

**ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING JAGUNG PIPIL *HYBRID*
TIPE *GREENHOUSE* DENGAN PEMANAS GAS
DAN ISOLASI TERMAL**

(Skripsi)

Oleh

**Rendy Kurniawan
2115021068**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

**ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING JAGUNG PIPIL *HYBRID*
TIPE *GREENHOUSE* DENGAN PEMANAS GAS
DAN ISOLASI TERMAL**

Oleh

Rendy Kurniawan

2115021068

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING JAGUNG PIPIL *HYBRID* TIPE *GREENHOUSE* DENGAN PEMANAS GAS DAN ISOLASI TERMAL

Oleh

Rendy Kurniawan

Pengeringan jagung merupakan tahapan penting dalam menurunkan kadar air jagung agar aman disimpan. Metode pengeringan tradisional yang mengandalkan sinar matahari memiliki berbagai kelemahan, seperti ketergantungan terhadap cuaca, waktu pengeringan yang lama, serta risiko kontaminasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* dengan pemanas gas dan isolasi termal pada pipa penghantar panasnya. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi, yaitu: menggunakan pemanas gas dengan isolasi termal, menggunakan pemanas gas tanpa isolasi termal, dan tanpa pemanas gas. Parameter yang dianalisis meliputi distribusi temperatur, penurunan massa, kadar air, konsumsi energi, serta efisiensi pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pemanas gas dengan isolasi termal menghasilkan kinerja terbaik dengan efisiensi pengeringan sebesar 12,4%, waktu pengeringan 6 jam, serta penurunan kadar air dari 30,8% menjadi 13,7%. Sementara itu, penggunaan pemanas gas tanpa isolasi termal menghasilkan efisiensi 9,8%, sedangkan tanpa pemanas gas sebesar 7,3%. Penggunaan isolasi termal terbukti mampu mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan kestabilan suhu ruang pengering, sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat dan efisien.

Kata Kunci: Pengeringan Jagung, *Greenhouse Dryer*, Pemanas gas, Isolasi termal, Efisiensi Pengeringan.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS OF A GREENHOUSE HYBRID CORN DRIER WITH GAS HEATER AND THERMAL INSULATION

By

Rendy Kurniawan

Corn drying is an important process to reduce the moisture content of corn to a safe level for storage. Traditional drying methods that rely on solar radiation have several disadvantages, such as dependence on weather conditions, long drying times, and the risk of contamination. This study aims to analyze the performance of a hybrid greenhouse-type corn dryer equipped with a gas heater and thermal insulation on the heat transfer pipe. The research was conducted using three variations: using a gas heater with thermal insulation, using a gas heater without thermal insulation, and without a gas heater. The parameters analyzed included temperature distribution, mass reduction, moisture content, energy consumption, and drying efficiency. The results showed that the use of a gas heater with thermal insulation produced the best performance, with a drying efficiency of 12.4%, a drying time of 6 hours, and a reduction in moisture content from 30.8% to 13.7%. Meanwhile, the use of a gas heater without thermal insulation resulted in an efficiency of 9.8%, while the system without a gas heater achieved 7.3% efficiency. The use of thermal insulation was proven to reduce heat loss and improve the temperature stability inside the drying chamber, resulting in a faster and more efficient drying process.

Keywords: *Corn Drying, Greenhouse Dryer, Gas Heater, Thermal Insulation, Drying Efficiency.*

Judul Skripsi : ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING JAGUNG
PIPIL *HYBRID* TIPE *GREENHOUSE* DENGAN
PEMANAS GAS DAN ISOLASI TERMAL

Nama mahasiswa : *Rendy Kurniawan*

NPM : 2115021068

Jurusan : S1-Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Dr. Amrizal, S. T., M. T.

Ahmad Yonanda, S. T., M.T

NIP. 197002021998031004

NIP. 199301102019031008

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin FT Unila,

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin,

Ahmad Suudi, S.T., M.T.

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

NIP. 197408162000121001

NIP.197908212003121003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Dr. Amrizal, S. T., M. T.

Anggota Penguji : Ahmad Yonanda, S. T., M. T.

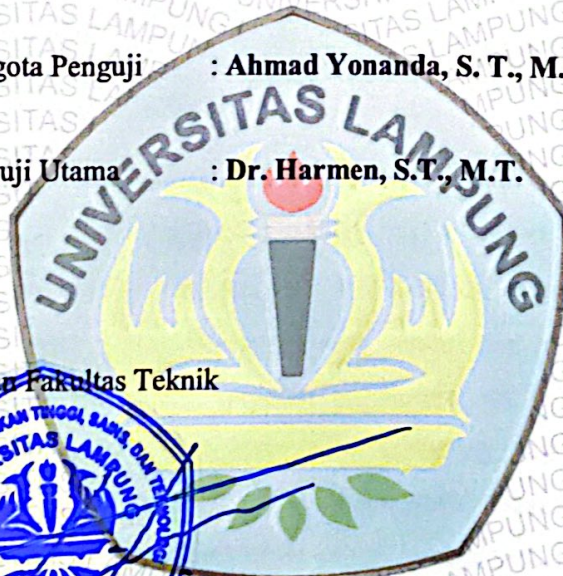
Penguji Utama : Dr. Harmen, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 April 2026



Three handwritten signatures in blue ink are visible on the right side of the document, corresponding to the names of the members of the examination committee.

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rendy Kurniawan

NPM : 2115021068

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “ANALISIS KINERJA MESIN PENGERING JAGUNG PIPIL *HYBRID* TIPE *GREENHOUSE* DENGAN PEMANAS GAS DAN ISOLASI TERMAL” merupakan karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang di skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang saya terima.

Bandar Lampung, 20 April 2026

Pembuat Pernyataan,



Rendy Kurniawan

NPM. 2115021068

HALAMAN PERSEMBAHAN



Alhamdulillahirobbil'alamin

Puja dan puji Syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala
atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan
skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi
Muhammad SAW.

Dengan segala kerendahan hati,
saya memepersembahkan karya sederhana ini sebagai ungkapan kasih
sayang dan rasa terima kasih saya kepada:

Orang Tua dan Keluarga Tercinta

Yang senantiasa memberikan dukungan dan do'a terbaik yang selalu
menyertai. Kuucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada papa
dan mama karena telah mendidik dan membesarkanku dengan cara yang
dipenuhi kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan.

Tanpa kalian, semua ini tidak akan terwujud.

Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin
Angkatan 2021, Almamater Tercinta, Universitas Lampung

Seluruh orang yang bertanya:
Kapan S.kp Sempro Semhas hingga Wisuda?

SANWANCA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, dan sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan tepat pada waktunya walaupun jauh dari kata yang sempurna. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan Program sarjana S1, dan juga salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam menyelesaikan skripsi ini, tentunya penulis banyak mendapat masukan, semangat kritik dan saran, mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dari berbagai pihak.

Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin menyapaikan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan dan kelancaran serta kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dan perkuliahan ini dengan baik.
2. Kedua Orang tua penulis Bapak Abdika Assholihin dan Ibu Yuliur Febriani, serta keluarga besar yang penulis cintai yang selalu memberikan doa, motivasi, semangat dari luar maupun didalam, serta dukungan yang tiada hentinya dengan penuh kasih sayang.
3. Dr. Hi. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Prof. Dr. Amrizal, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Ahmad Yonanda, S. T., M. T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan masukan yang bermanfaat dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Dr. Harmen, S.T., M.T. selaku Dosen Pembahas yang telah membimbing dan membina dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Ahmad Suudi S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
8. Dr. Ir. Martinus S.T., M.Sc sebagai ketua program studi S1 Teknik Mesin.
9. Ir. Herry Wardono, M.Sc., IPM selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan dukungan akademik penulis.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pengalaman dalam hidup untuk menjadi lebih baik.
11. Seluruh Staf tenaga pendidikan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
12. Risa Annisa Fitria, A.Md.Si seseorang yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Rama Kurniadi, Ayas, Bobby, Brilliant pambudi, sebagai kerabat yang telah membantu dan menemani penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
14. Keluarga Besar Teknik Mesin 2021 yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
15. Seluruh pihak yang terlibat dalam proses penelitian skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Bandar Lampung, 20 April 2026

Rendy Kurniawan
NPM. 2115021068

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Rendy Kurniawan, lahir pada tanggal 11 Januari 2003 di Kalianda Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari Bapak Abdika Assholihin dan Ibu Yuliur Febriani. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 3 Way urang hingga tahun 2015, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP N 2 Kalianda selesai pada tahun 2018, dan melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMA 1 Kalianda dan lulus pada tahun 2021.

Pada tahun 2021, penulis melanjutkan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Kegiatan-kegiatan yang dilakukan selama menjadi mahasiswa yaitu sebagai berikut :

1. Menjadi anggota Bidang Orgapin Divisi Advokasi Himpunan Teknik Mesin periode 2022/2023.
2. Menjadi anggota Bidang Orgapin Divisi Advokasi Himpunan Teknik Mesin periode 2023/2024.
3. Melaksanakan Kuliah Kerja Nyata dan Kerja Praktik melalui program Bina Desa Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) di Desa Maja Kalianda Lampung Selatan Pada Tahun 2024.

DAFTAR ISI

	HALAMAN
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Jagung (<i>Zea Mays L.</i>)	8
2.2 Pengeringan	10
2.3 Jenis – Jenis Pengeringan	11
2.3.1 Pengeringan Alami.....	11
2.3.2 Pengeringan Buatan	12
2.4 Perpindahan Panas	18
2.5 Kelembapan Udara	25
2.6 Kadar Air Bahan	28
2.7 Mesin Pengering Tipe <i>Greenhouse</i>	28
2.8 Pemanas Gas (<i>Gas Heater</i>).....	29
2.9 Isolasi Termal.....	30
2.10 Perpindahan Panas pada Pipa Penghantar Panas.....	32
2.11 Radius Kritis.....	34

2.12 Efisiensi Mesin Pengering.....	36
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.1.1 Tempat Penelitian	39
3.1.2 Waktu Penelitian	40
3.2 Alur Tahap Penelitian	40
3.3 Rancangan Penelitian	42
3.4 Perencanaan Mesin Pengering.....	43
3.4.1 Gambar Mesin Pengering Tipe <i>Greenhouse</i>	43
3.4.2 Gambar Rak Mesin Pengering.....	44
3.4.3 Struktur Lantai Mesin Pengering.....	45
3.5 Alat dan Bahan	45
3.5.1 Alat.....	46
3.5.2 Bahan	56
3.6 Prosedur Pengujian	58
3.6.1 Prosedur pengujian dengan pemanas gas tanpa isolasi termal .	58
3.6.2 Prosedur pengujian dengan pemanas gas dan dengan isolasi termal	59
3.6.3 Prosedur pengujian tanpa pemanas gas	60
3.7 Tahapan Penelitian.....	61
3.8 Skema Letak <i>Thermocouple</i>	63
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	64
4.1 Data Hasil Penelitian	64
4.2 Distribusi Temperatur Tiap Rak dan Radiasi Matahari Selama Pengeringan	66
4.3 Laju Aliran Udara Terhadap Penurunan Massa Jagung Pipil	70
4.4 Penurunan Massa Bahan dan Kadar Air Jagung Pipil	71
4.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Pengeringan	73
4.6 Konsumsi Bahan Bakar	76
4.6.1 Konsumsi bahan bakar gas LPG.....	76
4.6.2 Konsumsi energi Listrik.....	77
4.6.3 Konsumsi energi matahari	78
4.7 Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem.....	79
4.8 Isolasi Termal Pada Pipa Penghantar Panas	81

4.8.1	Perhitungan perpindahan panas pada pipa penghantar panas ...	82
4.8.2	Perhitungan Radius Kritis	89
V.	PENUTUP	92
5.1	Kesimpulan.....	92
5.2	Saran	93
	DAFTAR PUSTAKA	94
	LAMPIRAN.....	98

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2. 1 Ragam warna dan bentuk jagung lokal	9
Gambar 2. 2 Pengeringan <i>hybrid</i> tipe <i>greenhouse</i> dan tungku biomassa	13
Gambar 2. 3 Pengeringan Kombinasi <i>UV Solar Dryer</i> dan <i>Solar Air Heater</i>	14
Gambar 2. 4 Pengering <i>Hybrid Greenhouse Solar Dryer</i> dengan Kolektor Surya <i>Vakum (Evacuated Solar Collector)</i>	15
Gambar 2. 5 Desain Rumah Pengering Daun Kelor dengan Efek Rumah Kaca ..	16
Gambar 2. 6 Pengering <i>Rotary</i> dengan Pemanfaatan Sumber Energi LPG	18
Gambar 2. 7 Konveksi alami dan konveksi paksa	20
Gambar 2. 8 Perpindahan panas radiasi	24
Gambar 2. 9 <i>Psychrometric chart</i>	26
Gambar 2. 10 Efek rumah kaca.....	29
Gambar 2. 11 Pipa Silinder	31
Gambar 2. 12 <i>Polyethylene foam</i>	32
Gambar 2. 13 Grafik laju perpindahan panas dengan jari-jari luar isolasi (r_2) ketika $r_1 < r_{cr}$	35
Gambar 3. 1 Peta desa Maja.....	37
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 3. 3 Desain rangka mesin pengering <i>hybrid</i> tipe <i>greenhouse</i>	43
Gambar 3. 4 Desain Rak Mesin Pengering <i>Hybrid Tipe Greenhouse</i>	44
Gambar 3. 5 Desain lantai Mesin Pengering <i>Hybrid Tipe Greenhouse</i>	45
Gambar 3. 6 Mesin Pengering <i>Hybrid</i> tipe <i>Greenhouse</i>	46
Gambar 3. 7 <i>Termorecorder 12 channel</i>	47
Gambar 3. 8 <i>Thermocouple</i>	48

Gambar 3. 9 <i>Termohygrometer</i>	49
Gambar 3. 10 Timbangan digital.....	50
Gambar 3. 11 <i>Solar power meter</i>	51
Gambar 3. 12 <i>Anemometer</i>	52
Gambar 3. 13 <i>Grain moisture meter</i>	53
Gambar 3. 14 <i>Exhaust fan</i>	54
Gambar 3. 15 Pemanas Gas	55
Gambar 3. 16 Jagung pipil	57
Gambar 3. 17 <i>Polyethylene Alumunium Foil Foam</i>	57
Gambar 3. 18 Skema Letak <i>Thermocouple</i>	63
Gambar 4. 1 Grafik distribusi Temperatur tiap rak dan Radiasi Matahari dengan pemanas gas dan Isolasi Termal.....	65
Gambar 4. 2 Grafik distribusi Temperatur tiap rak dan Radiasi Matahari dengan Pemanas Gas tanpa Isolasi Termal	68
Gambar 4. 3 Grafik distribusi Temperatur Tiap Rak dan Radiasi Matahari Tanpa Pemanas Gas	69
Gambar 4. 4 Grafik penurunan massa bahan pengeringan Jagung Pipil pada setiap variasi metode pengeringan.....	72
Gambar 4. 5 Pipa penghantar panas sebelum diisolasi (a) dan Pipa penghantar panas setelah diisolasi (b).....	82
Gambar 4. 6 Pipa tanpa isolasi termal.....	83
Gambar 4. 7 Pipa dengan isolasi termal dengan ketebalan 8 mm.....	87
Gambar 4. 8 Grafik Hubungan Laju Perpindahan Panas Terhadap Jari-jari.....	91

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 3. 1 Tabel waktu pelaksanaan penelitian	40
Tabel 3. 2 Spesifikasi Rangka Mesin Pengering <i>Hybrid Tipe Greenhouse</i>	43
Tabel 3. 3 Spesifikasi Rak Mesin Pengering <i>Hybrid Tipe Greenhouse</i>	44
Tabel 3. 4 Struktur lantai Mesin Pengering <i>Hybrid Tipe Greenhouse</i>	45
Tabel 3. 5 Spesifikasi mesin pengering <i>hybrid Tipe greenhouse</i>	46
Tabel 3. 6 Spesifikasi <i>temperature recorder data logger</i>	47
Tabel 3. 7 Spesifikasi <i>Thermocouple</i>	48
Tabel 3. 8 Spesifikasi <i>Termohygrometer</i>	49
Tabel 3. 9 Spesifikasi Timbangan Digital	50
Tabel 3. 10 Spesifikasi <i>Solar power meter</i>	51
Tabel 3. 11 Spesifikasi <i>anemometer</i>	52
Tabel 3. 12 Spesifikasi <i>Grain moisture meter</i>	54
Tabel 3. 13 Spesifikasi <i>Exhaust fan</i>	55
Tabel 3. 14 Spesifikasi pemanas gas	56
Tabel 4. 1 Hasil data Distribusi suhu tiap rak pada proses pengeringan jagung pipil dengan pemanas gas dan dengan isolasi termal pada pipa penghantar panas.....	65
Tabel 4. 2 Hasil data Distribusi suhu tiap rak pada proses pengeringan jagung pipil dengan pemanas gas tanpa isolasi termal pada pipa penghantar panas.	65
Tabel 4. 3 Hasil data Distribusi suhu tiap rak pada proses pengeringan jagung pipil tanpa pemanas gas.	66
Tabel 4. 4 Massa Bahan dan Kadar Air Jagung Pipil.....	71

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu komoditas pertanian yang cukup penting, disamping padi dan gandum. Jagung memiliki banyak manfaat dan dapat digunakan dalam berbagai bidang, baik sebagai bahan pangan, pakan ternak, hingga dalam dunia industri. Selain sebagai sumber karbohidrat, jagung juga dimanfaatkan sebagai pakan ternak untuk unggas, tongkol dan daunnya juga dapat dimanfaatkan sebagai hijuan, bijinya dibuat menjadi minyak atau dibuat menjadi tepung jagung (maizena) serta tepung tongkolnya dapat menjadi bahan baku industri (Heristi dkk., 2021).

Mengingat pentingnya peranan jagung, maka penanganan pasca panen jagung merupakan suatu hal yang penting untuk diperhatikan, salah satu dari kegiatan pasca panen tersebut adalah proses pengeringan. Pengeringan komoditas hasil pertanian telah lama dilakukan oleh masyarakat dengan cara melakukan penjemuran secara langsung menggunakan bantuan sinar matahari. Masyarakat pada umumnya mengeringkan hasil pertanian seperti jagung, kopi, padi dan lain sebagainya dibawah sinar matahari secara langsung, dengan cara menghamparkan komoditas hasil pertanian dan memanfaatkan sinar matahari untuk mengeringkannya. Pengeringan menggunakan energi panas sinar matahari adalah metode yang paling

sederhana dan banyak diterapkan, baik pada masa lalu maupun pada praktik sehari-hari saat ini (Rapindo dkk., 2025).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Lampung tahun 2024, Kabupaten Lampung Selatan mencatat produksi jagung sebesar 816.975 ton. Salah satu kecamatan dengan kontribusi produksi jagung yang signifikan di Kabupaten Lampung Selatan adalah Kecamatan Kalianda. Desa Maja sendiri merupakan salah satu desa di kecamatan Kalianda yang memiliki lahan pertanian jagung dengan luas kurang lebih sekitar 6 Ha. Akan tetapi, proses pengeringan komoditas hasil pertanian di desa Maja, yaitu salah satunya jagung masih menggunakan metode pengeringan dengan mengeringkan dibawah sinar matahari secara langsung.

Pengeringan dibawah sinar matahari secara langsung memiliki beberapa kelemahan yaitu, sangat bergantung dengan sinar matahari, memerlukan tempat yang luas dimana sangat tidak efisien dari segi tenaga, waktu, dan biaya (Yulianto dkk., 2022). Pengeringan dengan cara ini sangat dipengaruhi oleh cuaca panas dan apabila musim hujan maka pengeringan tidak dapat dilakukan dengan optimal yang menyebabkan hasil pertanian menjadi kurang baik. Di desa Maja, masyarakat bergantung pada sinar matahari untuk mengeringkan hasil pertanian dan hasil laut mereka, yang mana pengeringannya memerlukan waktu kisaran 1 sampai 4 hari tergantung pada cuaca dan jenis bahan yang dikeringkan. Tingginya tingkat kadar air pada produk pertanian dan hasil laut tidak hanya berpengaruh pada kualitas dan daya simpan, tetapi juga dapat berdampak pada penurunan harga jual. Jagung dengan kadar air yang tinggi rentan terhadap pertumbuhan mikroba dan pembentukan aflatoxin, sehingga diperlukan teknologi pengeringan yang efektif dan efisien untuk mengurangi kerugian pascapanen serta meningkatkan mutu produk akhir (Suherman dkk., 2024).

Oleh karena itu, penggunaan mesin pengering untuk pengeringan jagung sangat diperlukan dan teknologi pengeringan yang efektif menjadi sangat penting untuk menjaga agar hasil pertanian tetap aman dan layak digunakan selama distribusi dan penyimpanan. Salah satu alat pengering yang dapat digunakan yaitu mesin pengering *hybrid* tipe *Greenhouse* berbasis pemanas gas ini. Mesin ini memanfaatkan sistem efek rumah kaca dengan sinar matahari dan pemanas gas sebagai sumber panasnya, mesin ini juga dilengkapi dengan *exhaust fan* sebagai penghisap uap air di dalam ruang pengering agar memaksimalkan proses sirkulasi udara di dalam ruang pengeringan. Prinsip kerja alat ini adalah dengan mengalirkan udara panas dari pemanas gas dan dibantu oleh radiasi matahari serta dengan bantuan *exhaust fan* yang terletak di bagian depan ruang pengering untuk sirkulasi udara di ruang pengering agar menjadi optimal.

Berdasarkan penelitian (Demissie dkk., 2024) menunjukkan bahwa penggunaan sistem *hybrid* pada pengering *greenhouse* dapat meningkatkan suhu ruang pengering lebih tinggi dibandingkan metode pengeringan konvensional sehingga waktu pengeringan menjadi lebih cepat dan efisiensi pengeringan meningkat. Pada *hybrid greenhouse dryer*, berbagai modifikasi pada struktur dan konfigurasi sistem pemanas mampu mempengaruhi parameter perpindahan panas, efisiensi energi, serta kualitas produk yang dikeringkan.

Selain itu, penggunaan sumber panas tambahan seperti pemanas gas (misalnya LPG) pada pengering *hybrid* juga telah diteliti oleh (Yuwana & Sidebang., 2024) pada tanaman lain seperti kopi, dimana sumber panas gas buang terbukti mampu memberikan sumbangan panas yang signifikan pada ruang pengering dan meningkatkan distribusi energi panas. Hal ini menunjukkan potensi penggunaan panas gas buang sebagai sumber pemanas tambahan dalam desain pengering *hybrid* untuk mengoptimalkan proses pengeringan jagung pipil.

Pengaruh isolasi termal pipa penghantar panas juga menjadi faktor penting yang menentukan efisiensi transfer panas dari sumber pemanas ke ruang pengering. Isolasi yang baik dapat mengurangi kehilangan energi dan menjaga suhu kerja yang lebih konsisten, sehingga proses pengeringan menjadi lebih efektif tanpa peningkatan konsumsi energi yang signifikan.

Namun, penelitian yang secara spesifik mengkombinasikan pemanas gas dengan penggunaan isolasi termal pada pipa penghantar panas pada mesin pengering jagung pipil tipe *greenhouse* masih sangat terbatas, terutama dalam hal analisis kinerja yang meliputi distribusi suhu, waktu pengeringan, konsumsi energi, dan efisiensi termal keseluruhan serta pengaruh pemanas gas dan isolasi termal pada pipa penghantar panas terhadap laju pengeringan. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk mengisi gap tersebut dengan melakukan analisis kinerja mesin pengering jagung pipil *hybrid tipe greenhouse*, dengan fokus pada pengaruh pemanas gas dan isolasi termal pada pipa penghantar panas, sehingga diharapkan mampu memberikan rekomendasi desain yang optimal serta kontribusi ilmiah dalam bidang teknologi pengeringan agrikultur.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Bagaimana kinerja mesin pengering dalam menurunkan massa bahan dan kadar air jagung pipil.
2. Berapa besar efisiensi yang dihasilkan oleh mesin pengering dengan pengujian dengan dan tanpa pemanas gas serta dengan dan tanpa isolasi termal pada pipa penghantar panasnya.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Untuk mengetahui kinerja pengeringan mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* yang meliputi distribusi suhu, waktu pengeringan, konsumsi energi, dan efisiensi termal keseluruhan serta pengaruh pemanas gas dan isolasi termal pada pipa penghantar panasnya untuk mengeringkan jagung pipil.
2. Melakukan analisis perbandingan terhadap kinerja pengeringan jagung pipil menggunakan mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* dengan dan tanpa pemanas gas serta dengan dan tanpa isolasi termal pada pipa penghantar panasnya.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Penelitian menggunakan komoditas hasil pertanian berupa jagung sebagai bahan uji coba pengeringan.
2. Penelitian ini menggunakan jagung yang sudah di pipil dengan total 500 gram jagung pipil setiap raknya.
3. Penelitian ini menggunakan radiasi matahari dan pemanas gas sebagai sumber panas dalam mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* untuk mengeringkan jagung pipil, serta membandingkannya dengan dan tanpa pemanas gas serta dengan dan tanpa isolasi termal pada pipa penghantar panasnya.
4. Penelitian ini tidak menghitung analisis ekonominya.
5. Penelitian ini dilakukan tidak pada kapasitas maksimum mesin pengering.
6. Penelitian ini menggunakan kecepatan udara yang sama yaitu 5,5 m/s

7. Penelitian ini menggunakan isolasi termal berbahan *Polyethylene Alumunium Foil Foam* dengan ketebalan 8 mm pada pipa penghantar panasnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini diharapkan mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* dengan pemanas pemanas gas ini dapat dijadikan sebagai salah satu solusi permasalahan para petani di desa Maja dalam proses pengeringan hasil pertanian, yaitu salah satunya jagung.
2. Mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* ini memanfaatkan potensi energi matahari yang merupakan energi terbarukan (*renewable energy*) dan ramah lingkungan, sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif solusi pengeringan kedepanya terkhusus dengan pemanfaatan energi matahari.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada Bab ini menguraikan latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya pada penelitian ini, pada batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, pada manfaat penelitian ini juga diharapkan dapat berguna untuk pengering kedepanya terkhusus dengan pemanfaatan energi matahari, dan sistematika penulisan berupa format dan contoh yang dipakai pada penulisan laporan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan landasan teori yang menunjang pada penelitian dan berisi teori-teori dasar yang meliputi: pengertian jagung, pengertian pengeringan, kelembapan udara, kadar air suatu bahan, jenis-jenis pengeringan, perpindahan panas, pengertian mesin pengering tipe *greenhouse*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

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

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perbandingan proses pengeringan jagung pipil menggunakan mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse*, dengan variasi penggunaan pemanas gas dan isolasi termal pada pipa penghantar panas, serta pembahasan analisis data-data yang didapatkan setelah pengujian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

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

DAFTAR PUSTAKA

Bab ini memuat referensi yang digunakan untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Bab ini berisikan dokumen tambahan atau pendukung seperti gambar atau foto selama penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jagung (*Zea Mays L.*)

Jagung (*Zea Mays L.*) merupakan salah satu bahan pangan yang penting di Indonesia karena jagung merupakan sumber karbohidrat kedua setelah beras. Disamping itu, jagung juga merupakan bahan baku industri dan pakan ternak. Jagung merupakan tanaman semusim (*annual*). Proses yang diperlukan dari waktu penanaman benih sampai dengan jagung siap panen kurang lebih 100 hari (Yonanda dkk., 2023).

Tanaman jagung (*Zea mays L.*) termasuk dalam tanaman sereal atau biji-bijian yang dapat hidup pada iklim tropis maupun subtropis. Jagung merupakan satu diantara tanaman bahan pangan dunia yang sangat penting diantara gandum dan padi. Jagung juga ditanam untuk sebagai pakan ternak, diambil minyaknya, diproses menjadi tepung (dikenal dengan nama maizena atau tepung jagung), dan bahan dasar untuk industri (tepung dari biji dan tepung tongkolnya). Jagung yang direkayasa genetiknya juga sekarang dibudidayakan sebagai penghasil bahan farmasi (Harianda & Zaenuri., 2020).

Jagung biasanya paling sering digunakan untuk pakan unggas. Khusus pada pakan unggas, jagung berperan penting untuk ayam petelur maupun ayam pedaging. Berdasarkan SNI 8926:2020, kadar air maksimal yang diperbolehkan pada jagung, khususnya sebagai bahan baku pakan adalah

14-15%. Dan kadar air pada jagung sebelum proses pengeringan sekitar 25-35% (Hamurung dkk., 2023).

Jagung mengandung pro vitamin A karotenoid dengan keragaman genetik tinggi. Hal ini membuat jagung menjadi kandidat pangan pokok yang baik untuk biofortifikasi tanaman (Kumar dkk., 2014). Kandungan betakaroten maupun antosianin bergantung dari warna biji. Jagung memiliki gradasi warna mulai dari putih sampai merah keunguan dapat dikuantifikasi dengan menggunakan teknologi imaging (Nurholis dkk., 2020).



Gambar 2.1 Ragam warna dan bentuk jagung lokal
Sumber: Nurholis dkk., 2020

Pada gambar 2.1 terlihat bahwa keragaman jagung lokal tidak hanya berdasarkan warna kernel saja, namun juga keragaman bentuk dan ukuran biji. Jagung tersebut memiliki keragaman yang besar terkait dengan warna kernelnya. Warna jagung yang terdapat antara lain putih, kuning, jingga, kuning kemerahan, merah, sampai merah tua. Berdasarkan beberapa laporan menyebutkan jagung dengan warna jingga cenderung memiliki kandungan betakaroten tinggi, sedangkan berwarna ungu sampai hitam mengandung antosianin (Nurholis dkk., 2020).

2.2 Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk menghindari kerusakan-kerusakan komoditas pertanian akibat mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Didalam pengeringan terjadi penguapan air dari bahan ke udara karena perbedaan kandungan dari uap air antara udara dengan bahan yang akan dikeringkan. Pengeringan adalah proses migrasi uap air dari bahan padatan kering, menguapkan sebagian air atau seluruhnya dalam bahan menggunakan energi panas dari media panas dengan pemindahan uap air secara simultan (Subarjo dkk., 2015).

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. Dalam proses pengeringan terdiri dari dua cara yaitu pengeringan alami dan pengeringan buatan. Pengeringan alami adalah proses pengeringan yang memanfaatkan sinar matahari. Pengeringan ini dilakukan dibawah sinar matahari secara langsung. Pengeringan alami mempunyai kelemahan yaitu pengeringan tergantung paada cuaca dan tidak bisa dilakukan setiap saat dan waktu pengeringan yang lama. Adapun pengeringan buatan adalah proses pengeringan dengan menggunakan alat pengering (Hanafi dkk., 2017).

Pengeringan jagung merupakan upaya untuk menurunkan kadar air biji jagung agar aman disimpan. Kadar air biji yang aman untuk disimpan berkisar antara 12-15%. Pada saat jagung dikeringkan terjadi proses penguapan air pada biji karena adanya panas dari media pengering, sehingga uap air akan lepas dari permukaan biji jagung ke ruangan di sekeliling tempat pengering (Brooker dkk., 1974).

Untuk menghasilkan jagung berkualitas dan berkuantitas produksi baik yang mampu berdaya saing, maka diperlukan penanganan pasca panen

yang tepat, sesuai dengan persyaratan mutu yang diminta oleh sektor industri. Bulog membuat persyaratan mutu jagung pipilan kering, yakni kadar air 14%, kadar kotoran 3%, kadar butir rusak 5%, kadar butir warna lain 10%, kadar butir pecah 0%, dan bebas dari hama dan bau apek (Isnawati., 2011).

Laju pengeringan adalah jumlah air yang menguap per satuan waktu atau perubahan kadar air dalam bahan selama satu satuan waktu. Laju pengeringan yang tinggi didapatkan dari besarnya suhu dan kelembaban relatif tertentu dengan kecepatan aliran udara pada permukaan bahan yang cukup sehingga proses perpindahan panas dari udara ke bahan berlangsung baik.

2.3 Jenis – Jenis Pengeringan

Adapun jenis - jenis pengeringan pada umumnya adalah sebagai berikut:

2.3.1 Pengeringan Alami

Pengeringan merupakan proses penurunan kadar air bahan dengan menggunakan energi panas. Proses pengeringan alami yang umumnya dilakukan oleh masyarakat untuk mengeringkan bahan hasil pertanian adalah menggunakan sinar matahari langsung (penjemuran). Pengeringan dengan sinar matahari disebut juga dengan pengeringan alami atau sun-drying, yaitu pengeringan dengan menggunakan bahan-bahan yang disediakan oleh alam (seperti angin dan sinar matahari) (Imam., 2022). Proses penjemuran ini memiliki banyak kekurangan seperti proses pengeringan bergantung pada cuaca, bahan yang dikeringkan mudah terkontaminasi debu dan kotoran, membutuhkan tempat pengeringan yang luas, dan banyak hasil pengeringan yang tercecer (Martiani & Putra., 2017).

2.3.2 Pengerinan Buatan

Pengerinan buatan merupakan pengerinan 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. Pengerinan buatan memiliki kelebihan dibandingkan pengerinan alami, yaitu waktu penjemuran yang lebih singkat serta bahan yang dijemur menjadi lebih bersih dan terlindung dari debu, hujan, dan faktor lainnya. Pengerin buatan tersedia dalam berbagai jenis, seperti yang menggunakan listrik, sinar matahari, bahan bakar sekam, dan lain sebagainya. Penggunaan alat mekanis atau pengerinan buatan yang menggunakan panas tambahan untuk pengerinan yang memiliki beberapa keunggulan, antara lain tidak tergantung cuaca, kapasitas pengerinan dapat dipilih sesuai kebutuhan, tidak memerlukan lahan yang luas, dan Kondisi pengerin dapat dikontrol (Imam., 2022).

Adapun beberapa jenis-jenis pengerinan buatan yang menggunakan matahari (*greenhouse*) dan gas adalah sebagai berikut.

1) Pengerinan *Hybrid Tipe Greenhouse* dan Tungku Biomassa

Pengerinan *hybrid* tipe *greenhouse* dan tungku biomassa ini adalah sistem pengerinan yang menggabungkan energi matahari dengan sumber panas tambahan, yaitu tungku biomassa, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengerinan. Energi panas matahari dapat dioptimalisasi sebagai sumber panas untuk pengerinan dengan membuat alat pengerin efek rumah kaca (ERK) (Pramudita dkk., 2020).

Prinsip kerja pengerin ERK adalah melakukan pengerinan dengan bahan yang dikeringkan tidak terpapar secara langsung

dengan sinar matahari atau yang disebut dengan *Controlled Sun Dryer* seperti yang terlihat pada gambar 2.2. Namun, sinar matahari tersebut diserap oleh bahan pembentuk pengering ERK untuk mengumpulkan panas dan menaikkan suhu ruangan pengering. Penggunaan pengering ERK tidak akan maksimal jika mengandalkan sinar matahari atau energi panas matahari. Hal ini disebabkan karena energi panas matahari hanya ada ketika siang hari dan bergantung pada kondisi cuaca pada saat itu dengan tungku biomassa sebagai solusi untuk mengatasi ketergantungan pada cuaca cerah dan memaksimalkan proses pengeringan (Pramudita dkk., 2020).

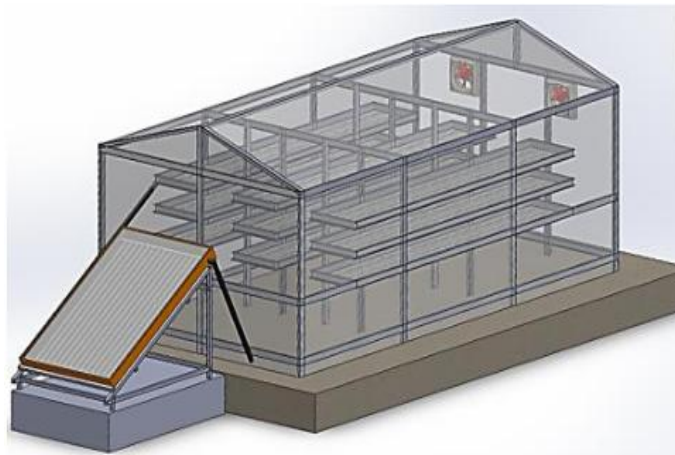


Gambar 2.2 Pengeringan *hybrid* tipe *greenhouse* dan tungku biomassa

Sumber : Pramudita dkk., 2020

- 2) Pengeringan Kombinasi *UV Solar Dryer* dan *Solar Air Heater*
 Penelitian ini membahas penggunaan rumah pengering *Ultra Violet (UV) Solar Dryer* yang dikombinasikan dengan *Solar Air Heater* untuk mengeringkan ikan sebagai upaya memperpanjang daya awet dan menjaga mutu hasil tangkapan perikanan seperti yang terlihat pada gambar 2.3. Sistem ini memanfaatkan bangunan transparan yang memerangkap panas radiasi matahari dan mengalirkannya melalui pemanas udara surya, sehingga meningkatkan suhu di ruang pengering.

Penelitian dilakukan dengan variasi beban ikan (7,41 kg, 14,82 kg, dan 22,23 kg) dan hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar beban, efisiensi pengeringan dan efisiensi termal rumah pengering meningkat, dengan efisiensi tertinggi pada beban 22,23 kg yaitu 13,17% (pengeringan) dan 50,57% (termal). Efisiensi rumah pengering yang tinggi meningkatkan laju pengeringan. Sistem ini terbukti mampu meningkatkan suhu, mempercepat laju pengeringan, menurunkan konsumsi energi spesifik, dan memperpendek waktu pengeringan, sehingga dapat diterapkan sebagai teknologi pengeringan ikan yang lebih efisien dan hemat energi dengan memanfaatkan energi surya secara maksimal (Gusnawati dkk., 2023).



Gambar 2.3 Pengeringan Kombinasi *UV Solar Dryer* dan *Solar Air Heater*

Sumber : Gusnawati dkk., 2023

3) Pengering *Hybrid Greenhouse Solar Dryer* dengan Kolektor Surya Vakum (*Evacuated Solar Collector*)

Penelitian ini mengkaji kinerja keberlanjutan dari mesin pengering rumah kaca hibrida aktif yang dilengkapi kolektor surya tabung vakum untuk mengeringkan tomat sebagai komoditas berkadar air tinggi seperti yang terlihat pada gambar

2.4. Sistem ini memanfaatkan air panas dari kolektor tabung vakum yang dialirkan ke penukar panas di dalam rumah kaca, sehingga panasnya ditransfer ke udara ruangan secara konveksi dan ke produk secara konduksi, menghasilkan suhu ruangan yang tinggi dan laju pengeringan yang cepat.

Hasilnya, irisan tomat berhasil dikeringkan dari kadar air 94,6% menjadi 10% hanya dalam 10 jam, dengan potensi produksi 261 kg tomat kering per tahun. Alat ini dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 169 ton selama masa pakai. Dengan konsumsi energi yang rendah dan efisiensi tinggi, pengering ini dinilai sebagai solusi pengeringan berkelanjutan, ramah lingkungan, dan layak diterapkan baik untuk skala industri kecil maupun rumah tangga (Singh & Gaur., 2021). Pengeringan *Hybrid Greenhouse Solar Dryer* dengan kolektor surya vakum disajikan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengering *Hybrid Greenhouse Solar Dryer* dengan Kolektor Surya Vakum (*Evacuated Solar Collector*)

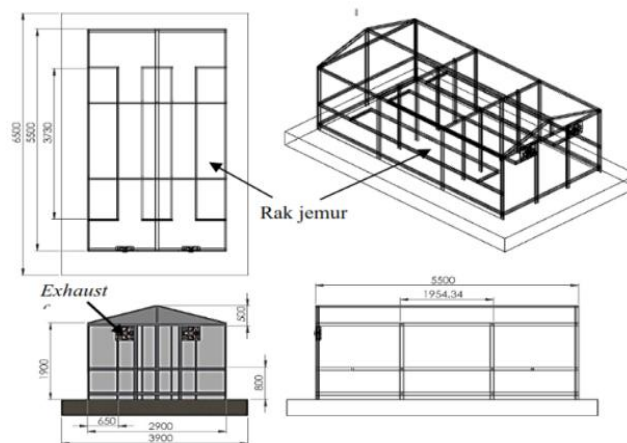
Sumber : Singh & Gaur., 2021

4) Rumah Pengering Daun Kelor dengan Efek Rumah Kaca (*Solar Dryer*)

Penelitian ini membahas pengujian kinerja rumah pengering daun kelor dengan sistem efek rumah kaca (*solar dryer*) menggunakan material plastik *ultraviolet*, dengan tujuan

menurunkan kadar air daun kelor secara efisien dan mempertahankan mutu nutrisinya seperti yang terlihat pada gambar 2.5. Penelitian dilakukan dengan variasi kecepatan aliran udara keluar melalui *exhaust fan*, yaitu 0,5 m/s, 1,0 m/s, dan 1,36 m/s, untuk melihat pengaruhnya terhadap distribusi suhu, kelembaban, laju pengeringan, konsumsi energi spesifik, dan efisiensi pengeringan.

Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan udara dapat meningkatkan penurunan kadar air dan efisiensi pengeringan, meski kondisi saluran masuk yang tidak diatur dapat memicu kelembaban tinggi di dalam ruangan, terutama saat cuaca mendung, sehingga memengaruhi penurunan kadar air dan laju pengeringan. Secara keseluruhan, sistem ini membuktikan bahwa pengering daun kelor dengan efek rumah kaca berpotensi dikembangkan sebagai teknologi pengeringan murah dan ramah lingkungan di daerah dengan radiasi matahari tinggi seperti NTT (Koehuan dkk., 2021).



Gambar 2.5 Desain Rumah Pengering Daun Kelor dengan Efek Rumah Kaca (*Solar Dryer*)

Sumber : Koehuan dkk., 2021

5) Pengering *Rotary* dengan Pemanfaatan Sumber Energi LPG

Penelitian ini mengkaji pengering rotary berkapasitas 20 kg dengan menggunakan gas LPG sebagai sumber energi alternatif pengganti pengeringan matahari yang bergantung pada cuaca seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Pengujian dilakukan untuk mengeringkan jagung pipilan dari kadar air awal 18% menjadi 13,67% hanya dalam waktu 120 menit. Sistem ini memanfaatkan kompor gas rumah tangga, silinder rotary berputar, dan exhaust fan untuk menjaga suhu ruang pengering rata-rata 56,19°C, meningkat 85% dibanding suhu lingkungan. Konsumsi LPG terukur hanya 0,3 kg, dengan total kalor yang digunakan sebesar 14.136,24 kJ. Jika dikonversi ke biaya, proses ini hanya membutuhkan LPG sekitar Rp 5.700 per 20 kg jagung, karena LPG untuk petani kecil di NTB masih disubsidi negara (Susana & Alit., 2024).

Hasil penelitian ini menunjukkan keunggulan pengering rotary LPG, yaitu durasi pengeringan jauh lebih singkat (120 menit) dibandingkan penjemuran tradisional yang memakan waktu 3–7 hari, mutu produk lebih higienis karena tidak terpapar debu dan kotoran, proses pengeringan tidak tergantung cuaca, dan petani juga terlindung dari paparan panas terik yang dapat menambah beban kerja fisik. Dengan biaya operasional rendah dan peralatan yang relatif sederhana, teknologi ini sangat cocok diterapkan di pedesaan, membantu petani kecil meningkatkan mutu hasil panen, efisiensi energi, dan pendapatan pasca panen.



Gambar 2.6 Pengering *Rotary* dengan Pemanfaatan Sumber Energi LPG

Sumber : Susana & Alit., 2024

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan perpindahan energi yang dialami benda maupun material dengan suhu tinggi menuju benda maupun material dengan suhu rendah, hingga mencapai kesetimbangan panas. Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan ilmu yang dapat memberikan gambaran perpindahan energi yang terjadi disebabkan terdapat perbedaan suhu di antara benda maupun material. Jika 2 sistem yang suhunya berbeda disinggungkan maka akan terjadi perpindahan energi. Proses di mana perpindahan energi itu berlangsung disebut perpindahan panas. Perpindahan panas akan terjadi apabila ada perbedaan temperatur antara 2 bagian benda. Panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah (Rokhimi., 2015).

Perpindahan panas adalah perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan suhu antara daerah suatu fluida panas ke fluida dingin lainnya. Perpindahan panas secara umum diklasifikasikan

menjadi tiga jenis perpindahan panas: konduksi, radiasi, dan konveksi (Supu dkk., 2016).

1. Konduksi

Konduksi merupakan proses perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat atau material menuju bagian lainnya. Pada perpindahan kalor secara konduksi tidak terdapat bahan dari logam yang berpindah. Yang terjadi yakni molekul-molekul logam yang yang dipanaskan membentur molekul molekul yang berada di dekatnya serta memberikan sebagian panasnya. Molekul-molekul terdekat kembali membentur molekul molekul terdekat lainnya serta memberikan sebagian panasnya, dan begitu seterusnya pada sepanjang bahan sehingga suhu bahan naik. Konduksi biasanya terjadi pada benda padat. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme yang mana panas dapat mengalir pada zat padat yang tidak tembus cahaya. Ada 4 faktor utama yang mempengaruhi kemampuan konduksi dalam menghantar panas diantaranya perbedaan temperatur dua sisi, luas penampang, jarak tempuh panas, dan karakteristik bahan yang digunakan.

Menurut (Cengel dkk., 2019) pada bukunya yang berjudul *Thermodynamics: An Engineering Approach* rumus dari perpindahan panas konduksi dapat dilihat pada persamaan (2.1) di bawah ini.

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Keterangan:

\dot{Q} = Laju perpindahan panas dengan cara konduksi (Watt)

A = Luas perpindahan panas (m^2)

ΔT = Perbedaan temperatur (K)

Δx = Perbedaan jarak dalam arah aliran panas (m)

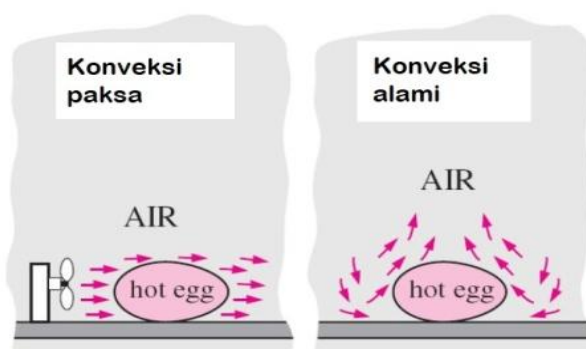
k = Konduktivitas termal bahan (W/m. K)

Tanda negatif pada persamaan untuk memastikan bahwa perpindahan kalor dalam arah x positif adalah sebuah nilai positif dan juga menunjukkan bahwa panas mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.

2. Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses transfer energi panas melalui pergerakan fluida partikel-partikel (cairan atau gas) dari satu tempat ke tempat lain. Pada konveksi, Energi yang berpindah dengan menaikkan suhu partikel-partikel fluida yang berbatasan dan meningkatkan energi dalam partikel-partikel tersebut, panas berpindah karena adanya perbedaan suhu yang menyebabkan perubahan densitas dalam fluida, sehingga fluida panas yang lebih ringan bergerak naik dan fluida dingin yang lebih berat bergerak turun. Proses ini membentuk sirkulasi alami yang terus berlangsung sampai suhu dalam fluida merata.

Pada gambar 2.7 menunjukkan perpindahan panas secara konveksi yang dibedakan menjadi konveksi alami dan konveksi paksa. Konveksi disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir dalam sebuah tabung atau di atas permukaan dengan cara eksternal. Sebaliknya, perpindahan panas konveksi dimana zat fluida bergerak karena gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis akibat fluktuasi suhu disebut konveksi bebas (alami). Konveksi alami terjadi saat tidak ada gaya dorongan luar yang memaksa percepatan konveksi.



Gambar 2.7 Konveksi alami dan konveksi paksa
Sumber : Çengel dkk., 2019

Pada mesin pengering yang digunakan pada penelitian ini, perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas konveksi paksa. Hal ini dikarenakan penelitian ini menggunakan *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. Konveksi alami dibagi menjadi dua jenis aliran, yaitu aliran laminar dan turbulen. Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menghitung koefisien konveksi (h) yang digunakan untuk menghitung besarnya perpindahan panas yang terjadi dalam fluida.

Menurut (Cengel dkk., 2019) pada bukunya yang berjudul *Thermodynamics: An Engineering Approach* rumus dari perpindahan panas secara konveksi dapat dilihat pada persamaan (2.2) di bawah ini.

$$\dot{Q} = h A (T_s - T_f) \quad (2.2)$$

Keterangan:

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

A = Luas penampang (m^2)

T_s = Temperatur penampang (K)

T_f = Temperatur fluida (K)

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

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 (Hisyam, 2016).

Bilangan Reynold (Re) merupakan suatu perbandingan antara gaya inersia dengan gaya gesek dari fluida tersebut yang besarnya dapat ditentukan dengan persamaan (2.3) berikut:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.3)$$

Dimana:

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

D = Diameter, (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 dapat ditentukan dengan persamaan (2.4) berikut:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\rho C_p}{k} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (2.4)$$

Dimana:

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

C_p = Konstanta panas spesifik pada tekanan konstan, ($\frac{J}{kg \cdot K}$)

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

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

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

Menurut Hisyam (2016), untuk menentukan koefisien perpindahan panas konveksi digunakan bilangan Nusselt yang didapat dari percobaan atau analisis. Bilangan Nusselt didefinisikan sebagai persamaan (2.5) berikut:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} \quad (2.5)$$

Dimana:

Nu_L = Bilangan Nusselt

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

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

Bilangan Nusselt merupakan fungsi dari medan aliran yaitu bilangan Reynold (Re) dan bilangan Prandtl (Pr). Hubungan antara Nu_L dengan Re dan Pr tergantung dari bentuk aliran dan lintasan.

3. Radiasi

Radiasi merupakan proses perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain tanpa melalui medium seperti terlihat pada gambar 2.8. Dalam teori radiasi dijelaskan bahwa panas yang berpindah dari suatu benda ke benda lain dipancarkan melalui gelombang elektromagnetik sehingga dalam proses perpindahannya tidak memerlukan medium sama sekali. Bahkan jika kedua benda tersebut dipisahkan oleh ruang hampa, panas akan tetap berpindah melalui pancaran gelombang elektromagnetik. Panas matahari yang sampai ke bumi merupakan salah satu contoh nyata bentuk perpindahan panas secara radiasi. Meskipun jarak antara matahari dan bumi sangat jauh serta dipisahkan oleh ruang hampa, panas matahari tetap dapat sampai ke bumi melalui pancaran (Burhani dkk, 2014).

Menurut (Cengel dkk., 2019) pada bukunya yang berjudul *Thermodynamics: An Engineering Approach* rumus dari perpindahan panas secara radiasi dapat dilihat pada persamaan (2.6) di bawah ini.

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = e \cdot \sigma \cdot A_s (T^4_s - T^4_{\text{surr}}) \quad (2.6)$$

Keterangan:

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

e = Emitansi permukaan

A = Luas permukaan (m^2)

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

T = Temperatur absolut benda (K)

Energi radiasi matahari yang masuk ke *greenhouse* dapat ditentukan dengan persamaan (2.7) berikut ini:

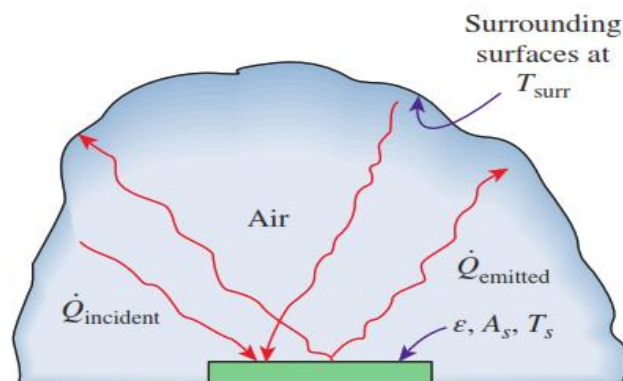
$$Q_{\text{solar}} = I_m \cdot A \cdot t \quad (2.7)$$

Dimana:

I_m = intensitas radiasi matahari ($\frac{W}{m^2}$)

A = luas permukaan penerima (m^2)

t = waktu pengeringan (s)



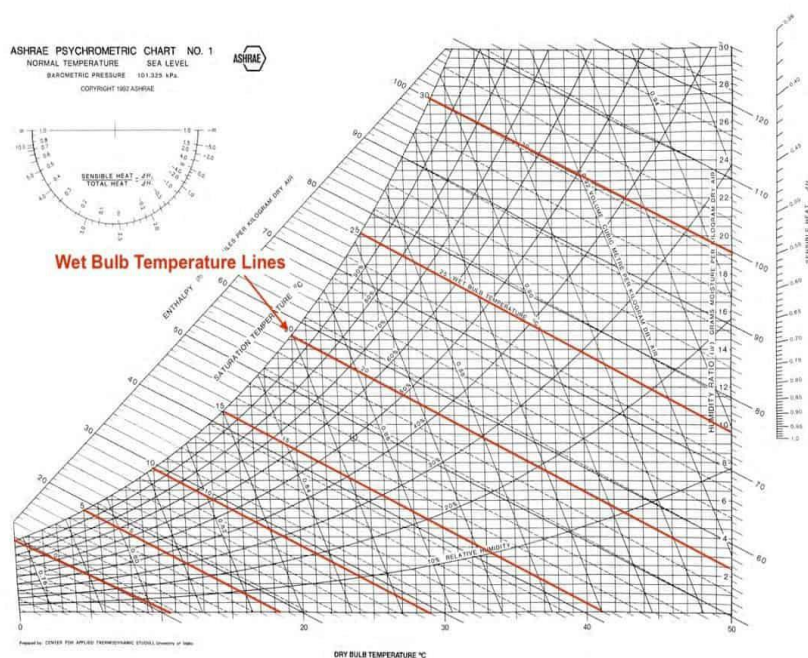
Gambar 2.8 Perpindahan panas radiasi
Sumber : Cengel, dkk., 2019

2.5 Kelembapan Udara

Kelembaban udara adalah kondisi yang menyatakan banyaknya uap air dalam udara. Ketika udara mengandung banyak air, kelembaban dapat dikatakan tinggi. Tingginya jumlah air di udara terjadi karena uap air. Jumlah uap air yang ditampung di udara tersebut sangat dipengaruhi oleh temperatur. Ketika temperatur udara rendah, uap air yang dibutuhkan untuk menjenuhkan udara 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 (Sari dkk., 2020).

Ilmu yang mempelajari tentang udara dan sifat-sifatnya disebut psikrometrik. Psikrometrik juga mempelajari tentang sifat termodinamika udara lembab. Secara umum digunakan untuk mengilustrasikan dan menganalisa perubahan sifat termal dan karakteristik dari proses dan siklus sistem penyebaran 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 lembab. 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.



Gambar 2.9 Psychrometric chart
Sumber: Cengel dkk., 2019

Diagram psikrometri seperti gambar 2.9 di atas, terdiri dari beberapa kondisi fisik dari sifat udara lembab (udara campuran udara kering dan uap air), yang terdiri dari:

- 1) Temperatur bola kering (*Dry-bulb temperature, T_{db}*) Temperatur bola kering adalah suhu udara yang diukur dengan termometer biasa tanpa pengaruh kelembaban. Ini merupakan temperatur udara aktual dan menjadi acuan utama dalam banyak perhitungan termodinamika.
- 2) Temperatur bola basah (*Wet-bulb temperature, T_{wb}*) Temperatur bola basah adalah suhu terendah yang bisa dicapai oleh udara melalui

evaporasi air pada tekanan konstan. Diukur dengan membasahi kain pada ujung termometer dan mengalirkannya udara. Selisih antara temperatur bola kering dan bola basah menunjukkan Tingkat kelembaban udara. Semakin besar selisihnya, semakin kering udaranya.

- 3) Kelembaban relatif (*Relative humidity*, RH) Kelembaban relatif adalah perbandingan antara kandungan uap air aktual yang terdapat di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditahan udara pada suhu tertentu, dinyatakan dalam persen (%).
- 4) Volume spesifik (*Specific volume*, v) *Specific volume* adalah volume udara lembab per satuan massa udara kering, biasanya dinyatakan dalam m^3/kg udara kering. Ini mencerminkan seberapa besar ruang yang dibutuhkan oleh satu kilogram udara kering, termasuk kandungan uap airnya. *Specific volume* meningkat seiring naiknya suhu dan kelembaban.
- 5) Kelembaban mutlak (kelembaban *absolut*, ω) juga dikenal sebagai *humidity ratio*, adalah massa uap air per satuan massa udara kering (kg uap air / kg udara kering). Ini menunjukkan seberapa banyak uap air yang terkandung dalam udara.
- 6) *Enthalpy* (h) adalah total energi panas dalam udara lembab, biasanya dinyatakan dalam kJ/kg udara kering. *Enthalpy* mencakup panas sensibel (karena suhu) dan panas laten (karena uap air).
- 7) Titik embun (*Dew Point Temperature*, T_{dp}) adalah suhu ketika udara menjadi jenuh dan uap air di dalamnya mulai berubah menjadi air (mengembun). Artinya, jika udara didinginkan sampai mencapai suhu titik embun, maka akan terbentuk embun atau tetesan air karena udara sudah tidak mampu lagi menahan uap air.

2.6 Kadar Air Bahan

Kadar air adalah jumlah air yang terdapat didalam kandungan suatu bahan. Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan. Dalam hal ini terdapat dua metode untuk menentukan kadar air bahan yaitu berdasarkan basis kering (*dry basis*) dan basis basah (*wet basis*). Dalam penentuan kadar air bahan hasil pertanian biasanya dilakukan berdasarkan basis basah. Kadar air suatu bahan biasanya dinyatakan dalam persentase bobot terhadap bahan basah.

2.7 Mesin Pengering Tipe *Greenhouse*

Mesin pengering tipe *greenhouse* menggunakan sistem efek rumah kaca (*Green House Effect*) bekerja berdasarkan efek cara kerja rumah kaca, terjadinya efek ini karena adanya plastik UV transparan pada dinding *greenhouse* sebagai penerima panas untuk menaikkan suhu udara ruangan pengering. Bahan dinding yang digunakan adalah bahan transparan misalnya plastik UV ini. Lapisan plastik UV yang transparan ini dapat dilewati radiasi gelombang elektromagnetik dari matahari menembus ke dalam.

Pada gambar 2.10 berikut menunjukkan cara kerja efek rumah kaca. Dimana dalam Rumah Kaca radiasi sinar gelombang pendek yang diserap akan berubah menjadi radiasi sinar gelombang panjang dan terkumpul dalam ruangan karena tidak dapat melalui penutup plastik UV transparan sehingga menyebabkan udara menjadi panas. Proses inilah yang disebut dengan efek akibat Rumah Kaca (Djamalu., 2016).



Gambar 2.10 Efek rumah kaca
Sumber : Djamalu., 2016

2.8 Pemanas Gas (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.

Dalam berbagai jurnal pengeringan, gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) diposisikan sebagai sumber panas tambahan yang sangat efektif untuk mendukung kelangsungan proses pengeringan ketika intensitas radiasi matahari tidak mencukupi atau suhu pengering turun di bawah suhu optimum. LPG dipilih karena memiliki panas pembakaran tinggi, nyala api stabil, mudah diatur, dan infrastruktur penyalurannya sudah tersedia luas

di masyarakat, termasuk di pedesaan. Pada sistem pengering hibrida cabai, kemangi, dan kopi, *burner* LPG digunakan untuk memanaskan air di dalam *heat exchanger* atau langsung memanaskan udara di ruang pengering, sehingga suhu tetap terjaga konstan (biasanya 40–70 °C).

Untuk menghitung total energi yg disuplai oleh gas LPG selama proses pengeringan dapat menggunakan persamaan (2.8) di bawah ini:

$$Q_{gas} = m_{gas} \times NCV \quad (2.8)$$

Dimana:

m_{gas} = Massa gas LPG yang di gunakan

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

2.9 Isolasi Termal

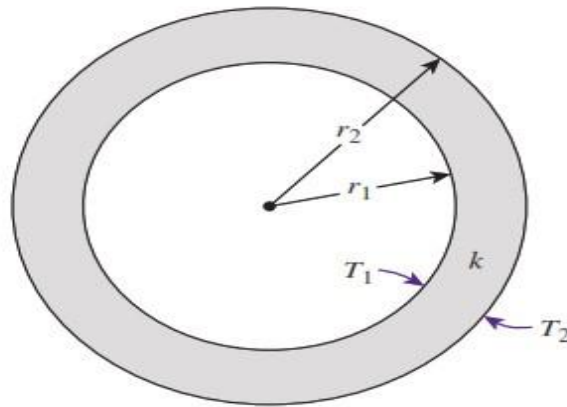
Insulasi termal (isolasi termal, isolasi panas) adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas atau kalor. Panas atau energi panas (kalor) bisa dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Aliran panas dapat dikendalikan dengan proses ini, tergantung pada sifat material yang dipergunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator. Panas dapat lolos meskipun ada upaya untuk menutupinya, tapi isolator mengurangi panas yang lolos tersebut (Dharma, 2016).

Adapun persamaan perpindahan panas pada isolasi termal pada pipa silinder terdapat pada persamaaan (2.9) dan (2.10) sebagai berikut (Çengel., 2019) :

$$\dot{Q}_{cond,cyl} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cyl}} \quad (2.9)$$

Dimana

$$R_{cyl} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} = \frac{\ln(\text{Outer radius/Inner radius})}{2\pi \times \text{Length} \times \text{Thermal conductivity}} \quad (2.10)$$

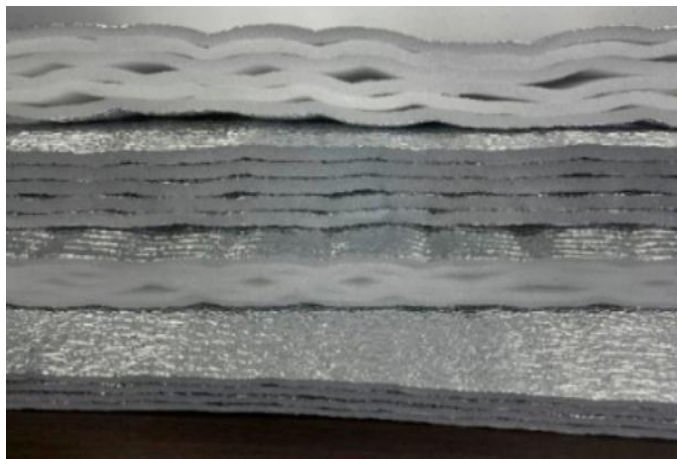


Gambar 2.11 Pipa Silinder
Sumber : Çengel dkk., 2019

Pada gambar 2.11 diatas menunjukkan pipa silinder yang diberi isolasi. Kemampuan insulasi suatu bahan sendiri diukur dengan konduktivitas termal (k). Konduktivitas termal yang rendah setara dengan kemampuan insulasi (resistansi termal atau nilai R) yang tinggi. Dalam teknik termal, sifat-sifat lain suatu bahan insulator atau isolator adalah densitas (ρ) dan kapasitas panas spesifik (c). Bahan dengan konduktivitas termal (k) rendah menurunkan laju aliran panas. Jika nilai k lebih. Semakin tebal bahan insulator, semakin tinggi pula resistansi termal atau nilai R bahan itu. Salah satu bahan isolasi termal yang dapat digunakan yaitu, *Polyethylene foam*.

Foam polyethylene secara tradisional digunakan dalam struktur sebagai lapisan atau bahan peredam getaran dalam gulungan atau lembaran yang

ketebalannya tidak melebihi 5 mm seperti yang terdapat pada gambar 2.12. *Foamed polymers* memiliki konduktivitas termal dan permeabilitas uap dan air yang rendah. Stabilitas sifat-sifatnya dari waktu ke waktu dan dalam berbagai tingkat kelembapan membuatnya menjanjikan untuk digunakan sebagai insulasi termal di lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi. *Polyethylene foam* memiliki konduktivitas termal 0,032–0,034 W/(m.K) (Ter-Zakaryan dkk., 2022).



Gambar 2.12 *Polyethylene foam*
Sumber : Ter-Zakaryan dkk., 2022

2.10 Perpindahan Panas pada Pipa Penghantar Panas

Analisis pengaruh isolasi termal pada pipa penghantar panas dapat dijelaskan menggunakan teori perpindahan panas konduksi dan konveksi sebagaimana dijelaskan dalam buku *Heat and Mass Transfer* oleh Yunus A. Çengel. Perpindahan panas konduksi terjadi dari fluida panas di dalam pipa menuju dinding pipa. Setelah panas mencapai permukaan luar pipa, panas dilepaskan ke lingkungan melalui konveksi alami.

Pada analisis perpindahan panas pipa penghantar panas, mekanisme radiasi termal diabaikan. Hal ini disebabkan oleh temperatur operasi pipa

yang relatif rendah serta penggunaan isolasi *Polyethylene Aluminium Foil Foam* yang memiliki emisivitas sangat kecil. Menurut Çengel (*Heat and Mass Transfer*), pada kondisi tersebut kontribusi perpindahan panas radiasi jauh lebih kecil dibandingkan konveksi alami sehingga pengaruhnya terhadap laju kehilangan panas total dapat diabaikan.

- Sebelum isolasi

Fluida panas → dinding pipa → udara lingkungan

$$R_{\text{total, tanpa isolasi}} = R_{\text{conv,1}} + R_{\text{cond, pipa}} + R_{\text{conv,2}}$$

- Sesudah isolasi

Fluida panas → dinding pipa → isolasi → udara lingkungan

$$R_{\text{total, isolasi}} = R_{\text{conv,1}} + R_{\text{cond, pipa}} + R_{\text{cond, isolasi}} + R_{\text{conv,2}}$$

Tahanan konduksi dinding pipa untuk pipa silinder menurut (Cengel) dengan persamaan (2.11) berikut:

$$R_{\text{cond, pipa}} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k_{\text{pipa}}} \quad (2.11)$$

Dimana:

r_1 = jari-jari dalam pipa (m)

r_2 = jari-jari luar pipa (m)

k_{pipa} = konduktivitas termal pipa (W/m·K)

L = Panjang pipa (m)

Tahanan konduksi isolasi (setelah isolasi) dengan persamaan (2.12) berikut:

$$R_{\text{cond, isolasi}} = \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi L k_{\text{isolasi}}} \quad (2.12)$$

Dimana:

r_3 = jari-jari luar isolasi (m)

$k_{isolasi}$ = konduktivitas isolasi (W/m·K)

Tahanan konveksi udara luar dengan persamaan (2.13) berikut:

$$R_{conv} = \frac{1}{hA}, \quad \text{dengan } A = 2\pi rL \quad (2.13)$$

Tanpa isolasi $\rightarrow r = r_2$

Dengan isolasi $\rightarrow r = r_3$

Dimana:

h = koefisien konveksi udara (W/m²·K)

r = jari-jari luar (m)

L = panjang pipa (m)

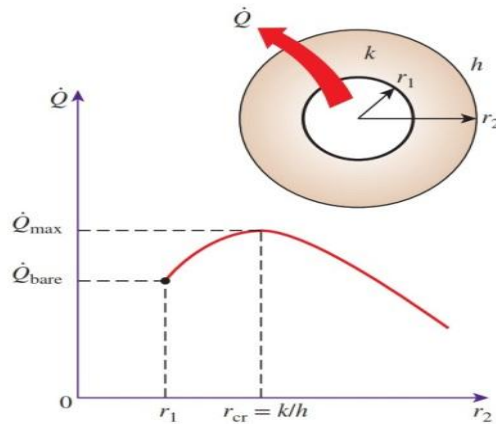
Laju kehilangan panas dapat ditentukan dengan persamaan (2.14) berikut:

$$\dot{Q} = \frac{T_{fluida} - T_{lingkungan}}{R_{total}} \quad (2.14)$$

2.11 Radius Kritis

Penambahan isolasi tidak selalu langsung menurunkan laju perpindahan panas. Pada ketebalan tertentu, luas permukaan konveksi meningkat lebih cepat dibanding kenaikan hambatan konduksi, sehingga laju perpindahan

panas justru bisa meningkat. Batas kondisi tersebut disebut radius kritis isolasi.



Gambar 2.13 Grafik laju perpindahan panas dengan jari-jari luar isolasi (r_2) ketika $r_1 < r_{cr}$

Sumber: Çengel dkk., 2019

Variasi \dot{Q} terhadap jari-jari luar isolasi r_2 diplot pada gambar 2.13 diatas. Nilai r_2 dimana \dot{Q} mencapai maksimum ditentukan dari $d\dot{Q}/dr_2 = 0$ (*zero slope*). Radius kritis isolasi bergantung pada konduktivitas termal isolasi (k) dan koefisien perpindahan panas konveksi eksternal (h). Laju perpindahan panas dari silinder meningkat dengan penambahan isolasi untuk $r_2 < r_{cr}$, mencapai maksimum ketika $r_2 = r_{cr}$, dan mulai menurun untuk $r_2 > r_{cr}$. Dengan demikian, mengisolasi pipa sebenarnya dapat meningkatkan laju perpindahan panas dari pipa alih-alih menurunkannya ketika $r_2 < r_{cr}$.

Untuk silinder, radius kritis diberikan oleh persamaan (2.15) berikut:

$$r_{cr,cylinder} = \frac{k}{h} \quad (2.15)$$

Dimana:

k = konduktivitas termal isolasi (W/m·K)

h = koefisien konveksi luar (W/m²·K)

Jika $r_{\text{luar}} < r_{\text{krit}}$ → penambahan isolasi meningkatkan perpindahan panas

Jika $r_{\text{luar}} > r_{\text{krit}}$ → penambahan isolasi menurunkan perpindahan panas

Nilai radius kritis (r_{cr}) paling besar ketika k besar dan h kecil. Mengingat bahwa nilai h terendah yang ditemui dalam praktik adalah sekitar $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ untuk kasus konveksi alami gas, dan bahwa konduktivitas termal bahan isolasi umum adalah sekitar $0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Jari-jari kritis akan jauh lebih kecil dalam konveksi paksa, seringkali kurang dari 1 mm , karena nilai h yang jauh lebih besar terkait dengan konveksi paksa. Oleh karena itu, kita dapat mengisolasi pipa air panas atau uap dengan bebas tanpa khawatir tentang kemungkinan peningkatan perpindahan panas dengan mengisolasi pipa (Çengel dkk., 2019).

2.12 Efisiensi Mesin Pengering

Efisiensi dari mesin pengering tipe *greenhouse* berbasis pemanas gas merupakan rasio perbandingan antara jumlah energi yang dimanfaatkan untuk mengeringkan dan total energi yang dikonsumsi. Efisiensi diukur dari seberapa efektif energi panas yang digunakan oleh mesin tersebut dalam menguapkan kadar air dari bahan yang dikeringkan dalam hal ini jagung pipil, dibandingkan dengan total energi yang dikonsumsi, terutama dari gas *heater* dan radiasi matahari.

Dalam menentukan efisiensi pengeringan dapat menggunakan persamaan (2.16) berikut:

$$\eta = \frac{Q_{\text{serap}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dimana:

η = Efisiensi pengeringan (%)

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

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

Energi yang digunakan untuk pengeringan dapat dihitung dengan persamaan (2.17) dan (2.18) berikut (Sukhatme, 1996) :

$$Q_{in} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.17)$$

$$Q_{serap} = (\text{massa}_{awal} - \text{massa}_{akhir}) \times hfg \text{ (tabel A4 termo)} \quad (2.18)$$

Menghitung panas yang hilang selama proses pengeringan (Q_{loss}) persamaan (2.19) berikut;

$$Q_{loss} = Q_{in} - Q_{serap} \quad (2.19)$$

Menghitung Nilai *heat loss* (kehilangan panas) persamaan (2.20) berikut:

$$Heat\ loss = \frac{Q_{loss}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.20)$$

Untuk mencari nilai laju aliran massa udara (\dot{m}) menggunakan persamaan (2.21) berikut:

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.21)$$

Dimana:

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

ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

v = Kecepatan udara (m/s)

A = Luas penampang (m)

Untuk menghitung penggunaan energi listrik *exhaust fan* menggunakan persamaan (2.22) berikut:

$$Q_{in \text{ Listrik}} = P \times t \quad (2.22)$$

Dimana:

P = Daya listrik (watt)

t = Waktu (s)

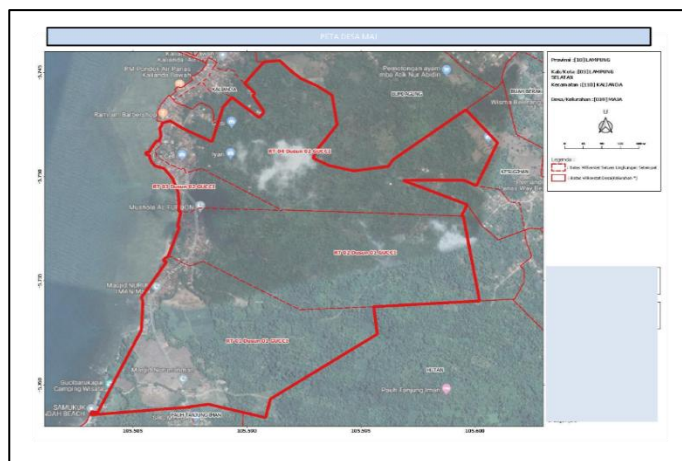
III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat pelaksanaan penelitian ini terdapat pada Gambar 3.1 dilaksanakan di desa Maja, Kecamatan Kalianda, Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung, dengan jarak ± 75 km dari Universitas Lampung.



Gambar 3.1 Peta desa Maja
Sumber: (SIPDeskel Desa Maja)

3.1.2 Waktu Penelitian

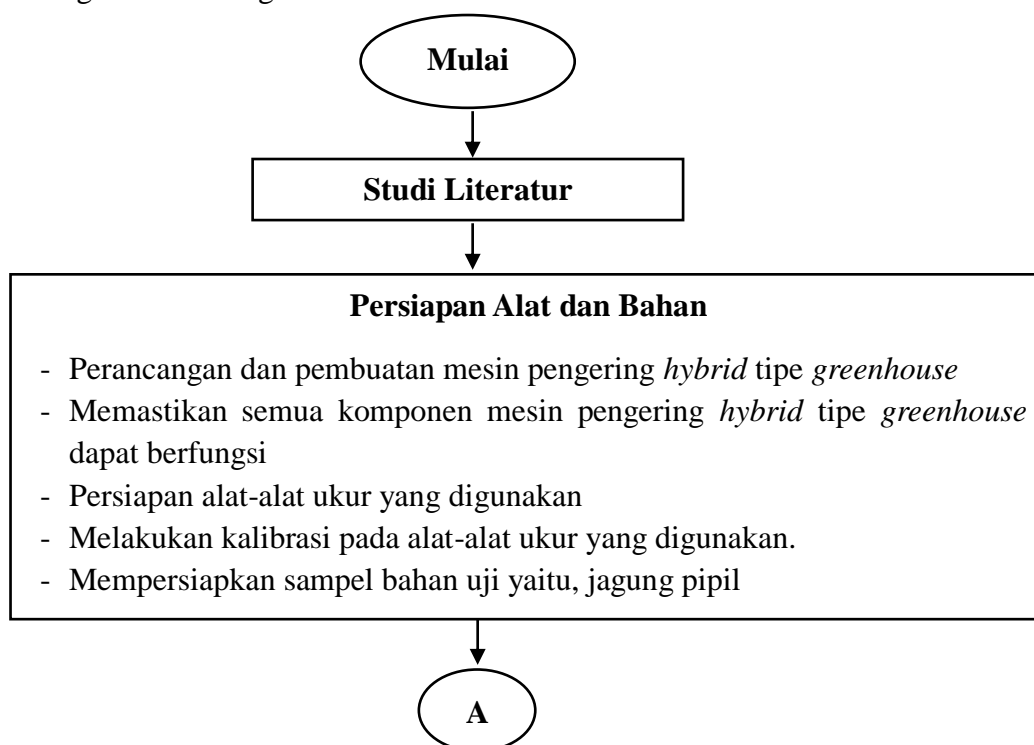
Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2025 sampai dengan November 2025 dengan rincian kegiatan yang terlampir pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Tabel waktu pelaksanaan penelitian

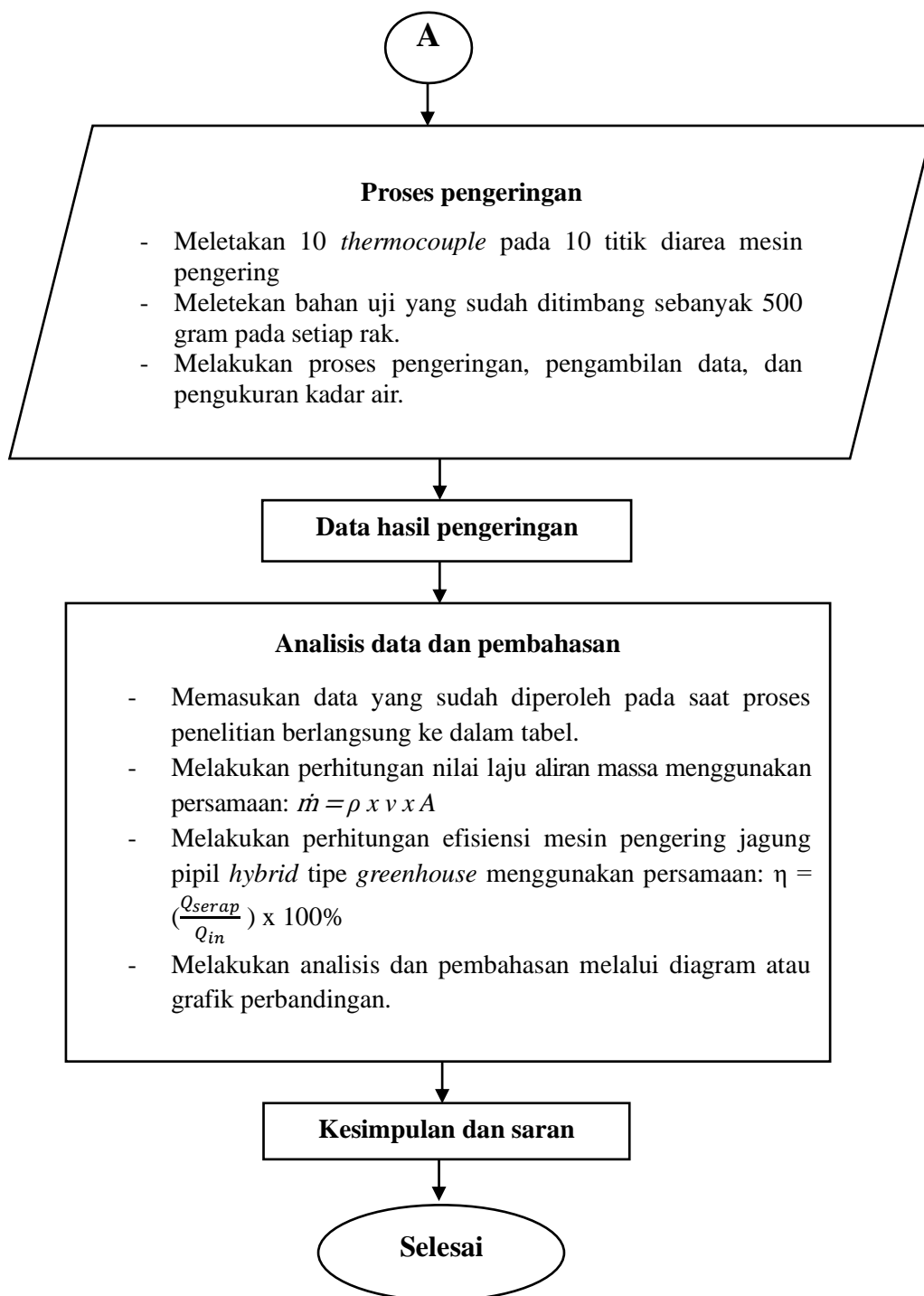
No.	Kegiatan	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov
1	Studi Literatur terkait dengan topik penelitian	■	■				
2	Persiapan Alat dan Bahan Pengujian		■	■			
3	Pengujian dan Pengambilan Data		■	■	■		
4	Pengolahan Data				■	■	■
5	Pembuatan laporan akhir						■

3.2 Alur Tahap Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan terdapat pada gambar 3.2 diagram alir sebagai berikut ini.



3.2 Alur Tahap Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di desa Maja, Kalianda, Lampung Selatan. Penelitian ini dilakukan dengan pengamatan terhadap laju pengeringan, distribusi temperature tiap rak, kelembapan udara, lama pengeringan, serta penurunan kadar air jagung pipil menggunakan mesin pengering tipe *greenhouse* dengan perbandingan antara *hybrid*, yaitu dengan radiasi matahari dan pemanas gas serta perbandingan dengan penggunaan radiasi matahari dan tanpa pemanas gas, serta dengan dan tanpa isolasi termal pada pipa penghantar panasnya. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut.

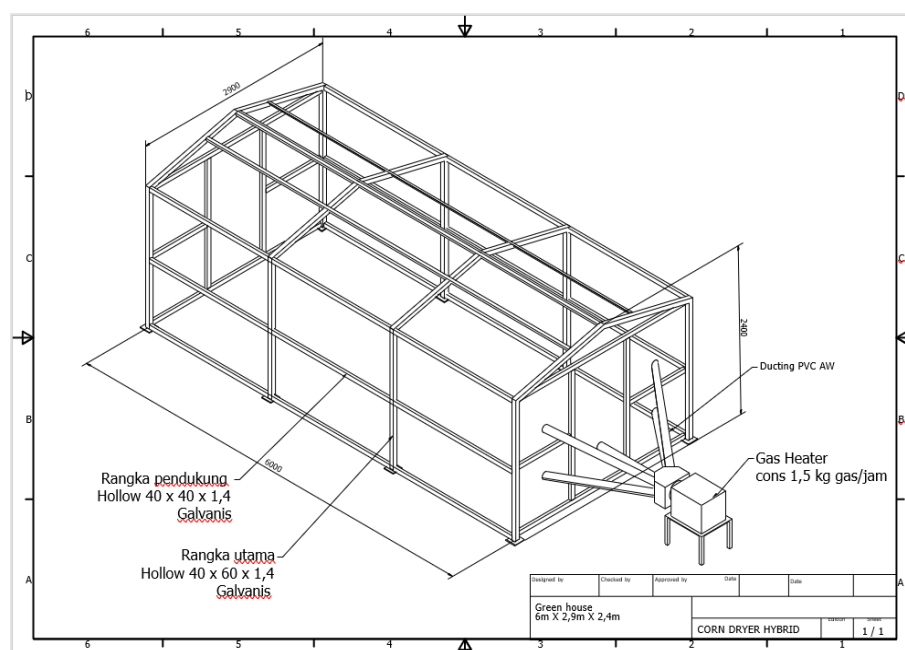
1. Mesin pengering Jagung pipil *Hybrid Tipe Greenhouse* - Mesin pengering yang memanfaatkan pemanas gas dan radiasi matahari.
2. *Temperature Recorder Datalogger* – digunakan untuk mencatat suhu di berbagai titik dalam ruang pengering.
3. *Thermocouple Type-K* – digunakan untuk mengukur distribusi suhu dalam ruang pengering.
4. *Solar power meter* – digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari.
5. *Anemometer* – digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang dihasilkan oleh pemanas gas dan *exhaust fan*.
6. *Hygrometer* – digunakan untuk mengukur kelembaban udara.
7. *Grain Moisture Meter* – digunakan untuk mengukur kadar air jagung pipil.
8. Timbangan Digital – digunakan untuk mengukur berat jagung pipil sebelum dan sesudah pengeringan.
9. Jagung Pipil – Sebagai bahan uji pengeringan dengan kadar air awal sekitar 25-30%.

3.4 Perencanaan Mesin Pengering

Mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* adalah mesin pengeringan yang menggunakan energi gabungan antara radiasi matahari dan pemanas tambahan yaitu pemanas gas untuk mengeringkan bahan pertanian, perikanan, atau produk lainnya.

3.4.1 Gambar Mesin Pengering Tipe *Greenhouse*

Adapun mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* berbasis pemanas gas terdapat pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3 Desain rangka mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse*

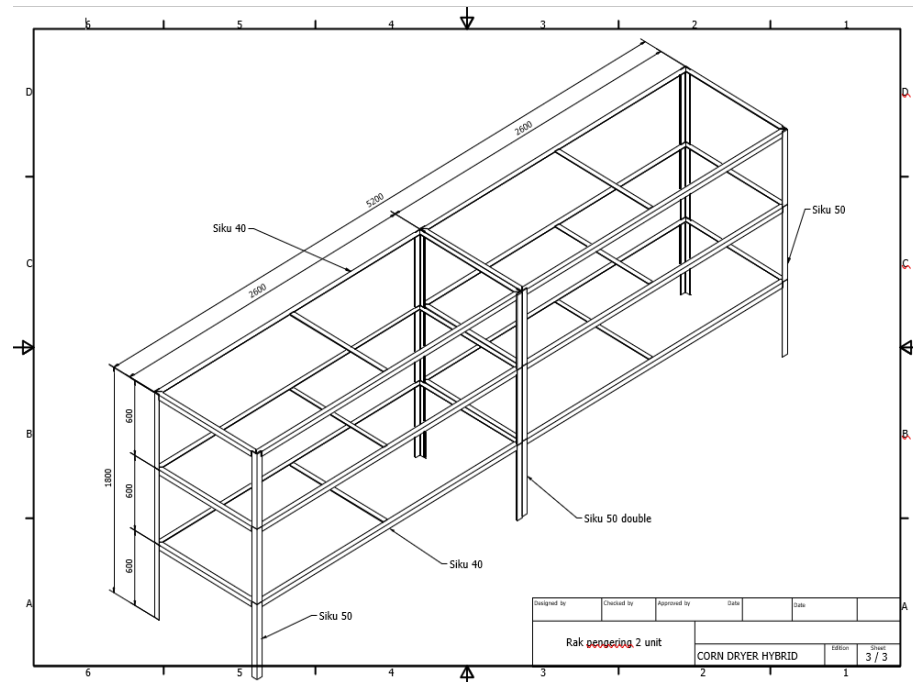
Adapun Spesifikasi rangka mesin pengering *Hybrid* tipe *Greenhouse* terdapat pada tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Spesifikasi Rangka Mesin Pengering *Hybrid* Tipe *Greenhouse*

Panjang rangka <i>Greenhouse</i>	6 m
Lebar rangka <i>Greenhouse</i>	2,9 m
Tinggi rangka <i>Greenhouse</i>	2,4 m

3.4.2 Gambar Rak Mesin Pengering

Berikut ini gambar 3.4 yang merupakan rak mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* berbasis pemanas gas:



Gambar 3.4 Desain Rak Mesin Pengering *Hybrid* Tipe *Greenhouse*

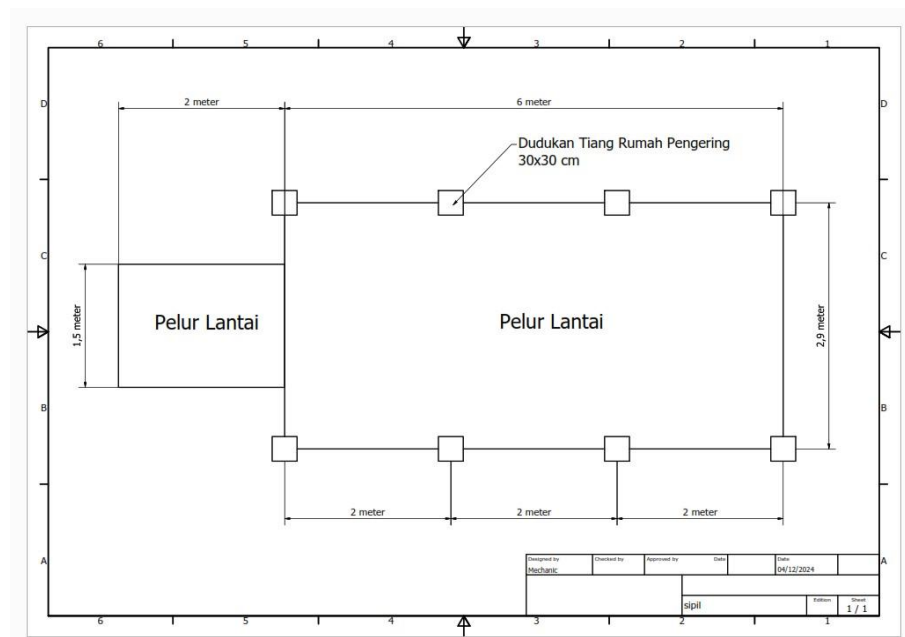
Adapun spesifikasi rak mesin pengering *Hybrid* tipe *Greenhouse* terdapat pada tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Spesifikasi Rak Mesin Pengering *Hybrid* Tipe *Greenhouse*

Panjang rak	5200 mm
Lebar rak	1000 mm
Tinggi rak	1800 mm
Jarak antara rak	600 mm

3.4.3 Struktur Lantai Mesin Pengering

Adapun struktur lantai mesin pengering *hybrid tipe greenhouse* berbasis pemanas gas terdapat pada gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3.5 Desain lantai Mesin Pengering *Hybrid Tipe Greenhouse*

Adapun struktur lantai Mesin Pengering *Hybrid Tipe Greenhouse* terdapat pada tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3.4 Struktur lantai Mesin Pengering *Hybrid Tipe Greenhouse*

Panjang lantai	8 m
Lebar lantai	2,9 m
Jarak antara pondasi dudukan tiang	2 m
Lebar lantai gas <i>heater</i>	1,5 m
pondasi dudukan tiang	30 x 30 cm

3.5 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.5.1 Alat

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

1. Mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse*



Gambar 3.6 Mesin Pengering *Hybrid* tipe *Greenhouse*

Adapun spesifikasi mesin pengering *hybrid* tipe *greenhouse* berbasis pemanas gas terdapat pada tabel 3.5 sebagai berikut ini:

Tabel 3. 5 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 <i>hollow</i>
6. Dinding	: Plastik UV
7. Jumlah pintu	: 1 pintu
8. Jumlah rak	: 12 rak
9. Panjang x Lebar rak	: 185 x 100 cm
10. Jarak antar rak	: 50 cm
11. Blower (<i>exhaust fan</i>)	: 3 blower
12. Unit pemanas	: Gas <i>heater</i>
- Output power	: 50 kW
- energi	: Gas
- dimensi <i>heater</i>	: 59 x 36 x 46 cm

2. *Termorecorder 12 channel temperature recorder data logger*

Termorecorder 12 Channel Temperature Recorder Data Logger yang terdada adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk merekam dan menyimpan data suhu dari 12 sensor secara sekaligus dalam waktu yang sama seperti yang terlihat pada gambar 3.7. Alat ini memiliki tampilan digital berfungsi sebagai alat ukur temperatur yang dapat direkam data sampling sebanyak 1 kali sampai 3600 detik dengan keluaran data excel secara otomatis.



Gambar 3.7 *Termorecorder 12 channel*

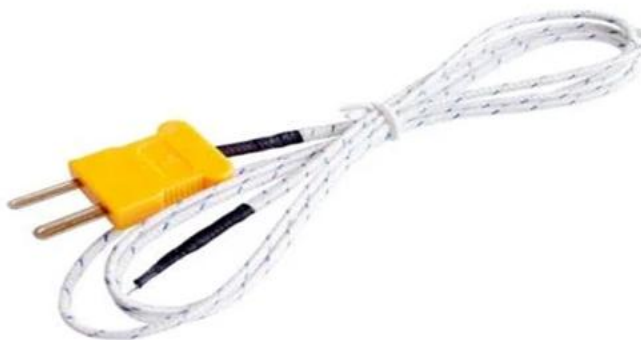
Adapun spesifikasi *temperature recorder data logger* terdapat pada tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 3.6 Spesifikasi *temperature recorder data logger*

Spesifikasi data logger	
1. Nama alat	: <i>Temperature Recorder</i>
2. Jumlah channel	: 12 <i>channel</i> (CH1–CH12)
3. Jenis sensor	: Termokopel tipe J, K, T, E, R
4. Rentang pengukuran suhu	: –50 hingga 1300 °C
5. Akurasi pengukuran	: $\pm(0,4\% + 1 \text{ digit})$
6. Interval pencatatan data	: 1 detik hingga 3600 detik
7. Media penyimpanan data	: Kartu SD
8. Sumber daya	: Baterai / adaptor DC

3. *Thermocouple*

Thermocouple berfungsi sebagai alat ukur untuk mendeteksi temperatur seperti pada gambar 3.8. *Thermocouple* merupakan jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu. Dimana temperatur yang akan dideteksi yaitu suhu udara yang berada pada rak.



Gambar 3.8 *Thermocouple*

Adapun spesifikasi dari *Thermocouple* yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada tabel 3.7 sebagai berikut:

Tabel 3.7 Spesifikasi *Thermocouple*

Spesifikasi <i>Thermocouple</i>	
1. Tipe <i>Thermocouple</i>	Type K (<i>Chromel-Alumel</i>)
2. Standar Kalibrasi	ANSI / ASTM
3. Warna Konektor	Kuning (ANSI color code untuk Type K)
4. Jumlah Pin	2 pin
5. Tipe Konektor	<i>flat pin thermocouple plug</i>
6. Rentang Suhu Pengukuran <i>Thermocouple</i> (<i>wire/probe</i>)	Hingga sekitar -200°C sampai $\sim 1260^{\circ}\text{C}$ secara umum untuk <i>wire</i> Type K (<i>depend on wire</i>)

4. Alat ukur kelembapan udara (*Termohyrometer*) *Humidity*

Adapun pada gambar 3.9 merupakan alat ukur kelembapan udara (*Termohyrometer*) yang berfungsi untuk mengukur tingkat kelembapan udara atau kandungan air kondisi sekitar, alat ini dapat mengukur kelembapan relatif (RH).



Gambar 3.9 *Termohyrometer*

Adapun spesifikasi dari *Termohyrometer* terdapat pada tabel 3.8 berikut ini:

Tabel 3.8 Spesifikasi *Termohyrometer*

Spesifikasi <i>Thermo-Hygrometer</i>	
1. Model	HTC-1 <i>Thermo-Hygrometer</i> & <i>Clock</i>
2. Rentang Suhu	-50 °C sampai +70 °C (-58 °F sampai +158 °F)
3. Akurasi Suhu	±1 °C (±1.8 °F)
4. Resolusi Suhu	0.1 °C (0.1 °F)
5. Rentang Kelembaban	10 % RH – 99 % RH
6. Unit Suhu	°C / °F
7. <i>Power Supply</i>	1 × Baterai AAA 1.5 V

5. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat atau massa suatu benda seperti pada gambar 3.10. Timbangan digital digunakan untuk mengukur berbagai jenis benda, mulai dari bahan makanan hingga barang dagangan dan sampel laboratorium. Pada penelitian ini timbangan digital digunakan untuk menimbang bahan uji, yaitu jagung pipil.



Gambar 3.10 Timbangan digital

Adapun spesifikasi dari Timbangan digital terdapat pada tabel 3.9 berikut ini:

Tabel 3.9 Spesifikasi Timbangan Digital

Spesifikasi Timbangan Digital	
1. Jenis Alat	Timbangan Digital
2. Model Umum	<i>ACS-30 / Digital Price Scale</i>
3. Kapasitas Maksimum	30 kg
4. Ketelitian	5 g
5. Sistem Penimbangan	<i>Load Cell Strain Gauge</i>

6. Solar power meter

Solar power meter pada gambar 3.11 merupakan alat ukur radiasi matahari yang mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari (W/m^2).



Gambar 3.11 *Solar power meter*

Adapun spesifikasi dari *Solar power meter* terdapat pada tabel 3.10 berikut:

Tabel 3.10 Spesifikasi *Solar power meter*

Spesifikasi <i>Solar Power</i>	
1. Nama Alat	<i>Solar Power Meter</i> SPM-1116SD
2. Merek	Lutron
3. Model	SPM-1116SD
4. Rentang Pengukuran	0–2000 W/m^2 0–634 $\text{Btu}/(\text{ft}^2\cdot\text{h})$
5. Resolusi Pengukuran	<ul style="list-style-type: none"> • $<1000 \text{ W/m}^2$: 0.1 W/m^2 • $\geq 1000 \text{ W/m}^2$: 1 W/m^2 • $<317 \text{ Btu}$: 0.1 $\text{Btu}/(\text{ft}^2\cdot\text{h})$ • $\geq 317 \text{ Btu}$: 1 $\text{Btu}/(\text{ft}^2\cdot\text{h})$
6. Akurasi	$\pm 10 \text{ W/m}^2$ atau $\pm 3 \text{ Btu}/(\text{ft}^2\cdot\text{h})$ atau $\pm 5 \%$ pembacaan (mana yang lebih besar)
7. Data Logger (SD Card)	SD Card 1–16 GB (opsional) Rekaman data dengan <i>timestamp</i> waktu

7. Anemometer

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin seperti gambar 3.12. *Anemometer* bekerja dengan mendeteksi putaran baling-baling yang berputar saat terkena tiupan angin pada kecepatan putaran tersebut kemudian dikoversi menjadi data kecepatan angin.



Gambar 3.12 *Anemometer*

Adapun spesifikasi dari *anemometer* terdapat pada tabel 3.11 berikut ini:

Tabel 3.11 Spesifikasi *anemometer*

Spesifikasi <i>Anemometer</i>	
1. Jenis Alat	Digital <i>Anemometer</i>
2. Metode Pengukuran	<i>Vane</i> / baling-baling (<i>rotating impeller</i>)
3. Satuan Kecepatan Angin	m/s, km/h, ft/min, knots, mph
4. Rentang Kecepatan Angin	0 – 30 m/s
5. Resolusi Kecepatan Angin	0,1 m/s
6 Akurasi Kecepatan Angin	$\pm (3 \% + 0,1 \text{ m/s})$

8. *Grain Moisture Meter*

Grain Moisture Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar air dalam biji-bijian seperti padi, jagung, gandum, dan lainnya seperti pada gambar 3.13. Alat ini bekerja menggunakan metode resistansi listrik, di mana perubahan kadar air pada biji-bijian memengaruhi nilai hambatan listrik yang kemudian dikonversi menjadi nilai kadar air (%).

Cara Kerja *Grain Moisture Meter* (Tipe *Probe*)

- Batang/probe logam dimasukkan ke dalam tumpukan jagung, Probe (batang logam) pada alat berfungsi sebagai sensor yang mengukur perubahan resistansi atau kapasitansi ketika ditancapkan ke tumpukan biji.
- Probe akan membaca resistansi/kapasitansi listrik dari biji, Jika biji kering → listrik sulit mengalir → resistansinya tinggi, Jika biji basah → listrik mudah mengalir → resistansinya rendah
- Nilai tersebut dikonversi oleh alat menjadi persentase kadar air (% Moisture Content).
- Hasilnya langsung tampil pada layar LCD.



Gambar 3.13 *Grain moisture meter*

Adapun spesifikasi dari *Grain moisture meter* terdapat pada tabel 3.12 berikut ini:

Tabel 3.12 Spesifikasi *Grain moisture meter*

Spesifikasi <i>Grain Moisture Meter</i>	
1. Jenis Alat	<i>Grain Moisture Meter</i> (Alat ukur kadar air biji-bijian) Tipe <i>Probe</i>
2. Metode Pengukuran	<i>Resistance Method</i> (metode resistansi)
3. Resolusi Pengukuran	0,1 %
4. Rentang Pengukuran	<ul style="list-style-type: none"> • Canola, wijen, bungkil kedelai, biji kapas 7,5 – 44 % • Kedelai, kacang tanah (kernel) 10 – 50 % • Barley, beras, sorgum, biji semangka 11 – 50 % • Padi, gandum 11 – 55 % • Jagung, pelet pakan 11,5 – 50 %

9. *Exhaust fan*

Exhaust fan pada gambar 3.14 berfungsi sebagai penghisap uap air di dalam ruang pengering agar memaksimalkan proses sirkulasi udara di dalam ruang pengeringan.



Gambar 3.14 *Exhaust fan*

Adapun spesifikasi dari *Exhaust fan* terdapat pada tabel 3.13 berikut ini:

Tabel 3.13 Spesifikasi *Exhaust fan*

Spesifikasi <i>Exhaust Fan</i>	
1. Model	CKE EF-SS-14/1-NX
2. Tipe	<i>Exhaust Fan</i> / Kipas Ventilasi Dinding
3. Daya Listrik (Power)	46 Watt
4. Tegangan Operasi	220 V (AC, <i>single phase</i>)
5. Diameter	20 cm
6. Material	<i>Stainless Steel</i>
7. Berat	± 2.64 kg

10. Pemanas Gas (*Gas Heater*)

Pemanas Gas (*Gas heater*) pada gambar 3.15 adalah perangkat pemanas yang menggunakan bahan bakar gas (seperti LPG, LNG, atau gas alam) untuk menghasilkan panas. Pemanas ini bekerja dengan membakar gas di dalam ruang pembakaran, kemudian panas yang dihasilkan disebarkan ke lingkungan.



Gambar 3.15 Pemanas Gas

Adapun spesifikasi dari pemanas gas terdapat pada tabel 3.14 berikut ini:

Tabel 3.14 Spesifikasi pemanas gas

Spesifikasi Pemanas gas	
1. Nama Alat	Pemanas gas (<i>Gas Heater</i>)
2. Model	MGQF-50
3. Jenis Bahan Bakar	Gas (LPG)
4. Tegangan Listrik	220 V
5. Daya Keluaran (<i>Output Power</i>)	50 kW
6. Diameter Keluaran	15 cm
7. Sistem Pemanas	Pembakaran gas dengan bantuan kipas (<i>forced convection</i>)
8. Sistem Aliran Udara	<i>Axial fan</i> (kipas aksial)
9. Daya <i>Axial fan</i>	80 W
10. Fungsi Kipas	Mensirkulasikan udara panas ke ruang pengering

3.5.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada pengujian ini yaitu sebagai berikut:

1. Jagung pipil

Jagung pipil seperti di gambar 3.16 digunakan sebagai bahan uji atau sampel uji dalam proses pengeringan. Jagung pipil yang digunakan dalam proses pengeringan sebanyak 500 gram pada setiap rak, dengan jumlah 12 rak, sehingga total jagung pipil yang digunakan dalam satu kali pengujian adalah 6 kg.



Gambar 3.16 Jagung pipil

2. Gas LPG

Gas LPG 3 kg digunakan sebagai bahan bakar untuk pemanas gas (*gas heater*) yang digunakan sebagai pemanas selain matahari selama proses pengeringan.

3. *Polyethylene Aluminium Foil Foam*

Polyethylene Aluminium Foil Foam pada gambar 3.17 digunakan sebagai bahan isolasi termal pada pipa penghantar panas yang mengalirkan udara panas dari pemanas gas menuju ruang pengering (*greenhouse*), dengan ketebalan isolasi sebesar 8 mm.



Gambar 3.17 *Polyethylene Aluminium Foil Foam*

3.6 Prosedur Pengujian

Adapun prosedur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.6.1 Prosedur pengujian dengan pemanas gas tanpa isolasi termal

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 sebanyak 500 gram yang akan dikeringkan serta meletakkan ke atas rak pengeringan.
3. Mengkalibrasi *termocouple* kedalam air es batu dan memasang 10 titik *termocouple* (alat pengukur suhu ruangan) pada ruang pengeringan, rak pengeringan, dan *exhaust fan*, serta memasang alat *hygrometer* (alat pengukur kelembapan udara) untuk mendapatkan data temperature dan kelembapan udara.
4. Selanjutnya menutup pintu *greenhouse* hingga rapat dan menyalakan pemanas gas serta menyalakan *exhaust fan* untuk menghisap uap air di dalam ruang pengering selama proses pengeringan agar memaksimalkan proses sirkulasi udara di dalam ruang pengeringan.
5. Melakukan pengambilan data berat dari sampel dilakukan setiap 1 jam sekali. Penimbangan dilakukan secara dengan menggunakan alat timbang digital. Lama pengambilan data selama 7 jam, terhitung mulai pada pukul 09.00 – 16.00.
6. Melakukan proses pengambilan data temperatur dari alat yang digunakan setiap 15 menit sekali, data temperatur alat diambil pada 10 titik pengujian diantaranya 8 titik pada rak, 1 titik pada inlet dan 1 titik pada saluran keluar ruang pengering (*exhaust fan*). Data temperatur diambil dengan menggunakan 10 *channel*

data logger, sedangkan untuk data iradiasi menggunakan *solar power meter*.

7. Mencatat hasil pada buku dan tabel yang telah ditentukan pada langkah ke 5-6.
8. Mengulangi langkah 5-7 sampai selesai.

3.6.2 Prosedur pengujian dengan pemanas gas dan dengan isolasi termal

1. Memasang isolasi termal yaitu *Polyethylene Alumunium Foil Foam* pada pipa penghantar panas dari pemanas gas ke ruang pengering (*greenhouse*).
2. Mempersiapkan kelengkapan alat dan bahan yang akan digunakan sebagai bahan penelitian dan melakukan kalibrasi pada alat ukur yang akan digunakan.
3. Mempersiapkan dan menimbang Jagung pipil sebanyak 500 gram yang akan dikeringkan serta meletakkan ke atas rak pengeringan.
4. Mengkalibrasi *termocouple* kedalam air es batu dan memasang 10 titik *termocouple* (alat pengukur suhu ruangan) pada ruang pengeringan, rak pengeringan, dan *exhaust fan*, serta memasang alat *hygrometer* (alat pengukur kelembapan udara) untuk mendapatkan data temperature dan kelembapan udara.
5. Selanjutnya menutup pintu *greenhouse* hingga rapat dan menyalakan pemanas gas serta menyalakan *exhaust fan* untuk menghisap uap air di dalam ruang pengering selama proses pengeringan agar memaksimalkan proses sirkulasi udara di dalam ruang pengeringan.
6. Melakukan pengambilan data berat dari sampel dilakukan setiap 1 jam sekali. Penimbangan dilakukan secara digital menggunakan alat timbang digital. Lama pengambilan data selama 7 jam, terhitung mulai pada pukul 09.00 – 16.00.

7. Melakukan proses pengambilan data temperatur dari alat yang digunakan setiap 15 menit sekali, data temperatur alat diambil pada 10 titik pengujian diantaranya 8 titik pada rak, 1 titik pada inlet dan 1 titik pada saluran keluar ruang pengering (*exhaust fan*). Data temperatur diambil dengan menggunakan 10 *channel data logger*, sedangkan untuk data iradiasi menggunakan *solar power meter*, serta mengukur perbedaan temperature antara inlet dan outlet pada pipa penghantar panas yang di isolasi termal.
8. Mencatat hasil pada buku dan tabel yang telah ditentukan pada langkah ke 6-7.
9. Mengulangi langkah 6-8 sampai selesai.

3.6.3 Prosedur pengujian tanpa pemanas gas

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 sebanyak 500 gram yang akan dikeringkan serta meletakkan ke atas rak pengeringan.
3. Mengkalibrasi *termocouple* kedalam air es batu dan memasang 10 titik *termocouple* (alat pengukur suhu ruangan) pada ruang pengeringan, rak pengeringan, dan *exhaust fan*, serta memasang alat *hygrometer* (alat pengukur kelembapan udara) untuk mendapatkan data temperatur dan kelembapan udara.
4. Selanjutnya menutup pintu *greenhouse* hingga rapat dan menyalakan *exhaust fan* untuk menghisap uap air di dalam ruang pengering selama proses pengeringan agar memaksimalkan proses sirkulasi udara di dalam ruang pengeringan.
5. Melakukan pengambilan data berat dari sampel dilakukan setiap 1 jam sekali. Penimbangan dilakukan secara dengan

menggunakan alat timbang digital. Lama pengambilan data selama 7 jam, terhitung mulai pada pukul 09.00 – 16.00.

6. Melakukan proses pengambilan data temperatur dari alat yang digunakan setiap 15 menit sekali, data temperatur alat diambil pada 10 titik pengujian diantaranya 8 titik pada rak, 1 titik pada inlet dan 1 titik pada saluran keluar ruang pengering (*exhaust fan*). Data temperatur diambil dengan menggunakan 10 *channel data logger*, sedangkan untuk data iradiasi menggunakan *solar power meter*.
7. Mencatat hasil pada buku dan tabel yang telah ditentukan pada langkah ke 5-6.
8. Mengulangi langkah 5-7 sampai selesai.

3.7 Tahapan Penelitian

Adapun 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 buku-buku, internet, dan jurnal-jurnal penelitian terbaru yang relevan.

2. Tahap Persiapan Alat dan Bahan Uji

Pada tahapan ini dilakukan persiapan pada mesin pengering tipe *greenhouse* dengan memastikan komponen pada mesin pengering seperti, pemanas gas dan *exhaust fan* dapat berfungsi. 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 temperatur *ambient*, temperatur ruang pengering, temperatur 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 *hybrid* tipe *greenhouse* dengan dan tanpa pemanas gas serta dengan dan tanpa isolasi termal pada pipa penghantar panasnya. Serta pengamatan terhadap temperatur, waktu pengeringan, dan penurunan kadar air sesudah pengeringan dan massa bahan pada jagung pipil.

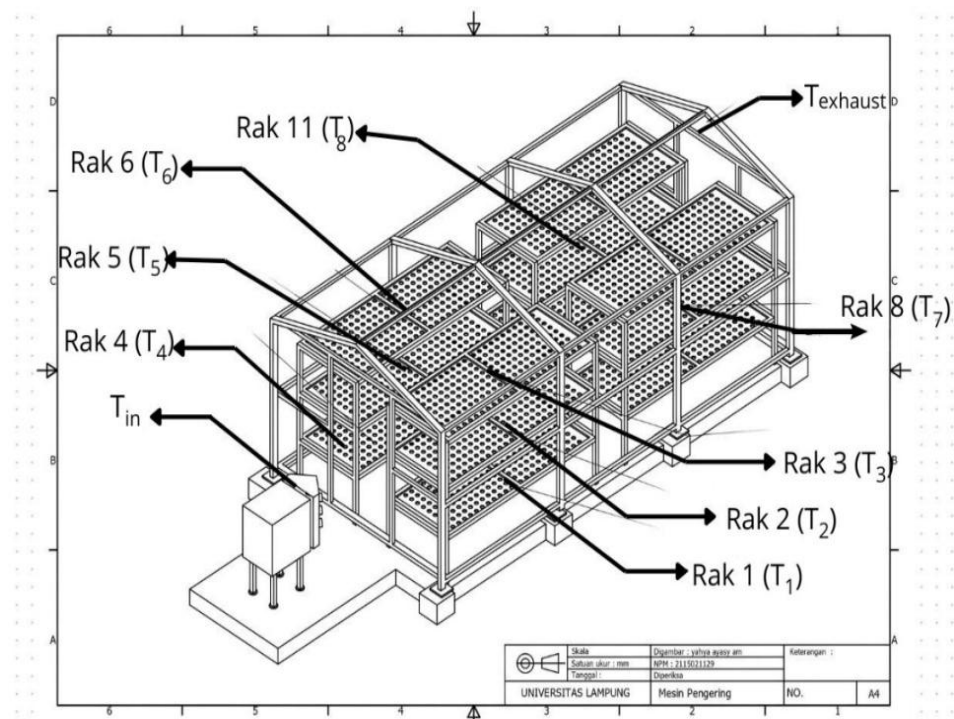
5. Tahap Pembuatan Laporan

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.

3.8 Skema Letak *Thermocouple*

Penempatan *thermocouple* pada mesin pengering dilakukan pada beberapa titik untuk memantau distribusi temperatur selama proses pengeringan berlangsung seperti yang terlihat pada gambar 3.18. 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, dan untuk sensor T_7 dan T_8 diletakan di Tengah rak sebelah kanan dan kiri di dekat *exhaust fan* dan pintu *greenhouse*.

Selain itu, sensor T_{in} digunakan untuk mengukur temperatur udara masuk dari pemanas gas, sedangkan sensor $T_{exhaust}$ mencatat temperatur udara yang keluar melalui *exhaust fan*.



Gambar 3.18 Skema Letak *Thermocouple*

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis kinerja mesin pengering jagung pipil *hybrid* tipe *greenhouse* yang melibatkan variasi penggunaan pemanas gas dan isolasi termal pada pipa penghantar panas, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian dengan Isolasi termal pada pipa penghantar panas memberikan kinerja terbaik, ditunjukkan oleh peningkatan temperatur yang lebih stabil, efisiensi pengeringan yang mencapai 12,4%, serta penurunan massa jagung pipil paling besar. Hal ini menunjukkan bahwa isolasi mampu menekan kehilangan panas pada pipa penghantar panas, sehingga energi pemanasan dapat dimanfaatkan secara lebih optimal. Pengujian tanpa pemanas gas menghasilkan kinerja paling rendah, dengan efisiensi pengeringan hanya sekitar 7,3% dan penurunan massa jagung pipil paling sedikit. Hal ini mengindikasikan bahwa radiasi matahari saja tidak cukup untuk menghasilkan proses pengeringan yang cepat dan efektif.
2. Penambahan isolasi termal pada pipa penghantar panas dapat meningkatkan performa pengeringan dengan meminimalkan kehilangan panas dengan nilai heat loss sebesar 87,65% dibandingkan tanpa isolasi termal dengan nilai heat loss sebesar 90,13 %, sehingga distribusi panas menjadi lebih efektif dan efisiensi pengeringan mencapai nilai tertinggi di antara seluruh variasi pengujian. Sebaliknya, pengeringan tanpa

pemanas gas menunjukkan kinerja terendah, baik dari segi efisiensi, penurunan massa bahan, maupun peningkatan temperatur ruang pengering tetapi tidak memerlukan konsumsi bahan bakar gas LPG didalam proses pengeringannya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada jumlah bahan pengeringan dengan sesuai kapasitas mesin pengering ini.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variasi ketebalan Isolasi termal pada pipa penghantar panas, karena dengan penggunaan tersebut dapat meningkatkan temperatur pada mesin pengering dan menekan rugi panas yang terjadi pada pipa penghantar panas.
3. Menambahkan pipa kedalam ruang pengering agar udara panas dari pemanas gas dapat lebih dekat langsung mengenai bahan yang di keringkan agar distribusi panas dapat lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., & Hall, C. W. (1992). *Drying and storage of grains and oilseeds*. Springer Science & Business Media.
- Burhani, K., Ramelan, R., & Naryanto, R. F. (2014). Pengembangan Media Pembelajaran Perpindahan Panas Radiasi Dengan Variasi Beda Perlakuan Permukaan Spesimen Uji. *JMEL: Journal of Mechanical Engineering Learning*, 3(2).
- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (9th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Darwis, V. (2018). Potensi kehilangan hasil panen dan pasca panen jagung di Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of food system and agribusiness*.
- 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>
- Djamalu, Y. (2016). Peningkatan kualitas ikan asin dengan proses pengeringan efek rumah kaca variasi hybrid. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 4(1), 6-18.
- Firmansyah, I. U., Aqil, M., & Sinuseng, Y. (2007). Penanganan pascapanen jagung. *Buku Jagung: Teknik Produksi dan Pengembangan* (Eds: Sumarno, Suyamto, A. Widjono, Hermanto, H. Kasim). Puslitbang Tanaman Pangan, Badan Litbang Pertanian.

- Gusnawati, G., Koehuan, V. A., & Sogen, L. L. (2023). Kombinasi UV solar dryer dan solar air heater untuk pengeringan ikan. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 8(1), 74–83.
- Harianda, I., & Zaenuri, M. A. (2020). Rancang bangun pengering jagung energi surya dengan turbin ventilator. *Jurnal Integrasi*, 12(2), 105-111.
- Hamarung, M. A. (2023). Rancang Bangun Mesin Pengering Mini Sistem Rotary Untuk Gabah Dan Jagung Dengan Bahan Bakar Gas Lpg Dan Biomassa. *Jurnal Vokasi Teknik Mesin dan Fabrikasi Logam*, 2(1), 36-43.
- Heristi, V., Sudrajat, J., & Gafur, S. (2021). Keefektifan pelaksanaan program upaya khusus komoditas jagung di Kabupaten Ketapang. *LIPIDA: Jurnal Teknologi Pangan dan Agroindustri Perkebunan*, 1(1), 18–30. Politeknik Negeri Ketapang.
- Hisyam, A. (2016). Analisis Perpindahan Panas Pada Oven Menggunakan Pemanas Listrik Untuk Proses Pengeringan Daun Kelor. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Koehuana, V. A., Goab, K. Y., & Jafri, M. (2021). Pengujian rumah pengering daun kelor dengan Efek Rumah Kaca (solar dryer) melalui variasi kecepatan udara. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 5(2), 68-81.
- Kasryno, F., Effendi P, Suyamto dan Adnyana, MO. (2007). Gambaran Umum Jagung Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan.
- Martiani, E., Murad, M., & Putra, G. M. D. (2017). Modifikasi dan uji performansi alat pengering hybrid (surya-biomassa) tipe rak. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 5(1), 339-347.
- Nurholis, N., Syafii, M., & Khoiri, S. (2020). Studi Warna Biji Jagung Lokal Madura Menggunakan Teknologi Imaging. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 13(1), 60-69.

- Pramudita, B. A., Aprillia, B. S., & Rizal, A. (2020). Rancang Bangun Sistem Pengering Gaplek Tipe Hibrida Kombinasi antara Sistem Efek Rumah Kaca dan Tungku Biomassa. *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, 6(2), 1-9.
- Rapindo, G., Izzuddin, M., Manggala, A., Yunanto, I., & Daniar, R. (2025). Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Putar dan Waktu Pengeringan Jagung Terhadap Efisiensi Thermal Alat Rotary Dryer. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 5(2), 325-333.
- Rokhimi, I. N., & Pujayanto, P. (2015, September). Alat Peraga Pembelajaran Laju Hantaran Kalor Konduksi. In *Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika Ke-4 2015*. Sebelas Maret University.
- Sari, K. R. T. P., Indrawati, E. M., & Nevita, A. P. (2020). Analisis Perbedaan Suhu Dan Kelembaban Ruangan Pada Kamar Berdinding Keramik. *Jurnal Inkofar*, 4(1), 5-11.
- Singh, P., & Gaur, M. K. (2021). Sustainability assessment of hybrid active greenhouse solar dryer integrated with evacuated solar collector. *Current Research in Food Science*, 4, 684-691.
- Subarjo, S., Widodo, T., & Karfiandi, M. Y. (2015). Modifikasi pengering tenaga surya dengan ventilator otomatis. *Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian-TekTan*, 7(3), 145-156.
- Sukhatme, Suhas P. (1996). "Solar Energy, Principles of Thermal Collection and Storage", 2nd ed. Tata Mc Graw-Hill. New Delhi.
- Supu, I., Usman, B., Basri, S., & Sunarmi. (2016). Pengaruh suhu terhadap perpindahan panas pada material yang berbeda. *Jurnal Dinamika*, 7(1), 62–73. Program Studi Fisika, Fakultas Sains, Universitas Cokroaminoto Palopo.

- Susana, I. G. B., & Alit, I. B. (2024). Eksperimental Pemanfaatan Sumber Energi LPG pada Pengering Rotary Kapasitas 20 kg. *Jurnal METTEK Volume, 10(1)*, 1-10.
- Suherman, S., Hadiyanto, H., Yahya, H. F., Rahayu, E., Asy-Syaqiq, M. A., Prasetiyono, B. W. H. E., & Setiadi, A. (2024). A study on the performance of corn grain dryer using hybrid solar drying with liquefied petroleum gas. *Food Research, 8(5)*, 24-32. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(5\).636](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(5).636)
- Ter-Zakaryan, K. A., Zhukov, A. D., Bessonov, I. V., Bobrova, E. Y., Pshunov, T. A., & Dotkulov, K. T. (2022). Modified polyethylene foam for critical environments. *Polymers, 14(21)*, 4688.
- Yulianto, R., & Rusli, M. S. (2022). Mesin Pengering Gabah Model Bak Menggunakan Bahan Bakar LPG. *Jurnal Poli-Teknologi, 21(3)*, 124-128.
- Yuwana, Y., & Sidebang, B. (2024). POTENSI PANAS GAS BUANG DAN LAJU PASOKAN BAHAN BAKAR ALAT PENGERING KOPI TANDEM HIBRID PANAS MATAHARI-BIOMASSA. *Jurnal Teknologi Pertanian, 25(1)*, 9-24.
- Yonanda, A., Riszal, A., & Prasetyo, D. (2023). Pembuatan Mesin Pemipil Jagung Rotary Spiral Dengan Skala Industri Rumah Tangga Di Desa Sindang Sari Kabupaten Lampung Selatan. *Nemui Nyimah, 3(2)*.