

TUGAS AKHIR

PENERAPAN IoT DAN TEKNOLOGI KOLEKTOR SURYA PADA LEMARI PINTAR PENYIMPAN BAWANG MERAH PASCA-PANEN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD AULIA

2107230116



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN

PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul **“Penerapan Iot Dan Teknologi Kolektor Surya Pada Lemari Pintar Penyimpan Bawang Merah Pasca Panen”**.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat dan hidayah-nya, sehingga penulis menyelesaikan proposal ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Agussani M.AP., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Iqbal Tanjung S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir
4. Bapak Chandra A Siregar,S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Srg, S.T., M.T selaku Ketua dan Sekretaris Prodi Teknik Mesin.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
7. Almarhum Usman dan Suriani, selaku kedua orang tua penulis, yang selalu memberikan jerih payah dan doa terbaiknya untuk kesuksesan dan keberhasilan penulis.
8. Kakanda Mutia Husnah, Fahrudin Nisa, dan Adinda Maysa Lani selaku kakak dan adik yang selalu banyak memberikan dukungan serta motivasi selama proses perkuliahan.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Dwiki Chandra, Raihan Syahputra NST, Reihan Ramadhan, Zuli Agustina Gultom dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 13 September 2025

Muhammad Aulia

ABSTRAK

Bawang merah merupakan salah satu komoditas hortikultura penting di Indonesia, khususnya di Kabupaten Karo, Sumatera Utara, yang menjadi salah satu sentra produksi terbesar. Permasalahan utama pascapanen bawang merah adalah proses pengeringan yang masih dilakukan secara tradisional dengan memanfaatkan sinar matahari langsung di area terbuka. Metode ini membutuhkan waktu 5–7 hari dan rentan terhadap serangan hama sehingga menurunkan kualitas hasil panen. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini merancang dan menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis kolektor surya pada lemari pintar penyimpan bawang merah pascapanen. Sistem dilengkapi sensor suhu dan kelembaban (DHT11), mikrokontroler, serta platform monitoring *real-time* (Blynk) yang memungkinkan petani memantau kondisi ruang pengering melalui *smartphone*. Kolektor surya dimanfaatkan untuk menyediakan panas tambahan sehingga mendukung efisiensi energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mempersingkat waktu pengeringan 100 kg bawang merah dari 5–7 hari menjadi 3 hari. Selama pengujian, suhu ruang pengering berada pada rentang 31°C–42°C dengan suhu optimal sekitar 39,1°C pada siang hari. Pengeringan lebih cepat dan terkendali membuat bawang merah terlindung dari hama serta meningkatkan kualitas hasil panen. Dengan demikian, penerapan IoT dan kolektor surya pada sistem pengering terbukti mampu meningkatkan efektivitas pascapanen bawang merah sekaligus memberikan solusi hemat energi dan ramah lingkungan bagi petani.

Kata Kunci : Bawang merah, IoT, kolektor surya, pengeringan, monitoring *real-time*

ABSTRACT

Shallots are one of the most important horticultural commodities in Indonesia, particularly in Karo Regency, North Sumatra, which is among the country's largest production centers. The main post-harvest challenge for shallots lies in the drying process, which is still traditionally carried out using direct sunlight in open areas. This method requires 5–7 days and is highly susceptible to pest attacks, thereby reducing crop quality. To address this issue, this study designed and implemented an Internet of Things (IoT)-based solar collector integrated into a smart cabinet for post-harvest shallot storage. The system is equipped with temperature and humidity sensors (DHT11/), a microcontroller, and a real-time monitoring platform (Blynk) that allows farmers to monitor drying conditions through a smartphone. A solar collector is utilized to provide additional heat, thereby supporting energy efficiency. The test results showed that the tool was able to shorten the drying time of 100 kg of shallots from 5–7 days to just 3 days. During testing, the drying chamber temperature ranged between 31°C and 42°C, with an optimal temperature of approximately 39.1°C during the day. Faster and more controlled drying protects the shallots from pests and improves the overall quality of the harvest. Thus, the integration of IoT and solar collectors in the drying system has proven effective in enhancing post-harvest processing of shallots while also providing an energy-efficient and environmentally friendly solution for farmers.

KEYWORD : Shallots, IoT, solar collector, drying, real-time monitoring

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Bawang Merah	6
2.1.1 Sifat Fisik Bawang Merah Terkait Pengeringan	6
2.2 Konsep Pengeringan Pangan	7
2.2.1 Mekanisme Pengeringan dengan Sirkulasi Udara Panas	8
2.3 Energi Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan	8
2.4 Teknologi Kolektor Surya	8
2.4.1 Prinsip Kerja Kolektor Surya	9
2.4.2 Jenis-Jenis Kolektor Surya	9
2.4.3 Material Absorber	10
2.4.4 Efisiensi Kolektor Surya	11
2.4.5 Penerapan Kolektor Surya pada Pengeringan Pertanian	13
2.5 Prinsip Kerja Panel Surya	14
2.5.1 Jenis-Jenis Panel Surya	14
2.5 Sistem IoT	16
2.5.1 Sistem IoT untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban	16
2.6 Solar Charge Controller	17
2.7 Baterai	17
2.8 Penelitian Terkait	18
2.9 Kerangka Teori dan Konseptual	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian	20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2.1 Tempat Penelitian	20
3.2.2 Waktu Penelitian	20
3.3 Bahan dan Alat Penelitian	21
3.3.1 Bahan Penelitian	21
3.3.2 Alat Penelitian	27
3.4 Rancang Alat Penelitian	28
3.4.1 Sistem Monitoring Berbasis IoT	29
	vii

3.4.2 Uji Fungsi dan Evaluasi Kinerja	29
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Studi Literatur	29
3.5.2 Bagan Alir Penelitian	31
3.6 Skematik Alat Penelitian	32
3.6.1 Alur Kerja Sistem	33
3.7 Teknik Pengumpulan Data	34
3.8 Teknik Analisis Data	34
3.9 Variabel Penelitian	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Perancangan Sistem IoT	39
4.1.1 Komponen Sistem	39
4.1.2 Otomatisasi	39
4.1.3 Program Kontrol	40
4.1.4 Prosedur Perakitan Sistem Kontrol	45
4.1.5 Konfigurasi IoT dan Dashboard	46
4.2 Implementasi Sistem	48
4.2.1 Integrasi <i>Software</i>	48
4.3 Hasil Pengujian	51
4.3.1 Profil Suhu Ruang Pengering	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
Lampiran 1. Dokumentasi penelitian	
Lampiran 2. Lembar Asistensi	
Lampiran 3. SK Pembimbing	
Lampiran 4. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 5 Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proses penjemuran tradisional	2
Gambar 2.1 Bawang merah	6
Gambar 3.1 Kabel Data USB	21
Gambar 3.2 Kabel Jumper	22
Gambar 3.3 Panel Surya	22
Gambar 3.4 <i>Solar Charge Controller</i>	23
Gambar 3.5 <i>Blower DC</i>	23
Gambar 3.6 Sensor DHT11	24
Gambar 3.7 NodeMCU Lolin	24
Gambar 3.8 Arduino Uno	25
Gambar 3.9 LCD I2c 16x2	25
Gambar 3.10 Baterai 12V DC	26
Gambar 3.11 Panel Box	26
Gambar 3.12 <i>Software Arduino IDE</i>	27
Gambar 3.13 Laptop	27
Gambar 3.14 Rancangan Alat penelitian	28
Gambar 3.15 Bagan Alir Penelitian	31
Gambar 3.16 Skematik Alat penelitian	32
Gambar 4.1 Hasil Program 1	42
Gambar 4.2 Hasil Program 2	44
Gambar 4.3 <i>Platform bylnk</i>	47
Gambar 4.4 Proses perakitan sistem kontrol	49
Gambar 4.5 Proses instalasi <i>solarpanel</i>	49
Gambar 4.6 Proses instalasi mikrokontroler pada panel box	50
Gambar 4.7 Proses pengujian awal	51
Gambar 4.8 Perbandingan waktu penjemuran konvensional dan yang menggunakan kolektor surya	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Material Absorber	11
Tabel 2.2 Perbandingan efisiensi kolektor surya dari beberapa penelitian	13
Tabel 3.1 Waktu kegiatan penelitian	20
Tabel 3.2 Variabel penelitian	36
Tabel 4.1 Kehilangan berat pada bawang menggunakan lemari pengering	52
Tabel 4.2 Pengamatan suhu lemari pengering	53

DAFTAR NOTASI

T	= Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
H	= Kelembapan relatif (%)
t	= Waktu (s atau jam)
Q	= Kalor (Joule)
I	= Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
A	= Luas permukaan kolektor (m^2)
H	= Efisiensi kolektor surya (%)
V	= Tegangan listrik (Volt)
I_c	= Arus listrik (Ampere)
R	= Hambatan (Ω)
P	= Daya listrik (Watt)
M	= Massa bawang merah (kg)
Δm	= Penurunan massa bawang merah (kg)
M_c	= Kadar air bawang merah (%)
M_i	= Kadar air awal bawang merah (%)
M_f	= Kadar air akhir bawang merah (%)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura strategis di Indonesia yang memiliki peran penting baik dalam aspek ekonomi, sosial, maupun budaya. Sebagai bumbu dapur utama, bawang merah tidak hanya digunakan dalam hampir seluruh masakan nusantara, tetapi juga menjadi bahan baku industri makanan olahan, bumbu instan, hingga obat tradisional. Tingginya kebutuhan konsumsi menjadikan komoditas ini bernilai ekonomi tinggi, sehingga harga bawang merah kerap memengaruhi inflasi pangan nasional. Oleh karena itu, kestabilan produksi dan mutu bawang merah sangat penting untuk menjaga kesejahteraan petani sekaligus ketahanan pangan nasional (Kementan, 2020).

Secara geografis, Indonesia memiliki beberapa sentra produksi bawang merah yang tersebar di Jawa Tengah (Brebes, Nganjuk), Sulawesi Selatan (Enrekang), dan Sumatera Utara (Karo). Daerah-daerah tersebut memiliki agroklimat yang mendukung pertumbuhan bawang merah, terutama curah hujan, ketinggian tempat, dan intensitas cahaya matahari. Produksi bawang merah nasional pada tahun 2023 dilaporkan mencapai lebih dari 2 juta ton per tahun (BPS, 2023). Namun, tingginya produksi tidak sebanding dengan kualitas hasil panen yang beredar di pasar, sebab lebih dari 20% mengalami penurunan mutu atau kehilangan hasil akibat kerusakan pascapanen.

Kerusakan tersebut disebabkan oleh sifat bawang merah yang tergolong produk mudah rusak (*perishable*). Setelah dipanen, bawang merah masih melakukan proses fisiologis berupa respirasi dan transpirasi yang berakibat pada kehilangan air, pengerutan, dan penurunan bobot umbi. Kandungan air yang tinggi, sekitar 85–90%, menjadikannya sangat rentan terhadap serangan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Kelembaban udara yang tinggi serta ventilasi penyimpanan yang tidak memadai semakin mempercepat proses pembusukan. Hal ini menimbulkan kerugian yang signifikan bagi petani karena menurunkan daya simpan, mutu, dan nilai jual produk (Suhada, 2023).

Proses pengeringan pascapanen merupakan salah satu tahapan penting untuk menekan laju kerusakan tersebut. Secara tradisional, petani biasanya menjemur bawang merah di area terbuka dengan mengandalkan sinar matahari langsung. Metode ini memang sederhana dan tidak membutuhkan biaya tambahan, namun memiliki kelemahan yang signifikan. Waktu pengeringan relatif lama, yaitu 5–7 hari bahkan hingga 9 hari tergantung kondisi cuaca, serta hasilnya sangat tidak konsisten. Selain itu, penjemuran terbuka membuat bawang rentan terkena hujan, serangan hama seperti tikus, burung, dan kelelawar, serta pencemaran dari debu atau kotoran. Kondisi ini menyebabkan mutu bawang merah menurun drastis, baik dari segi tampilan, kadar air, maupun ketahanan simpan (Observasi Lapangan, 2025).



Gambar 1.1 Proses penjemuran tradisional

Untuk mengatasi kelemahan metode tradisional, diperlukan teknologi pengeringan yang lebih modern, efisien, dan adaptif terhadap kondisi lingkungan. Salah satu inovasi yang berkembang adalah pemanfaatan energi surya melalui kolektor surya yang digunakan sebagai sumber panas. Kolektor surya berfungsi mengumpulkan radiasi matahari, kemudian mengonversinya menjadi energi panas yang dapat digunakan untuk mengeringkan bawang merah dalam ruang tertutup. Dengan sistem ini, pengeringan dapat dilakukan lebih cepat, higienis, dan stabil meskipun kondisi cuaca berubah-ubah. Energi surya sendiri sangat potensial di Indonesia karena intensitas rata-rata mencapai 4,8 kWh/m² per hari, menjadikannya salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk sektor pertanian (Chairunissa et al., 2019).

Selain pemanfaatan energi surya, perkembangan teknologi digital juga menawarkan solusi baru melalui konsep Internet of Things (IoT). IoT memungkinkan proses pengeringan dikendalikan secara otomatis dengan memantau parameter penting seperti suhu dan kelembaban secara real-time. Sensor yang terhubung ke mikrokontroler dapat mengirimkan data langsung ke perangkat smartphone petani, sehingga mereka dapat mengetahui kondisi pengeringan kapan saja dan di mana saja. Bahkan, sistem IoT mampu memberikan notifikasi atau peringatan dini apabila suhu atau kelembaban berada di luar batas optimal, sehingga keputusan dapat diambil lebih cepat untuk menjaga mutu produk (Shulhany et al., 2022).

Integrasi antara kolektor surya sebagai sumber energi panas dan IoT sebagai sistem monitoring menciptakan konsep baru berupa lemari pintar pengering dan penyimpan bawang merah. Lemari ini tidak hanya berfungsi mempercepat proses pengeringan, tetapi juga menjaga kestabilan suhu dan kelembaban selama penyimpanan, sehingga kualitas bawang merah tetap terjaga. Keunggulan lainnya adalah efisiensi energi, karena seluruh sistem dapat berjalan dengan memanfaatkan sumber energi matahari yang ramah lingkungan, tanpa bergantung penuh pada listrik dari jaringan PLN.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji kinerja sistem lemari pintar berbasis kolektor surya dan IoT. Fokus utama adalah melihat sejauh mana alat ini mampu mempercepat pengeringan, menjaga

kualitas bawang merah selama masa simpan, serta meningkatkan efisiensi energi. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi tepat guna di bidang pascapanen, sekaligus menjadi solusi berkelanjutan bagi petani bawang merah di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian sebelum nya telah di dapat alat penyimpanan sekaligus pengering bawang merah pasca panen dengan teknologi kolektor surya. Akan tetapi kurang nya pengontrolan suhu dan kelembapan menjadi suatu penyebab kurang nya kualitas bawang merah pada saat penjemuran. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirinci sebagai berikut:

- Bagaimana merancang dan membangun sistem pengeringan bawang merah berbasis lemari pintar dengan dukungan kolektor surya?
- Bagaimana cara mengintegrasikan sensor suhu dan kelembapan dengan Arduino Uno dan NodeMCU untuk monitoring secara *real-time*?
- Sejauh mana efektivitas sistem ini dalam menurunkan waktu pengeringan dibandingkan dengan metode konvensional?
- Apa saja kendala teknis yang muncul selama implementasi, serta bagaimana solusinya?

Oleh karnaitu penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem kontrol pada lemari penyimpanan bawang untuk memantau suhu dan kelembapan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk sistem monitoring suhu dan kelembapan ruang pengering bawang merah secara *real-time*.
2. Menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk sistem monitoring suhu dan kelembapan ruang pengering bawang merah secara *real-time*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Didapat nya rancangan teknologi *Internet of things* (IoT) untuk sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang pengering bawang merah secara *real-time*.
2. Diterapkan nya teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang pengering bawang merah secara *real-time*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, maka batasan masalah ditentukan sebagai berikut:

- Penelitian hanya difokuskan pada pengeringan bawang merah pascapanen, tidak mencakup komoditas lain.
- Sensor yang digunakan terbatas pada DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban.
- Sistem IoT menggunakan *platform Blynk* dengan NodeMCU ESP8266, sehingga monitoring hanya dapat dilakukan melalui jaringan *Wi-Fi*.
- Kapasitas pengeringan maksimal pada *prototipe* adalah ± 100 kg bawang merah.
- Uji coba dilakukan di lingkungan kampus UMSU dengan kondisi iklim setempat, sehingga hasil dapat berbeda bila diterapkan di daerah lain.
- Penelitian ini dibatasi pada perancangan dan pengujian sistem monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bawang Merah

Bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura strategis di Indonesia karena perannya sebagai bumbu utama dalam hampir setiap masakan. Produksi bawang merah nasional pada tahun 2023 mencapai lebih dari 2 juta ton (BPS, 2023). Namun demikian, bawang merah termasuk komoditas yang rentan rusak setelah panen akibat kadar airnya yang tinggi, yaitu sekitar 80%. Jika tidak segera dilakukan penanganan pascapanen, maka umbi akan cepat busuk, berkecambah, atau terserang jamur. Pengeringan menjadi salah satu cara utama untuk memperpanjang umur simpan bawang merah. Melalui pengeringan, kadar air dapat diturunkan hingga mencapai 60–65%, sehingga bawang lebih tahan simpan dalam jangka waktu lama. Dengan demikian, pemahaman terhadap sifat fisik bawang merah menjadi landasan penting dalam merancang teknologi pascapanen.



Gambar 2.1 Bawang merah

2.1.1 Sifat Fisik Bawang Merah Terkait Pengeringan

Berdasarkan sejarahnya, tanaman bawang merupakan berasal dari Syiria, beberapa ribu tahun yang lalu sudah dikenal umat manusia sebagai penyedap

masakan. Sekitar abad VIII tanaman bawang merah ini mulai menyebar ke wilayah Eropa Timur, Eropa Barat dan Spanyol, kemudian menyebar luas ke dataran Amerika, Asia Timur dan Asia Tenggara. Abad XIX bawang merah telah menjadi salah satu tanaman komersial di berbagai negara di dunia. Negara-negara produsen bawang merah antara lain adalah Jepang, USA, Rumania, Italia, Meksiko dan Texas (Listianawati, 2014).

Adapun menurut Singgih (1994) menyatakan bahwa berdasarkan warna umbi, maka bawang merah dibagi menjadi tiga kelompok yaitu:

- a. Kelompok yang umbinya merah tua, seperti kultivar Medan, Sri Sakate, Maja dan Gurgur.
- b. Kelompok yang umbinya kuning muda pucat, seperti kultivar Sumenep.
- c. Kelompok yang umbinya kuning kemerahan, seperti kultivar Lampung, Bima, ampenan dan sebagainya.

Bawang merah (*Allium cepa* L.) merupakan komoditas hortikultura dengan kandungan air yang tinggi, sekitar 85–90% (Kementerian Pertanian, 2020). Kadar air yang tinggi menyebabkan bawang merah mudah mengalami pembusukan akibat pertumbuhan mikroorganisme dan jamur, khususnya jika penyimpanan tidak dilakukan dengan benar (Suhada, 2023). Oleh karena itu, proses pengeringan pascapanen menjadi tahap penting untuk memperpanjang umur simpan dengan menurunkan kadar air hingga sekitar 10–12% (Chairunissa et al., 2019). Suhu pengeringan ideal untuk bawang merah berkisar antara 40 hingga 60 °C, dimana suhu ini cukup untuk menguapkan air tanpa merusak kualitas bawang (Hidayat et al., 2018).

2.2 Konsep Pengeringan Pangan

Pengeringan merupakan proses penghilangan sebagian besar kandungan air dari bahan pangan dengan cara penguapan. Menurut Mujumdar (2014), prinsip dasar pengeringan adalah terjadinya perpindahan panas dari sumber energi ke bahan, dan perpindahan massa berupa uap air dari bahan ke udara sekitarnya. Terdapat dua parameter penting yang harus diperhatikan, yaitu : Suhu pengeringan – semakin tinggi suhu, semakin cepat proses penguapan, tetapi dapat menurunkan kualitas produk.

Kelembaban relatif udara – udara dengan kelembaban rendah lebih efektif menyerap uap air.

Pada pengeringan tradisional dengan sinar matahari langsung, kontrol terhadap dua parameter ini sangat terbatas. Oleh karena itu, teknologi berbasis ruang pengering dengan sensor monitoring menjadi solusi yang lebih efektif.

2.2.1 Mekanisme Pengeringan dengan Sirkulasi Udara Panas

Pengeringan bawang merah dilakukan dengan cara mengalirkan udara panas secara merata sehingga kadar air dapat berkurang secara efektif. Prinsip pengeringan ini melibatkan perpindahan panas ke bahan basah, dan penguapan air dari permukaan bawang ke udara pengering (Wijaya et al., 2021). Penggunaan blower sebagai alat bantu sirkulasi udara panas dapat mempercepat proses pengeringan dan menghasilkan pengeringan yang lebih seragam dibandingkan metode tradisional penjemuran di bawah sinar matahari langsung.

2.3 Energi Surya Sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi surya merupakan energi terbarukan yang paling melimpah di Indonesia. Rata-rata intensitas radiasi surya di wilayah Indonesia berkisar 4,8 kWh/m² per hari (ESDM, 2022). Pemanfaatan energi surya pada bidang pertanian telah banyak dilakukan, seperti pengering kopi, gabah, ikan asin, hingga herbal.

Terdapat dua pemanfaatan utama :

Kolektor surya termal : mengubah radiasi matahari menjadi energi panas.

Panel surya fotovoltaik : mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik.

Dalam penelitian ini digunakan kolektor surya dengan absorber logam (besi bram) untuk meningkatkan temperatur udara yang dialirkan blower ke ruang pengering.

2.4 Teknologi Kolektor Surya

Kolektor surya merupakan perangkat yang menyerap energi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang dapat digunakan untuk proses pengeringan (Yusuf & Putra, 2020). Dalam penelitian ini, Peralatan pengering bawang yang dibuat terbagi menjadi dua komponen yaitu kolektor surya pada atap dan lemari pengering. Kolektor surya dibuat menggunakan baja dengan absorber panas pasir besi yang ditambahkan gram besi hasil pembubutan. Kolektor surya ini didesain untuk dapat mengalirkan udara panas sebesar 45°C ketika posisi puncak

matahari dan 20°C– 25°C ketika pada malam hari. Agar udara panas dalam ruang penyimpanan stabil, dinding alat pengering menggunakan seng sehingga proses pengeringan lebih efektif. Pintu ruang pengering didesain menggunakan *acrylic* sehingga memudahkan petani untuk mengamati proses pengeringan. Alat pengering ini juga dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban untuk memudahkan petani bawang melakukan monitoring ketika proses pengeringan. Kolektor surya berbahan absorber besi bram digunakan sebagai media penghimpun panas. Sistem ini dilengkapi dengan panel surya sebagai sumber listrik untuk mengoperasikan blower dan sistem kontrol (Zulkarnain et al., 2022). Panel surya menghasilkan energi listrik yang disimpan dalam baterai 12 VDC untuk mendukung kinerja sistem saat sinar matahari kurang optimal.

2.4.1 Prinsip Kerja Kolektor Surya

Prinsip kerja kolektor surya didasarkan pada fenomena penyerapan energi radiasi matahari oleh permukaan absorber. Permukaan ini biasanya dilapisi material berwarna gelap yang memiliki nilai *absorptivity* tinggi dan *emissivity* rendah, sehingga mampu menyerap panas maksimal sambil meminimalkan pelepasan kembali energi ke lingkungan. Udara atau fluida yang dialirkan melalui pipa atau ruang di bawah absorber akan menerima panas tersebut, kemudian digunakan dalam proses pengeringan.

2.4.2 Jenis-Jenis Kolektor Surya

Kolektor surya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis:

1. Kolektor Plat Datar (*Flat Plate Collector*) – paling sederhana dan umum digunakan. Terdiri dari plat penyerap, isolasi, dan penutup transparan (biasanya kaca atau akrilik).
 - biaya relatif murah.
 - cocok untuk aplikasi rumah tangga, efisiensi menurun pada suhu tinggi.
 - membutuhkan area besar
2. Kolektor Tabung Vakum (*Evacuated Tube Collector*) – memiliki efisiensi lebih tinggi karena ruang antar tabung dibuat vakum sehingga kehilangan panas berkurang.
 - baik untuk suhu menengah-tinggi

- cocok untuk iklim dingin
 - harga lebih mahal
 - relatif rapuh (tabung kaca)
3. Kolektor Konsentrasi (*parabolic dish collector*) – menggunakan cermin/parabola untuk memfokuskan radiasi ke titik tertentu, menghasilkan suhu tinggi. Cocok untuk aplikasi industri skala besar.
 - efisiensi sangat tinggi
 - bisa mencapai suhu > 1000 derajat celcius
 - cocok untuk turbin stirling atau generator listrik
 4. Kolektor Cermin Datar (*Linear Fresnel Reflector*) – Menggunakan cermin datar yang disusun untuk memantulkan cahaya ke pipa absorber yang terletak diatasnya.
 - biaya lebih murah dibanding parabola
 - konstruksi sederhana
 - kompleks dan mahal
 - perlu sistem pelacak dua sumbu
 5. Kolektor Berbentuk Piring Parabola (*Parabolic Trough Collector*) – memfokuskan sinar matahari kesatu titik fokus dengan receiver.
 - dapat mencapai suhu tinggi (150 – 400 derajat celcius)
 - cocok untuk pembangkit listrik skala besar
 - membutuhkan sistem pelacak matahari
 - biaya instalasi tinggi

2.4.3 Material Absorber

Material absorber merupakan komponen utama pada kolektor surya yang berfungsi menyerap radiasi matahari dan mengonversinya menjadi energi panas. Energi panas ini kemudian dialirkan ke udara yang bergerak melalui kolektor untuk dimanfaatkan pada proses pengeringan bawang merah. Pemilihan material absorber yang tepat akan sangat berpengaruh pada kinerja kolektor surya, karena berkaitan langsung dengan kemampuan penyerapan panas serta efisiensi perpindahan energi. Beberapa material yang umum digunakan sebagai absorber antara lain tembaga, aluminium, dan besi. Tembaga dikenal memiliki konduktivitas termal yang sangat tinggi sehingga mampu menghantarkan panas dengan cepat, namun harganya relatif

mahal. Aluminium memiliki konduktivitas termal lebih rendah dibanding tembaga, tetapi lebih ringan, tahan korosi, dan lebih ekonomis. Sementara itu, besi memiliki konduktivitas termal lebih rendah dibandingkan tembaga maupun aluminium, namun mudah didapat, murah, dan cukup kuat sehingga sering digunakan dalam penelitian skala prototipe. Dalam penelitian ini digunakan besi bram sebagai material absorber yang kemudian dilapisi cat hitam doff untuk meningkatkan kemampuan menyerap panas.

Tabel 2.1 Perbandingan Material Absorber

Material	Konduktivitas Termal (W/m·K)	Kelebihan	Kekurangan
Tembaga	≈ 400	Konduktivitas termal sangat tinggi; efisiensi serapan panas maksimal	Harga mahal; berat; rentan oksidasi jika tidak dilapisi
Aluminium	≈ 205	Ringan; tahan korosi; harga lebih ekonomis	Konduktivitas lebih rendah dari tembaga
Besi (Bram)	≈ 80	Mudah diperoleh; murah; kuat secara mekanis	Konduktivitas rendah; rentan karat tanpa perlakuan

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa meskipun besi memiliki konduktivitas termal paling rendah dibandingkan tembaga dan aluminium, penggunaannya tetap dipilih dalam penelitian ini karena faktor biaya, ketersediaan di pasaran, dan kesesuaian untuk skala prototipe. Dengan tambahan lapisan cat hitam doff, kemampuan penyerapan panas besi dapat ditingkatkan sehingga cukup efektif digunakan sebagai material absorber pada kolektor surya penelitian ini.

2.4.4 Efisiensi Kolektor Surya

Efisiensi kolektor surya dipengaruhi oleh:

1. Intensitas radiasi matahari.
2. Luas permukaan absorber.
3. Konduktivitas termal material.
4. Isolasi panas pada sisi dinding dan bawah kolektor.
5. Laju aliran udara/blower.

Secara umum, efisiensi kolektor surya untuk pengeringan hortikultura berkisar antara 20–40% (Yusuf & Putra, 2020). Efisiensi kolektor surya didefinisikan sebagai perbandingan antara energi panas berguna yang dapat dimanfaatkan (Q_u) dengan energi radiasi matahari yang masuk ke permukaan kolektor ($I \times A$). Secara matematis, efisiensi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta = Q_u / (I \times A)$$

Keterangan:

- η = efisiensi kolektor surya
- Q_u = panas berguna yang diserap (W)
- I = intensitas radiasi matahari (W/m^2)
- A = luas permukaan kolektor (m^2)

Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi kolektor surya antara lain:

1. Intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan kolektor.
2. Luas permukaan absorber dan kualitas lapisan penyerap panas.
3. Konduktivitas termal material absorber (misalnya tembaga, aluminium, besi).
4. Tingkat isolasi termal pada sisi dinding dan bawah kolektor untuk mengurangi kehilangan panas.
5. Laju aliran udara atau fluida kerja yang melewati kolektor.
6. Transmittance penutup transparan (kaca/akrilik) yang digunakan.
7. Arah dan kemiringan kolektor relatif terhadap posisi matahari.

Secara umum, efisiensi kolektor surya untuk pengeringan hortikultura berkisar antara 20–40% (Yusuf & Putra, 2020). Namun dalam kondisi ideal dengan material absorber berkualitas tinggi dan isolasi yang baik, efisiensi dapat mencapai lebih dari 50%. Perbandingan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi praktis di

lapangan seringkali lebih rendah dibandingkan nilai teoritis akibat adanya rugi-rugi energi melalui konduksi, konveksi, radiasi, serta kebocoran udara.

Tabel 2.2 Perbandingan Efisiensi Kolektor Surya dari Beberapa Penelitian

Jenis Kolektor Surya	Material Absorber	Kisaran Efisiensi (%)	Catatan Penggunaan
Flat Plate Collector	Tembaga/Aluminium	30 – 50	Umum digunakan untuk pengeringan skala kecil-menengah
Evacuated Tube Collector	Kaca + lapisan selektif	40 – 60	Kehilangan panas rendah, cocok untuk kondisi berawan
Kolektor Konsentrasi (Parabola)	Aluminium + reflektor	50 – 70	Suhu tinggi, lebih untuk aplikasi industri besar
Flat Plate dengan Absorber Besi	Besi Bram dilapisi cat hitam doff	20 – 35	Cocok untuk penelitian skala prototipe, murah dan mudah diperoleh

2.4.5 Penerapan Kolektor Surya pada Pengeringan Pertanian

Studi menunjukkan bahwa penggunaan kolektor surya dapat mempercepat proses pengeringan bawang merah hingga 30–50% dibanding metode penjemuran tradisional (Chairunissa et al., 2019). Selain itu, teknologi ini mampu menjaga kebersihan produk dari debu, serangga, dan kontaminasi lingkungan.

2.5 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya bekerja dengan cara menyerap cahaya matahari melalui sel fotovoltaik yang tersusun dari material semikonduktor (umumnya silikon). Ketika foton dari cahaya matahari mengenai permukaan sel, energi foton tersebut akan diserap oleh elektron pada pita valensi, sehingga elektron terdorong ke pita konduksi. Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotovoltaik. Elektron yang tereksitasi kemudian berpindah, meninggalkan *hole* (muatan positif) dan menciptakan pasangan elektron-hole. Dengan adanya medan listrik internal di dalam sambungan p-n (*p-n junction*), elektron akan mengalir menuju sisi negatif dan *hole* menuju sisi positif, sehingga menghasilkan arus listrik searah (DC). Arus listrik DC ini dapat digunakan langsung untuk beban tertentu atau disimpan dalam baterai, dan pada aplikasi yang lebih luas dapat diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik rumah tangga. (Fadhilah et al., 2017).

2.5.1 Jenis-Jenis Panel Surya

Berikut ini adalah jenis-jenis panel surya yang digunakan.

1. Monokristal

Panel surya monokristalin dibuat dari satu kristal silikon tunggal yang dimurnikan, dipotong, dan dibentuk menjadi wafer. Proses ini menghasilkan sel surya berwarna hitam pekat dengan sudut yang terpotong. Panel ini dikenal sebagai panel surya dengan efisiensi tertinggi di antara ketiganya, umumnya berkisar 20% atau lebih.

Kelebihan :

- a) Efisiensi tinggi : (hingga 15%), Mengubah lebih banyak sinar matahari menjadi listrik per meter persegi.
- b) Hemat ruang : membutuhkan area yang lebih kecil untuk menghasilkan jumlah energi yang sama.
- c) Umur panjang : memiliki daya tahan dan masa pakai yang lebih lama.
- d) Tampilan estetis : warna hitam yang seragam sering dianggap lebih menarik.
- e) cocok untuk tempat beriklim ekstrim.

Kekurangan :

- a) Harga lebih mahal : proses pembuatannya yang rumit dan penggunaan silikon murni membuat harga lebih tinggi.
- b) Rentan bayangan : kinerja seluruh panel dapat menurun drastis jika sebagian kecil selnya tertutup bayangan.

2. Polikristal

Panel surya polikristalin dibuat dari beberapa fragmen kristal silikon yang dilebur bersama dan dicetak menjadi blok. Proses ini lebih sederhana dan murah. Tampilannya mudah dikenali dari warna biru berbintik-bintik dan sudut sel yang tidak terpotong (berbentuk persegi). Efisiensi lebih rendah sekitar 13% hingga 16%, tetapi biaya produksi lebih murah.

Kelebihan :

- a) Harga lebih terjangkau : Biaya produksi yang lebih rendah menjadikannya pilihan yang lebih ekonomis.
- b) Kurang rentan bayangan : cenderung memiliki toleransi yang lebih baik terhadap kondisi cahaya yang kurang optimal atau bayangan sebagian.

Kekurangan :

- a) Efisiensi lebih rendah : Membutuhkan area yang lebih luas untuk menghasilkan jumlah listrik yang sama dengan panel monokristalin.
- b) Tampilan kurang estetik : warna biru dan tekstur berbintik-bintiknya mungkin kurang disukai oleh sebagian orang.

3. Thin Film

Panel surya Thin Film dibuat dengan cara melapisi substrat (seperti kaca, plastik, atau logam) dengan satu atau lebih lapisan tipis bahan fotovoltanik (amorf silikon, kadmium tellurida, atau tembaga indium galium selenida). Panel jenis ini sangat fleksibel dan ringan, namun efisiensinya adalah yang paling rendah, yaitu sekitar 10% hingga 13%.

Kelebihan :

- a) Fleksibel dan ringan : dapat dipasang pada permukaan yang tidak rata dan ideal untuk aplikasi portabel.
- b) Bekerja baik dalam kondisi minim cahaya : kinerjanya stabil bahkan pada cuaca mendung atau saat intensitas cahaya matahari rendah.

- c) Biaya produksi rendah : bahan baku dan proses pembuatannya cenderung lebih murah.

Kekurangan :

- a) Efisiensi paling rendah : membutuhkan area yang sangat luas untuk menghasilkan daya yang signifikan.
- b) Masa pakai lebih pendek : umumnya memiliki umur yang lebih singkat dibandingkan panel kristalin.

efisiensi rendah, namun performa baik di kondisi berawan (Purwoto et al., 2018).

2.5 Sistem IoT

Internet of Things (IoT) adalah suatu sistem yang menghubungkan perangkat fisik seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator ke jaringan internet sehingga mampu mengumpulkan data dari lingkungan, mengirimkannya melalui jaringan komunikasi ke server atau *platform cloud* untuk dianalisis, kemudian ditampilkan dalam bentuk informasi pada aplikasi *smartphone* atau komputer, serta dapat memberikan perintah otomatis kepada perangkat untuk melakukan tindakan tertentu, misalnya menyalakan blower atau heater ketika suhu dan kelembaban ruang pengering bawang merah berada di luar batas optimal, sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan secara *real-time*, jarak jauh, efisien, dan lebih cerdas (Shulhany et al., 2022; Chen et al., 2021).

2.5.1 Sistem IoT untuk Monitoring Suhu dan Kelembaban

Sistem *Internet of Things* (IoT) merupakan konsep integrasi antara sensor, perangkat mikrokontroler, jaringan komunikasi, dan platform digital untuk memungkinkan pemantauan maupun pengendalian secara *real-time* (Shulhany et al., 2022). Pada sistem ini digunakan sensor DHT11 sebagai perangkat pengukuran suhu dan kelembaban udara, yang memiliki prinsip kerja berbasis kapasitif *humidity sensor* dan thermistor untuk deteksi perubahan lingkungan. Sensor tersebut terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU Lolin (berbasis ESP8266 dengan modul *Wi-Fi*) dan Arduino Uno, yang berperan sebagai pengolah data dan pusat kendali.

Data hasil pengukuran kemudian ditampilkan pada layar LCD agar mudah diamati secara langsung. Lebih lanjut, dengan adanya dukungan konektivitas

internet melalui NodeMCU, sistem dapat dikembangkan menjadi pemantauan jarak jauh berbasis platform digital (misalnya Blynk, ThingSpeak, atau MQTT), sehingga pengguna bisa mengakses informasi kondisi lingkungan melalui *smartphone* atau komputer kapan saja. Konsep ini mencerminkan penerapan IoT dalam *smart monitoring system*, yang sangat bermanfaat untuk berbagai bidang seperti pertanian cerdas (*smart farming*), rumah pintar (*smart home*), dan manajemen lingkungan (Putri & Rahman, 2021).

2.6 Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah komponen penting dalam sistem tenaga surya yang berfungsi mengatur arus dan tegangan dari panel surya ke baterai agar proses pengisian berjalan optimal. Tanpa pengontrol, baterai berisiko mengalami *overcharge* (kelebihan muatan) yang dapat memperpendek umur baterai atau merusaknya. Umumnya digunakan tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan tegangan kerja 12V–24V. Teknologi PWM bekerja dengan cara mengatur lebar pulsa (*duty cycle*) sehingga tegangan yang diterima baterai sesuai dengan kondisi pengisian yang dibutuhkan. Selain itu, *solar charge controller* juga berperan sebagai dioda proteksi, yaitu mencegah arus balik dari baterai ke panel surya ketika tidak ada cahaya matahari, serta melindungi baterai dari kondisi *over-discharge* (pengosongan berlebih) yang dapat merusak struktur kimia baterai. Pada teknologi yang lebih maju, tersedia pula tipe MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) yang mampu melacak titik daya maksimum panel surya sehingga efisiensi pengisian baterai lebih tinggi dibandingkan PWM. (Pasaribu & Reza, 2021).

2.7 Baterai

Baterai pada sistem tenaga surya berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga energi tersebut dapat digunakan pada saat intensitas cahaya matahari rendah atau tidak ada sama sekali (misalnya malam hari). Jenis baterai yang umum digunakan adalah baterai sekunder (*rechargeable*) karena dapat diisi ulang berkali-kali, seperti *Lithium-ion*, *Lithium-Polymer* (Li-Po), dan *Nickel-Metal Hydride* (Ni-MH) (Afif & Pratiwi, 2015). Dalam perhitungan waktu pengisian, digunakan persamaan:

$$T = \frac{C}{I_{panel}} (1 + 0,2)$$

- T = waktu pengisian baterai (jam)
- C = kapasitas baterai (Ah)
- I_{panel} = arus keluaran panel surya (A)
- Faktor (1 + 0.2) menunjukkan adanya tambahan 20% sebagai faktor koreksi untuk memperhitungkan efisiensi sistem, rugi-rugi panas, dan karakteristik baterai yang tidak ideal.

Selain itu, pemilihan baterai juga harus mempertimbangkan *depth of discharge* (DoD), efisiensi siklus pengisian-pengosongan, serta umur pakai (*lifecycle*), karena faktor-faktor tersebut sangat mempengaruhi kinerja dan keandalan sistem tenaga surya secara keseluruhan (Julisman et al., 2017).

2.8 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan perkembangan teknologi dalam bidang pengeringan berbasis energi terbarukan dan *Internet of Things* (IoT). Misalnya, penelitian oleh Fadhilah et al. (2017) yang mengembangkan pengering tenaga surya untuk hasil pertanian dengan metode sirkulasi udara panas. Teknologi ini memanfaatkan energi surya secara langsung untuk meningkatkan efisiensi proses pengeringan, namun belum mengintegrasikan sistem IoT sehingga pemantauan dan pengendalian masih dilakukan secara manual.

Sementara itu, penelitian oleh Nurhadi dan Wulandari (2020) menerapkan sistem IoT pada pengering berbasis listrik, yang memungkinkan pemantauan suhu dan kelembaban secara *real-time*. Akan tetapi, sistem ini belum memanfaatkan energi surya sebagai sumber utama, sehingga konsumsi energi listrik masih cukup tinggi.

Berdasarkan celah penelitian (*research gap*) tersebut, penelitian ini berupaya menggabungkan kedua pendekatan, yaitu pemanfaatan energi surya untuk pengeringan sekaligus integrasi IoT untuk pemantauan otomatis. Dengan kombinasi ini, diharapkan tercipta solusi hemat energi, efisien, dan berkelanjutan, khususnya untuk mendukung kebutuhan masyarakat pedesaan yang sering mengalami keterbatasan akses listrik namun memiliki potensi energi surya yang melimpah.

2.9 Kerangka Teori dan Konseptual

Kerangka teori dibangun berdasarkan hubungan antara variabel penelitian:

Input : Energi surya, sensor suhu dan kelembaban.

Proses : Mikrokontroler (Arduino + NodeMCU) mengolah data sensor dan mengatur blower.

Output : Data suhu/kelembaban *real-time* + bawang merah kering lebih cepat.

Kerangka konseptual dapat divisualisasikan dalam bentuk bagan alir yang menunjukkan interaksi antara panel surya, sensor, mikrokontroler, dan ruang pengering.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian rekayasa terapan (*applied research*) dengan pendekatan kuantitatif. Fokus penelitian diarahkan pada pengujian dan evaluasi kinerja alat lemari pintar penyimpanan bawang merah berbasis kolektor surya dan *Internet of Things* (IoT) yang telah direalisasikan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

Dilaksanakan di workshop Teknik, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Muchtar Basri No.3 Medan Timur Sumatera Utara.

3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan pembuatan alat tersebut dalam penelitian ini dimulai Ketika spesifikasi alat ini telah disetujui oleh dosen pembimbing dan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1 Waktu Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu(Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■					
2	Pengumpulan Data	■	■				
3	Pemilihan Konsep		■				
4	Pengembangan Konsep			■			
5	Melakukan Pemerograman				■		
6	Uji Coba Program Pada Arduino				■	■	
7	Hasil dan pembahasan					■	■
8	Penulisan laporan						■

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. KabelData

Berperan sebagai *Pentransper power*(daya), kabel juga berperan sebagai pemancar sekaligus penerima data dari sensor-sensor yang dimasukan oleh pengontrol, dan program yang di tranfer dari pengontrol ke aktuator maupun keluaran yang lainny.



Gambar 3.1 Kabel Data USB

2. Kabel jumper, soket konektor

Digunakan untuk menyambung rangkaian sensor dan modul elektronik secara fleksibel dan aman.



Gambar 3.2 Kabel Jumper

3. Panel Surya

Berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi listrik untuk menyalakan sistem monitoring.



Gambar 3.3 Panel Surya

4. *Solar Charge Controller*

Berfungsi untuk mengatur pengisian daya dari panel surya kepada baterai agar tetap stabil dan aman.



Gambar 3.4 *Solar Charge Controller*

5. *Blower DC*

Mengalirkan udara panas kedalam ruang pengering agar suhu merata dan kelembapan cepat menurun.



Gambar 3.5 *Blower DC*

6. Sensor DHT11

Sensor digital yang berfungsi untuk menampilkan data suhu dan kelembaban secara langsung pada alat.



Gambar 3.6 Sensor DHT11

7. NodeMCU Lolin

Mikrokontroler berbasis ESP8266 yang digunakan untuk mengolah data sensor dan mengirimkannya ke *platform* IoT melalui Wi-Fi.



Gambar 3.7 NodeMCU Lolin

8. Arduino Uno

Mikrokontroler tambahan yang berfungsi sebagai antarmuka atau pengolah data jika diperlukan dalam sistem cadangan atau tampilan lokal.



Gambar 3.8 Arduino Uno

9. LCD I2c 16x2

Modul layar yang berfungsi untuk menampilkan data suhu dan kelembaban secara langsung pada alat.



Gambar 3.9 LCD I2c 16x2

10. Baterai 12V DC

Menyimpan energi listrik dari panel surya dan menjadi sumber daya utama sistem kontrol pada lemari pengering.



Gambar 3.10 Baterai 12V DC

11. Panel Box

Box panel kecil, umumnya disebut panel distribusi atau MCB box fungsinya meliputi perlindungan komponen listrik, pengaturan distribusi daya, dan memberikan keamanan bagi pengguna.

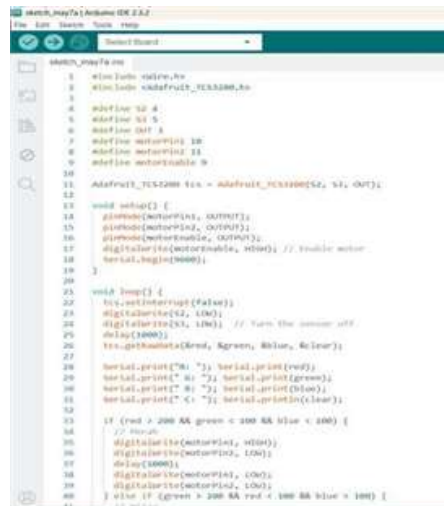


Gambar 3.11 Panel Box

3.3.2 Alat Penelitian

1. Software Arduino IDE

Software Arduino IDE mempunyai fungsi sebagai media komunikasi pemrograman dengan board Arduino.



Gambar 3. 12 Software Arduino IDE

2. Laptop

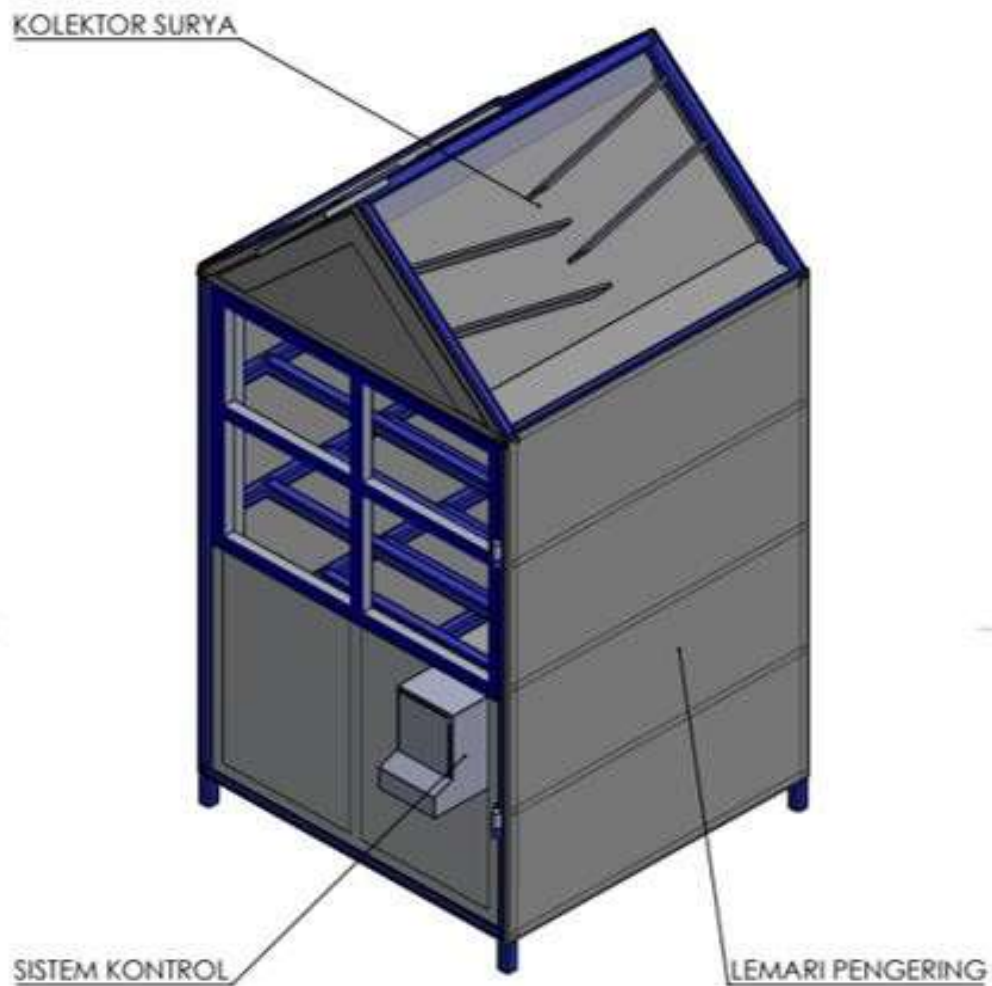
Laptop ini berperan sebagai media pemrograman Arduino dan diterapkan pada mikrokontroler.



Gambar 3.13 Laptop

3.4 Rancang Alat Penelitian

Berikut adalah rancangan alat penelitian penerapan IoT dan teknologi kolektor surya



Gambar 3.14 Rancangan Alat penelitian

Penelitian ini dirancang untuk menerapkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan kolektor surya pada sistem monitoring suhu dan kelembaban ruang pengering bawang merah. Rancangan penelitian mencakup:

Sistem Energi Surya

Panel surya MS-10W POLY mengubah energi matahari menjadi listrik yang disimpan dalam baterai 12V DC melalui solar *charge controller*. Sistem ini menyediakan daya bagi perangkat monitoring secara mandiri.

3.4.1 Sistem Monitoring Berbasis IoT

Sensor DHT11 mendeteksi suhu dan kelembaban, dikendalikan oleh NodeMCU ESP8266. Data dikirim secara real-time melalui *Wi-Fi* dan juga ditampilkan di LCD I2C. Arduino Uno disiapkan sebagai modul cadangan. Integrasi ke Lemari Pengering dilakukan pada seluruh sistem dipasang pada lemari pengering milik mitra di Desa Pengambaten. Penempatan sensor dan perangkat diatur agar efektif dalam membaca kondisi lingkungan dalam ruang pengering.

3.4.2 Uji Fungsi dan Evaluasi Kinerja

Sistem diuji selama proses pengeringan. Data dicatat dan dianalisis untuk menilai stabilitas sensor, keandalan sistem IoT, serta efisiensi penggunaan energi surya. Rancangan ini bertujuan menunjukkan bahwa sistem monitoring mandiri dapat diterapkan di lingkungan pedesaan dengan sumber daya terbatas.

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian langkah sistematis yang disusun untuk mencapai tujuan penerapan IoT dan kolektor surya pada sistem monitoring suhu dan kelembaban lemari pengering bawang merah. Berikut ini adalah tahapan prosedur penelitian:

3.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi yang berkaitan dengan proses pengeringan bahan pangan, khususnya bawang. Sumber pustaka yang digunakan meliputi buku teks teknologi hasil pertanian, jurnal penelitian tentang teknik pengeringan, serta artikel ilmiah yang membahas pengaruh suhu, kelembaban, dan lama waktu pengeringan terhadap kualitas bawang.

Studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan referensi ilmiah dan teknis mengenai:

- a. Teknologi IoT (*Internet of Things*)
- b. Penggunaan sensor DHT11 untuk monitoring suhu dan kelembaban
- c. Sistem energi terbarukan, khususnya kolektor surya (panel surya)
- d. Penelitian terdahulu terkait sistem pengeringan hasil pertanian

1. Perancangan Sistem

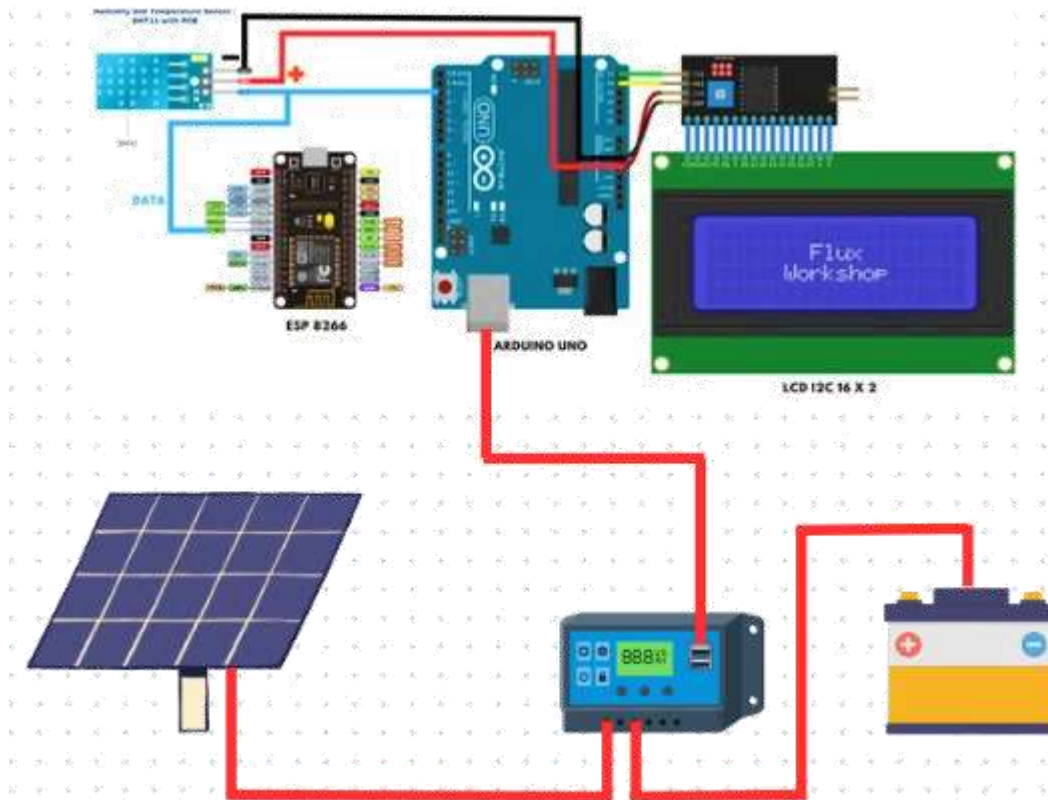
- a. Menentukan konfigurasi sistem monitoring berbasis NodeMCU dan DHT11
 - b. Merancang alur integrasi sensor, mikrokontroler, LCD, dan konektivitas *Wi-Fi*
 - c. Menyusun rancangan suplai daya dari panel surya dan baterai 12V
Menyesuaikan rancangan dengan ruang lemari pengering
2. Pemilihan dan Pengadaan Komponen
 - a. Memilih Komponen yang sesuai dengan kebutuhan sistem, Panel Surya MS-10W POLY, *Solar Charge Controller*, NodeMCU Lolin, *Arduino Uno*, sensor DHT11, LCD I2C, baterai 12V DC, konektor, kabel jumper, *blower*, *multimeter*.
 - b. Menyesuaikan komponen dengan efisiensi, ketersediaan, dan kompatibilitas antarperangkat
3. Instalasi dan Integrasi Komponen
 - a. Memasang panel surya pada lokasi yang optimal terhadap sinar matahari
 - b. Merakit rangkaian elektronik dan menyambungkan semua komponen
 - c. Mengintegrasikan sistem monitoring ke dalam lemari pengering
 - d. Memastikan sistem dapat berfungsi tanpa suplai listrik eksternal
4. Pengujian Sistem Monitoring
 - a. Mengoperasikan sistem selama proses pengeringan bawang merah berlangsung
 - b. Mencatat data suhu dan kelembaban secara berkala
 - c. Menganalisis kestabilan dan keakuratan pembacaan sensor
 - d. Mengevaluasi efisiensi penggunaan energi dari kolektor surya

3.5.2 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.15 Bagan Alir Penelitian

3.6 Skematik Alat Penelitian



Gambar 3.16 Skematik Alat penelitian

Rangkaian yang digunakan pada sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor DHT11, modul mikrokontroler ESP8266, mikrokontroler Arduino Uno, serta modul LCD I2C 16x2 sebagai media tampilan data. Sistem ini dirancang untuk memantau suhu dan kelembaban udara secara *real-time* serta menampilkannya pada layar LCD.

1. Sensor DHT11

Sensor DHT11 berfungsi sebagai unit penginderaan yang mengukur parameter suhu dan kelembaban lingkungan. Sensor ini memiliki tiga terminal utama, yaitu VCC (tegangan input 5V), GND (*ground*), dan DATA yang mengirimkan sinyal digital berisi data pengukuran ke sistem mikrokontroler. Dalam konfigurasi rangkaian ini, pin data sensor DHT11 terhubung ke pin digital pada modul ESP8266, yang kemudian digunakan sebagai penghubung ke sistem pusat pemrosesan.

2. Modul ESP8266

ESP8266 merupakan modul *Wi-Fi* yang juga dapat berfungsi sebagai mikrokontroler dengan kemampuan komunikasi nirkabel. Dalam implementasi ini, ESP8266 berperan sebagai penerima data dari sensor DHT11 dan sekaligus sebagai perantara komunikasi data antara sensor dan Arduino Uno. Komunikasi data dilakukan melalui jalur UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), dengan pengkabelan dari pin TX ESP8266 ke RX Arduino Uno dan sebaliknya. Modul ini mendapatkan catu daya sebesar 3.3V, sesuai dengan spesifikasi tegangan operasional ESP8266.

3. Arduino Uno

Arduino Uno berperan sebagai pusat pemrosesan data. Mikrokontroler ini menerima data suhu dan kelembaban dari ESP8266 melalui komunikasi serial (UART). Setelah data diterima, Arduino melakukan proses parsing data untuk kemudian ditampilkan pada modul tampilan LCD. Arduino Uno juga memberikan catu daya sebesar 5V ke komponen lainnya, seperti LCD dan sensor (melalui regulator atau pembagi tegangan jika diperlukan).

4. Modul LCD I2C 16x2

LCD yang digunakan adalah modul Liquid Crystal Display (LCD) dengan antarmuka I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Modul ini memiliki empat jalur utama, yaitu VCC, GND, SDA (Serial Data), dan SCL (Serial Clock). Jalur SDA dan SCL masing-masing dihubungkan ke pin A4 dan A5 pada Arduino Uno, yang berfungsi sebagai pin komunikasi I2C. Modul ini digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor dalam format teks dua baris, seperti nilai suhu dalam derajat Celsius dan kelembaban dalam persen (%).

3.6.1 Alur Kerja Sistem

Secara keseluruhan, sistem bekerja dalam tahapan sebagai berikut:

1. Sensor DHT11 melakukan pengukuran suhu dan kelembaban dari lingkungan sekitar.
2. Data digital dari sensor dikirim ke ESP8266, kemudian diteruskan ke Arduino Uno.
3. Arduino memproses data dan mengonversinya ke format yang sesuai untuk ditampilkan.

4. Data ditampilkan secara *real-time* pada LCD I2C 16x2 dalam bentuk nilai suhu dan kelembaban.
5. (Opsional) Jika dikonfigurasi, ESP8266 juga dapat mengirimkan data secara nirkabel ke platform cloud untuk pemantauan jarak jauh.

Rangkaian ini merepresentasikan sistem monitoring berbasis mikrokontroler yang mampu memantau parameter suhu dan kelembaban lingkungan secara efisien. Integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan modul tampilan memberikan kemampuan untuk menampilkan data secara lokal, dan dengan tambahan konfigurasi, juga dapat mendukung pengiriman data ke jaringan nirkabel.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk mendapatkan data melalui pengamatan perubahan bawang dalam proses pengeringan yang terjadi seperti bawang dalam kondisi lembek, setengah kering dan kering. Waktu yang dibutuhkan mencapai kondisi bawang dalam keadaan tertentu. Suhu dan kelembapan yang digunakan dalam pengeringan. Selain pengamatan, dokumentasi juga sangat perlu dalam penelitian ini. Data dikumpulkan melalui pengamatan langsung, pencatatan data sensor secara berkala, dan dokumentasi proses pengeringan. Parameter utama yang diamati adalah suhu, kelembaban, dan waktu pengeringan bawang merah.

3.8 Teknik Analisis Data

Data suhu dan kelembaban yang diperoleh dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Data kuantitatif adalah data yang berbentuk angka dan bisa diukur serta dihitung secara sistematis. data yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah, ukuran dan besaran tertentu. Misalnya, suhu ($^{\circ}\text{C}$), waktu (jam/menit) dan kelembapan (%). Data tersebut dibandingkan dengan data dari proses pengeringan tradisional untuk mengetahui efisiensi dan efektivitas alat yang dibuat.

3.9 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini, variabel yang diamati terdiri dari:

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu indikator terhadap indikator lainnya (hasil). Variabel bebas disebut juga

variabel X. variabel ini adalah variabel yang dapat kita berubah-ubah dan menjadi faktor penyebab yang akan mempengaruhi hasil dalam penelitian.

a. Sumber Panas Dari Kolektor Surya

Kolektor surya dengan *absorber* logam Bram akan menghasilkan panas berdasarkan intensitas cahaya matahari.

b. Sistem Sirkulasi Udara

Menggunakan *blower* DC untuk mengalirkan udara panas dari kolektor ke ruang pengering.

c. Pemantauan otomatis via IoT

Menggunakan sensor DHT11 dan mikrokontroler (NodeMCU dan Arduino Uno) untuk membaca dan menampilkan suhu serta kelembaban.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas (*Independent variables*). Variabel ini merupakan hasil yang diamati dari suatu penelitian. Variabel ini disebut juga variabel Y.

a. Suhu dan kelembaban dalam ruang pengering

Diukur dengan sensor DHT11 untuk mengetahui kestabilan suhu dan kelembaban selama proses pengeringan berlangsung.

b. Lama waktu pengeringan bawang merah

Diukur mulai dari awal proses hingga bawang merah mencapai kadar air standar *pascapanen*.

c. Efektivitas pengeringan

Diukur dari keberhasilan alat menurunkan kadar air bawang hingga 10–12% dan stabilitas suhu $\pm 40\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama proses berlangsung.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian adalah faktor atau kondisi yang sengaja dibuat tetap (dikendalikan) agar tidak memengaruhi hasil, sehingga perbedaan hasil hanya berasal dari variabel bebas yang sedang diteliti.

a. Jenis bawang merah

Menggunakan varietas yang sama untuk menjaga konsistensi hasil (misalnya: varietas bawang merah lokal dari Karo).

b. Jumlah dan ketebalan penempatan bawang

Pengaturan posisi dan ketebalan penumpukan di rak jamur dijaga agar tidak bervariasi.

- c. Metode penataan bawang dalam lemari → susunan rak, ketinggian, dan posisi harus sama.
- d. Durasi pengeringan → lama uji (misalnya 3 hari) dibuat sama untuk setiap perlakuan.
- e. Kondisi kolektor surya → posisi, kemiringan, dan arah hadap matahari tidak berubah.
- f. Jenis dan kapasitas blower → menggunakan tipe blower DC yang sama.
- g. Waktu pencatatan data → suhu dan kelembaban diambil secara real-time dengan interval sama (misalnya 1 menit/1 jam).

Dalam penelitian ini, variabel penelitian dibagi menjadi tiga, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Tabel berikut merangkum definisi operasional, indikator, serta instrumen yang digunakan untuk masing-masing variabel.

Tabel 3.2 Variabel penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Definisi Operasional	Indikator / Parameter	Instrumen / Alat Ukur
Variabel Bebas	Penerapan IoT dan Kolektor Surya	Teknologi lemari pintar dengan Arduino Uno, NodeMCU, sensor DHT11, blower, dan kolektor surya untuk pengeringan bawang merah	Sistem IoT berfungsi, kolektor surya menghasilkan panas, blower beroperasi stabil	Arduino Uno, NodeMCU, panel surya, blower

Variabel Terikat	Suhu ruang pengering	Tingkat panas dalam ruang pengering yang memengaruhi proses evaporasi air	31–42 °C (optimal ± 39 °C)	Sensor DHT11, Blynk Dashboard
Variabel Terikat	Kelembaban ruang pengering	Persentase kelembaban relatif udara dalam ruang pengering	20–70 % RH	Sensor DHT11, Blynk Dashboard
Variabel Terikat	Lama waktu pengeringan	Waktu yang dibutuhkan hingga bawang mencapai kondisi simpan	≤ 3 hari (lebih cepat dari metode tradisional 5–7 hari)	Timer, catatan observasi
Variabel Terikat	Kualitas bawang merah	Kondisi fisik bawang setelah pengeringan	Warna tidak menghitam, tekstur tidak lembek, tidak tumbuh jamur	Observasi visual, dokumentasi foto
Variabel Kontrol	Jumlah bawang	Jumlah umbi yang dikeringkan per uji coba	± 100 kg setiap kali pengujian	Timbangan digital
Variabel Kontrol	Jenis bawang merah	Varietas yang digunakan	Sama (mis. varietas Brebes/Karo)	Sumber bahan yang seragam

Variabel Kontrol	Penataan bawang	Posisi penempatan dalam rak pengering	Sama di setiap pengujian	Dokumentasi rak
Variabel Kontrol	Lokasi uji coba	Tempat pengeringan	Workshop/laboratorium yang sama	Lokasi tetap
Variabel Kontrol	Kapasitas & jenis blower	Blower DC dengan spesifikasi sama	Tegangan 12 V, arus tetap	Spesifikasi alat
Variabel Kontrol	Posisi kolektor surya	Kemiringan dan arah hadap kolektor	Tetap selama penelitian	Catatan pemasangan

Dengan adanya tabel ini, hubungan antara variabel bebas, terikat, dan kontrol menjadi jelas. Variabel bebas berupa penerapan IoT dan kolektor surya, sedangkan variabel terikat adalah hasil pengukuran suhu, kelembaban, lama waktu pengeringan, dan kualitas bawang merah. Variabel kontrol dijaga tetap agar hasil penelitian valid dan dapat dibandingkan dengan metode pengeringan tradisional.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Sistem IoT

4.1.1 Komponen Sistem

Pada tahap ini dijelaskan komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem, yang terdiri dari beberapa perangkat keras pendukung. Sensor suhu dan kelembaban (DHT11) berfungsi untuk mengukur kondisi lingkungan di dalam ruang pengering, dengan prinsip kerja berbasis thermistor untuk suhu dan kapasitif untuk kelembaban. Data dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler seperti NodeMCU (berbasis ESP8266) maupun Arduino Uno, yang bertugas sebagai pusat kendali dan pengolah data. NodeMCU memiliki keunggulan karena sudah dilengkapi dengan modul *Wi-Fi*, sehingga memungkinkan integrasi dengan platform IoT untuk pemantauan jarak jauh secara *real-time*.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan aktuator berupa blower atau heater. Blower berfungsi memperlancar sirkulasi udara panas di dalam ruang pengering, sementara *heater* digunakan sebagai sumber panas tambahan apabila intensitas cahaya matahari berkurang. Panas utama diperoleh dari kolektor surya, yaitu komponen yang dirancang untuk menyerap dan mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi panas. Kombinasi antara kolektor surya, *heater*, blower, sensor, dan mikrokontroler ini menghasilkan sistem pengering yang efisien, adaptif terhadap kondisi lingkungan, dan mendukung monitoring otomatis melalui teknologi IoT.

4.1.2 Otomatisasi

Hubungan antar komponen dalam sistem pengering berbasis tenaga surya dan IoT dapat dijelaskan melalui alur kerja otomatisasi berikut: sensor (DHT11) membaca nilai suhu dan kelembaban di dalam ruang pengering, kemudian data tersebut dikirim ke mikrokontroler (Arduino/NodeMCU) untuk diproses. Mikrokontroler membandingkan hasil pengukuran dengan nilai ambang (*threshold*) yang telah ditentukan. Selanjutnya, data hasil pemrosesan dikirim ke *dashboard* IoT melalui koneksi internet (misalnya menggunakan *platform Blynk* atau

ThingSpeak), sehingga pengguna dapat melakukan pemantauan *real-time* menggunakan *smartphone* atau komputer.

Berdasarkan hasil analisis, aktuator berupa blower atau heater akan diaktifkan secara otomatis sesuai kebutuhan: blower berfungsi mengatur sirkulasi udara, sedangkan heater menambah panas bila intensitas matahari tidak mencukupi. Dengan demikian, sistem ini membentuk siklus tertutup (*closed-loop control system*), di mana sensor, mikrokontroler, aktuator, dan IoT saling berinteraksi untuk menjaga kondisi optimal dalam proses pengeringan.

4.1.3 Program Kontrol

Program kontrol pada mikrokontroler ditulis menggunakan bahasa C melalui Arduino IDE, yang merupakan lingkungan pemrograman standar untuk perangkat berbasis Arduino maupun NodeMCU. Logika dasar yang diterapkan menggunakan konsep struktur kontrol kondisi (*if-else*), yaitu:

- Jika suhu $< \text{setpoint}$, maka heater akan aktif untuk menambah panas pada ruang pengering.
- Jika kelembaban $> \text{setpoint}$, maka blower akan aktif untuk mempercepat sirkulasi udara panas dan mengurangi kelembaban.

Mikrokontroler juga dilengkapi dengan fungsi komunikasi serial maupun nirkabel untuk mengirimkan data ke *platform* IoT (*ThingSpeak* atau *Blynk*) secara berkala. Dengan cara ini, pengguna dapat melakukan pemantauan *real-time* melalui *smartphone* atau komputer, bahkan dari lokasi yang jauh.

Potongan kode program ditampilkan pada subbab ini sebagai bukti implementasi sistem, serta untuk menunjukkan bagaimana instruksi logika kontrol diintegrasikan dengan fungsi pembacaan sensor dan pengiriman data IoT. Prinsip ini sejalan dengan konsep *embedded system*, yaitu integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak untuk mencapai tujuan otomatisasi.

1. Program 1

Program pertama merupakan sistem monitoring suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 yang terhubung ke Arduino. Data hasil pembacaan sensor diolah melalui fungsi `VariableSens()` kemudian ditampilkan secara real-time pada Serial Monitor serta LCD 16x2 I2C. Untuk menjaga akurasi, program menggunakan metode non-blocking berbasis `millis()` dengan interval 5 detik dalam setiap pembaruan data. Selain itu, program juga melakukan kalibrasi sederhana pada hasil pembacaan sensor dengan menambahkan dan mengurangi nilai tertentu. Program ini berfungsi sebagai sistem akuisisi data lokal yang dapat dimanfaatkan dalam penelitian monitoring lingkungan.

Program 1 – Monitoring lokal (serial monitor & LCD)



program 1.txt

```
unsigned long previousTask1Millis = 0;
const unsigned long task1Interval = 5000; // Run Task 1 every 5 second

unsigned long previousTask2Millis = 0;
const unsigned long task2Interval = 5000; // Run Task 1 every 5 second

#include <DHT.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

//float suhu
//float temp

#define DHTPIN 2 // Pin data DHT22 pertama terhubung ke pin D2 pada Arduino
#define DHTTYPE DHT22 // Tipe sensor DHT22 pertama

DHT dht1(DHTPIN, DHTTYPE);

float humidity;
float temperature;
float suhu;
float kelembapan;

void setup() {
  // Initialize the DHT sensors
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin();
  dht1.begin();
}

void loop() {
  VariableSens();
  Print();
  LCD();
}

void VariableSens(){
  humidity = dht1.readHumidity(); // Membaca kelembapan dari sensor DHT pertama
  kelembapan = humidity-21;
  temperature = dht1.readTemperature(); // Membaca suhu dari sensor DHT pertama
  suhu = temperature+4;
}

void Print(){
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousTask1Millis >= task1Interval) {
    previousTask1Millis = currentMillis;
    // Call your Task 1 function here
    Serial.print("Sensor - Kelembaban: ");
    Serial.print(humidity);
    Serial.print("-----");
    Serial.print(kelembapan);
    Serial.print("% suhu: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println("°C");
    Serial.print("-----");
    Serial.print(suhu);
  }
}

void LCD(){
  unsigned long currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousTask2Millis >= task2Interval) {
    previousTask2Millis = currentMillis;

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("kelembapan");
    lcd.setCursor(12,0);
    lcd.print(kelembapan);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("suhu");
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print(suhu);
  }
}
```

Gambar 4.1 Hasil Program 1

2. Program 2

Program kedua merupakan pengembangan sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis IoT (Internet of Things) dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP8266 NodeMCU. Sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan, kemudian data ditransmisikan melalui jaringan WiFi. ESP8266 bertindak sebagai web server sehingga pengguna dapat mengakses data secara real-time melalui browser dengan alamat IP yang ditampilkan pada Serial Monitor. Data hasil pengukuran ditampilkan dalam format HTML dengan tampilan sederhana berupa laporan cuaca ('Weather Report'). Program ini memungkinkan sistem monitoring lingkungan dilakukan secara jarak jauh tanpa perlu perangkat display tambahan.



program 2.txt

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include "DHT.h"

// Uncomment one of the lines below for whatever DHT sensor type you're using!
// #define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
// #define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321

/*Put your SSID & Password*/
const char* ssid = "iqbal_ganteng"; // Enter SSID here
const char* password = "iqbalganteng"; //Enter Password here

ESP8266WebServer server(80);

// DHT Sensor
uint8_t DHTPin = D8;

// Initialize DHT sensor.
DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);

float Temperature;
float Humidity;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(100);

  pinMode(DHTPin, INPUT);

  dht.begin();

  Serial.println("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  //connect to your local wi-fi network
  WiFi.begin(ssid, password);

  //check wi-fi is connected to wi-fi network
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected..!");
  Serial.print("Got IP: "); Serial.println(WiFi.localIP());

  server.on("/", handle_OnConnect);
  server.onNotFound(handle_NotFound);

  server.begin();
  Serial.println("HTTP server started");
}

void loop() {
  server.handleClient();
}

void handle_OnConnect() {
  Temperature = dht.readTemperature(); // Gets the values of the temperature
  Humidity = dht.readHumidity(); // Gets the values of the humidity
  server.send(200, "text/html", SendHTML(Temperature, Humidity));
}

void handle_NotFound(){
  server.send(404, "text/plain", "Not found");
}

String SendHTML(float Temperaturestat, float Humiditystat){
  String ptr = "<!DOCTYPE html> <html>\n";
  ptr += "<head><meta name='viewport' content='width=device-width, initial-scale=1.0, user-scalable=no'>\n";
  ptr += "<title>ESP8266 Weather Report</title>\n";
  ptr += "<style>html { font-family: Helvetica; display: inline-block; margin: 0px auto; text-align: center;}\n";
  ptr += "body{margin-top: 50px;} h1 {color: #444444;margin: 50px auto 30px;}\n";
  ptr += "p {font-size: 24px;color: #444444;margin-bottom: 10px;}\n";
  ptr += "</style>\n";
  ptr += "</head>\n";
  ptr += "<body>\n";
  ptr += "<div id='webpage'>\n";
  ptr += "<h1>ESP8266 NodeMCU Weather Report</h1>\n";

  ptr += "<p>Temperature: ";
  ptr += (int)Temperaturestat;
  ptr += "°C</p>";
  ptr += "<p>Humidity: ";
  ptr += (int)Humiditystat;
  ptr += "%</p>";

  ptr += "</div>\n";
  ptr += "</body>\n";
  ptr += "</html>\n";
  return ptr;
}
```

Gambar 4.2 Program 2

4.1.4 Prosedur Perakitan Sistem Kontrol

1. Persiapan Komponen

Mikrokontroler : Arduino Uno (untuk sistem lokal) dan ESP8266 NodeMCU (untuk sistem IoT).

Sensor : DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembapan.

Display : LCD 16x2 I2C untuk menampilkan data secara lokal.

Konektivitas : Modul WiFi bawaan ESP8266 untuk transmisi data IoT.

Perlengkapan tambahan : Breadboard, kabel jumper, adaptor daya, resistor (jika diperlukan), serta casing lemari pengering

2. Perakitan Sistem Lokal (Program 1)

Hubungkan sensor DHT22 ke Arduino :

- a) VCC → 5V Arduino
- b) GND → GND Arduino
- c) Data → Pin D2 Arduino
- d) Sambungkan LCD 16x2 I2C ke Arduino melalui jalur SDA dan SCL:
- e) SDA → A4 Arduino
- f) SCL → A5 Arduino
- g) VCC → 5V, GND → GND

Pastikan semua kabel terhubung dengan benar, lalu unggah program 1.

Sistem akan menampilkan suhu & kelembapan pada LCD dan Serial Monitor setiap 5 detik.

Fungsi : Menyediakan monitoring lokal pada alat, sehingga operator bisa langsung melihat kondisi suhu dan kelembapan di lokasi penyimpanan/pengeringan.

3. Perakitan Sistem IoT (Program 2)

Gunakan ESP8266 NodeMCU sebagai pengendali utama.

Hubungkan sensor DHT22 ke NodeMCU :

- a) VCC → 3.3V NodeMCU
- b) GND → GND NodeMCU
- c) Data → Pin D8 NodeMCU
- d) Hubungkan NodeMCU ke komputer, lalu unggah program 2.

- e) Atur SSID dan password WiFi pada program agar NodeMCU bisa terhubung ke jaringan lokal.
- f) Setelah terhubung, buka Serial Monitor untuk melihat alamat IP.
- g) Akses IP tersebut melalui browser → data suhu & kelembapan akan tampil dalam format HTML.

Fungsi : Menyediakan monitoring jarak jauh berbasis web server, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lemari melalui jaringan WiFi tanpa harus berada di lokasi.

4. Integrasi dengan Lemari Pintar

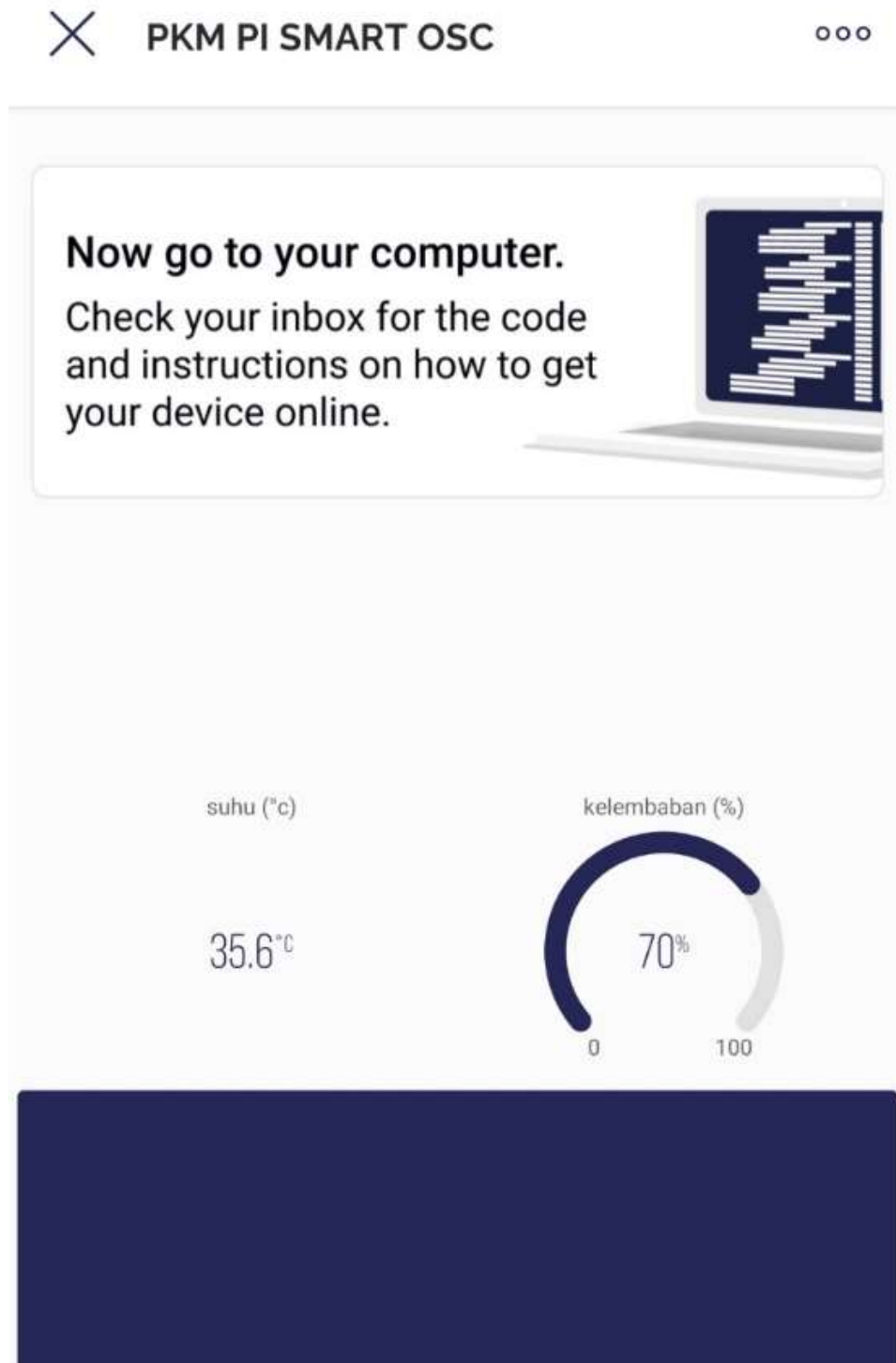
- a) Sensor DHT22 ditempatkan di dalam ruang lemari pengering/pengawet bawang merah untuk membaca kondisi aktual.
- b) Arduino/ESP8266 diletakkan di bagian luar dengan koneksi ke sensor melalui kabel.
- c) LCD dipasang di panel luar lemari agar operator mudah melihat data.
- d) Jika menggunakan sistem IoT, maka data dapat dipantau dari smartphone/laptop melalui jaringan WiFi.

4.1.5 Konfigurasi IoT dan Dashboard

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan konfigurasi sistem IoT yang menggunakan platform Blynk atau ThingSpeak sebagai media monitoring. Platform ini berfungsi sebagai *dashboard* digital yang menampilkan data hasil pembacaan sensor secara *real-time*, meliputi nilai temperatur dan kelembapan pada ruang pengering. Data dikirimkan secara periodik oleh mikrokontroler (NodeMCU/Arduino) melalui jaringan internet sehingga dapat diakses pengguna dari *smartphone* maupun komputer.

Selain menampilkan data numerik dan grafik tren, *dashboard* juga dilengkapi dengan fitur notifikasi. Jika kondisi ruang pengering melebihi batas ambang (*threshold*) yang telah ditentukan, sistem akan mengirimkan peringatan otomatis kepada pengguna. Dengan demikian, sistem IoT tidak hanya berfungsi sebagai pemantau, tetapi juga sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) yang meningkatkan keandalan dan keamanan proses pengeringan.

Integrasi ini memperlihatkan penerapan konsep *smart monitoring system*, di mana teknologi IoT memungkinkan kontrol jarak jauh, efisiensi waktu, serta mempermudah pengguna dalam memastikan proses pengeringan berjalan sesuai standar yang ditetapkan.



Gambar 4.3 Platform bylnk

4.2 Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi, seluruh komponen perangkat keras yang telah dirancang sebelumnya dirakit menjadi satu sistem utuh. Proses perakitan meliputi pemasangan sensor DHT11 pada ruang pengering untuk membaca suhu dan kelembaban, instalasi solar panel sebagai sumber energi utama, serta penyusunan panel box yang berisi mikrokontroler (Arduino/NodeMCU), *solar charge controller*, baterai, dan aktuator (*blower/heater*).

Panel box berfungsi sebagai pusat kendali dan distribusi energi, yang menghubungkan panel surya dengan sistem penyimpanan energi (baterai) dan mengatur suplai daya ke mikrokontroler maupun aktuator. Perakitan dilakukan dengan memperhatikan konsep wiring diagram agar aliran daya dan sinyal sensor dapat berjalan optimal serta aman dari risiko hubung singkat.

Foto hasil rakitan alat ditampilkan untuk memperlihatkan konfigurasi nyata dari sistem, mulai dari pemasangan sensor, posisi solar panel, hingga tata letak komponen di dalam panel box. Dokumentasi ini juga menjadi bukti implementasi lapangan sekaligus memvalidasi bahwa rancangan sistem dapat dioperasikan sesuai tujuan penelitian.

4.2.1 Integrasi Software

Pada tahap ini dilakukan proses integrasi *software* dengan perangkat keras yang telah dirakit. Perakitan sistem kontrol menggunakan Arduino Uno dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sensor dan aktuator dapat berkomunikasi dengan baik melalui program yang telah ditanamkan. Proses ini melibatkan pengunggahan kode program dari komputer ke papan mikrokontroler Arduino Uno, kemudian dilakukan pengujian terhadap respon sensor suhu dan kelembaban (DHT11) serta kontrol aktuator yang terhubung.

Integrasi *software* bertujuan untuk menyatukan fungsi pembacaan data sensor, pemrosesan logika kontrol, dan pengiriman data ke antarmuka monitoring berbasis IoT. Pada tahap akhir, sistem diuji dengan menjalankan program secara *real-time*, memastikan data dapat ditampilkan sesuai kebutuhan serta perangkat dapat bekerja stabil tanpa *error*. Dokumentasi pada Gambar menunjukkan kegiatan perakitan dan pengujian *software* secara langsung, yang menjadi bagian penting

dalam memastikan keberhasilan implementasi sistem kontrol pada lemari pintar penyimpan bawang merah pascapanen.



Gambar 4.4 Proses perakitan sistem kontrol



Gambar 4.5 Proses instalasi *solarpanel* Gambar



Gambar 4.6 Proses instalasi mikrokontroler pada panel box

4.2. Pengujian Awal Sistem

Pengujian awal dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Tahap ini meliputi beberapa aspek:

1. Pengujian sensor (DHT11) → memastikan bahwa pembacaan suhu dan kelembaban sesuai dengan kondisi lingkungan nyata. Hasil pembacaan dibandingkan dengan alat ukur referensi (termometer/hygrometer) untuk memverifikasi akurasi.
2. Pengujian komunikasi data → memastikan bahwa data dari sensor dapat terkirim ke mikrokontroler dan ditampilkan secara *real-time* pada dashboard IoT (*ThingSpeak* atau *Blynk*).
3. Pengujian aktuator (*blower/heater*) → menguji apakah *aktuator* merespons sesuai logika program, misalnya *heater* aktif saat suhu $< \text{setpoint}$ dan *blower* aktif saat kelembaban $> \text{setpoint}$.

Tahap pengujian ini penting sebagai validasi awal sebelum sistem digunakan secara penuh. Dengan demikian, dapat dipastikan bahwa sensor,

mikrokontroler, aktuator, dan komunikasi IoT berjalan dalam satu kesatuan sistem yang terintegrasi.

Foto pengujian disertakan sebagai bukti implementasi di lapangan, sekaligus mendukung analisis kinerja alat pada tahap selanjutnya.

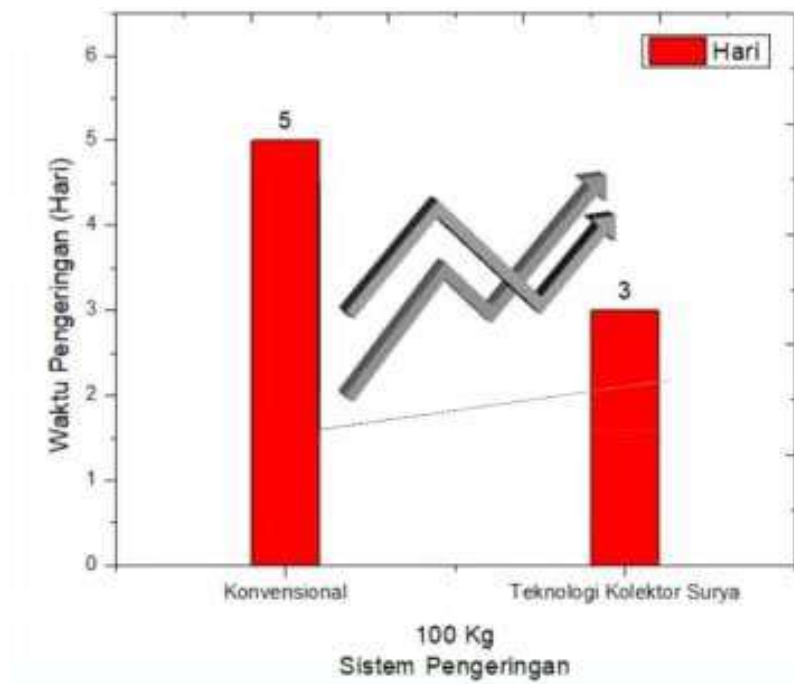


Gambar 4.7 Proses pengujian awal

4.3 Hasil Pengujian

Pengujian alat pengering dilakukan dengan menggunakan sampel bawang merah seberat 100 kg. dengan menggunakan alat pengering pengeringan bawang dilakukan selama 3 hari sedangkan untuk proses pengeringan konvensional memerlukan waktu selama 5 sampai 6 hari. Hasil pengujian temperatur pada alat pengering bawang menunjukkan suhu ruang pengering bawang memiliki rentang 31 °C hingga 42 °C. berdasarkan hasil pengamatan pada kondisi efektif matahari yaitu pukul 08:00 sampai 14:00 suhu ruang pengering optimal pada suhu $\pm 39,1$ °C dan suhu dapat bertahan karena ruang pengering yang

diisilasi dengan suhu 31,8 °C pada pukul 22:00. Proses pengeringan efektif dalam mengeringkan bawang merah dan terhindar dari serangan hama. Serta petani bawang dapat melakukan monitoring suhu ruang pengering melalui *smartphone* melalui aplikasi *Blynk* karna peralatan pengering sudah dilengkapi dengan *mikrokontroler* berbasis IoT. Hasil proses pengeringan bawang dan pengamatan suhu ruang pengering ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 4.8 Perbandingan waktu penjemuran konvensional dan yang menggunakan Kolektor surya

Tabel 4.1 Kehilangan berat pada bawang menggunakan lemari pengering

	A(X)	B(Y)	C(Y)
Long Name	Waktu Pengeringan	Berat Bawang	
Units			
Comments	Hari	Kg	
1	1	95,7	
2	2	89,2	
3	3	84,8	

Pada proses pengeringan secara konvensional, proses pengeringan bawang merah sangat rentan terserang hama seperti anjing liar, kalelawar, burung, dll karena dilakukan pada area terbuka. Dengan menggunakan lemari pintar penyimpan bawang merah pascapanen berbasis IoT dengan teknologi kolektor surya ini, bawang merah yang dikeringkan dapat terlindungi dari hama-hama tersebut sehingga hasil panen lebih berkualitas karena tidak terserang hama-hama tersebut.

4.3.1 Profil Suhu Ruang Pengering

Tabel hasil pengamatan suhu menggunakan alat pemantau suhu. Dimulai dari pagi hingga malam hari menunjukkan kenaikan suhu akibat sinar matahari pada puncak nya di jam 13:00 dengan suhu 42 °C didalam lemari pengering.

Tabel 4.2 Pengamatan suhu lemari pengering

Waktu	Temperatur Ruang Pengering (°C)
08:00	34.7
09:00	35
10:00	39.4
11:00	40.1
12:00	40.9
13:00	42.1
14:00	41.8
15:00	41
16:00	38.9
17:00	37
18:00	35
20:00	33.9
22:00	31.8

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Sistem IoT berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk monitoring suhu dan kelembaban ruang pengering bawang merah secara *real-time*.
2. Program kontrol otomatis mampu menjaga kondisi pengering mendekati *setpoint* yang ditentukan.
3. Kolektor surya membantu meningkatkan efisiensi energi dan mempercepat proses pengeringan.
4. Visualisasi *dashboard* IoT memberikan kemudahan dalam pemantauan jarak jauh.

5.2 Saran

1. Menambahkan sensor dengan akurasi lebih tinggi untuk hasil lebih presisi.
2. Mengembangkan algoritma kontrol adaptif untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan.
3. Memperbesar kapasitas ruang pengering agar dapat diaplikasikan pada skala industri.
4. Mengintegrasikan sistem IoT dengan aplikasi *mobile* yang lebih interaktif.
5. Dokumentasi lebih lengkap dengan foto rakitan, foto uji coba, dan *screenshot dashboard* IoT agar penelitian lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, A., & Pratiwi, A. (2015). Jenis-jenis baterai dan pemanfaatannya dalam sistem tenaga surya. *Jurnal Energi Terbarukan*, 4(1), 45–52.
- Chairunissa, R. N., Fadilah, N., & Wulandari, D. (2019). Pemanfaatan kolektor surya untuk pengeringan komoditas hortikultura. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 20(2), 112–118.
- Chen, X., Li, Y., & Zhao, H. (2021). IoT-based agricultural monitoring systems: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106405.
- ESDM. (2022). Statistik energi surya Indonesia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Fadhilah, R., Nurhidayat, A., & Syamsudin, A. (2017). Desain alat pengering tenaga surya untuk hasil pertanian. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 5(1), 13–20.
- Hidayat, A., Ramadhan, Y., & Sari, P. (2018). Analisis suhu optimal dalam pengeringan bawang merah menggunakan pemanas listrik. *Jurnal Teknologi Pangan*, 6(2), 89–95.
- Julisman, F., Kurniawan, D., & Hasan, R. (2017). Perhitungan waktu pengisian baterai pada sistem panel surya berbasis arus panel. *Jurnal Energi*, 3(1), 24–29.
- Kementan. (2020). Statistik Bawang Merah Nasional Tahun 2020. Jakarta: Kementerian Pertanian RI.
- Listianawati, L. (2014). Sejarah dan penyebaran bawang merah di dunia. *Jurnal Hortikultura Tropika*, 2(1), 1–8.
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press.
- Nurhadi, H., & Wulandari, D. (2020). Penerapan Internet of Things pada sistem pengering elektrik hasil pertanian. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna*, 3, 88–94.
- Observasi Lapangan. (2025). Pengamatan proses pengeringan tradisional bawang merah di Desa Pengambaten, Karo. Data tidak diterbitkan.
- Pasaribu, E., & Reza, M. (2021). Rancang bangun solar charge controller berbasis PWM untuk sistem tenaga surya. *Jurnal Rekayasa Energi*, 7(2), 73–81.
- Purwoto, A., Lestari, R., & Rinaldi, T. (2018). Perbandingan efisiensi jenis-jenis panel surya dalam kondisi cuaca tropis. *Jurnal Energi Surya*, 2(1), 33–40.

- Putri, S., & Rahman, M. A. (2021). Pengembangan alat monitoring suhu dan kelembaban berbasis IoT pada ruang penyimpanan pertanian. *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem*, 9(1), 56–63.
- Shulhany, R. A., Hadi, F., & Permana, G. (2022). Implementasi IoT untuk pemantauan suhu dan kelembaban real-time di lingkungan pertanian. *Jurnal Teknologi Terapan*, 10(2), 120–127.
- Singgih, S. (1994). *Budidaya dan pengelompokan kultivar bawang merah*. Balai Penelitian Hortikultura, Departemen Pertanian RI.
- Suhada, R. (2023). Analisis kerusakan pascapanen pada komoditas hortikultura di Indonesia. *Jurnal Agribisnis Indonesia*, 12(3), 150–158.
- Wijaya, H., Andika, R., & Permatasari, D. (2021). Mekanisme pengeringan hasil pertanian dengan sirkulasi udara panas. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 8(1), 42–50.
- Yusuf, M., & Putra, R. A. (2020). Desain dan pemanfaatan kolektor surya untuk pengeringan bawang merah. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 11(2), 95–102.
- Zulkarnain, M., Rasyid, A., & Syahril, H. (2022). Pengembangan kolektor surya berbasis bahan logam lokal. *Jurnal Energi Terbarukan*, 9(2), 130–139.
- Kementerian PUPR. (2021). *Potensi energi terbarukan di sektor pertanian Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Rahman, F., & Hidayati, N. (2020). Analisis performa pengering surya hibrid pada komoditas pangan tropis. *Jurnal Energi dan Teknologi Lingkungan*, 7(3), 201–209.
- Siregar, A. M., & Hutapea, D. (2021). Studi eksperimental efisiensi kolektor surya datar dengan variasi material absorber. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(1), 55–64.
- Khan, M. A., & Iqbal, S. (2019). Solar thermal collectors and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 121–132.
- Ali, M., & Rahim, N. (2018). Advances in solar drying of agricultural products. *Renewable Agriculture Journal*, 15(2), 77–85.
- World Bank. (2022). *Solar energy in agriculture: Opportunities for developing countries*. Washington, DC: World Bank Publications.