatan temperatur pada ruang pengering diletakkan pada 8 titik sensor *thermocouple* seperti pada gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3. 17 Letak *thermocouple* pengamatan temperatur proses pengeringan

Keterangan gambar 3.17 letak *thermocouple* pengamatan temperatur proses pengeringan :

1. Letak termokopel T_{in}
2. Letak termokopel T_2
3. Letak termokopel T_3
4. Letak termokopel T_4
5. Letak termokopel T_5
6. Letak termokopel T_6
7. Letak termokopel T_7
8. Letak termokopel T_{out}

3.6 Prosedur Penelitian

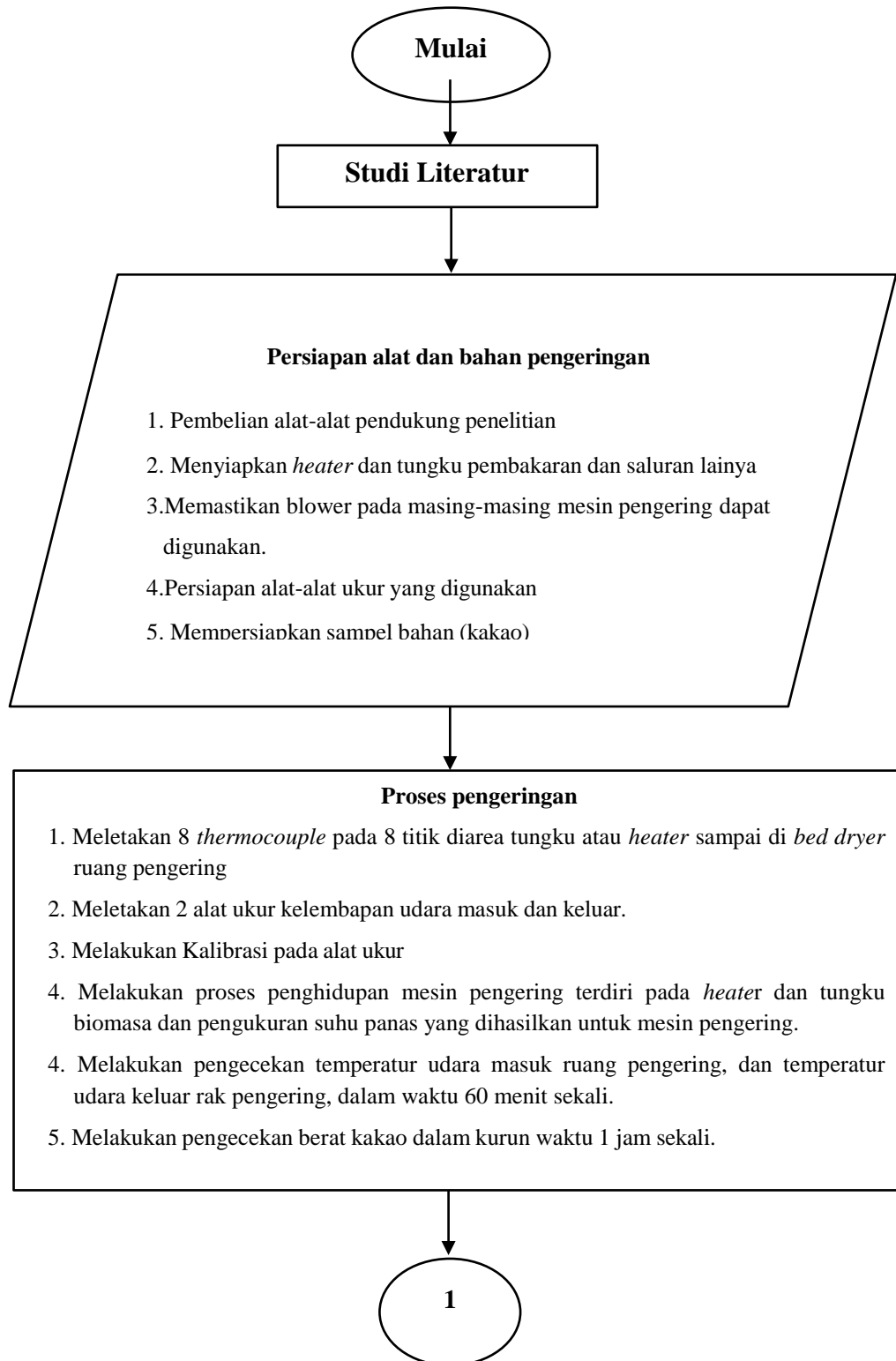
Adapun prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

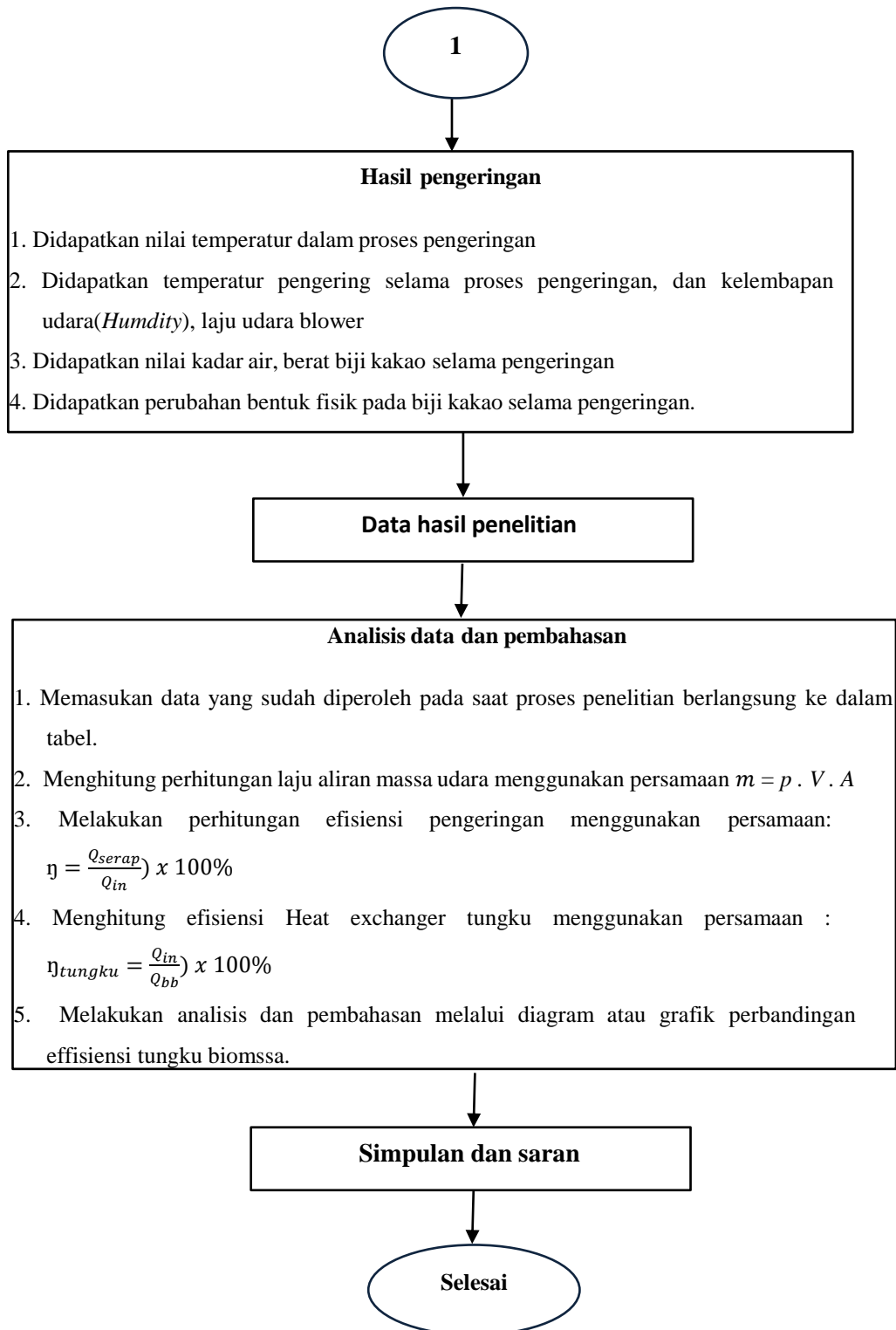
1. Mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan sebagai penelitian. Kemudian kalibrasi alat ukur yang akan digunakan seperti *thermocouple*, dan *hydrometer* alat pengukur kelembaban udara.
2. Mempersiapkan dan menghitung kapasitas kakao yang akan dikeringkan.
3. Mengkalibrasi *thermocouple* dengan menggunakan es batu kemudian memasangnya pada 8 titik *thermocouple* dan alat *hygrometer* untuk mendapatkan data temperature.
4. Menyiapkan kayu bakar dan memasang blower pada mesin pengering.
5. Menyiapkan kakao ke dalam loyang dan masukan kedalam rak.
6. Selanjutnya tutup pintu ruang pengering hingga rapat.
7. Selanjutnya hubungkan blower ke terminal untuk menghidupkannya.
8. Setelah menyala blower akan menyemburkan udara bersih didalam tungku.

9. Selanjutnya menghidupkan api dari tungku pembakaran hingga menghasilkan suhu uap panas. Setelah tungku menghasilkan uap panas blower akan menyemburkan udara dari ruang tungku dan membawa uap panas ke dalam ruang pengering.
10. Menunggu temperature pada 8 titik *thermocouple* mencapai suhu yang diinginkan.
11. Melakukan pengukuran setiap 10 menit sekali dalam rentan waktu 08:00 – 15:00 WIB untuk mendapatkan data temperature pada 8 titik *thermocouple* dan 2 titik *hydrometer* untuk mendapatkan kelembaban udara yang dihasilkan didalam mesin pengering.
12. Mencatat hasil pada buku dan tabel yang telah ditentukan pada lankah 10 – 11.
13. Mengulangi langkah 11- 12 hingga selesai.

3.7 Alur penelitian

Berikut ini merupakan *flowchart* penelitian ini, adalah sebagai berikut.





3.8 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pengerjaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahapan persiapan penelitian pada tahapan ini, dilakukan dilakukan studi literatur sebagai dasar perencanaan konsep mesin pengering berbasis tungku pembakaran. Aktifitas ini mencakup penelaahan buku, sumber dari internet, serta jurnal-jurnal penelitian terbaru yang relevan.
2. Tahapan persiapan alat dan bahan uji pada tahapan ini, dilakukan persiapan mesin pengering berbasis tungku pembakaran. Mesin ini berfungsi sebagai pemanas udara yang akan dialirkan ke dalam ruang pengering untuk mendukung proses pengeringan biji kakao.
3. Tahapan pengumpulan data pada tahapan ini, dilakukan pengambilan data menggunakan berbagai alat ukur, seperti timbangan digital, thermometer, dan *stopwatch*. Data yang diambil yaitu suhu ruang pengering, distribusi suhu di dalam ruang pengering, perubahan pada saluran masuk dan keluar udara, durasi pengeringan, serta massa produk sebelum dan sesudah dikeringkan. Pengambilan data pada produk yang dikeringkan menggunakan mesin pengering berbasis tungku pembakaran. Langkah ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja perangkat mesin pengering.
4. Tahapan analisis data perhitungan dilakukan berdasarkan data yang telah diperoleh, dengan mengacu pada prinsip-prinsip termodinamika yang relevan. Parameter-parameter yang digunakan dalam menghitung laju pengeringan meliputi suhu yang tercatat pada 8 titik termokopel yang dipasang pada alat pengering berbasis tungku pembakaran, laju aliran massa udara, suhu lingkungan, serta massa sampel biji kakao yang dikeringkan, dan kadar air akhir. Kemudian dilakukan perhitungan mencari nilai efisiensi dan menghitung laju aliran massa udara. Setelah itu data-data yang telah diperoleh dan sudah dilakukan perhitungan pada saat penelitian berlangsung akan dikonversikan ke grafik atau diagram. Hasil perhitungan tersebut kemudian akan disajikan dalam bentuk grafik.

5. Tahap pembuatan laporan pada tahapan ini, semua hasil yang telah diperoleh dari tahapan sebelumnya disusun dalam bentuk laporan penelitian laporan tersebut dapat dipublikasikan di jurnal-jurnal ilmiah terakreditasi atau disampaikan dalam seminar-seminar yang relevan. Publikasi ini bertujuan untuk memperoleh masukan yang bermanfaat guna menyempurnakan penelitian di masa mendatang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Mesin pengering hasil pertanian berbasis tungku biomassa mampu digunakan secara efektif untuk proses pengeringan biji kakao. Temperatur ruang pengering berada pada kisaran 37,5–89,4 °C dan mampu menurunkan kadar air biji kakao hingga rata-rata 7,29% dalam waktu 7–8 jam sehingga memenuhi standar kadar air aman penyimpanan.
2. Massa biji kakao mengalami penurunan rata-rata dari 5,28 kg menjadi 2,31 kg. Efisiensi termal pengeringan yang dihasilkan masih tergolong rendah, yaitu berkisar antara 2,7–3,9%, yang dipengaruhi oleh jumlah sampel yang lebih kecil dibandingkan kapasitas mesin serta adanya kehilangan panas pada sistem.
3. Efisiensi termal pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan antara energi panas yang digunakan untuk menguapkan air dari biji kakao dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran biomassa. Pada pengujian pertama efisiensi termal pengeringan diperoleh sebesar 3,5%, pada pengujian ke-2 sebesar 3,9% dan pengujian ke-3 sebesar 2,7%.
4. Energi panas dari pembakaran kayu biomassa terbagi menjadi energi untuk penguapan air bahan, energi yang dibawa oleh udara pengering, dan energi hilang ke lingkungan. Dengan kecepatan udara rata-rata sebesar 2,63 m/s dan luas penampang saluran udara 0,337 m², sistem mampu menyalurkan udara panas secara kontinu ke ruang pengering.

5.2 Saran

1. Pengeringan sebaiknya dilakukan dengan beban mendekati kapasitas mesin (± 80 kg), bukan 5 kg. Pengeringan dengan beban kecil menyebabkan energi panas tidak terserap maksimal oleh bahan.
2. Perlu dilakukan perbaikan dan penambahan isolasi termal pada dinding ruang pengering guna mengurangi kehilangan panas selama proses pengeringan berlangsung.
3. Penambahan damper, penutup udara masuk, atau sistem kontrol aliran udara dapat menstabilkan proses pembakaran sehingga suhu ruang pengering lebih konstan.
4. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan variasi jenis dan massa bahan bakar biomassa guna mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi tungku dan kestabilan temperatur pengeringan.
5. Pengujian mesin pengering sebaiknya dilakukan langsung di lingkungan petani atau lapangan, sehingga kinerja alat dapat dievaluasi sesuai dengan kondisi penggunaan sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. A., Asmara, S., Zen, M., & Suharyatun, S. (2024). *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Batch Dryer untuk Pengeringan Kakao (Theobroma cacao L .) dengan Sistem Penghembus Udara Panas Performance Test of a Batch Dryer for Drying Cocoa (Theobroma cacao L .) with a Hot Air Blowing System*. <https://elibrary.ru/>
- Alchalil, A., Irwansyah, I., & Satria, M. (2021). Analisa Alat Pengering Tipe Bak Untuk Pengeringan Biji Kakao Berbahan Bakar Kayu Gamal Dengan Variasi Laju Bahan Bakar. *Malikussaleh Journal of Mechanical Science and Technology*, 5(2), 39-43. <https://ojs.unimal.ac.id/>
- Alhanannasir, A., Sebayang, N. S., Yani, A. V., Yunita, F., Minarni, R., Amelia, P., ... & Tino, T. (2024, December). Pengolahan Pangan Dengan Cara Pengeringan. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan* (Vol. 12, No. 1, pp. 102-109). <https://jurnal.arraniry.ac.id/index.php/>
- Ansori, dkk. (2022). *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering Pengaruh Fermentasi Biji Kakao (Theobroma cacao L .) Terhadap The Effect of Fermented Cacao Beans (Theobroma cacao L .) on Drying*. 1(1), 108–119. <https://jurnal.fp.unila.ac.id/>
- Arsana, I. N., Adi, N. N. S. P., & Juliasih, N. K. A. (2023). *Profile Of Incompatible Reactions To Packed Red Cell Tranfusion In Patients With Chronic Kidney Disease At Sanglah Hospital*. *Journal of Vocational Health Studies*, 7(1), 32-38.
- As Syukri, K. A., Perdana, D., Sulthon, M. I. M., & Sumarlan, S. H. (2023).

- Analisis Pindah Panas Konduksi dan Konveksi pada Heat Exchanger Evaporator Efek Ganda pada Pengolahan Nira Tebu. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 11(2), 159–171. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i2.221>
- Azzahraa, F., & Irawansyah, R. (2025). Peran Sektor Pertanian dalam Perekonomian Lokal. *Karimah Tauhid*, 4(8), 5644-5654. <https://ojs.unida.info/>
- Cengel, A. Y., Boles, A. M., & Kanoglu, M. (2023). *Termodinamics AN Engineering Approach*. 10th Edition.
- Charie, D., Saputra E., Ifmalinda. (2023). “Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Mutu Kakao (*Theobroma cacao L.*) Varietas Klon BL 50 Pasca Fermentasi”. Padang, vol.17, no.2 *Jurnal Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem*, 105-114. <https://journals.unpad.ac.id/>
- Ifmalinda, I., Saputra, E., & Cherie, D. (2023). Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Mutu Kakao (*Theobroma cacao L.*) Varietas Klon BL 50 Pasca Fermentasi. *Teknotan*, 17(2), 105. <https://doi.org/10.24198/jt.vol17n2.4>
- Jamilah, J. J., Oktavia, F. R., & Nafita, S. W. (2021). Pengaruh Material yang Berbeda Terhadap Laju Perpindahan Panas. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (JUPITER)*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31851/jupiter.v3i1.5979>
- Khathir, R., & Kurniawan, E. (2023). *Drying Characteristics of Cacao Beans using Modified Solar Tunnel Dryer Type Hohenheim*. 12(December), 394–401. <https://doi.org/10.13170/aijst.12.3.30246>
- Pada, P., Fermentasi, P., Paramuj, M., Baru, W. J., Syahputra, W., Pertanian, T. H., Pertanian, F., Islam, U., & Utara, S. (2022). *Jurnal Pertanian Tropik*. 9(3), 196–200. <https://doi.org/10.32734/jpt.v9i3>
- Rachmatullah, D., Putri, D. N., Herianto, F., & Harini, N. (2021). Karakteristik biji kakao (*Theobroma cacao L.*) Hasil fermentasi dengan ukuran wadah berbeda. *VIABEL: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 15(1), 32-44.

<https://ejournal.unisbablitar.ac.id/>

- Rahman, S. W., Azis, A., & Muhidong, J. (2024). *The Effect of Fermentation and Soaking Time on Water Content of Cocoa (Theobroma cacao L .)*. 02(2), 50–57. <https://doi.org/10.70124/salaga.v2i2.1780>
- Risano, A. Y. E., Manalu, M. H., Mesin, J. T., & Lampung, U. (2022). Analisis Thermal dan Redesain Alat Pengering Kakao Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) di Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran. 10(2). <https://digilib.unila.ac.id/>
- Rohman, S. A., & Amrullah, S. (2022). *Pengaruh Kecepatan Udara Primer dan Sekunder terhadap Kinerja Kompor Biomassa Berbahan Bakar Cangkang Kemiri Primary And Secondary Air Velocity Effect on The Performance of A Biomass Stove Fuelled by Candlesnut Shell*. 4(1), 39–46. <https://ejournal.pnc.ac.id/>
- Sabahannur, S. (2025). *The effect of yeast concentration and fermentation time on the physical, chemical, and flavor characteristics of cocoa beans*. *Food Research*, 9(2), 118-129. <https://www.myfoodresearch.com/>
- Santander, M., Chica, V., Correa, H. A. M., Rodríguez, J., Villagran, E., Vaillant, F., & Escobar, S. (2025). *Unravelling Cocoa Drying Technology: A Comprehensive Review of the Influence on Flavor Formation and Quality*. 1–39. <https://www.mdpi.com/>
- Santoso, A., Putu, T. F., Subaktilah, Y., & Desiana, A. F. (2024). Kajian Pengeringan Alami dan Mekanik Terhadap Karakteristik Biji Kakao Bulk (*Study of Natural and Mechanical Drying to Characteristics of Bulk Cocoa Beans*). *JOFE: Journal of Food Engineering | E-ISSN*, 3(2), 32–41. <https://journalpolije.web.id/>
- Tjanring, J., Thamrin, S., & Poleuleng, A. B. (2025). *Optimalisasi Penanganan Pasca Panen Kakao Melalui Peningkatan Kapasitas Petani di Kabupaten Soppeng*. 5(3), 232–237. <https://doi.org/10.47065/jpm.v5i3.2272>

- Wandira, A., Cindiansya, Rosmayati, J., Anandari, R. F., Naurah, S. A., & Fikayuniar, L. (2023). Menganalisis Pengujian Kadar Air Dari Berbagai Simplisia Bahan Alam Menggunakan Metode Gravimetri. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(17), 190–193. <https://jurnal.peneliti.net/>
- Warmiati, & Nurhidayati, D. (2024). *Moisture Content Measurement in Gelatin : a Comparison of Gravimetric Methods Using Moisture Analyzer and Oven*. *Berkala Penelitian*, 23(1), 62–72. <https://e-jurnal.atk.ac.id/>
- Wijaya, A., Natasya, N., Sonita, A., & Toyib, R. (2025). Perbandingan Akurasi Teknik Pengolahan Citra Digital Dan Owendrying Untuk Penentuan Kadar Air Pada Biji Kopi. 5(3), 1019–1030. <https://journal.umkendari.ac.id/>