

**ANALISIS KINERJA MESIN PENDING JAGUNG PIPIL *HYBRID*
TIPE *GREENHOUSE* (GAS *HEATER* & RADIASI MATAHARI)**

(Skripsi)

Oleh:

Yahya Ayasy am

2115021129



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**ANALISIS KINERJA MESIN PENDING JAGUNG PIPIL *HYBRID*
TIPE *GREENHOUSE* (GAS *HEATER* & RADIASI MATAHARI)**

Oleh:

Yahya Ayasy am

2115021129

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING JAGUNG PIPIL *HYBRID* TIPE *GREENHOUSE* (GAS *HEATER* & RADIASI MATAHARI)

OLEH

YAHYA AYASY AM

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan komoditas pertanian penting yang memerlukan proses pengeringan untuk menurunkan kadar air agar memenuhi standar mutu penyimpanan sesuai SNI 01-4483-1998.

Penelitian ini menganalisis kinerja mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* yang memanfaatkan kombinasi panas dari radiasi matahari dan gas *heater*. Penelitian ini diawali dengan perancangan dan pembuatan mesin pengering, kemudian dilakukan pengujian secara eksperimental menggunakan tiga variasi kecepatan udara *blower*, yaitu 5,5 m/s, 3,66 m/s, dan 2,7 m/s. Parameter yang diamati meliputi distribusi suhu, penurunan kadar air, dan efisiensi pengeringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara 3,66 m/s menghasilkan kinerja terbaik dengan suhu ruang pengering 50,2–56,5°C dan kadar air akhir terendah sebesar 13,8% dalam waktu 8 jam. Hasil ini lebih baik dibandingkan pengeringan tradisional yang membutuhkan waktu hingga 24 jam. Mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* terbukti lebih efisien dan stabil serta tidak bergantung pada kondisi cuaca.

Kata kunci: jagung pipil, pengering *hybrid*, *greenhouse*, gas *heater*, efisiensi.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF GREENHOUSE TYPE HYBRID CORN DRYING MACHINE (GAS HEATER & SOLAR RADIATION)

BY

YAHYA AYASY AM

Corn (*Zea mays* L.) is an important agricultural commodity that requires a drying process to reduce its moisture content to meet storage quality standards according to SNI 01-4483-1998.

This study analyzed the performance of a hybrid greenhouse-type corn kernel drying machine that utilizes a combination of solar radiation and a gas heater. The study began with the design and construction of the dryer, followed by experimental testing using three variations in blower air velocity: 5.5 m/s, 3.66 m/s, and 2.7 m/s. Observed parameters included temperature distribution, drying rate, moisture content reduction, and drying efficiency.

The results showed that the 3.66 m/s air velocity variation produced the best performance, with a drying chamber temperature of 50.2–56.5°C and a final moisture content of 13.8% within 8 hours. These results were superior to traditional drying, which requires up to 24 hours. The hybrid greenhouse-type drying machine proved to be more efficient and stable, and was not dependent on weather conditions.

Keywords: corn kernels, hybrid dryer, greenhouse, gas heater, efficiency.

Judul Skripsi : **ANALISIS KINERJA MESIN PENERING
JAGUNG PIPIL *HYBRID* TIPE *GREENHOUSE*
(*GAS HEATER* & *RADIASI MATAHARI*)**

Nama Mahasiswa : **Yahya Ayasy am**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115021129

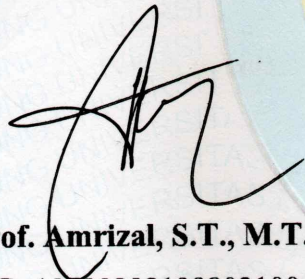
Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing I



Prof. Amrizal, S.T., M.T., Phd.

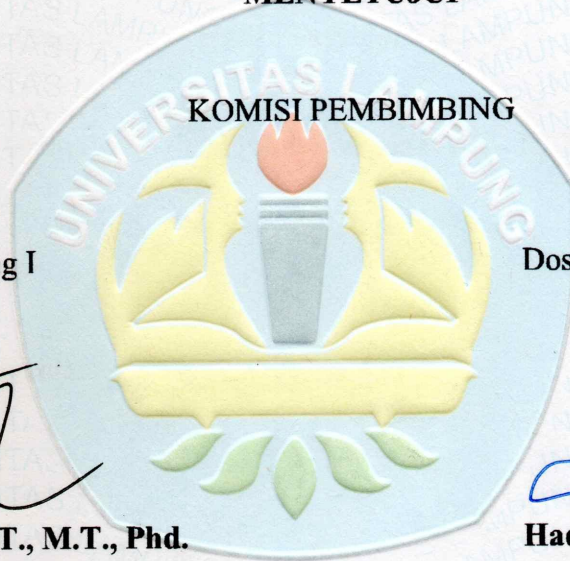
NIP. 197002021998031004

Dosen Pembimbing II



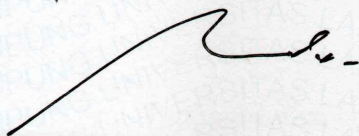
Hadi Prayitno, S.T., M.T.

NIP. 198805142019031012



MENGETAHUI

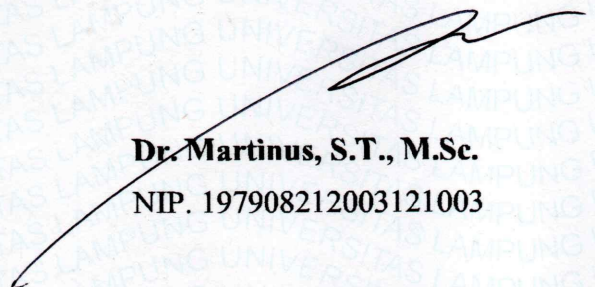
Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

NIP. 197408162000121001

Ketua Prodi S1 Teknik
Mesin



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

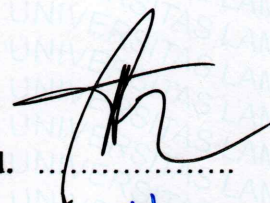
NIP. 197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

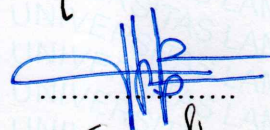
Ketua Penguji

: **Prof. Amrizal, S.T., M.T., Phd.**



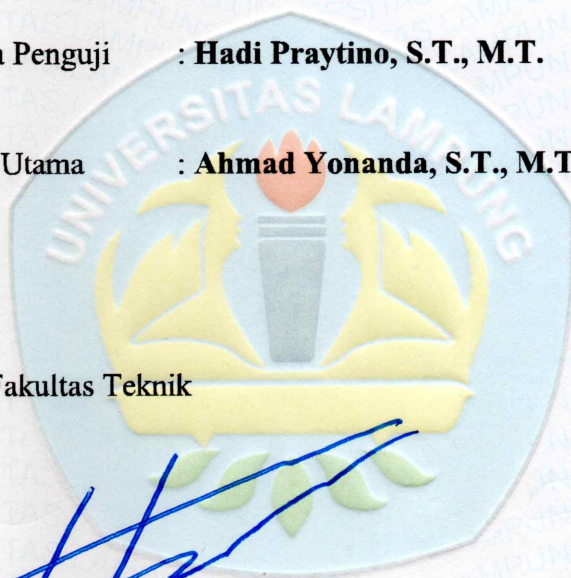
Anggota Penguji

: **Hadi Praytino, S.T., M.T.**

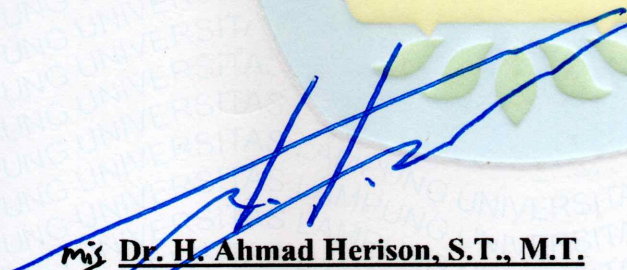


Penguji Utama

: **Ahmad Yonanda, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 23 Januari 2026

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR
NOMOR 13 TAHUN 2019.

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



YAHYA AYASY AM

NPM 2115021129

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Yahya Ayasy am, lahir pada tanggal 21 Juni 2000 sebagai anak ketiga dari empat bersaudara di desa Rejosari , Rt 19, Rw-, Natar, Lampung Selatan. Anak dari bapak Suisno dan Ibu Minarti. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 1 Rejosari hingga tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama di SMP 1 Atap 3 Negri Katon ,Pesawaran.Hingga tahun 2015 dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK 2 Mei Bandar Lampung hingga tahun 2018. 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 Ketua Bidang Otomotif periode 2020 – 2022. Sejak bulan Maret 2022 penulis mulai mengerjakan Proyek Akhir tentang “Pengujian Mesin Pencacah Hijauan Untuk Pakan Ternak”. Penulis mengerjakan Proyek Akhir di bawah bimbingan bapak Agus Sugiri, S.T., M.Eng. dan dengan dosen penguji bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T. Pada studi lanjut penulis merupakan alumni Program Kopetensi Kampus Merdeka (PKKM) yang diselenggarakan selama 4 bulan, di Desa Maja, Kecamatan Kalianda. Pada tahun 2025 penulis menyelesaikan program studi S1 Teknik Mesin dengan judul skripsi “Analisis Kinerja Mesin Pengering Jagung Pipil *Hybrid* Tipe *Greenhouse* (Gas Heater & Radiasi Matahari)” di bawah bimbingan Bapak Prof. Amrizal, S.T., M.T., Phd., Bapak Hadi Prayitno, S.T., M.T. serta Ahmad Yonanda, S.T., M.T., sebagai dosen pembahas.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karuna-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Shalawat serta Salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

KARYA TULIS INI KUPERSEMBAHKANKAN KEPADA

Ayahanda dan Ibunda Tercinta

Yang senantiasa memberikan semangat dan melantunkan do'a yang selalu menyertaiku. Terima kasih yang sebesar-besarnya kuucapkan karena telah mendidik dan membersarkanku dengan penuh kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang sampai kapanpun tidak akan bisa terbalaskan.

Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2019

Serta

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Mesin

SAMWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa ta'ala, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa banyak menerima bantuan baik moril maupun materil dan bimbingan dari semua pihak dalam menyelesaikan skripsi ini. Maka pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi, terutama kepada:

1. Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Dr. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin
4. Prof. Amrizal, S.T., M.T., Phd. selaku dosen Pembimbing I atas kesediaan dan keikhlasan dalam memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu, dan nasihat selama penyusunan skripsi ini.
5. Hadi Prayitno, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II atas kesediaan dan keikhlasan juga dalam memberikan bimbingan, saran, motivasi, ilmu, dan nasihat selama penyusunan skripsi ini.
6. Ahmad Yonanda, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas atas nasihat, kritik, dan saran yang amat bermanfaat bagi penulis.
7. Novri Tanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas arahan dan nasihat selama proses perkuliahan.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung atas semua bekal ilmu yang telah diberikan selama ini.

9. Kedua orang tuaku, Suisno dan Minarti dan ketiga saudaraku, Sandi Kurniawan, Khusnul Khotimah dan Ilham Rosidy atas perhatian, cinta, dukungan, dan kesabaran selama ini.
10. Seluruh rekan-rekan Teknik Mesin angkatan 2019 atas waktu, dukungan, dan semangat yang diberikan selama proses perkuliahan berlangsung.
11. Seluruh pihak terlibat yang tidak dapat penulis sebutkan.

Penulis menyadari bahwa selama melaksanakan penelitian ini tidak luput dari kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu penulis meminta maaf atas kekhilafan dan kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan bagi pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 05 Febuari 2026
Penulis,

Yahya Ayasy am

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
MENYETUJUI.....	v
MENGETAHUI	v
PERNYATAAN PENULIS	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
SAMWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
II. TINJUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jagung (<i>Zea Mays L.</i>).....	5
2.2 Kalor.....	6
2.3 Perpindahan Panas	7
2.4 Kadar Air Suatu Bahan	12
2.5 Kelembapan udara.....	13
2.6 Proses Pengeringan	15
2.7 Jenis- Jenis Pengeringan	16
2.8 Gas Heater.....	23
2.9 Gas LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>)	24
III. METODE PERCOBAAN	25
3.1 Alur Tahap Penelitian	25
3.2 Desain Mesin Pengering	27
3.3 Rencana Penelitian	31

3.4 Alat dan Bahan.....	32
3.4.1 Alat	32
3.4.2 Bahan	38
3.5 Prosedur Pengujian Pengeringan jagung pipil.	38
3.6 Tahapan Penelitian	39
3.7 Peroses pembuatan mesin pengering <i>hybrid</i> tipe <i>greenhouse</i>	41
3.7.1 Pembuatan rantai mesin pengering	41
3.7.2 Pembuatan rangka mesin pengering	42
3.7.3 Pembuatan rak pengerin	42
3.7.4 Perakitan rangka mesin pengering.....	43
3.7.5 Proses pemasangan plastik UV dan gas <i>heater</i>	43
3.7.6 Proses instalasi elektrik dan <i>fishing mesin</i> pengering.....	44
3.7.7 Skema letak <i>thermocouple</i>	45
IV. DATA DAN HASIL PENELITIAN.....	47
4.1 Data Hasil Penelitian.....	47
4.2 Distribusi suhu temperatur terhadap pengeringan <i>hybrid</i> (radiasi matahari & gas <i>heater</i>).....	51
4.3 Pengaruh laju aliran udara terhadap penurunan massa jagung pipil	54
4.4 Penurunan Massa dan Kadar Air Jagung Pipil.....	55
4.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengeringan	58
V. PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jagung.....	5
Gambar 2.2 Perpindahan panas konveksi paksa dan alami.....	9
Gambar 2.3 Perpindahan panas radiasi	12
Gambar 2.4 Psikrometric chart	14
Gambar 2.5 Pengering Energi Surya (Solar Dryer)	18
Gambar 2.6 Pengeringan hybrid tipe greenhouse (Hybrid Dryer).....	19
Gambar 2.7 Spray Dryer	20
Gambar 2.8 Rotary / Drum Dryer	21
Gambar 2.9 Tray dryer.....	22
Gambar 2.10 Gas Heater	23
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Desain Rangka Masin Pengering Hybrid	27
Gambar 3.3 Desain struktur lantai atau pondasi awal.....	28
Gambar 3.4 Desain Rak pengering	29
Gambar 3.5 Desain Mesin Pengering jagung pipil Hybrid Tipe Greenhouse.....	30
Gambar 3.6 Channel temperature recorder data logger	32
Gambar 3.7 Termokopel	33
Gambar 3.8 Solar power meter	34
Gambar 3.9 Timbangan digital	34
Gambar 3.10 Timbangan Digital Besar	35
Gambar 3.11 Anemometer	35
Gambar 3.12 Higrometer	36
Gambar 3.13 Grain Moisture Meter	37
Gambar 3.14 Jagung Pipil.....	38
Gambar 3.15 Lantai Mesin Pengering	41
Gambar 3.16 Pembuatan Rangka Mesin Pengering.....	42

Gambar 3.17 proses pembuatan rak pengering	42
Gambar 3.18 Perakitan Frame Mesin Pengering	43
Gambar 3.19 Pemasngan Plastik UV dan Gas Heater.	44
Gambar 3.20 Peroses Instalasi elektrik dan fishing mesin pengering.....	45
Gambar 3.21 skema memposisikan thermocouple.....	46
Gambar 4.1 Intensitas matahari dan temperatur suhu udara dengan kecepatan udara masuk rak 5,5 m/s	51
Gambar 4.2 Intensitas matahari dan temperatur suhu udara dengan kecepatan udara masuk rak 3,66 m/s	52
Gambar 4.3 Intensitas matahari dan temperatur suhu udara dengan kecepatan udara masuk rak 2,7 m/s.	53
Gambar 4.4 Penurunan massa bahan pengeringan Jagung Pipil variasi Kecepatan udara 5,5 m/s,3,66 m/s, dan 2,7 m/s.....	56
Gambar 4.5 Perbandingan penurunan massa jagung pipil antara pengeringan tradisional dengan pengeringan menggunakan mesin pengering.	57
Gambar 4.6 Efisiensi pengeringan pada setiap variasi kecepatan udara blower..	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Rangka Mesin Pengering.....	27
Tabel 3.2 Spesifikasi Struktur Lantai Mesin Pengering.....	28
Tabel 3.3 Spesifikasi Rak Pengering	29
Tabel 3.4 Spesifikasi mesin pengering hybrid tipe greenhouse.....	30
Tabel 3.5 Spesifikasi data logger	33
Tabel 3.6 Spesifikasi termokopel.....	33
Tabel 3.7 Spesifikasi anemometer	36
Tabel 3.8 Spesifikasi hygrometer.....	37
Tabel 4.1 Hasil Pengamatan Temperatur dan Kecepatan Udara Proses Pengeringan Jagung Pipil dengan Variasi Kecepatan udara 5,5 m/s	48
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Temperatur dan Kecepatan Udara Proses Pengeringan Jagung Pipil dengan Variasi Kecepatan udara 3,66 m/s	49
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Temperatur dan Kecepatan Udara Proses Pengeringan Jagung Pipil dengan Variasi Kecepatan udara 2,7 m/s	50
Tabel 4.4 Laju aliran massa	54
Tabel 4.5 Massa Bahan dan Kadar Air Jagung Pipil	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu komoditas strategis dalam sistem pangan dan industri di Indonesia, termasuk di Provinsi Lampung yang menjadi salah satu sentra produksi jagung nasional dengan total produksi mencapai 2.791.347 ton pada tahun 2024, dimana Kabupaten Lampung Selatan menyumbang produksi sebesar 317.834 ton. Salah satu kecamatan penghasil utama jagung di kabupaten ini adalah Kecamatan Kalianda, Desa Maja sendiri merupakan salah satu desa di kecamatan kalianda yang terdapat lahan yang ditanami jagung. Berdasarkan data yang didapat, Desa Maja memiliki luas lahan jagung kurang lebih sekitar 3,8 km² dengan sebagian besar masyarakatnya bermata pencaharian di bidang pertanian. (BPS Provinsi Lampung.,2025)

Di antara kabupaten penghasil jagung di Provinsi Lampung, Kabupaten Lampung Selatan memiliki peran signifikan. Dengan luas lahan panen jagung mencapai 43.000 hektar dan produktivitas rata-rata sekitar 5,8 ton/hektar, daerah ini memiliki potensi besar dalam menopang kebutuhan regional maupun antarprovinsi. Salah satu desa produktif adalah Desa Maja, Kecamatan Kalianda, di mana mayoritas penduduknya berprofesi sebagai petani jagung. Berdasarkan observasi saat kegiatan KKN Bina Desa, diketahui bahwa sebagian besar petani masih menggunakan metode pengeringan konvensional dengan penjemuran langsung di bawah sinar matahari. Namun, metode tradisional ini memiliki berbagai kelemahan, antara lain.

ketergantungan pada cuaca, waktu pengeringan yang lama (3–5 hari), serta risiko kontaminasi dari debu dan hujan. Jagung yang dipanen umumnya memiliki kadar air 30–35%, padahal menurut SNI 01-4483-1998, kadar air maksimum untuk jagung pipil kering adalah 14% agar aman disimpan dan memenuhi standar pakan maupun konsumsi. Harga jagung pipil di tingkat petani Desa Maja masih relatif rendah, yakni berkisar Rp 3.800 – Rp 4.300/kg untuk jagung berkadar air tinggi (30–35%), sementara jagung kering sesuai standar SNI dapat mencapai Rp 5.500/kg sesuai HPP dari Bulog.(BPS Lampung Selatan., 2024).

Kondisi ini menunjukkan pentingnya penerapan teknologi pengeringan yang mampu mempercepat proses pengeringan, menstabilkan mutu, dan mengurangi ketergantungan terhadap kondisi cuaca. Salah satu teknologi yang potensial adalah alat pengering *hybrid*, yang memanfaatkan kombinasi panas dari matahari dan pemanas buatan seperti gas LPG atau biomassa. Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan teknologi *greenhouse solar dryer* dan *hybrid dryer* untuk meningkatkan efisiensi proses pengeringan produk pertanian. Misalnya, penelitian oleh (Demissie dkk., 2024) pengering *hybrid greenhouse* berbasis PV dan *solar collector* untuk pengeringan tanaman herbal tropis yang menunjukkan peningkatan efisiensi termal hingga 17,96% dibandingkan pengering tradisional. Penelitian oleh (Taki dkk., 2025) juga berhasil mengaplikasikan *Even Span Greenhouse Solar Dryer* (ESGSD) untuk bawang merah Persia yang mampu menurunkan kadar air produk hingga 15% dengan kestabilan suhu selama pengeringan, serta mengurangi konsumsi energi dibanding *oven* listrik konvensional. Menjadikan teknologi ini relevan untuk daerah dengan intensitas matahari tinggi seperti Lampung Selatan.

Sebagai tindak lanjut dari permasalahan yang ditemukan selama pelaksanaan KKN Bina Desa di Desa Maja, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja mesin pengering hybrid tipe *greenhouse* (gas *heater* & radiasi matahari) yang menggabungkan sumber panas dari radiasi matahari dan gas *heater* serta dilengkapi *exhaust fan* untuk mempercepat sirkulasi udara. Mesin ini diharapkan menjadi solusi pengeringan terutama dimusim penghujan,

meningkatkan efisiensi energi, mempercepat proses penurunan kadar air, menjaga mutu hasil akhir, serta meningkatkan nilai jual produk petani lokal. Selain menawarkan manfaat, mesin ini juga memerlukan optimasi pengaturan suhu dan waktu pengeringan untuk menghindari kerusakan produk dan pemborosan energi. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengeringan yang tepat guna, hemat energi, ramah lingkungan, serta mampu meningkatkan kesejahteraan petani di desa maja dan sekitarnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan dan pembuatan mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* (gas heater dan radiasi matahari).
2. Melakukan analisis efisiensi mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* (gas heater dan radiasi matahari) berdasarkan laju aliran gas heater.
3. Membandingkan dengan pengeringan jagung pipil tradisional.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan komoditas hasil pertanian berupa jagung pipil sebagai bahan uji coba pengeringan
2. Penelitian ini menggunakan jagung yang sudah di pipil dengan total jagung pipil sebanyak 500 gram di setiap raknya.
3. Penelitian ini menggunakan radiasi matahari dan gas heater sebagai pemanas untuk mengeringkan jagung pipil dengan mesin pengering *hybrid* tipe *Greenhouse* dan dilakukan perbandingan dengan pengeringan tradisional.
4. Penguapan kadar air dihitung berdasarkan pengurangan yang terjadi pada berat jagung pipil.

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 tertata, sistematika penulisan berupa format yang digunakan pada penulisan laporan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar yang meliputi: Jenis-jenis perpindahan panas, proses pengeringan, jenis-jenis pengeringan pengaruh udara pada proses pengeringan, alat pengering *hybrid* tipe *greenhouse* dan laju pengeringan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

5. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau diberikan atas hasil dari penelitian ini.

II. TINJUAN PUSTAKA

2.1 Jagung (*Zea Mays L.*)

Jagung (*Zea mays L.*) adalah salah satu komoditas penting di sektor pertanian yang tidak hanya berperan sebagai bahan pangan utama, tetapi juga sebagai bahan baku industri dan pakan ternak. Sebagai tanaman sereal, jagung memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi dan menjadi salah satu sumber utama energi dalam sistem pangan global. Menurut penelitian, jagung merupakan tanaman musiman yang memiliki waktu pertumbuhan sekitar tiga bulan. Selain itu, jagung juga memiliki berbagai manfaat lain, seperti penggunaan dalam bioenergi dan industri pakan ternak. (Mvelase, 2024)



Gambar 2.1 Jagung.

(Sumber: Mvelase, 2024).

2.2 Kalor

Secara umum kalor adalah salah satu bentuk energi yang bisa berpindah dari benda dengan temperature yang lebih tinggi ke benda yang bertemperature lebih rendah jika keduanya dipertemukan atau bersentuhan. Kalor merupakan energi yang dapat disimpan dalam bentuk kalor sensibel dan kalor laten. Pada kalor sensibel, kalor berguna untuk menaikkan temperatur material dalam bentuk padat maupun cair. Sedangkan pada kalor laten, kalor berguna untuk merubah fase material dari padat menjadi cair atau dari air menjadi (Junita, 2023).

Menurut Satuan Internasional (SI), kalor memiliki satuan Joule (J). Satuan kalor terdiri dari jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperature 1 gram air agar bisa naik sebesar 1 derajat celcius. Besaran satuan kalor adalah 4,184 J yang dibulatkan menjadi 4,2 J. Pada saat proses pertukaran kalor di dalam suatu sistem terjadi maka berlaku. *Asas Black* menyatakan bahwa, “Jika terdapat dua benda yang telah dicampur dengan keadaan temperature yang berbeda, maka benda yang temperaturenya lebih tinggi akan memberikan kalor pada benda yang temperaturenya lebih rendah, sehingga temperature akhir keduanya berakhir sama”. Berdasarkan pernyataan Asas Black didapat nilai jumlah kalor yang diserap oleh suatu benda yang temperaturenya lebih rendah akan sama dengan jumlah kalor yang akan dilepaskan oleh benda bertemperature lebih tinggi.(Syam, 2023).

Kenaikan temperatur pada suatu benda dapat digunakan untuk menentukan banyaknya kalor yang diserap oleh benda. Jika sejumlah kalor menghasilkan perubahan temperature benda sebesar (ΔT), maka kapasitas kalor. didefinisikan sebagai berikut:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (1)$$

Dimana:

C = kapasitas kalor ($J/^{\circ}C$)

Q = kalor pada perubahan temperature tersebut (J)

ΔT = perubahan temperature ($^{\circ}C$)

Jumlah kalor yang diberikan besarnya sebanding dengan kenaikan (perubahan) temperature benda. Artinya, semakin banyak kalor yang diberikan kepada benda, semakin besar pula kenaikan temperature benda tersebut. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperature benda sebesar 10°C senilai dengan kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperature 1°C pada massa dan jenis benda yang sama. Secara matematis, hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

Dimana:

Q = kalor yang diperlukan (J)

m = massa bahan (gr)

c = kalor jenis bahan ($J/gr^{\circ}\text{C}$)

ΔT = perubahan temperature ($^{\circ}\text{C}$)

2.3 Perpindahan Panas

Menurut (Çengel, dkk, 2024), perpindahan panas terjadi melalui tiga mekanisme utama, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada sistem pengeringan *hybrid* tipe *greenhouse*, ketiganya memiliki peran penting. Radiasi matahari berperan sebagai sumber panas eksternal yang memanaskan udara dan permukaan bahan, sementara konveksi terjadi saat udara panas bersirkulasi dan menyerap kelembaban dari permukaan bahan. Dalam konteks ini, konduksi terjadi dalam transfer panas dari permukaan pengering ke bahan jagung itu sendiri

1. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas dalam bahan padat akibat perbedaan suhu. Dalam mesin pengering, konduksi terjadi antara permukaan bahan dan udara di dalam ruang pengering.

(Çengel, dkk, 2024) menyatakan bahwa konduksi dapat dihitung dengan Hukum *Fourier*, yang menyatakan bahwa laju perpindahan panas

berbanding lurus dengan luas penampang dan gradien temperatur di dalam bahan. Untuk konduksi satu dimensi pada material dengan ketebalan L , konduktivitas termal k , dan luas penampang A . Dapat dilihat pada persamaan (2) sebagai berikut:

$$\dot{Q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Dimana:

$\dot{Q}$ = laju perpindahan panas (W),

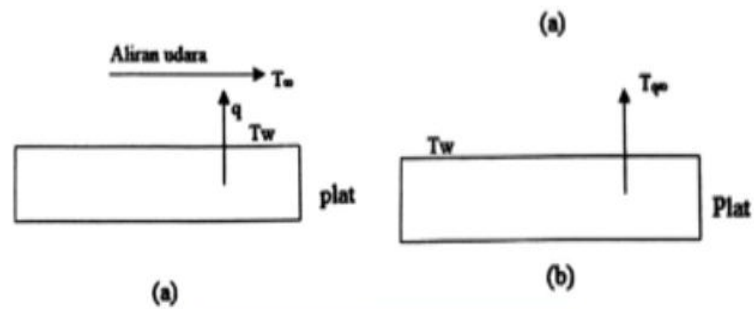
k = konduktivitas termal material (W/m·K),

A = luas permukaan perpindahan panas (m²),

$\frac{dT}{dx}$ = gradien suhu sepanjang arah perpindahan.

2. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses transfer energi panas melalui pergerakan fluida partikel-partikel (cairan atau gas) dari satu tempat ke tempat lain. Dalam sistem pengering jagung pipil tipe greenhouse yang digunakan pada penelitian ini, perpindahan panas konveksi terjadi ketika udara panas dari gas heater dan radiasi matahari mengalir melewati permukaan jagung pipil. Udara panas tersebut mentransfer energi termal ke bahan sehingga mempercepat proses penguapan kadar air. Konveksi terbagi menjadi dua jenis, yakni konveksi alami dan konveksi paksa. Dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Perpindahan panas konveksi paksa dan alami

(Sumber :Muharam.,2024)

Pada alat pengering buatan yang digunakan oleh peneliti pada penelitian ini, perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas konveksi paksa. Hal ini dikarenakan peneliti menggunakan *fan blower* untuk mengalirkan udara. Sebagaimana yang dinyatakan dalam buku *Thermodynamics: An Engineering Approach* bahwa konveksi disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir dalam sebuah tabung atau di atas permukaan dengan cara eksternal seperti kipas angin, pompa, atau angin.

Menurut (Çengel,dkk, 2024) pada bukunya yang berjudul *Thermodynamics: An Engineering Approach* rumus dari perpindahan panas secara konveksi dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

$$\dot{Q} = h A (T_s - T_f) \quad (4)$$

Keterangan:

$\dot{Q}$ = Laju perpindahan panas dengan konveksi (Watt)

h = Koefisien perpindahan panas konvensi ($W/m^2 \cdot K$)

A = Luas permukaan (m^2)

T_s = Temperatur penampang (K)

T_f = Temperatur fluida (K)

Dalam analisis perpindahan panas konveksi maka faktor utama yang harus ditentukan yaitu koefisien perpindahan panas konveksi, akan bergantung dari medan aliran yaitu bilangan *Reynold* (Re) dan bilangan Prandtl (Pr) selain dari bentuk lintasannya.

Bilangan *Reynold* (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya adalah:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (5)$$

Dimana:

V = Kecepatan Fluida, ($\frac{m}{s}$)

D = Diameter Pipa, (m)

ν = Viskositas kinematik, ($\frac{m^2}{s}$)

Bilangan Prandtl (Pr) adalah suatu parameter yang menunjukkan perbandingan antara viskositas kinematik dan difusifitas termal dari fluida. Viskositas kinematik fluida memberikan informasi tentang laju difusi momentum dalam fluida karena gerak molekul, difusi termal memberikan informasi tentang hal yang serupa mengenai difusi panas dalam fluida. Jadi perbandingan antara kedua kuantitas itu menunjukkan besaran relatif antara difusi momentum dan difusi kalor di dalam fluida. Besarnya bilangan Prandtl adalah:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho Cp}{k} = \frac{Cp\mu}{k} \quad (6)$$

Dimana:

ν = Viskositas kinematik, ($\frac{m^2}{s}$)

Cp = Konstanta panas spesifik pada tekanan konstan, ($\frac{J}{kg^\circ K}$)

ρ = Density fluida, ($\frac{kg}{m^3}$)

k = Konduktivitas Panas Fluida, ($\frac{W}{m^\circ K}$)

μ = Viskositas Absolute, ($\frac{kg}{s.m}$)

Menurut (Prabowo dkk., 2024) Koefisien perpindahan panas konveksi (h) adalah ukuran seberapa efisien panas dipindahkan antara permukaan dan fluida yang bergerak di atasnya atau di sekitarnya.

$$Nu_L = \frac{hL}{K_f} \quad (7)$$

Dimana:

Nu_L = Bilangan Nusselt

h = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$)

K_f = Konduktifitas Fluida, ($\frac{W}{m \cdot K}$)

3. Radiasi

Perpindahan panas dalam mesin jagung pipil hybrid tipe *greenhouse gas heater* & radiasi matahari melibatkan dua sumber utama radiasi panas, yaitu pemanas gas dan radiasi matahari. Keduanya memiliki mekanisme yang berbeda tetapi saling berkontribusi dalam meningkatkan suhu dan mempercepat proses pengeringan. Pada mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* ini terjadi proses perpindahan panas Radiasi karena Sinar matahari yang terdiri dari gelombang elektromagnetik dalam berbagai panjang gelombang, termasuk sinar inframerah yang membawa energi panas masuk kedalam dinding dan atap plastik UV pada mesin pengering yang bersifat tembus cahaya, memungkinkan sinar matahari masuk ke dalam ruang pengering dan komponen dalam ruang pengering menyerap sinar matahari, mengubahnya menjadi panas yang kemudian membantu proses penguapan air dari bahan yang di keringkan yaitu jagung pipil.

Menurut (Çengel, dkk, 2024) pada bukunya yang berjudul *Thermodynamics: An Engineering Approach* Rumus Perpindahan panas dapat dilihat pada persamaan (7) di bawah ini.

$$\dot{Q} = e \cdot \sigma \cdot AT^4 \quad (8)$$

Keterangan:

$\dot{Q}$ = Laju perpindahan panas dengan cara radiasi (watt)

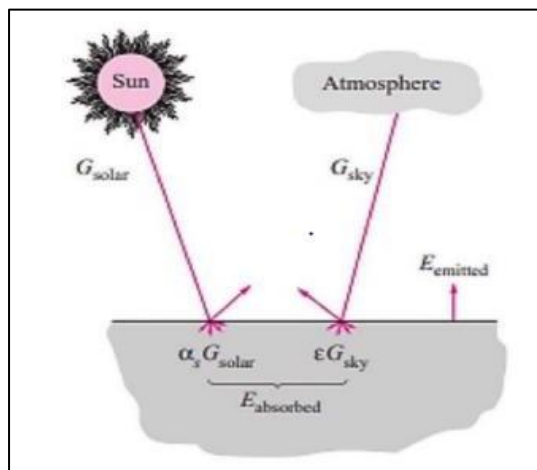
ϵ = Emitansi permukaan

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

A = Luas permukaan (m^2)

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

T_1 = Temperatur absolut benda (K)



Gambar 2.3 Perpindahan panas radiasi

Sumber : (Çengel,dkk, 2024)

2.4 Kadar Air Suatu Bahan

Kadar air adalah sejumlah air yang terkandung di dalam suatu benda, seperti tanah (yang disebut juga kelembaban tanah), bebatuan, bahan pertanian, dan sebagainya. Kadar air digunakan secara luas dalam bidang ilmiah dan teknik dan diekspresikan dalam rasio, dari 0 (kering total) hingga nilai jenuh air di mana semua pori terisi air. Nilainya dapat secara volumetrik ataupun gravimetrik (massa), basis basah maupun basis kering.

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan yang dinyatakan dalam persen. Kadar air merupakan salah satu karakteristik yang

sangat penting pada bahan pangan, karena air dapat mempengaruhi penampakan, tekstur, dan citarasa pada bahan pangan (To'long dkk., 2025).

Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dan bahan yang akan dikeringkan. Laju pemindahan kandungan air dari bahan akan mengakibatkan berkurangnya kadar air dalam bahan tersebut. Pemindahan air ini diakibatkan energi panas yang diserap oleh bahan untuk menguapkan air.

Menurut (Fatharani, 2023) dalam menentukan kadar air suatu bahan dapat ditentukan melalui:

$$K_a = \frac{m_b - m_k}{m_b} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan:

m_b = Massa Basah

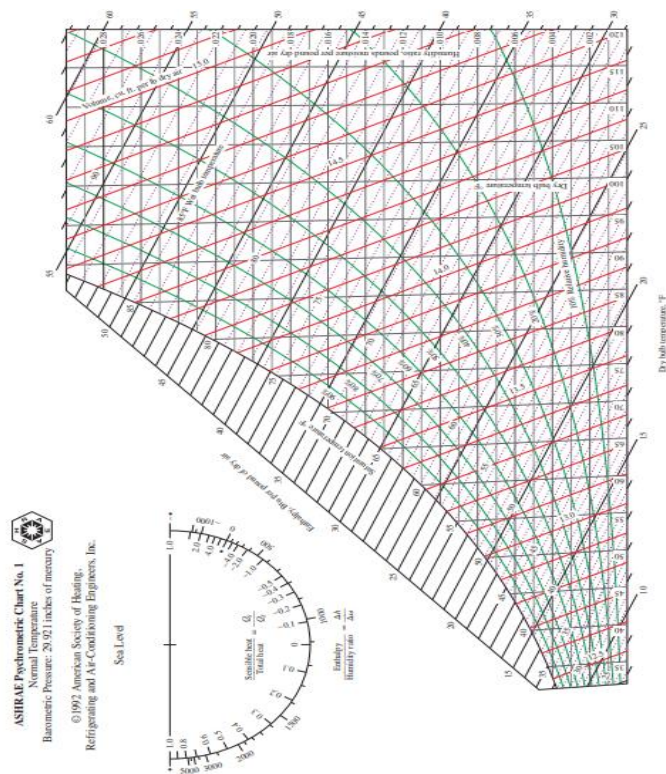
m_k = Massa Kering.

2.5 Kelembapan udara

Psikrometrik Adalah cabang ilmu yang mengkaji udara beserta karakteristiknya, khususnya sifat-sifat termodinamika udara lembap. Bidang ini digunakan untuk menganalisis perubahan kondisi termal dan perilaku udara dalam berbagai proses, terutama dalam sistem pengkondisian dan penyegaran udara. Komposisi dari udara kering berbeda-beda tergantung dari letak geografis dan perubahan waktu ke waktu. Dalam psikometrik kita dapat mengetahui beberapa karakteristik udara, seperti *dry bulb temperature*, *wet bulb temperature*, *relative humidity*, *specific volume*, *moisture content*, dan *heat content*. (Hidayati dkk., 2020).

Dalam buku *Thermodynamics An Engineering Approach* dibahas mengenai diagram psikometrik. Diagram psikrometrik adalah grafik yang digunakan untuk memvisualisasikan hubungan antara sifat-sifat udara. Grafik ini secara luas digunakan dalam aplikasi pengkondisian udara karena memungkinkan insinyur untuk membaca berbagai sifat udara (seperti suhu, kelembaban relatif,

entalpi, dan sebagainya) dengan mudah tanpa harus melakukan perhitungan manual yang rumit. Diagram psikometrik dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Psikrometric chart

(Sumber : (Çengel, dkk, 2024)

Kelambapan udara menggambarkan jumlah uap air didalam udara. Semakin besar kandungan uap air tersebut, Maka tingkat kelembapanya semakin tinggi. Banyak uap air di atmosfer dipengaruhi oleh suhu, Karena kemampuan udara menampung uap air berubah sesuai temperature. Pada suhu yang lebih rendah, Jumlah uap air yang di perlukan untuk mencapai kondisi jenuh relative lebih sedikit. Kondisi tersebut terjadi ketika udara mulai jenuh. Pergerakan angin mempengaruhi temperatur ruangan dikarenakan adanya perbedaan tekanan. Udara yang dingin yang menyusut ketika malam hari dan memuai pada siang hari sehingga udara yang lebih ringan akan naik dan tergantikan dengan udara yang lebih dingin (Elfaladonna dkk, 2020).

Kelembaban relatif adalah perbandingan antara fraksi molekul uap air (tekanan uap air) di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh (tekanan

jenuh uap air) pada temperatur *dry bulb* dan tekanan yang sama. Menurut (Çengel,dkk, 2024) pada bukunya yang berjudul *Thermodynamics: An Engineering Approach* menentukan kelembaban relatif dapat menggunakan rumus persamaan.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v/R_vT}{P_g/R_vT} = \frac{P_v}{P_g} \quad (10)$$

Keterangan:

ϕ = Kelembaban relatif

P_v = Tekanan uap air

P_g = Tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama

2.6 Proses Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu teknik pengawetan yang paling banyak diterapkan untuk menekan pertumbuhan mikroorganisme serta mencegah terjadinya perubahan biokimia yang tidak diharapkan. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air pada bahan sehingga dapat menghentikan pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim yang bisa merusak bahan untuk memperoleh produk dengan masa simpan lebih lama dan nilai jual yang lebih tinggi (Ramadhan dkk., 2024).

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 dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$W_a = \frac{m_0 - m_1}{t_p} \quad (11)$$

Keterangan :

W_a = Laju Pengeringan

m_0 = Massa Air Dalam Bahan

m_1 = Massa Bahan Produk Dalam Kering

t_p = Waktu Pengeringan

2.7 Jenis- Jenis Pengeringan

Pengeringan adalah proses pengurangan kadar air dalam suatu bahan hingga mencapai tingkat tertentu, sehingga dapat memperlambat kerusakan produk yang disebabkan oleh reaksi biologis maupun kimia. Proses ini pada dasarnya merupakan dehidrasi, yaitu upaya menghilangkan kandungan air dari suatu material. Proses pengeringan produk pangan bergantung pada struktur bahan beserta parameter pengeringan yaitu kadar air, dimensi produk, suhu medium pemanas, berbagai laju perpindahan pada permukaan dan kesetimbangan kadar air. 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 ataupun tenaga surya. Pengeringan pada suhu di bawah titik didih juga membantu

menjaga kualitas produk dan menghindari kerusakan akibat panas berlebihan.(Manurung, 2024) Cara pengeringan dapat dilakukan secara alami maupun buatan.

1. Pengeringan alami

Pengerian adalah proses pengurangan kadar air pda bahan dengan memanfaatkan energi panas. Di Indonesia metode yang paling sering digunakan masih bersifat tradisional, yaitu dengan menjemur bahan secara langsung. Menurut para petani, pengeringan konvensional merupakan salah satu cara yang paling mudah dan praktis karena dari segi biaya operasional terbilang murah, tetapi memiliki beberapa kelemahan. Kelemahannya antara lain membutuhkan lahan yang luas, kontaminasi produk dari debu, suhu selama proses penjemuran berlangsung tidak konstan, kotoran dan polusi kendaraan pada produk yang biasa dikeringkan di pinggir jalan sehingga produk menjadi kurang higienis dan menurunkan mutu dari produk tersebut. (Ariana , 2024).

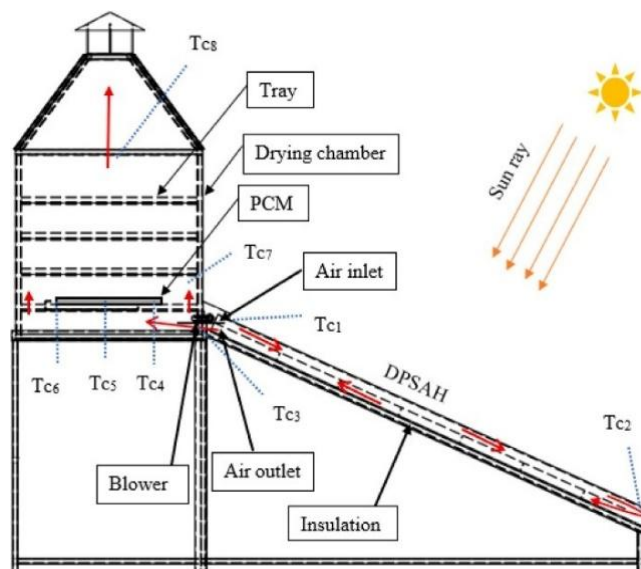
2. Pengeringan Buatan

Pengeringan buatan adalah proses pengeringan dengan menggunakan sumber panas tambahan, seperti pembakaran, listrik, atau sinar matahari. Proses ini dapat melibatkan aliran udara panas yang dialirkan ke bahan yang akan dikeringkan, mempercepat penguapan air dari bahan tersebut. Pengeringan buatan memiliki kelebihan dibandingkan pengeringan alami, yaitu waktu penjemuran yang lebih singkat serta bahan yang dijemur menjadi lebih bersih dan terlindung dari debu, hujan, dan faktor lainnya. Pengering buatan tersedia dalam berbagai jenis, seperti yang menggunakan listrik, sinar matahari, bahan bakar lpg, dan lain sebagainya.

Adapun jenis – jenis pengeringan buatan adalah sebagai berikut :

1. Pengeringan Energi Surya (*Solar Dryer*).

pengeringan merupakan salah satu metode penting dalam pengawetan hasil pertanian, terutama di daerah tropis dan subtropis. Salah satu teknologi yang banyak dikembangkan dan diterapkan adalah pengering tenaga surya (*solar dryer*), yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber panas utama untuk mengurangi kadar air dalam produk pertanian. Teknologi ini dinilai lebih ramah lingkungan, hemat energi, dan cocok diterapkan di wilayah dengan intensitas sinar matahari tinggi. Menurut (Kerse, dkk., 2025), pengering surya telah mengalami banyak perkembangan desain, dari sistem terbuka konvensional hingga sistem tertutup dan hybrid yang menggabungkan energi tambahan dari biomassa, listrik, atau panas buangan. Desain pengering dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu: pengering surya langsung (*direct solar dryer*), tidak langsung (*indirect solar dryer*), campuran (*mixed-mode dryer*), dan sistem hybrid. Setiap desain memiliki kelebihan dan keterbatasan yang disesuaikan dengan jenis produk yang dikeringkan, iklim lokal, serta kebutuhan pengguna.

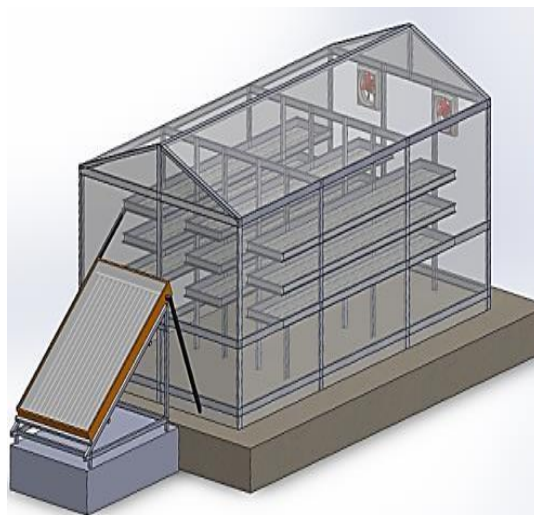


Gambar 2.5 Pengering energi surya (*solar dryer*)

(Sumber:Kerse dkk., 2025)

2. Pengeringan *hybrid* tipe *greenhouse* (*hybrid dryer*)

adalah sistem pengeringan yang menggabungkan energi matahari dengan sumber panas tambahan, seperti gas *heater*, listrik, atau biomassa, untuk meningkatkan efisiensi pengeringan. Sistem ini menggunakan prinsip rumah kaca (*green house*) untuk menangkap dan mempertahankan panas dari sinar matahari, sekaligus menggunakan pemanas tambahan saat intensitas matahari berkurang. Tujuan utamanya adalah mempercepat proses pengeringan dan menjaga kualitas produk dibandingkan metode pengeringan matahari langsung. Dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Pengeringan *hybrid* tipe *greenhouse* (*hybrid dryer*)

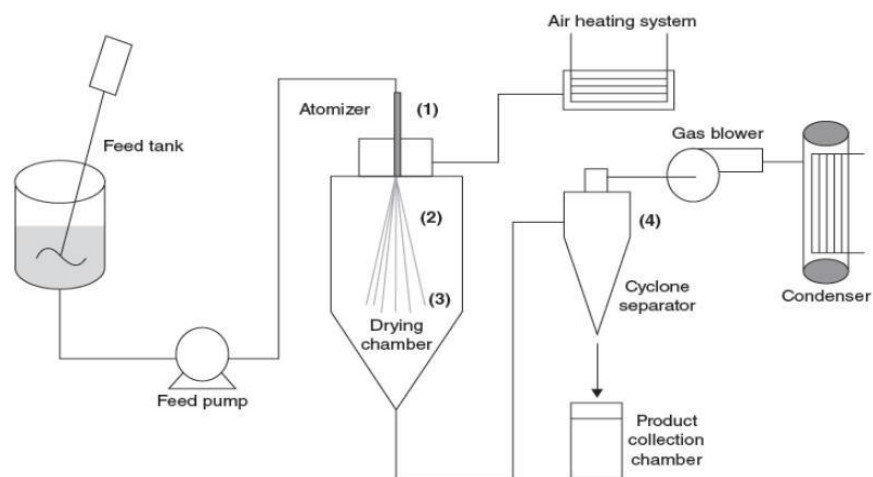
(Sumber: Selan dkk., 2023).

3. *Spray Dryer*

Spray dryer atau pengering semprot merupakan alat yang digunakan untuk mengubah cairan menjadi serbuk kering dengan menyemprotkannya ke dalam ruang pengering yang berisi udara panas. Proses ini banyak digunakan dalam industri makanan, farmasi,

dan kimia karena kemampuannya menghasilkan produk kering dalam waktu singkat dengan ukuran partikel yang seragam.

Menurut beberapa literatur, prinsip kerja *spray dryer* melibatkan tiga tahap utama: atomisasi cairan, kontak dengan udara panas, dan pemisahan partikel kering dari udara. *Atomisasi* dilakukan dengan menyemprotkan larutan atau suspensi melalui *nozzle* atau *rotary atomizer* untuk menghasilkan butiran cair berukuran kecil. Butiran ini kemudian langsung bersentuhan dengan udara panas dalam ruang pengering, menyebabkan air menguap secara instan dan meninggalkan partikel kering. Selanjutnya, partikel dikumpulkan menggunakan siklon atau alat pemisah lain. Dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Spray Dryer*

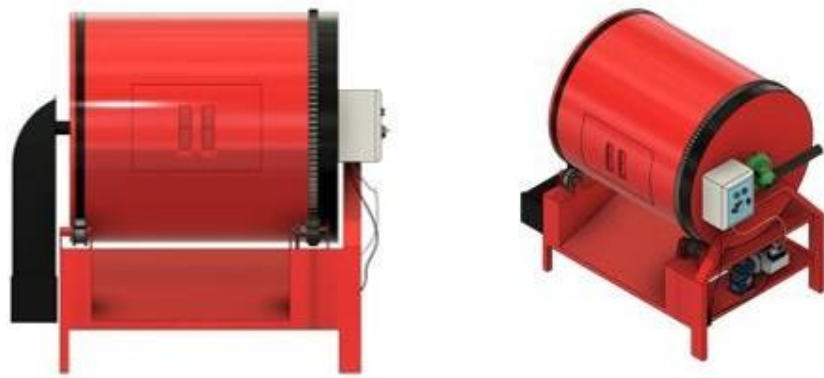
(Sumber: Wahono , 2024)

4. *Rotary / Drum Dryer*

Mesin pengering *rotary dryer* bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas dan massa antara bahan yang dikeringkan dengan udara panas di dalam tabung silinder yang berputar. Dalam sistem ini, terdapat beberapa komponen utama yang bekerja secara sinergis, yaitu

ruang pemanas, tabung pengering berbentuk *silinder horizontal*, sistem transmisi (motor dan roda gigi), serta *blower*.

Proses pengeringan dimulai dari pemanasan udara melalui pembakaran gas LPG dalam ruang pemanas. Udara panas tersebut dialirkan ke dalam tabung silinder pengering. Bahan yang akan dikeringkan dimasukkan ke dalam tabung, yang secara kontinu berputar dengan kecepatan rendah (sekitar 19–20 rpm), sehingga bahan terus bergerak dan teraduk secara merata. Gerakan rotasi tabung memungkinkan bahan bersentuhan dengan udara panas dari berbagai sisi, meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Selain itu, pengadukan yang konstan mencegah bahan menggumpal dan memastikan penguapan air terjadi merata. Kelembaban yang menguap dibawa oleh aliran udara ke luar sistem melalui saluran pembuangan. Dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 *Rotary / drum dryer*

(Sumber: (Ayu Raisa dkk., 2024))

5. *Tray Dryer*

Pengering tipe rak (*tray dryer*) merupakan salah satu metode pengeringan konveksi di mana material ditempatkan pada *tray* atau rak yang tersusun secara bertingkat di dalam suatu ruang pengering. Proses pengeringan pada sistem ini berlangsung melalui kontak

langsung antara material dan medium pengering berupa udara panas yang dialirkan secara terkendali. Secara umum, *tray dryer* memiliki konstruksi berbentuk persegi dengan konfigurasi rak-rak internal yang berfungsi sebagai wadah untuk menempatkan bahan yang akan mengalami proses evaporasi kelembapan.

Selain memanfaatkan elemen pemanas udara, sistem ini umumnya dilengkapi dengan kipas (*fan*) yang berperan penting dalam mengatur sirkulasi dan distribusi udara panas agar merata di seluruh ruang pengering. Pengaturan aliran udara tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan massa selama proses pengeringan berlangsung. Tampilan atau bentuk umum mesin pengering tipe tray dryer dapat diamati pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Tray dryer*

(Sumber: Achdi dkk., 2025)

Dalam menentukan efisiensi pengeringan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{Q_{serap}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana:

η = Efisiensi pengeringan (%)

Q_{serap} = Energi yang dimanfaatkan untuk pengeringan (kJ/s)

Q_{in} = Energi yang masuk kedalam system pengering (kJ/s)

2.8 Gas Heater

Gas heater atau pemanas berbahan bakar gas merupakan perangkat yang digunakan untuk menghasilkan panas melalui proses pembakaran gas, seperti LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), LNG (*Liquefied Natural Gas*), atau biogas. Pemanas gas banyak digunakan dalam industri dan rumah tangga karena efisiensinya yang tinggi serta kemampuannya dalam menghasilkan suhu yang stabil dan terkendali. Dalam aplikasi mesin pengering ini, gas *heater* berfungsi sebagai sumber panas selain radiasi matahari untuk mengeringkan bahan dengan cara mengalirkan udara panas ke dalam ruang pengeringan. Gas *heater* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Gas *heater*

Untuk menghitung total energi yg disuplai oleh gas LPG selama proses pengeringan dapat menggunakan persamaan di bawah ini

$$Q_{gas} = m_{gas} \times NCV \quad (13)$$

Dimana :

m_{gas} = Massa gas LPG yang di gunakan

NCV (*Net Calorific Value*) = Nilai kalor bersih Lpg sekitar 46.1MJ/kg.

2.9 Gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan bahan bakar gas yang terdiri dari campuran utama propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) yang dicairkan melalui proses kompresi pada tekanan sedang. Dalam kondisi atmosfer normal, LPG berbentuk gas, namun dalam sistem penyimpanan bertekanan, gas ini berubah menjadi cair untuk mempermudah transportasi dan penyimpanan (Edward dkk., 2024).

LPG dikenal sebagai sumber energi panas yang efisien, bersih, dan mudah dikendalikan, sehingga banyak digunakan pada berbagai sistem konversi energi, termasuk pada mesin pengering *hybrid* tipe *green house*. Dalam sistem tersebut, LPG berfungsi sebagai sumber panas tambahan (*auxiliary heat source*) ketika energi dari radiasi matahari tidak mencukupi, seperti pada kondisi mendung atau malam hari. Penggunaan LPG memungkinkan suhu ruang pengering tetap stabil, sehingga kualitas dan kecepatan proses pengeringan dapat terjaga (Singh, 2024).

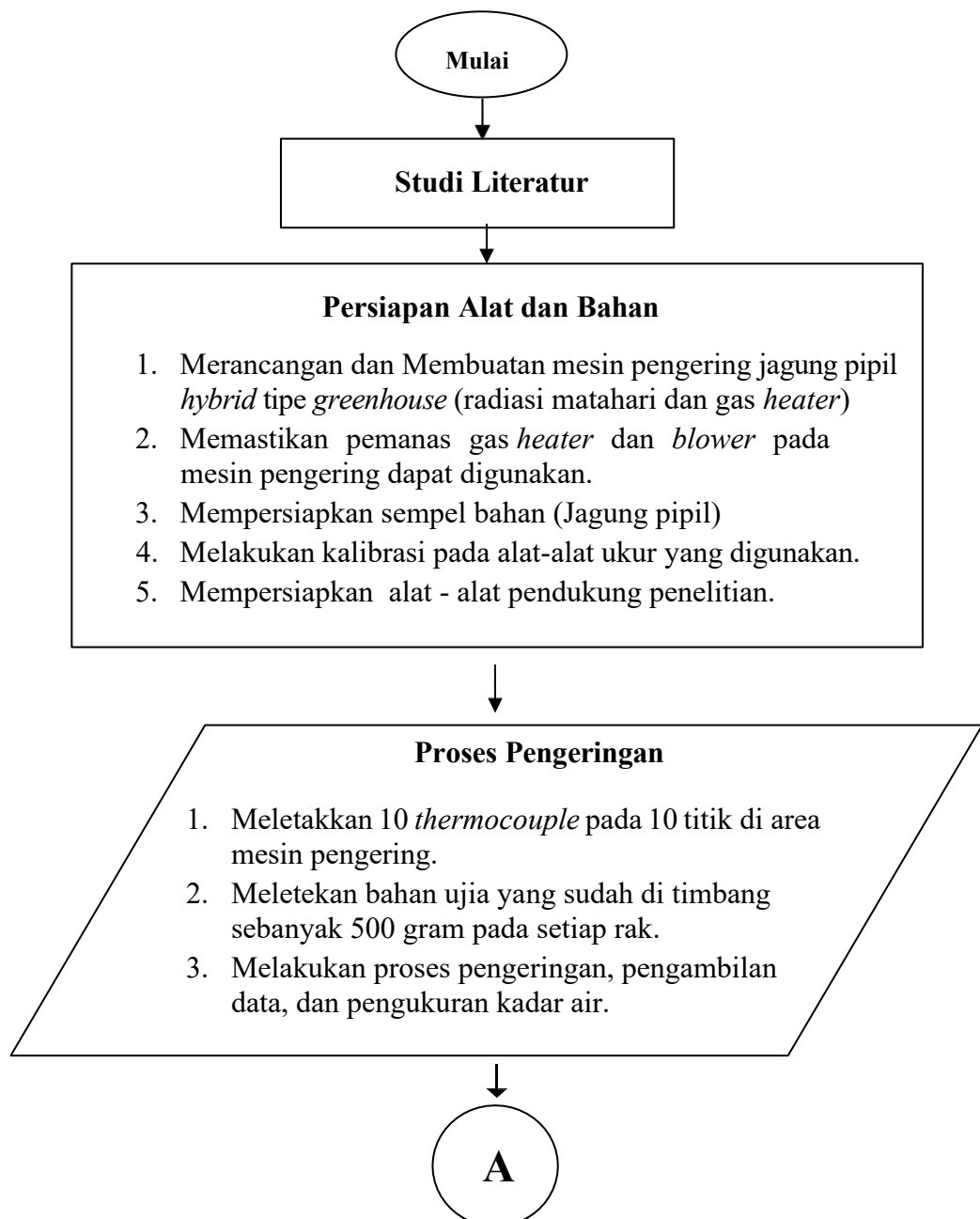


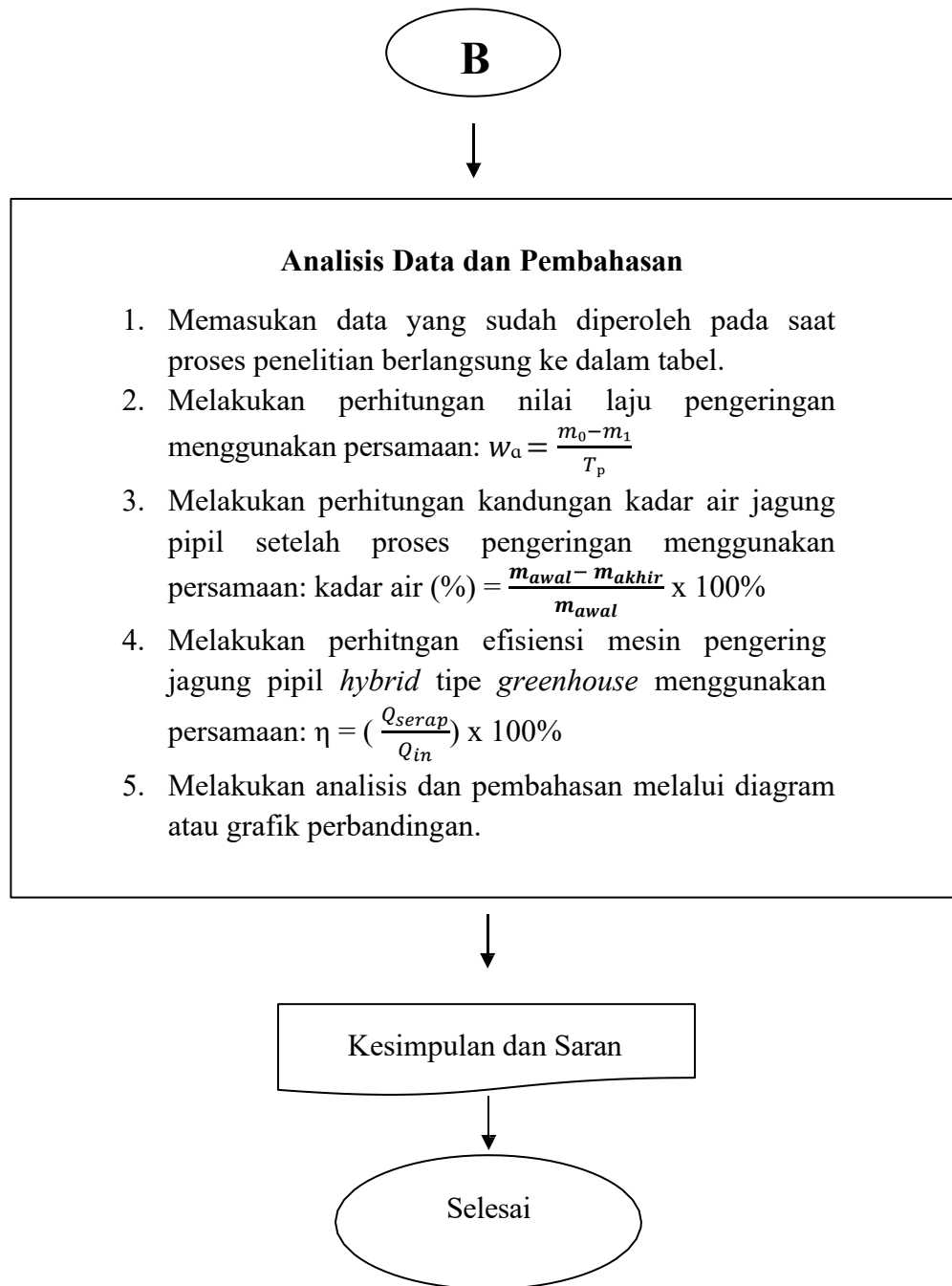
Gambar 2.11 *Liquefied Petroleum Gas* (LPG)

III. METODE PERCOBAAN

3.1 Alur Tahap Penelitian

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



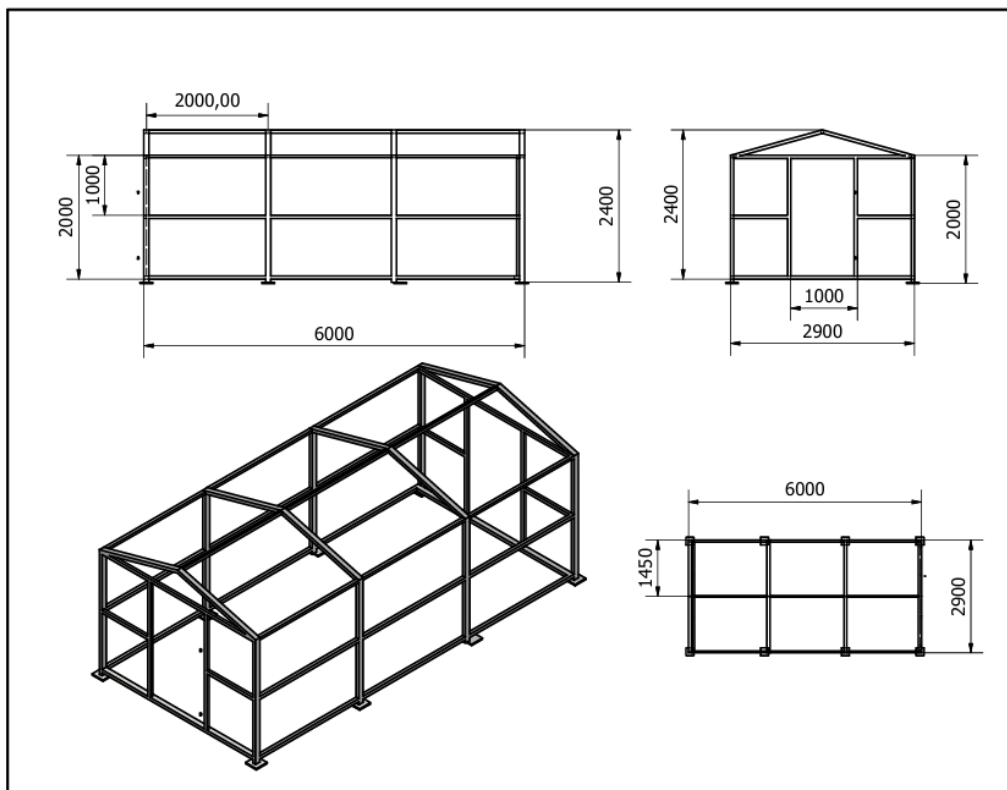


Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.

3.2 Desain Mesin Pengering

Mesin pengering hybrid tipe *greenhouse* adalah sistem pengeringan yang menggabungkan energi matahari dan pemanas tambahan (seperti gas heater atau listrik) untuk mengeringkan bahan pertanian, pengeringan ikan atau produk lainnya.

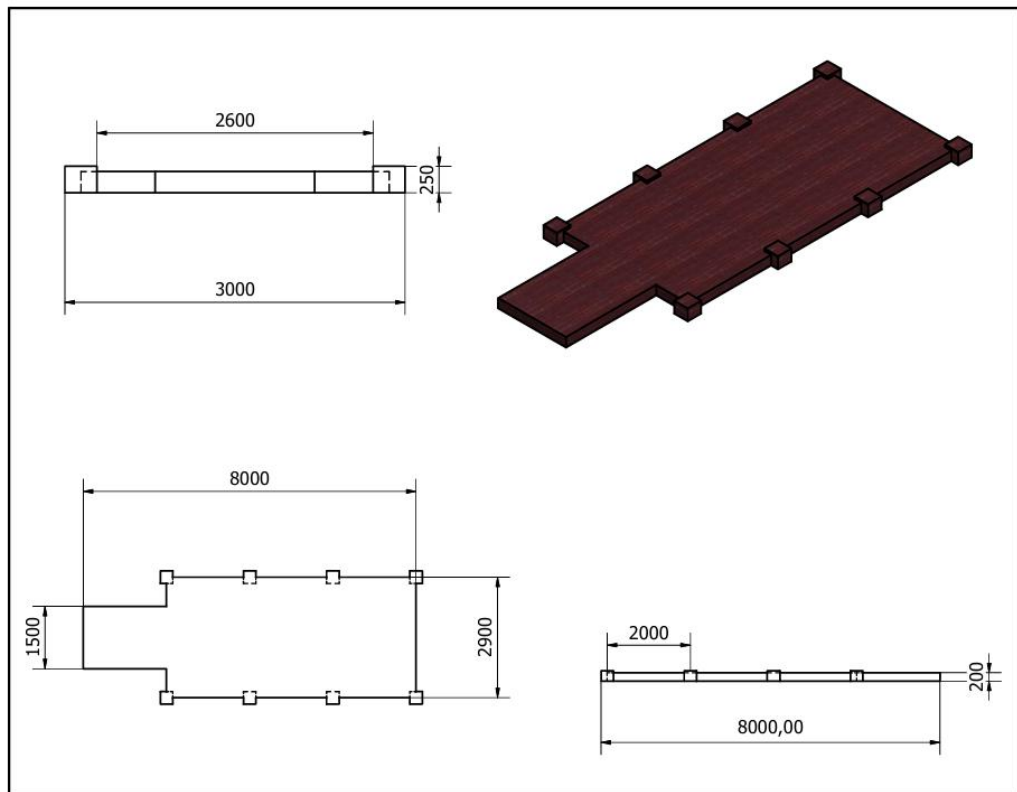
Berikut adalah gambar perancangan mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* (gas heater dan radiasi matahari).



Gambar 3.2 Desain rangka mesin pengering *hybrid*

Tabel 3.1 Spesifikasi rangka mesin pengering.

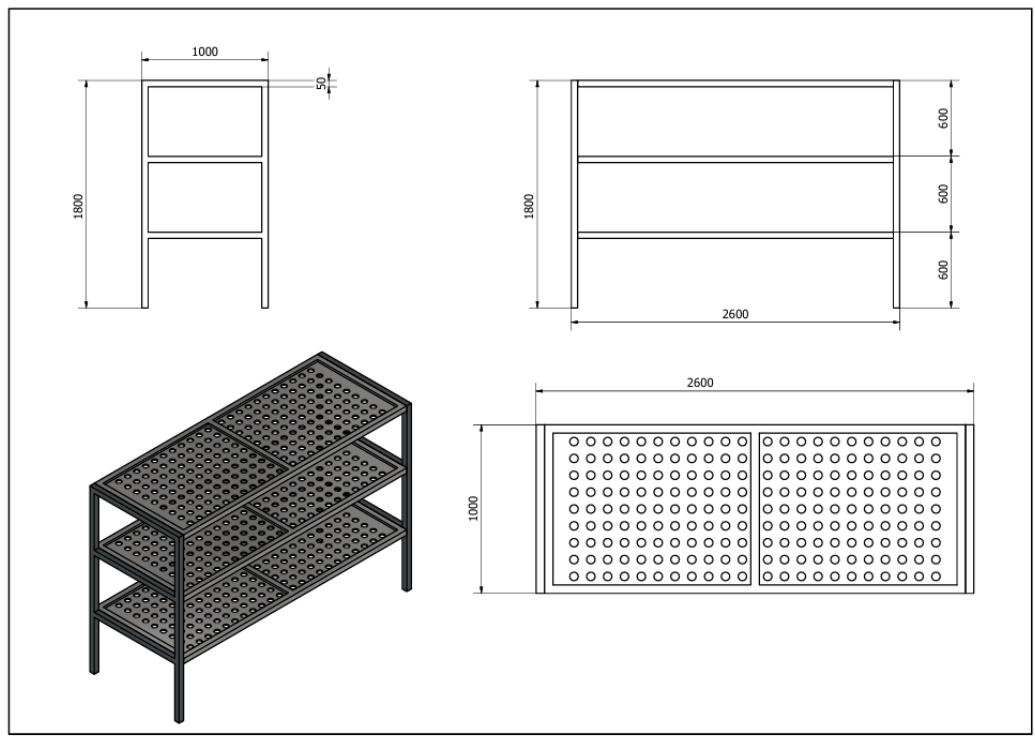
Panjang rangka pengering	6 m
Lebar rangka Pengering	2.9 m
Tinggi rangka Pengering	2,4 m



Gambar 3.3 Desain struktur lantai atau pondasi awal.

Tabel 3.2 Sesifikasi struktur lantai mesin pengering

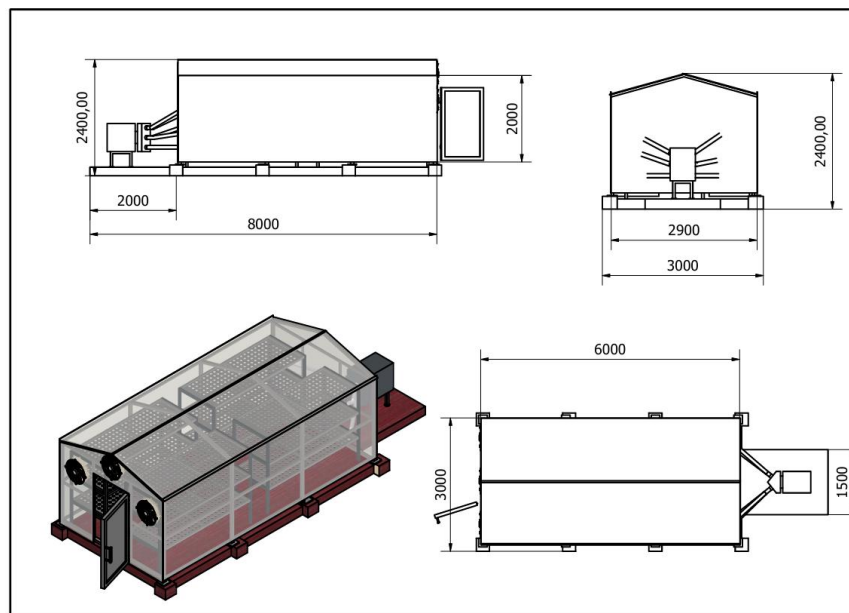
Panjang lantai pengering	8 m
Lebar lantai Pengering	2,9 m
Tinggi lantai Pengering	50 cm
Jarak antara pondasi tiang	2 m
Lebar lantai untuk gas heater	1,5 m
Pondasi dudukan tiang	20 cm x 20 cm



Gambar 3.4 Desain rak pengering

Tabel 3.3 Spesifikasi rak pengering

Panjang rak pengering	260 cm
Lebar rak Pengering	100 cm
Tinggi rakPengering	180 cm
Jarak atara rak pengering	60 cm
Tinggi kaki rak	60 cm



Gambar 3.5 Desain mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse*

Tabel 3.4 Spesifikasi mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse*.

Spesifikasi mesin pengering	
1. Tipe	: <i>Greenhouse</i>
2. Model	: Pengering tipe rak
3. Kapasitas	: 150 kg
4. Dimensi keseluruhan (p x l x t)	: 6 m x 2,9 m x 2,4 m
5. Rangka	: Besi hollow
6. Dinding	: Plastik UV
7. Jumlah pintu	: 1 pintu
8. Jumlah rak	: 12 rak
9. Panjang x Lebar rak	: 260 cm x 100 cm
10. Jarak antar rak	: 60 cm
11. Blower (<i>exhaust fan</i>)	: 3 <i>blower</i>
12. Unit pemanas	: Gas <i>heater</i>
- Output power	: 50 kW
- energi	: Gas
- kabel	: 10 m
- dimensi <i>heater</i>	: 59 x 36 x 46 cm

3.3 Rencana Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Maja, Kalianda, Lampung Selatan. Penelitian ini berfokus pada Perancangan, Pembuatan dan efisiensi mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* (gas *heater* dan radiasi matahari) untuk pengeringan jagung pipil. Pengujian dilakukan selama beberapa minggu untuk mendapatkan data yang valid pada berbagai kondisi. Adapun alat dan bahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut.

1. Mesin pengering Jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* – mesin pengering yang memanfaatkan gas *heater* dan radiasi matahari.
2. Temperature *recorder datalogger* – untuk mencatat suhu di berbagai titik dalam ruang pengering.
3. *Thermocouple* type-k – digunakan untuk mengukur distribusi suhu dalam ruang pengering.
4. *Solar power* meter – untuk mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari.
5. *Anemometer* – untuk mengukur kecepatan aliran udara yang dihasilkan oleh *exhaust fan*.
6. *Hygrometer* – untuk mengukur kelembaban udara di dalam ruang pengering.
7. *Grain Moisture* Meter – untuk mengukur kadar air jagung pipil selama proses pengeringan.
8. Timbangan Digital – untuk mengukur berat jagung pipil sebelum dan sesudah pengeringan.
9. Jagung Pipil – sebagai bahan uji dengan kadar air awal sekitar 30–25%.

3.4 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam analisis rak pengering cabai adalah sebagai berikut:

3.4.1 Alat

Adapun alat-alat yang merupakan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Channel temperature recorder data logger*

12 *Channel Temperatur 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 instrumen 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.



Gambar 3.6 *Channel temperature recorder data logger*

Adapun spesifikasi dari data *logger* dan *termokopel* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.5 Spesifikasi data logger

Temperatur perekaman	-50 s/d 1300°C
Ketelitian	0.1°C
Input	12 saluran

2. Kabel termokopel

Fungsi thermocouple adalah sebagai alat ukur untuk mendeteksi temperatur. Dimana temperatur yang dihitung yaitu suhu udara yang berada di dalam ruang pengering.



Gambar 3.7 Termokopel

Adapun spesifikasi dari *termokopel* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada table 3.6

Tabel 3.6 Spesifikasi *termokopel*

Panjang kabel	2-7 meter
Temperatur ukur	-200 s/d 600°C

3. *Solar power meter*

Solar power meter merupakan alat ukur radiasi matahari yang mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari (W/m^2).



Gambar 3.8 *Solar power meter*

4. Timbangan digital

Timbangan digital dipakai untuk mengukur berat dari jagung pipil yang ada di dalam mesin pengering untuk menimbang berat perjam nya.



Gambar 3.9 Timbangan digital

5. Timbangan digital besar

Timbangan digital dipakai untuk mengukur berat dari jagung pipil keseluruhan sebelum masuk kemesin pengering dan beart gas LPG yg digunakan selam proses pengeringan jagun pipil.



Gambar 3.10 Timbangan Digital Besar

6. *Anemometer*

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara pada *blower*.



Gambar 3.11 *Anemometer*.

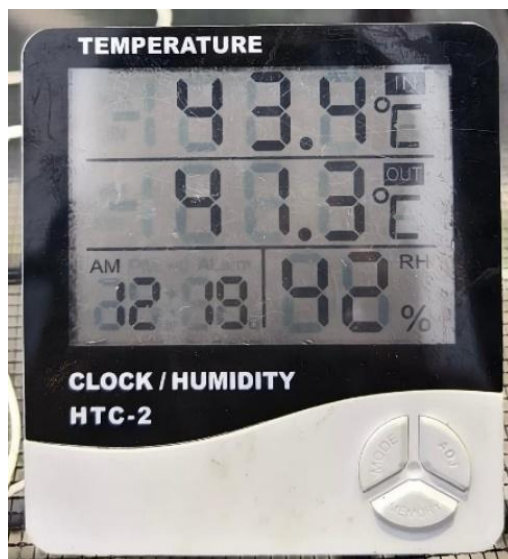
Adapun spesifikasi dari anemometer adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Spesifikasi anemometer

Kecepatan Udara Ukur	0 s/d 30 m/s
Temperatur Udara Ukur	-10 s/d 45 °C
Ketelitian Kecepatan udara	+ / - 5%
Ketelitian Temperatur udara	+ / - 2 °C

7. Higrometer

Hygrometer Adalah alat yang digunakan untuk mengukur kelembapan. sebuah humidistat digunakan untuk mengatur tingkat kelembaban udara dalam sebuah bangunan dengan sebuah pengawal lembap (*dehumidifier*). Kelembapan udara adalah tingkat kebasahan udara karena dalam udara air selalu terkandung dalam bentuk uap air.



Gambar 3.12 Higrometer

Adapun spesifikasi dari higrometer adalah sebagai berikut:

Tabel 3.8 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%

8. *Grain moisture meter*

Grain moisture meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam biji-bijian seperti padi, jagung, gandum, dan lainnya.



Gambar 3.13 *Grain moisture meter*.

3.4.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada pengujian ini yaitu jagung pipil dengan berat 500g disetiap raknya:



Gambar 3.14 Jagung Pipil

3.5 Prosedur Pengujian Pengeringan jagung pipil.

Adapun prosedur 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 menimbang Jagung pipil yang akan dikeringkan serta meletakkan jagung pada rak pengeringan.
3. Memasang *Thermocouple* pada setiap rak yang ada diruangan pengering ,inlet pada gas heater dan exhase fan ke *Channel Temperature Recorder Datalogger* untuk mendapatkan data temperature.
4. Menyambungkan Lpg ke gas heater dan gas heater ke listrik .
5. Menyalakan gas heater dan *Fan blower* akan otomatis hidup untuk mendorong udara panas dari burner pembakaran.

6. Menunggu temperatur pada 10 titik *Thermocouple* mencapai suhu yang diinginkan.
7. Melakukan pengukuran setiap 60 menit sekali dalam rentang waktu 09.00-16.00 WIB untuk mendapatkan data temperatur pada 10 titik *Thermocouple* dan untuk data radiasi menggunakan *solar power* meter.
8. Menghitung jumlah kadar air pada bahan sampel Jagung pipi; dengan alat *grain moisture meter* setiap 60 menit sekali dalam rentang waktu 09.00–16.00.
9. Mencatat hasil pada langkah ke 7 dan 8.
10. Mengulangi langkah ke 7-8 dengan menggunakan tiga variasi temperature inlet pada gas *heater* yang digunakan.

3.6 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan pengerjaan yang dilakukan dalam 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 mesin pengering tipe *greenhouse*, dengan mempelajari dari buku, internet, dan jurnal-jurnal penelitian terbaru yang relevan.

2. Tahap Persiapan Alat dan Bahan Uji

Pada tahapan ini dilakukan Perancangan dan pembuatan mesin pengering jagung pipil tipe *greenhouse* dan memastikan komponen pada mesin pengering seperti, blower, Gas *heater* dan *exhaust fan* dapat berfungsi dengan baik. Melakukan persiapan dan kalibrasi pada alat-alat ukur yang akan digunakan. Serta menyiapkan bahan uji yaitu, jagung pipil untuk dikeringkan.

3. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan data-data yang diperlukan dengan menggunakan beberapa macam alat ukur antara lain: *Thermorecorder*, *thermocouple*, timbangan digital, *hygrometer*, *anemometer*, dan *solar power meter*. Data-data yang diambil meliputi *temperature ambient*, temperatur ruang pengering, *temperature rak pengering*, lama pengeringan dan massa produk yang dikeringkan. Setelah data-data penelitian didapatkan kemudian dicatat dan dimasukkan kedalam table perhitungan.

4. Tahap Analisis Data

Data yang diperoleh merupakan data hasil pengujian yang dilakukan secara langsung. Selanjutnya data yang diperoleh dari hasil pengujian dimasukan kedalam tabel hasil pengujian. Kemudian data dari tabel hasil pengujian dianalisa dan disajikan kedalam bentuk grafik perbandingan sehingga diperoleh analisis perbandingan kinerja mesin pengeringan tipe *greenhouse* antara *hybrid* (Menggunakan gas *heater* dan radiasi matahari) dan pengeringan jagung tradisional. Serta pengamatan terhadap *temperature*, kelembapan udara, waktu pengeringan, dan penurunan kadar air sesudah pengeringan dan massa bahan pada jagung pipil.

5. Tahap Pembuatan Laporan

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 dipublikasikan di seminar-seminar yang relevan, sehingga dapat diperoleh masukan-masukan untuk kesempurnaan penelitian selanjutnya.

3.7 Peroses pembuatan mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse*

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 rak pengering, pembuatan pipa inlate dari gas heater ke *greenhouse*, dan perakitan mesin di lokasi sampai *finishing*.

3.7.1 Pembuatan lantai mesin pengering

Pada proses pembuatan lantai ini di lakukan pengercoran karena lokasi yg dijadikan tempat mesin pengering ini kondisi nya tidak rata dan sedikit menanjak.



Gambar 3.15 Lantai Mesin Pengering.

3.7.2 Pembuatan rangka mesin pengering

Proses pembuatan rangka mesin pengering jagung, rangka mesin pengering ini terbuat dari besi *hollow*.



Gambar 3.16 Pembuatan Rangka Mesin Pengering

3.7.3 Pembuatan rak pengering

Proses pembuatan rak mesin pengering, rak mesin pengering ini terbuat dari besi siku dan jaring



Gambar 3.17 proses pembuatan rak pengering

3.7.4 Perakitan rangka mesin pengering

Proses ini dilakukan langsung di Lokasi mesin pengering untuk menyesuaikan rangka dengan lantai nya.



Gambar 3.18 Perakitan Rangka Mesin Pengering

3.7.5 Proses pemasangan plastik UV dan gas heater.

Proses ini dilakukan dengan memasng plastic UV, gas heater, *exhasue fan* dan menginstalasiakan semua kedalam satu panel.



Gambar 3.19 Pemasngan plastik UV dan *gas heater*.

3.7.6 Proses instalasi elektrik dan *fishing mesin* pengering

Menunjukkan proses pemasangan instalasi elektrik pada sistem pengering yang dirancang untuk mengontrol seluruh komponen mesin secara terintegrasi. Instalasi ini menghubungkan sumber daya listrik ke panel kontrol utama, yang berfungsi sebagai pusat pengaturan sistem. Melalui panel tersebut, operator dapat memantau dan mengendalikan berbagai komponen mesin pengerng seperti, menghidupkan *gas heater* dan *exhaust fan*. Tahapan pemasangan dilakukan dengan memperhatikan aspek keselamatan dan efisiensi sistem, termasuk penataan kabel, penyambungan sensor, serta pengujian koneksi antar komponen.

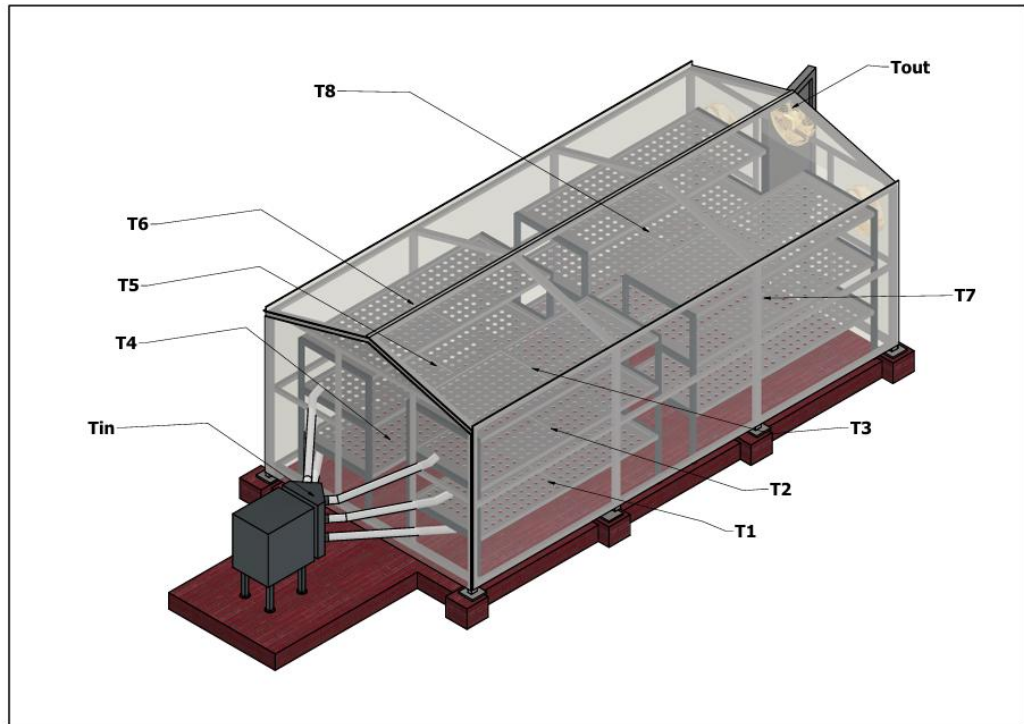
Panel kontrol kemudian diintegrasikan dengan unit pemanas dan saluran distribusi udara menuju ruang pengering (seperti terlihat pada gambar di bawah ini), memastikan distribusi panas berjalan merata sesuai kebutuhan proses pengeringan.



Gambar 3.20 Proses Instalasi elektrik dan fishing mesin pengering.

3.7.7 Skema letak *thermocouple*

Penempatan *thermocouple* pada mesin pengering dilakukan pada beberapa titik untuk memantau distribusi temperatur selama proses pengeringan berlangsung. Sensor T_1 , T_2 , dan T_3 dipasang pada rak bagian bawah, tengah dan atas pada sisi sebelah kiri lalu untuk Sensor T_4 , T_5 dan T_6 diletakan di rak bawah, tengah dan atas bagian sebelah kanan untuk mengukur temperatur udara panas yang pertama kali masuk ke ruang pengering, untuk sensor T_7 dan T_8 diletakan di tengah rak sebelah kanan dan kiri di bagian belakang. Selain itu, sensor T_{in} digunakan untuk mengukur temperatur udara masuk dari gas heater, sedangkan sensor T_{out} mencatat temperatur udara yang keluar.



Gambar 3.21 skema memposisikan *thermocouple*.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* berhasil dirancang dan dibuat sesuai dengan spesifikasi yang telah direncanakan. Mesin mampu memanfaatkan kombinasi sumber panas dari radiasi matahari dan gas *heater* serta dilengkapi sistem sirkulasi udara yang mendukung proses pengeringan jagung pipil.
2. Analisis efisiensi mesin pengering menunjukkan bahwa laju aliran gas *heater* berpengaruh terhadap suhu udara pengering dan kinerja pengeringan. Pada variasi kecepatan udara 5,5 m/s, temperatur ruang pengering mencapai kisaran 50,9 – 59,1°C, sedangkan pada 3,66 m/s berkisar 50,2 – 56,5°C, dan pada 2,7 m/s berkisar 47,9 – 55,9°C. Peningkatan suhu ini mempercepat proses penurunan kadar air jagung pipil, dimana pada kecepatan 3,66 m/s diperoleh kadar air akhir terendah sebesar 13,8% dalam waktu 8 jam, sehingga energi panas dapat dimanfaatkan secara lebih efektif dalam proses pengeringan.
3. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan pengeringan tradisional. Mesin pengering *hybrid* mampu menurunkan kadar air jagung pipil dari sekitar 29,4 – 30,1% menjadi 13,8 – 14,5% dalam waktu 8 jam, sedangkan pengeringan tradisional membutuhkan waktu hingga 24 jam untuk mencapai kadar air akhir sekitar 14,9%. Hal ini menunjukkan bahwa mesin pengering *hybrid* lebih unggul dari segi waktu pengeringan, penurunan kadar air, serta kestabilan proses karena tidak terlalu bergantung pada kondisi cuaca.

5.2 Saran

1. Mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* perlu dikembangkan lebih lanjut dengan penyempurnaan desain ruang pengering dan sistem sirkulasi udara agar distribusi panas pada setiap rak lebih merata.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menerapkan sistem kontrol suhu otomatis guna meningkatkan efisiensi dan pemanfaatan energi pengeringan.
3. Pengujian lanjutan perlu dilakukan pada kapasitas bahan uji yang lebih besar dan dalam berbagai kondisi cuaca untuk mengevaluasi kinerja mesin pengering *hybrid* dengan pengeringan tradisional.

DAFTAR PUSTAKA

- Achdi, E., Wasiran, W., Prihastuty, E., Nabila, R., Pratama, I., Nurahim, D., Firmansyah, M., & Hasanudin, R. (2025). Pengujian kondisi pengeringan produk pangan pada pengering kabinet. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XXII 2024, 45–52. <https://doi.org/10.71452/590888>
- Ariana, E., & Wardatullatifah, I. S. (2024). Karakteristik pengeringan umbi porang (*Amorphophallus oncophyllus*) menggunakan alat pengering hybrid tipe rak berputar. *J-AGENT*, 2(2), 151–163.
- Ayu Raisa, T., Mayasari, I., Kholidah, N., Hajar, I., & Rusnadi, I. (2024). Analisis variasi temperatur dan kecepatan silinder pada pengeringan biji kopi dengan rotary dryer berpemanas LPG. *Jurnal Teknik Mesin*, 9.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Selatan. (2024). Kecamatan Kalianda dalam angka 2024. BPS Kabupaten Lampung Selatan.
- Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoğlu, M. (2024). *Thermodynamics: An engineering approach* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Demissie, Y. A., Abreham, R. E., Wassie, H. M., & Getie, M. Z. (2024). *Advancements in solar greenhouse dryers for crop drying*. *Energy Reports*, 11, 5046–5058. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.04.058>
- Edward, A. B., Okwu, M. O., Oreko, B. U., Ugorji, C., Ezekiel, K., Orikpete, O. F., Maware, C., & Okonkwo, C. P. (2024). *Development of a smart monitoring system for advancing LPG cylinder safety and efficiency in Sub-Saharan Africa*. *Procedia Computer Science*, 232, 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.084>
- Fatharani, A., Bintoro, N., & Saputro, A. D. (2023). Analisis matematis perubahan kualitas kolang-kaling (*Arenga pinnata*) pada penyimpanan modified atmosphere packaging (MAP). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 11(1), 1–14. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i1.455>
- Gilang Muharam, M., Melkias, A. A., & Indriyani, D. (2024). Evaluasi efektivitas perpindahan panas generator *air cooler* pada PT X. *Jurnal Teknik Mesin*.

- Hidayati, B., Wahyudi, R., & Prasetyo, S. (2020). Analisis kelembaban udara pada proses dehumidifikasi kentang menggunakan sistem refrigerasi. *Jurnal Austenit*, 12(1).
- Junita, B., Intang, A., & Sucipto, A. (2023). Pengaruh kapasitas dan waktu pemanasan terhadap analisa perhitungan kalor peleburan es. *Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 13(2).
- Kerse, A. Y., Embiale, D. T., & Gunjo, D. G. (2025). Dehydration of red chilli using an indirect type forced convection solar dryer integrated with thermal energy storage. *International Journal of Thermofluids*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.101045>
- Riyanto, M. G., & Yuliana, L. (2024). Pengaruh biaya produksi dan harga jual terhadap pendapatan petani jagung Desa Sugihwaras. *MASMAN: Master Manajemen*, 2(4), 80–88. <https://doi.org/10.59603/masman.v2i4.570>
- Manurung, H., & Simanjuntak, R. (2024). Pengaruh jenis kemasan dan lama penyimpanan terhadap karakteristik mutu buah harimonting (*Rhodomyrtus tomentosa*). *Agrintech: Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 2(2), 55–60. <https://doi.org/10.30596/agrintech.v2i2.3661>
- Prabowo, R. H., Titahelu, N., & Rumaherang, W. M. (2024). Analisa kehilangan panas pengering konvektif rumput laut dengan kelembaban relatif berbeda. *Jurnal Isometri*, 3(1), 97–105. <https://doi.org/10.30598/isometri.2024.3.1.97-105>
- Rahmad Ramadhan, M., Erika, D. R., & Dahlan, A. (2024). Pengaruh berbagai metode pengeringan terhadap fisikokimia bubuk cabai: Studi pustaka. *Jurnal Sains dan Teknologi Pangan*, 9.
- Selan, L. D. T., Koehuan, V. A., & Sanusi, A. (2023). Analisis eksperimental variasi kecepatan aliran udara panas pada proses pengeringan ikan menggunakan rumah pengering tipe UV solar dryer. *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana*, 10(2), 35–41. <http://ejurnal.undana.ac.id/index.php/LJTMU>
- Singh, S., & Kumar, G. (2024). Ultra-sensitive liquefied petroleum gas (LPG) sensor based on monometallic Ag nanospheres synthesized via microwave-assisted facile approach. *Hybrid Advances*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100313>
- Syam, S. M., Hapeni, R. S., Eka, D., & Muliawati, C. (2023). Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan III (SENASTITAN III). Surabaya.

- Taki, M., Noshad, M., Jasemi, M. M., & Isvandi, F. (2025). Application of even span greenhouse solar dryer (ESGSD) for drying Persian shallot: *Kinetic analysis, machine learning modeling, and quality evaluation*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 68. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.105880>
- To'long, R. B., Suppa, R., & Mukramin, M. (2025). Alat uji kadar air pada buah coklat kering berbasis mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5786>
- Wahono, G., & Fauziyyah, A. (2024). Pengaruh perbedaan *speed atomizer* dan *speed flowrate spray dryer* tipe turbin pump terhadap kualitas sensoris jahe emprit *juice powder*. *Jurnal Teknologi Pangan*.
- Demissie, Y. A., Getie, M. Z., & Wassie, H. M. (2023). *Performance evaluation of solar-assisted crop drying systems*. *Renewable Energy*, 205, 1234–1245.
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of industrial drying* (4th ed.). CRC Press.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). Wiley.
- Mvelase, L., & Ferrer, S. (2024). *The economywide impact of bioethanol production in South Africa*. *Energy Conversion and Management: X*, 24, 100729. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100729>.