



**RANCANG BANGUN PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN TINGKAT
KELEMBAPAN PADA ALAT PENDINGIN BAHAN MAKANAN**

TUGAS AKHIR



Oleh:

Diano Alfayied Fissabillillah

19410200034

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA

UNIVERSITAS DINAMIKA

2025

**RANCANG BANGUN PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN TINGKAT
KELEMBAPAN PADA ALAT PENGERING BAHAN MAKANAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Sarjana Teknik Komputer**



Disusun Oleh:

Nama : Diano Alfayied Fissabillillah
NIM : 19410200034
Program : S1 (Strata Satu)
Jurusan : Teknik Komputer

**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA**

2025

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN TINGKAT KELEMBAPAN PADA ALAT PENGERING BAHAN MAKANAN

Dipersiapkan dan disusun oleh

Diano Alfayied Fissabillillah

NIM: 19410200034

Telah diperiksa, diuji dan disetujui oleh Dewan Pembahas

Pada: Jumat, 25 Juli 2025

Susunan Dewan Pembahas

Pembimbing:

I. Harianto, S.Kom., M.Eng.

NIDN: 0722087701

II. Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT.

NIDN: 0721047201

Pembahas:

I. Pauladie Susanto, S.Kom., M.T.

NIDN: 0729047501


cn=Harianto Harianto,
o=Universitas Dinamika,
ou=Prodi S1 Teknik Komputer,
email=hari@dinamika.ac.id, c=ID
2025.08.01 12:59:25 +07'00'


cn=Weny Indah Kusumawati,
o=Undika, ou=Prodi S1 TK - FTI,
email=weny@dinamika.ac.id,
c=ID
2025.08.01 12:13:58 +07'00'


cn=Pauladie Susanto, o=Universitas
Dinamika, ou=PS S1 Teknik Komputer,
email=pauladie@dinamika.ac.id, c=ID
2025.08.01 14:29:06 +07'00'

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh gelar sarjana

Digitally signed by

Julianto

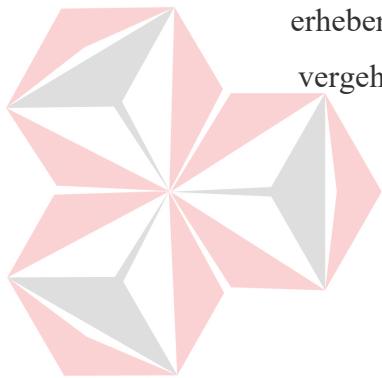
Date: 2025.08.06

14:21:03 +07'00'

Julianto Lemantara, S.Kom., M.Eng.

NIDN: 0722108601

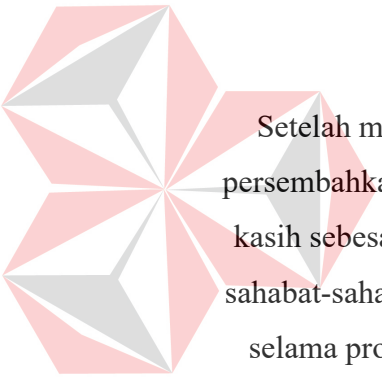
Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika
UNIVERSITAS DINAMIKA



“Es gibt keinen Moment, der zu spät ist, um zu lernen und sich zu erheben. Die Schönheit des Wissens ist wie der Morgentau, der den vergehenden Tag überstrahlt in der Unermüdlichkeit des Strebens finden wir das wahre Licht des Lebens”

~ **Diano Alfayied Fissabillillah** ~

UNIVERSITAS
Dinamika



Setelah melalui berbagai perjuangan dan tantangan, Tugas Akhir ini saya persembahkan sebagai bentuk syukur tak terhingga kepada Allah SWT. Terima kasih sebesar-besarnya untuk kedua orang tua tercinta, seluruh keluarga, dan sahabat-sahabat yang turut memberikan semangat, inspirasi, dan kebersamaan selama proses ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan keberkahan kepada kita semua.

PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Sebagai mahasiswa **Universitas Dinamika**, Saya :

Nama : **Diano Alfayied Fissabillillah**
NIM : **19410200034**
Program Studi : **S1 Teknik Komputer**
Fakultas : **Fakultas Teknologi dan Informatika**
Jenis Karya : **Laporan Tugas Akhir**
Judul Karya : **RANCANG BANGUN PEMANTAUAN DAN
PENGENDALIAN TINGKAT KELEMBAPAN PADA
ALAT PENERING BAHAN MAKANAN**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, Saya menyetujui memberikan kepada **Universitas Dinamika** Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas seluruh isi/sebagian karya ilmiah Saya tersebut diatas untuk disimpan, dialihmediakan, dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Karya tersebut diatas adalah hasil karya asli Saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya, atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini semata-mata hanya sebagai rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka Saya.
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiasi pada karya ilmiah ini, maka Saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar kesarjanaan yang telah diberikan kepada Saya.

Demikian surat pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya.

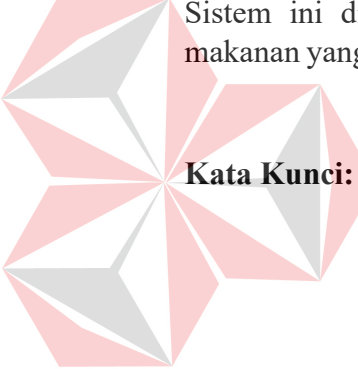
Surabaya, 7 Juli 2025



Diano Alfayied Fissabillillah
NIM : 19410200034

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan dan pengendalian tingkat kelembapan pada alat pengering bahan makanan berbasis IoT menggunakan ESP32. Sistem memanfaatkan sensor DHT22 dan Thermocouple untuk pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time, serta modul AC Dimmer dan dua kipas exhaust fan untuk pengendalian sirkulasi udara di ruang pengering. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan pada LCD dan dipantau secara jarak jauh menggunakan aplikasi IoT MQTT Panel melalui protokol MQTT. Hasil pengujian menunjukkan sensor DHT22 dan Thermocouple memiliki error rata-rata yang rendah, yaitu 1,95% untuk kelembapan dan 1,04% untuk suhu. Sistem pengendalian kipas berjalan sesuai logika program, adaptif terhadap perubahan parameter ruang pengering, dan terbukti mampu menjaga suhu 55–57°C serta kelembapan di bawah 20–30% selama proses pengeringan. Kadar air akhir bahan temulawak dan kunyit berhasil diturunkan di bawah 10%. Pemantauan melalui IoT MQTT Panel berjalan real-time dengan delay rata-rata 200–350 ms dan tingkat keberhasilan pengiriman data 100% kecuali jika koneksi wifi terputus, namun sistem masih dapat bekerja. Sistem ini dinilai efektif dan layak digunakan sebagai alat pengering bahan makanan yang dapat dipantau dan dikendalikan secara otomatis maupun jarak jauh.



Kata Kunci: *MQTT Panel, DHT22, MAX6675 Thermocouple Type K, Mikropengendalian, Sistem Pengering Otomatis*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan Tugas Akhir berjudul “Rancang Bangun Pemantauan Dan Pengendalian Tingkat Kelembapan Pada Alat Pengering Bahan Makanan” dapat diselesaikan tepat waktu. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua dan keluarga tercinta atas segala dukungan dan bantuan yang telah diberikan. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Orang tua serta seluruh keluarga dan orang-orang terdekat yang senantiasa memberikan dorongan, semangat, serta dukungan baik secara moral maupun material, sehingga penulis dapat menempuh dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Julianto Lemantara, S.Kom., M.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika Universitas Dinamika, atas segala dukungan dan kesempatan yang telah diberikan.
4. Bapak Pauladie Susanto, S.Kom., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Komputer sekaligus Dosen Pembahas, atas bimbingan, kesempatan, serta arahan yang diberikan, baik secara tertulis maupun lisan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
5. Bapak Harianto, S.Kom., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan, solusi, serta arahan yang sangat membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini agar menjadi lebih baik.
6. Ibu Weny Indah Kusumawati, S.Kom., M.MT., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan dukungan penuh berupa saran, motivasi, serta bimbingan selama pelaksanaan dan penulisan laporan Tugas Akhir ini.
7. Dosen Laboran Praktikum S1 Teknik Komputer, yang telah membantu dan memberi saran kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa S1 Teknik Komputer Angkatan 2019, yang telah memberikan dukungan, semangat, serta bantuan yang sangat berarti dalam proses penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi penyempurnaan laporan ini di masa mendatang. Penulis juga berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi pembacanya. Segala masukan yang diberikan akan menjadi bahan perbaikan dan motivasi bagi penulis untuk berkarya lebih baik lagi.

Surabaya, 25 Juli 2025

Penulis



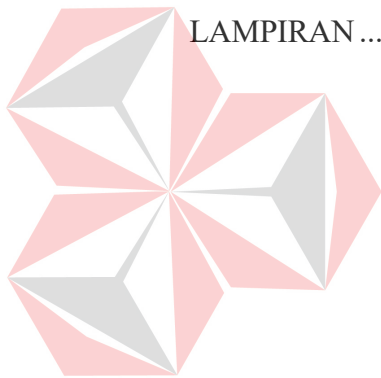
UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan2	
1.5 Manfaat	2
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Tanaman Temulawak	4
2.2 Tanaman Kunyit.....	5
2.3 Mikrokontroler ESP32	6
2.4 Sensor DHT22	7
2.5 <i>Software</i> Arduino IDE.....	8
2.6 <i>Liquid Crystal Display</i>	8
2.7 Sensor Suhu Thermocouple	9
2.8 <i>Exhaust Fan</i>	10
2.9 AC Dimmer.....	11
2.10Protokol MQTT.....	12
2.11IoT MQTT Panel.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1 Blok Diagram Sistem	14
3.2 Perancangan Perangkat Keras	15
3.2.1 Daftar Komponen	16
3.2.2 Skematik Sensor DHT22.....	17
3.2.3 Skematik Sensor Suhu Thermocouple.....	17

3.2.4	Skematik Layar LCD	18
3.2.5	Skematik AC Dimmer dan Kipas Exhaust	19
3.2.6	Skematik Keseluruhan Sistem.....	19
3.2.7	Desain Mekanik Alat	20
3.3	Perancangan Perangkat Lunak	22
3.3.1	Flowchart.....	23
3.3.2	Konfigurasi pada IoT MQTT Panel.....	28
3.3.3	Desain IoT MQTT Panel	30
3.3.4	Skenario Pengujian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Pengujian Sensor DHT22.....	33
4.1.1	Tujuan Pengujian Sensor DHT22.....	33
4.1.2	Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Sensor DHT22.	33
4.1.3	Cara Pengujian Sensor DHT22	33
4.1.4	Hasil Pengujian Sensor DHT22	34
4.2	Pengujian Sensor Thermocouple.....	36
4.2.1	Tujuan Pengujian Sensor Thermocouple.....	36
4.2.2	Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Sensor Thermocouple.....	37
4.2.3	Cara Pengujian Sensor Thermocouple	37
4.2.4	Hasil Pengujian Sensor Thermocouple.....	38
4.3	Pengujian AC Dimmer.....	40
4.3.1	Tujuan Pengujian AC Dimmer	40
4.3.2	Peralatan yang Digunakan pada Pengujian AC Dimmer.....	40
4.3.3	Cara Pengujian AC Dimmer.....	41
4.3.4	Hasil Pengujian AC Dimmer	41
4.4	Pengujian Koneksi MQTT	42
4.4.1	Tujuan Pengujian Koneksi MQTT	42
4.4.2	Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Koneksi MQTT	42
4.4.3	Cara Pengujian Koneksi MQTT	42
4.4.4	Hasil Pengujian Koneksi MQTT	43
4.5	Pengujian Waktu Pengeringan	47
4.5.1	Tujuan Pengujian Waktu Pengeringan.....	47

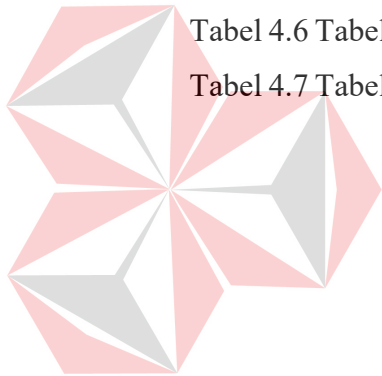
4.5.2	Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Waktu Pengerinan	47
4.5.3	Cara Pengujian Waktu Pengerinan	48
4.5.4	Hasil Pengujian.....	48
4.6	Pengujian Keseluruhan Sistem.....	50
4.6.1	Tujuan Pengujian Keseluruhan Sistem.....	50
4.6.2	Peralatan yang Dibutuhkan pada Pengujian Keseluruhan Sistem	51
4.6.3	Cara Pengujian Keseluruhan Sistem	51
4.6.4	Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem	52
BAB V PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN		58



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Daftar Pin DHT22	17
Tabel 3.2 Daftar Pin Thermocouple.....	18
Tabel 3.3 Skematik LCD	18
Tabel 3.4 Skematik AC Dimmer	19
Tabel 3.5 Skenario Pengujian	31
Tabel 4.1 Data pengujian kelembapan DHT22	35
Tabel 4.2 Data pengujian suhu Thermocouple	39
Tabel 4.3 Data pengujian AC Dimmer	41
Tabel 4.4 Pengujian delay pengiriman data MQTT	44
Tabel 4.5 Pengujian pengiriman data MQTT	46
Tabel 4.6 Tabel pengeringan kunyit	48
Tabel 4.7 Tabel pengeringan temulawak	49



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Tanaman Temulawak.....	4
Gambar 2.2 Tanaman Kunyit	5
Gambar 2.3 ESP32	6
Gambar 2.4 Sensor DHT22	7
Gambar 2.5 <i>Software</i> Arduino IDE	8
Gambar 2.6 LCD	8
Gambar 2.7 Sensor Suhu Thermocouple	9
Gambar 2.8 <i>Exhaust Fan</i>	10
Gambar 2.9 AC Dimmer	11
Gambar 2.10 Protokol MQTT	12
Gambar 2.11 IoT MQTT Panel	13
Gambar 3.1 Blok diagram sistem	14
Gambar 3.2 Komponen rangkaian.....	15
Gambar 3.3 Skematik DHT22.....	17
Gambar 3.4 Skematik Thermocouple	17
Gambar 3.5 Skematik LCD	18
Gambar 3.6 Skematik AC Dimmer dan Kipas Exhaust	19
Gambar 3.7 Skematik keseluruhan sistem	19
Gambar 3.8 Desain dimensi ukuran alat.....	20
Gambar 3.9 Hasil desain 3D Render alat tampak depan.....	21
Gambar 3.10 Hasil jadi alat pengering makanan	21
Gambar 3.11 Hasil jadi rangkaian pengering makanan.....	22
Gambar 3.12 <i>Flowchart</i> sistem	25
Gambar 3.13 Penerapan pada program ESP32	26
Gambar 3.14 Konfigurasi IoT MQTT Panel	28
Gambar 3.15 Konfigurasi MQTT pada ESP32	29
Gambar 3.16 Topik MQTT.....	29
Gambar 3.17 Program Publish MQTT	29
Gambar 3.18 Desain tampilan smartphone di MQTT Panel	30

Gambar 4.1 Perbandingan data kelembapan sensor dan Hygrometer 1	34
Gambar 4.2 Perbandingan data kelembapan sensor dan Hygrometer 2	34
Gambar 4.3 Pengujian perbandingan sensor suhu dan Thermometer 1	38
Gambar 4.4 Pengujian perbandingan sensor suhu dan Thermometer 2	38
Gambar 4.5 Konfigurasi nilai rentang AC Dimmer	42
Gambar 4.6 Tampilan IoT MQTT Panel saat Online	43
Gambar 4.7 Pengujian seluruh sistem	52
Gambar 4.8 Temulawak dan Kunyit sebelum pengeringan	54
Gambar 4.9 Hasil jadi Temulawak kering	54



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Program Arduino.....	58
Lampiran 2 Data Pengujian	62
Lampiran 3 Screenshot Aplikasi IoT MQTT Panel.....	71
Lampiran 4 Form Bimbingan Tugas Akhir	73
Lampiran 5 Bukti Originalitas Tugas Akhir	74
Lampiran 6 Biodata Penulis	76



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi di berbagai bidang disiplin ilmu, termasuk bidang sistem kendali, penerapannya pun merambah pada teknologi pertanian yang berdampak pada peningkatan kualitas jual hasil pertanian. Tanaman obat maupun sayuran seperti bawang merah merupakan bagian dari komoditi pertanian yang penting sekali dalam keseharian hidup. Penanganan pada tanaman obat maupun sayur seperti bawang merah ini juga ada yang mempengaruhi dari segi penanganan pascapanen yang baik untuk menekan resiko kecil dari hasil dan meningkatkan kualitasnya. Salah satu faktor penanganan pascapanen yaitu dalam proses pengeringan dimana tanaman seperti ini pada umumnya para petani menjemur bawang hasil panennya dikebun, dijemur diatap rumah, ataupun juga ditebar pada aspal tanah beralaskan tikar untuk bisa dapat cahaya panas sinar matahari sehingga diperlukan waktu pengeringan yang kurang lebih cukup lama. Bila musim hujan maka pemrosesan akan terhambat dan berdampak pada hasilnya menjadi busuk dan bertunas yang bisa merugikan para petani tersebut. (Sangian, 2019)

Hasil penelitian menurut beberapa sumber jurnal yang telah diteliti untuk penanganan pengeringan pada tanaman jahe yang dimana nantinya penulis akan lakukan. Untuk penanganan pascapanen pada tanaman obat yaitu Temulawak di Indonesia baik diakumulasi serta suhu yang direkomendasikan berkisar 20 – 25°C dengan nilai kelembapan udaranya berkisaran 60 – 90%. (Andhini, 2017)

Pada penelitian sebelumnya telah diimplementasikan oleh (Sangian, 2019) teknik pengendalian pada bidang ilmu pertanian untuk penelitian pengendalian kelembapan ruang pengering hibrida pada proses pengeringan bawang merah pascapanen. Namun masih ada kekurangan, saran yang bisa dikembangkan menambahkan exhaust fan di dalam ruang alat pengering agar bila terjadi kondisi cuaca panas yang ekstrim di kelembapan udara dalam ruangan pengering tersebut bisa menjadi sangat kecil minim, sehingga perlu ditambahkan *exhaust fan* supaya

cepat menaikkan kelembapan udara pada alat pengering tersebut. Pada penelitian ini penulis menggunakan media tanaman obat Temulawak dan Kunyit sebagai bahan makanan yang nantinya akan diobservasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah di Tugas Akhir ini yaitu bagaimana merancang alat pada rancang bangun pemantauan dan pengendalian tingkat kelembapan pada alat pengering bahan makanan.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, adapun beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan adalah, diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada standar pengeringan spesifik untuk kunyit dan temulawak, dengan fokus pada analisis parameter suhu, kelembapan, dan durasi pengeringan.
2. Fokus penelitian terbatas pada aspek pemantauan dan pengendalian sistem pengeringan.
3. Penelitian ini tidak mencakup aspek pengaturan intensitas nyala api.

1.4 Tujuan

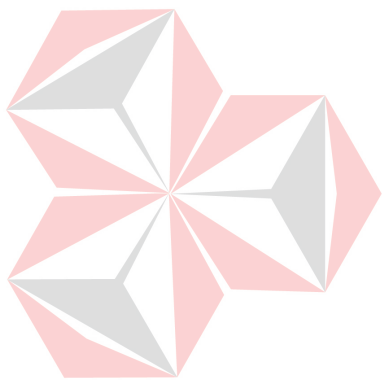
Berdasarkan dari latar belakang beserta rumusan masalah yang diketahui, tujuan dari Tugas Akhir ini merancang alat pemantauan dan pengendalian tingkat kelembapan pada alat pengering bahan makanan.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari pelaksanaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis: Menambah pengetahuan ilmu yang di dapat dalam perkuliahan dan juga bisa penerapan mengenai alat pengering makanan.
2. Bagi Mahasiswa: Bisa menjadi referensi acuan bagi yang ingin akan melakukan penelitian mengenai rancang bangun alat pengering makanan.

3. Bagi Petani: Memudahkan dalam memantauan kualitas pada kelembapan udara pada tanaman yang akan mau di panen.



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tanaman Temulawak



Gambar 2.1 Tanaman Temulawak

(Sumber: <https://puskesmasmeninting-dikes.lombokbaratkab.go.id>)

Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) merupakan tanaman herbal yang termasuk dalam famili Zingiberaceae, satu keluarga dengan jahe dan kunyit. Tanaman ini berasal dari Indonesia dan banyak ditemukan di Pulau Jawa dan Kalimantan. Ciri khas temulawak adalah rimpangnya yang besar, berwarna kuning cerah hingga jingga, dan aromanya yang khas. Tanaman ini tumbuh subur di daerah tropis dengan ketinggian 5–1.500 meter di atas permukaan laut, serta memerlukan tanah gembur dan drainase yang baik.

Temulawak mengandung senyawa aktif seperti kurkumin, xanthorrhizol, minyak atsiri, serta berbagai zat fenolik dan flavonoid. Kandungan kurkumin diketahui memiliki sifat antiinflamasi, antioksidan, serta hepatoprotektif yang kuat. Xanthorrhizol, sebagai senyawa bioaktif utama, berperan dalam aktivitas antimikroba dan antikanker. Karena komposisi kimianya, temulawak sering digunakan dalam pengobatan tradisional untuk mengatasi gangguan pencernaan, meningkatkan fungsi hati, serta sebagai suplemen untuk memperbaiki nafsu makan.

Secara tradisional, temulawak banyak digunakan sebagai jamu atau obat herbal yang dikonsumsi langsung maupun diolah menjadi bentuk kapsul, sirup, atau ekstrak. Dalam industri farmasi dan makanan, temulawak telah dikembangkan menjadi bahan baku produk suplemen kesehatan, minuman fungsional, dan pewarna alami. Selain itu, penelitian modern juga menunjukkan potensi temulawak

dalam terapi alternatif untuk penyakit kronis seperti artritis, gangguan hati, dan bahkan kanker, menjadikannya salah satu tanaman obat unggulan dalam pengembangan fitofarmaka di Indonesia (RI, 2000).

2.2 Tanaman Kunyit

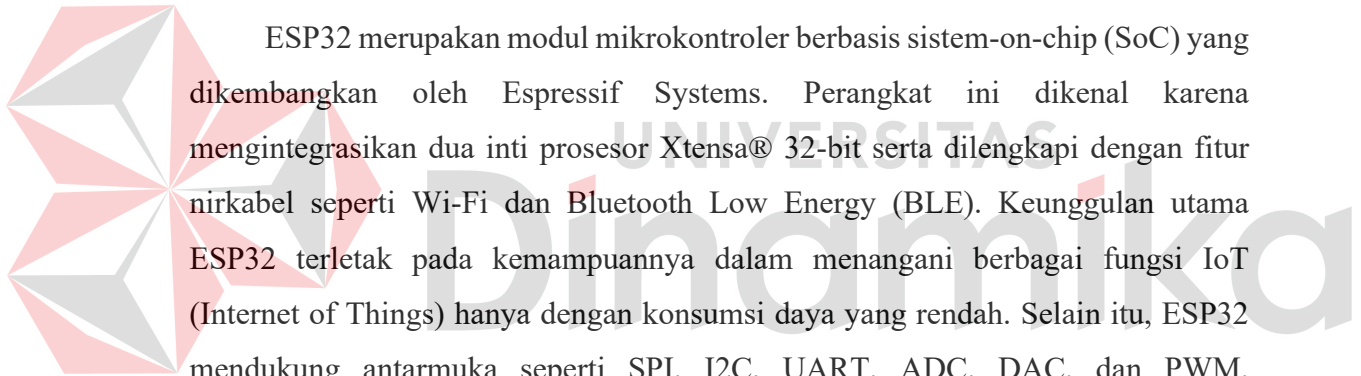


Gambar 2.2 Tanaman Kunyit
(Sumber: <https://desagrogol.gunungkidulkab.go.id>)

Kunyit (*Curcuma longa* L.) adalah tanaman herbal tahunan yang termasuk dalam famili Zingiberaceae, sama seperti temulawak dan jahe. Tanaman ini berasal dari Asia Selatan, namun telah dibudidayakan luas di seluruh wilayah tropis termasuk Indonesia. Kunyit memiliki rimpang yang khas dengan warna oranye terang dan aroma yang kuat. Tanaman ini tumbuh optimal di daerah dengan ketinggian 200–600 meter di atas permukaan laut, memerlukan tanah lempung berpasir yang gembur, dan iklim hangat dengan curah hujan yang cukup.

Komponen utama dalam rimpang kunyit adalah kurkumin, senyawa polifenol yang memberikan warna kuning khas dan dikenal memiliki berbagai khasiat farmakologis. Selain kurkumin, kunyit juga mengandung demetoksikurkumin, bisdemetoksikurkumin, minyak atsiri, serta zat antioksidan dan antiradang. Kandungan tersebut menjadikan kunyit berkhasiat sebagai antiinflamasi, antibakteri, antikanker, dan hepatoprotektor. Dalam pengobatan tradisional, kunyit digunakan untuk meredakan nyeri haid, mempercepat penyembuhan luka, mengatasi gangguan pencernaan, dan meningkatkan daya tahan tubuh (Raharjo, 2014).

ESP32 merupakan modul mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Perangkat ini dikenal karena mengintegrasikan dua inti prosesor Xtensa® 32-bit serta dilengkapi dengan fitur nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE). Keunggulan utama ESP32 terletak pada kemampuannya dalam menangani berbagai fungsi IoT (Internet of Things) hanya dengan konsumsi daya yang rendah. Selain itu, ESP32 mendukung antarmuka seperti SPI, I2C, UART, ADC, DAC, dan PWM.



ESP32 merupakan modul mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Perangkat ini dikenal karena mengintegrasikan dua inti prosesor Xtensa® 32-bit serta dilengkapi dengan fitur nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE). Keunggulan utama ESP32 terletak pada kemampuannya dalam menangani berbagai fungsi IoT (Internet of Things) hanya dengan konsumsi daya yang rendah. Selain itu, ESP32 mendukung antarmuka seperti SPI, I2C, UART, ADC, DAC, dan PWM.

ESP32 merupakan modul mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Perangkat ini dikenal karena mengintegrasikan dua inti prosesor Xtensa® 32-bit serta dilengkapi dengan fitur nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE). Keunggulan utama ESP32 terletak pada kemampuannya dalam menangani berbagai fungsi IoT (Internet of Things) hanya dengan konsumsi daya yang rendah. Selain itu, ESP32 mendukung antarmuka seperti SPI, I2C, UART, ADC, DAC, dan PWM.

ESP32 merupakan modul mikrokontroler berbasis sistem-on-chip (SoC) yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Perangkat ini dikenal karena mengintegrasikan dua inti prosesor Xtensa® 32-bit serta dilengkapi dengan fitur nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth Low Energy (BLE). Keunggulan utama ESP32 terletak pada kemampuannya dalam menangani berbagai fungsi IoT (Internet of Things) hanya dengan konsumsi daya yang rendah. Selain itu, ESP32 mendukung antarmuka seperti SPI, I2C, UART, ADC, DAC, dan PWM.

2.4 Sensor DHT22



Gambar 2.4 Sensor DHT22
(Sumber: <https://tokoteknologi.co.id>)

DHT22, yang juga dikenal sebagai AM2302, merupakan sensor digital yang dirancang untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sensor ini memiliki presisi yang tinggi, dengan kemampuan mengukur suhu dari -40°C hingga $+80^{\circ}\text{C}$ serta kelembapan relatif dari 0% hingga 100%. DHT22 menggunakan satu kabel data digital untuk mengirimkan data ke mikropengendali, sehingga memudahkan integrasi dengan perangkat seperti Arduino atau ESP32. Dibandingkan dengan versi sebelumnya (DHT11), DHT22 menawarkan jangkauan pengukuran yang lebih luas dan akurasi yang lebih tinggi.

Sensor DHT22 merupakan sensor yang mengeluarkan sinyal digital yang dapat mengukur suhu dan kelembapan. Sensor ini memerlukan sumber listrik langsung 5 V dari sistem mikropengendali untuk dapat beroperasi. Sensor ini terhubung langsung ke sistem mikropengendali menggunakan tiga pinoutnya, VCC, data, dan GND.

Tiga pinout pada sensor ini adalah VCC, data, dan GND. Sensor DHT22 merupakan sensor yang sekaligus dapat memantau suhu dan kelembapan lingkungan. Karena DHT22 memberikan keluaran tegangan analog, mikropengendali dapat memprosesnya. Sensor-sensor ini dikategorikan sebagai komponen resistif, yang meliputi termometer dan pengukur kelembapan.

DHT22 adalah sensor yang mengukur suhu dan kelembapan relatif serta mengeluarkan sinyal digital. Keunggulan penggunaan modul sensor ini dibandingkan modul sensor lainnya adalah kualitas pembacaan data penginderaan lebih cepat dan responsif dalam mendeteksi suhu dan kelembapan suatu benda, serta pembacaan data yang tidak mudah diutak-atik terganggu (Electronics, 2018).

2.5 *Software Arduino IDE*

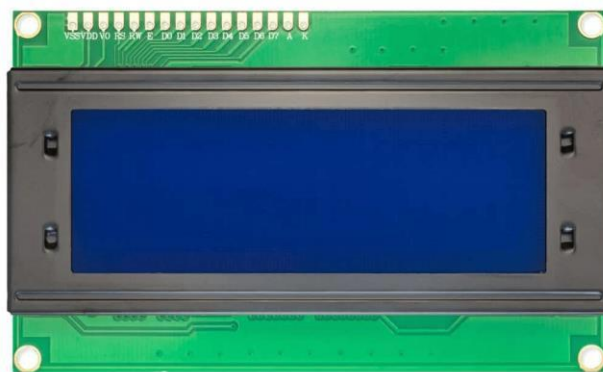


Gambar 2.5 *Software Arduino IDE*
(Sumber: <https://github.com/arduino/Arduino>)

Software Arduino menggunakan bahasa pemrograman C++, yang telah dibuat lebih sederhana oleh perpustakaan, Arduino dirancang untuk pemula, bahkan mereka yang bahkan tidak mengetahui satu pun bahasa pemrograman dasar. Menulis program ke Arduino memerlukan perangkat lunak Pemrosesan. Campuran bahasa C++ dan Java membentuk *Processing*.

Linux, Mac OS, dan Windows hanyalah beberapa sistem operasi (OS) yang dapat memuat perangkat lunak Arduino ini. Platform pengembangan Arduino menggabungkan perangkat keras, bahasa pemrograman, dan Lingkungan Pengembangan Terintegrasi (IDE) yang canggih, menjadikannya lebih dari sekadar alat pengembangan. Menulis program, mengubahnya menjadi kode biner, dan memasukkannya ke dalam memori mikropengendalianer semuanya sangat bergantung pada perangkat lunak IDE. (Arduino, Arduino IDE 2.x Documentation, 2023)

2.6 *Liquid Crystal Display*



Gambar 2.6 LCD
(Sumber: <https://soldered.com/product/lcd-display-20x4-blue-white>)

Menurut (Arduino, LiquidCrystal Library Documentation, 2022), komponen elektronika penampil layar yang berfungsi untuk menampilkan simbol atau gambar lain disebut layar/LCD. *Liquid Crystal Displays* adalah jenis tampilan elektronik yang paling banyak digunakan. Selain melapisi cahaya di sekitar ke lampu depan di dekatnya atau mentransmisikan cahaya dari lampu belakang, logika CMOS yang digunakan dalam konstruksi LCD mencegah dihasilkannya cahaya. Jumlah karakter yang dapat ditampilkan pada satu LCD tergantung pada spesifikasi yang ada.

2.7 Sensor Suhu Thermocouple



Gambar 2.7 Sensor Suhu Thermocouple

(Sumber: <https://electra.store/product/max6675-module-for-thermocouple-k-type-2/>)

Thermocouple merupakan sensor suhu yang bekerja dengan prinsip efek termoelektrik, yaitu menghasilkan tegangan listrik kecil akibat perbedaan suhu di antara dua logam yang berbeda. Dua jenis logam atau alloy disambungkan pada salah satu ujung, yang disebut sebagai titik ukur atau sambungan panas (*hot junction*), sedangkan ujung lainnya menjadi titik referensi atau sambungan dingin (*cold junction*). Perbedaan suhu antara kedua titik tersebut menghasilkan gaya gerak listrik (tegangan) yang proporsional dengan perubahan suhu, yang kemudian dapat diukur dan dikonversi menjadi data suhu oleh perangkat pengukur.

Thermocouple secara luas diaplikasikan dalam berbagai industri seperti manufaktur, pengolahan logam, otomotif, pembangkit listrik, maupun dalam penelitian ilmiah di laboratorium. Sensor ini menjadi pilihan utama dalam pengukuran suhu tinggi atau kondisi lingkungan yang berat, seperti pengukuran suhu pada mesin turbin, tungku pembakaran, proses peleburan logam, maupun pada mesin-mesin industri besar lainnya. Thermocouple juga digunakan dalam perangkat elektronik dan sistem kendali otomatis karena ukurannya yang ringkas, mudah dipasang, serta memiliki kompatibilitas dengan berbagai alat ukur digital modern. (Instruments, 2020)

2.8 Exhaust Fan



Gambar 2.8 Exhaust Fan
(Sumber: <https://www.fruugo.co.il>)

Exhaust Fan AC adalah jenis kipas ventilasi listrik yang bekerja dengan menggunakan tegangan bolak-balik (AC) untuk mengeluarkan udara dari dalam ruangan ke luar. Fungsi utama exhaust fan ini adalah menjaga kualitas udara ruangan dengan membuang udara lembab, panas, debu, maupun bau yang tidak sedap. Exhaust fan tipe ini sering digunakan di dapur, kamar mandi, ruang mesin, dan area industri untuk mengontrol sirkulasi udara, menjaga kelembapan ideal, serta mencegah pertumbuhan jamur akibat udara yang stagnan dan lembab (ASHRAE, 2019).

2.9 AC Dimmer

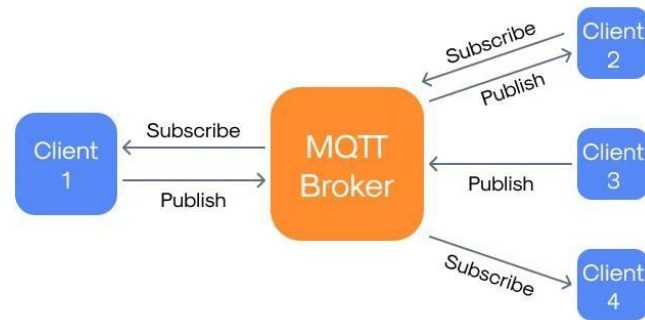


Gambar 2.9 AC Dimmer
(Sumber: <https://www.ubuy.co.id>)

AC Dimmer Arduino adalah rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengatur tingkat pencahayaan lampu atau kecepatan motor AC dengan cara mengontrol tegangan efektif yang masuk ke beban. Rangkaian ini bekerja berdasarkan prinsip pemotongan sinyal AC (phase-cutting method), yang biasanya menggunakan triac atau SCR (Silicon Controlled Rectifier) sebagai komponen kendali utama. Arduino bertugas mengatur waktu pemicuan triac, sehingga energi yang masuk ke beban dapat dikurangi atau ditingkatkan secara presisi. Dengan demikian, pengguna dapat menyesuaikan pencahayaan atau kecepatan motor AC sesuai kebutuhan melalui pemrograman mikropengendalian.

Prinsip kerja AC Dimmer Arduino adalah dengan mendeteksi titik nol gelombang AC (zero-cross detection) sebagai acuan untuk memicu triac atau SCR. Setelah Arduino mendeteksi zero-cross, mikropengendalian akan menunggu jeda waktu tertentu sebelum mengirimkan sinyal pemicu (*trigger*) ke gate triac melalui komponen optoisolator. Waktu jeda tersebut menentukan besarnya tegangan efektif yang diberikan kepada beban. Semakin lama jeda yang diberikan, semakin kecil daya yang dialirkan ke beban, sehingga cahaya lampu menjadi lebih redup atau motor bergerak lebih lambat. Sebaliknya, semakin singkat jeda waktu tersebut, semakin tinggi daya yang dikirim ke beban (Hughes, 2012).

2.10 Protokol MQTT



Gambar 2.10 Protokol MQTT

MQTT adalah protokol komunikasi ringan yang dirancang khusus untuk perangkat IoT (Internet of Things) yang membutuhkan komunikasi data secara efisien dengan bandwidth rendah dan koneksi tidak stabil. MQTT menggunakan arsitektur *publish-subscribe*, di mana perangkat pengirim (*publisher*) mengirimkan data ke *broker*, dan perangkat penerima (*subscriber*) akan menerima data jika berlangganan ke topik tertentu. Protokol ini menggunakan TCP/IP sebagai lapisan transport dan sangat cocok untuk sistem yang memerlukan pengiriman data secara real-time dengan konsumsi daya minimal.

Keunggulan utama dari MQTT terletak pada struktur komunikasinya yang sederhana, hemat bandwidth, dan kemampuan *Quality of Service (QoS)* yang bervariasi. QoS ini memungkinkan pengguna memilih tingkat keandalan pengiriman pesan, mulai dari "at most once" (QoS 0) hingga "exactly once" (QoS 2). Karena fleksibilitas ini, MQTT banyak digunakan pada proyek smart home, pemantauan lingkungan, sistem pertanian cerdas, serta sistem pengendalian industri berbasis mikropengendalian seperti ESP32. MQTT juga mendukung pengamanan data melalui TLS/SSL.

Dalam sistem berbasis Arduino atau ESP32, implementasi MQTT umumnya dilakukan melalui penggunaan pustaka seperti PubSubClient. Mikropengendalian terhubung ke broker MQTT publik (misalnya HiveMQ, Mosquitto, atau CloudMQTT) dan mengirimkan data sensor (suhu, kelembapan, dll.) ke broker. Smartphone yang terhubung sebagai *subscriber* melalui aplikasi seperti IoT MQTT Panel akan menerima dan menampilkan data tersebut secara real-time (Naik, 2017).

2.11 IoT MQTT Panel



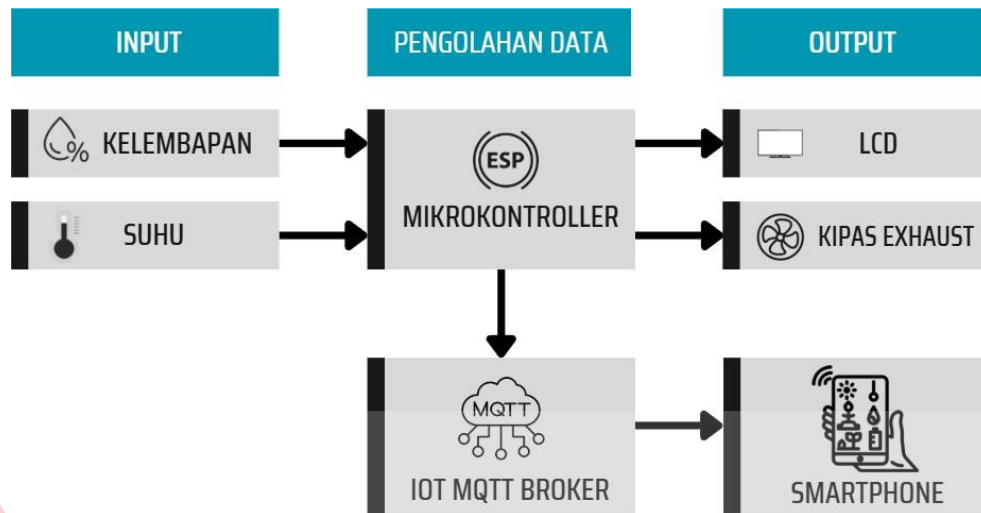
Gambar 2.11 IoT MQTT Panel

IoT MQTT Panel adalah aplikasi berbasis Android yang dirancang untuk memantau dan mengendalikan perangkat Internet of Things (IoT) menggunakan protokol MQTT. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk terhubung ke broker MQTT secara langsung melalui jaringan Wi-Fi maupun data seluler, sehingga dapat memantau data sensor dan mengirim perintah ke perangkat secara real-time. Dengan tampilan antarmuka grafis yang interaktif dan dapat dikustomisasi, pengguna dapat membuat berbagai elemen pengendalian seperti tombol, grafik, indikator LED, dan slider hanya dengan sedikit konfigurasi.

Aplikasi IoT MQTT Panel berperan sebagai *subscriber* dalam arsitektur publish-subscribe MQTT. Ia menerima data dari broker MQTT, yang sebelumnya dikirim oleh mikropengendalianer seperti ESP32 (sebagai *publisher*) dalam bentuk nilai suhu, kelembapan, atau status perangkat. Selain fungsi pemantauan, aplikasi ini juga bisa bertindak sebagai *publisher*, yaitu mengirim perintah seperti menyalakan atau mematikan kipas, mengatur nilai ambang batas suhu, atau mengubah mode kerja sistem. Implementasi ini menjadikan smartphone sebagai antarmuka kendali dan visualisasi utama dalam sistem IoT yang fleksibel dan portabel (Singh, 2021).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Blok Diagram Sistem



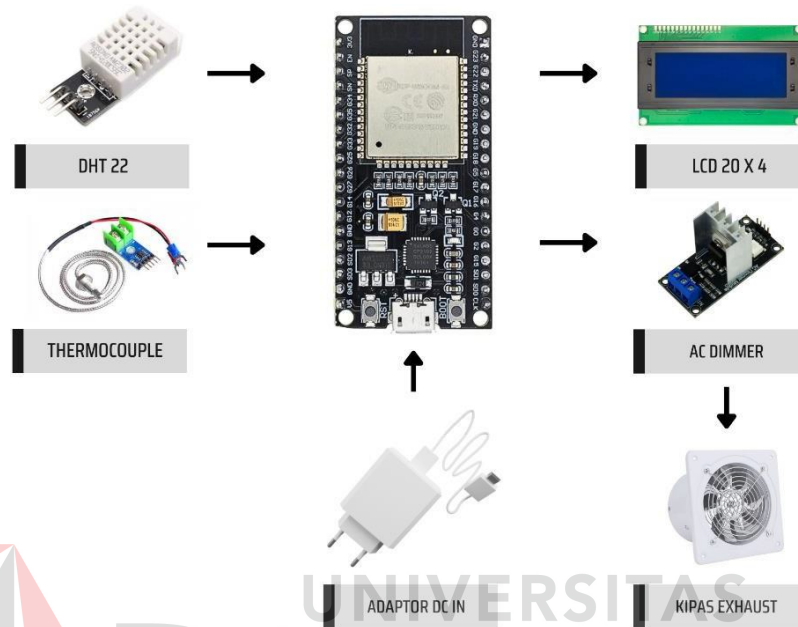
Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Blok diagram tersebut menunjukkan sistem pemantauan dan pengendalian tingkat kelembapan berbasis IoT dengan mikropengendali ESP32 sebagai komponen utama pengolah data. Input sistem terdiri dari dua sensor utama, yakni sensor kelembapan (DHT22) dan sensor suhu (*Thermocouple*). Data yang diterima dari sensor-sensor ini akan dikirimkan ke mikropengendali ESP32 untuk diproses secara real-time. Selanjutnya, hasil pembacaan data sensor berupa nilai suhu dan kelembapan ditampilkan pada LCD 20x4 untuk pemantauan secara lokal serta dikirimkan ke broker IoT berbasis protokol MQTT.

Selain menampilkan data, mikropengendali ESP32 juga bertugas melakukan pengontrolan dengan mengaktifkan kipas exhaust fan melalui AC Dimmer sesuai kondisi yang telah ditentukan, sehingga tingkat kelembapan di dalam alat pengering dapat terjaga sesuai kebutuhan. Data hasil pemantauan yang telah dikirimkan melalui broker MQTT kemudian dapat dipantau secara jarak jauh menggunakan aplikasi smartphone IoT MQTT Panel, yang memungkinkan

pengguna untuk melakukan pengawasan dan pengendalian secara interaktif dan real-time dari mana saja selama terhubung dengan internet.

3.2 Perancangan Perangkat Keras



Gambar 3.2 Komponen rangkaian

Gambar menunjukkan susunan komponen utama dalam sistem perangkat keras. Mikropengendalianer ESP32 berperan sebagai pusat pemrosesan yang menerima input dan menghasilkan output kendali. Dua buah sensor digunakan sebagai input: DHT22 untuk mengukur kelembapan dan suhu udara secara digital, serta sensor thermocouple (dengan amplifiier seperti MAX6675/31855) untuk mendeteksi suhu dengan rentang yang lebih tinggi dan presisi yang diperlukan pada sistem pengering. Data dari kedua sensor ini dikirimkan ke ESP32 melalui pin input digital.

ESP32 kemudian memproses data tersebut dan mengirimkan output ke beberapa perangkat. Pertama, LCD 20x4 digunakan untuk menampilkan nilai suhu dan kelembapan secara lokal kepada pengguna. Kedua, ESP32 mengontrol modul AC Dimmer, yang berfungsi mengatur kecepatan atau daya dari kipas exhaust, berdasarkan nilai suhu dan kelembapan yang terukur. Hal ini memungkinkan sistem mengatur sirkulasi udara di dalam ruang pengering secara otomatis. Seluruh sistem

diberi suplai daya melalui Adaptor DC-IN yang terhubung ke port micro-USB ESP32.

3.2.1 Daftar Komponen

Dibawah ini adalah daftar komponen yang digunakan dan masing-masing fungsinya pada Tugas Akhir ini:

1. Sensor DHT22

Mengirimkan data kelembapan pada ruang pengering, hanya data kelembapan saja yang diambil untuk Tugas Akhir ini karena data suhu diukur oleh sensor thermocouple yang lebih tahan suhu panas dan akurasi lebih baik.

2. Sensor Thermocouple

Mengukur suhu tinggi pada ruang pengering, digunakannya sensor ini karena lebih bisa tahan panas.

3. ESP32

Mikropengendalian utama yang mengatur logika sistem, membaca sensor, mengontrol perangkat output, serta terhubung ke jaringan Wi-Fi untuk komunikasi MQTT.

4. LCD 20x4

Menampilkan data suhu dan kelembapan sebagai antarmuka lokal pengguna.

5. AC Dimmer

Mengatur daya listrik yang dikirim ke exhaust fan untuk menyesuaikan laju pengeringan.

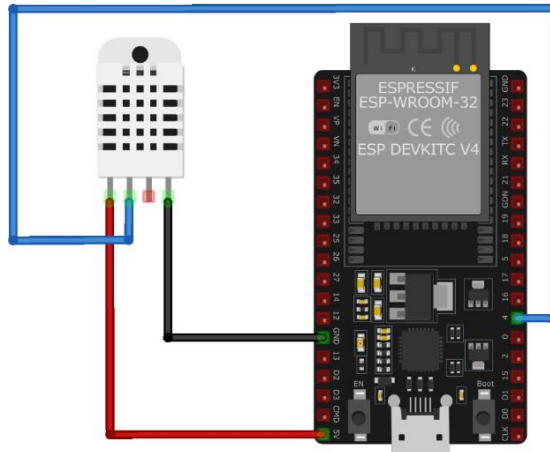
6. Kipas Exhaust

Menarik uap air keluar dari ruang pengering dan mengatur sirkulasi udara.

7. Adaptor DC IN

Menyediakan tegangan operasi untuk ESP32 dan seluruh sistem.

3.2.2 Skematik Sensor DHT22



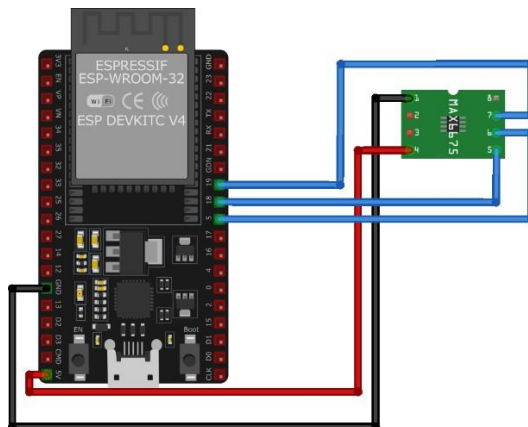
Gambar 3.3 Skematik DHT22

Sensor DHT22 dihubungkan dengan ESP32 melalui jalur pin digital sebagai jalur data. Daftar pin yang terhubung antara DHT22 dan ESP32 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar Pin DHT22

ESP32	DHT22
Digital 4	Output
5V	VCC
GND	GND

3.2.3 Skematik Sensor Suhu Thermocouple



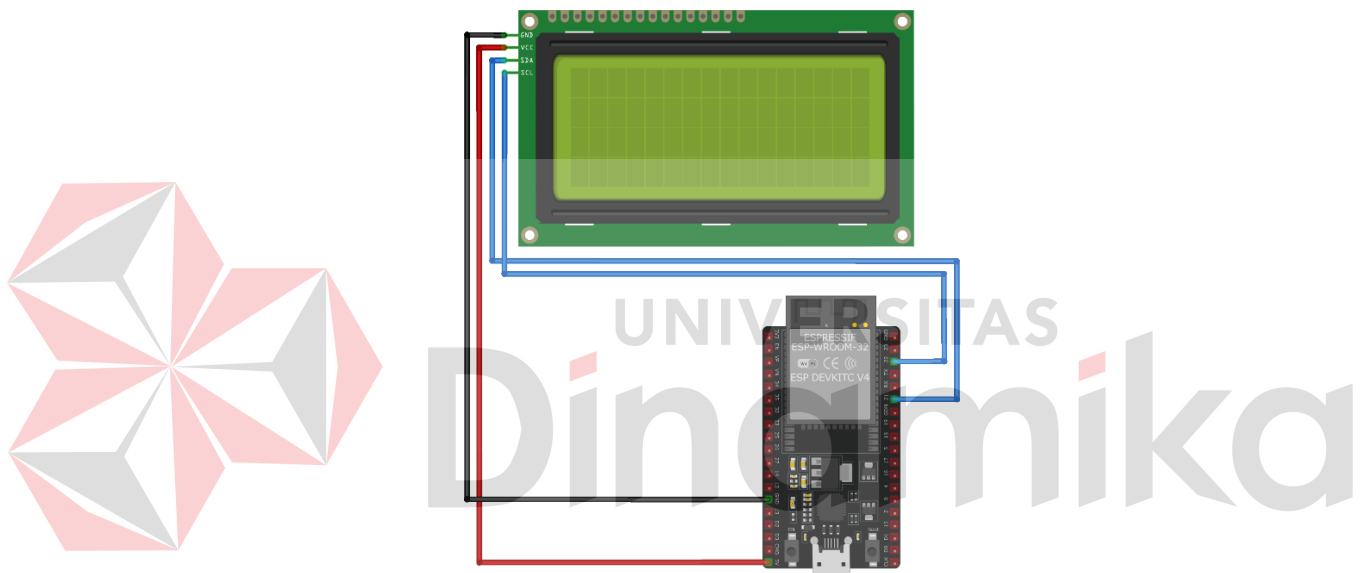
Gambar 3.4 Skematik Thermocouple

Sensor Thermocouple dihubungkan dengan ESP32 menggunakan protokol SPI (*Serial Peripheral Interface*). Daftar pin yang terhubung antara Sensor Thermocouple dan ESP32 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Daftar Pin Thermocouple

ESP32	Thermocouple
GND	GND
5V	VCC
Digital 5	CS
Digital 18	SCK
Digital 19	MISO

3.2.4 Skematik Layar LCD



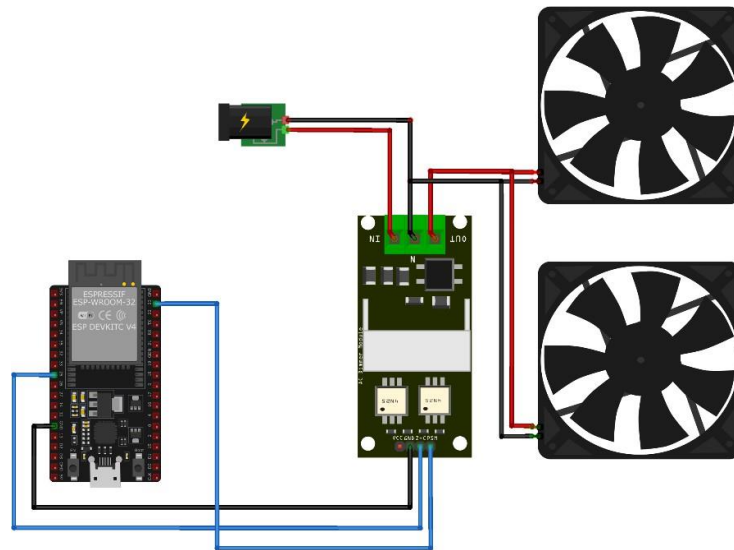
Gambar 3.5 Skematik LCD

LCD dihubungkan dengan ESP32 menggunakan protokol I2C. Daftar pin yang terhubung antara LCD dan ESP32 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Skematik LCD

ESP32	LCD
GND	GND
5V	VCC
Digital 21	SDA
Digital 22	SCL

3.2.5 Skematik AC Dimmer dan Kipas Exhaust



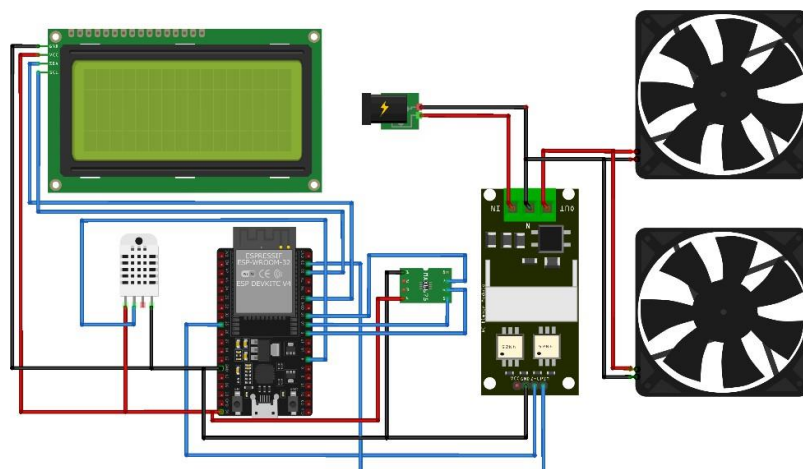
Gambar 3.6 Skematik AC Dimmer dan Kipas Exhaust

AC Dimmer dihubungkan dengan ESP32 melalui jalur pin digital sebagai jalur data. Daftar pin yang terhubung antara AC Dimmer dan ESP32 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Skematik AC Dimmer

ESP32	AC Dimmer
GND	GND
5V	VCC
Digital 25	Zero Cross
Digital 23	Output

3.2.6 Skematik Keseluruhan Sistem

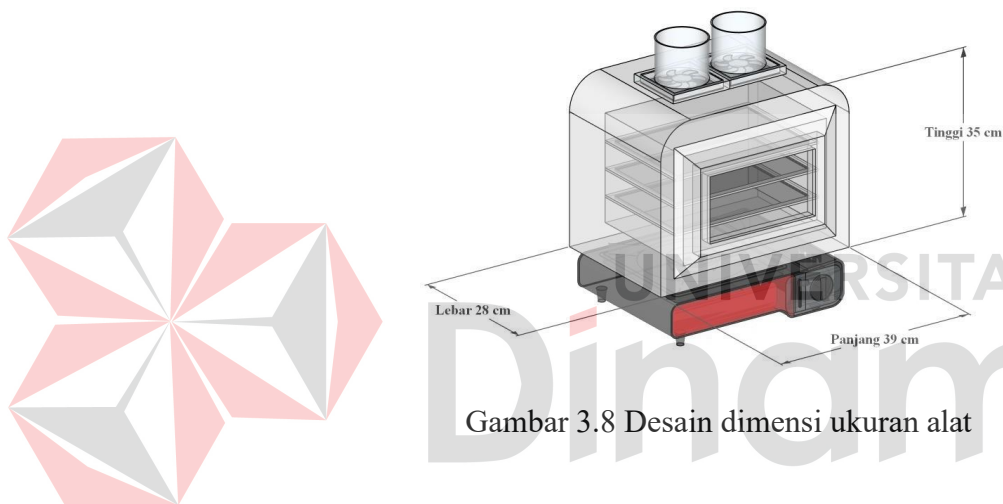


Gambar 3.7 Skematik keseluruhan sistem

Gambar 3.7 menunjukkan skematik rangkaian secara keseluruhan jika semua komponen terhubung. Kipas yang digunakan pada Tugas Akhir ini menggunakan sumber daya AC. Jumlah kipas yang digunakan pada Tugas Akhir ini berjumlah 2 kipas, 2 kipas dihubungkan secara paralel yang dihubungkan melalui pin output dari AC Dimmer.

3.2.7 Desain Mekanik Alat

Berdasarkan gambar 3.8 menunjukkan bahwa desain untuk alat pengering makanan pada tanaman obat Temulawak dan Kunyit seperti ini pada oven model segi tanggung dengan panjang 39 cm, tinggi 35 cm, dan lebar 28 cm.



Gambar 3.8 Desain dimensi ukuran alat

Bagian utama alat pengering berupa oven persegi dengan pintu kaca di depan, sehingga pengguna dapat memantau kondisi bahan tanpa membuka ruang pengering. Di dalamnya terdapat beberapa rak susun (tray) tempat meletakkan bahan makanan secara bertingkat agar aliran udara panas dapat menjangkau setiap lapisan secara merata. Pemanas oven menggunakan kompor api. Dibagian atas oven terdapat 2 exhaust fan yang bertugas menjaga kelembapan tanaman yang ada didalamnya tetap terjaga pada nilai yang diinginkan.

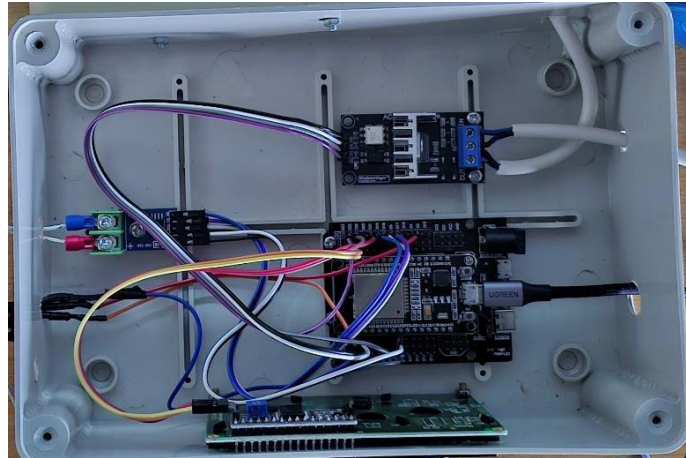


Gambar 3.9 Hasil desain 3D Render alat tampak depan

Gambar 3.10 dan Gambar 3.11 menampilkan hasil jadi alat dan rangkaian pengering makanan yang telah dibuat.



Gambar 3.10 Hasil jadi alat pengering makanan



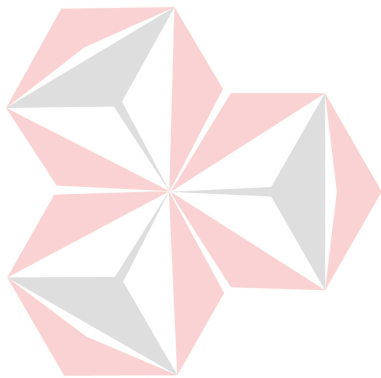
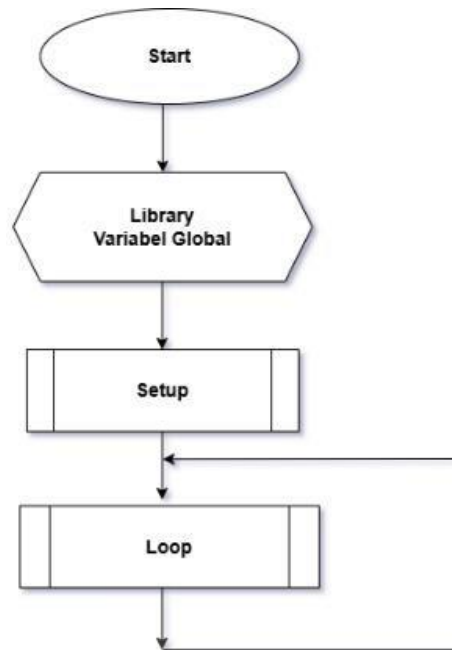
Gambar 3.11 Hasil jadi rangkaian pengering makanan

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

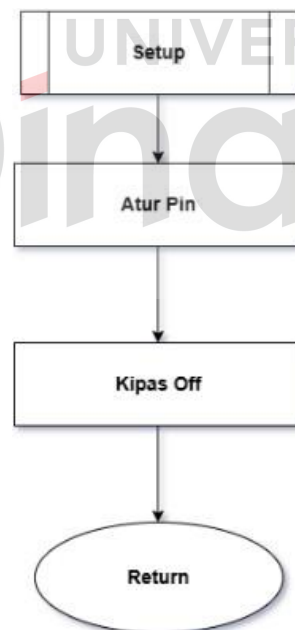
Pada bagian ini akan menguraikan tahapan penyusunan program pada mikropengendali ESP32, dimulai dari pembuatan flowchart alur kerja meliputi inisialisasi periferal, pembacaan sensor suhu-kelembapan, pengambilan keputusan kendali kipas melalui modul AC-dimmer, hingga pengiriman data ke aplikasi. Serta pemetaan setiap langkahnya ke struktur fungsi dalam kode Arduino IDE.

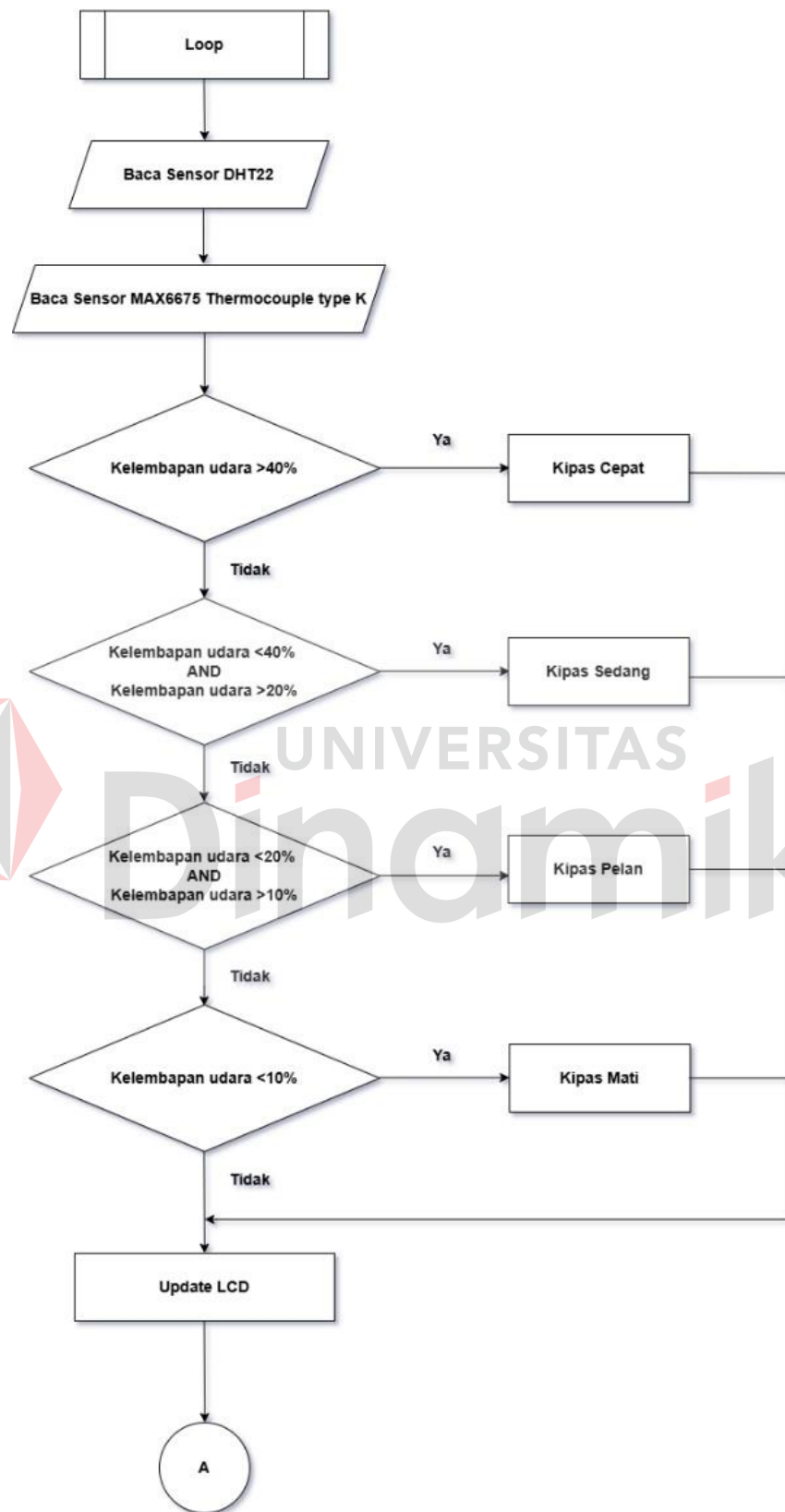
Selain itu, akan dijelaskan mengenai konfigurasi komunikasi MQTT yang diterapkan, mencakup penentuan topik publish/subscribe, skema payload data. Bagian akhir menitikberatkan pada integrasi IoT MQTT Panel sebagai antarmuka seluler, mulai dari pengaturan koneksi broker, desain widget (gauge, grafik) hingga proses validasi tampilan data real-time dan perintah pengendalian jarak jauh, sehingga keseluruhan perangkat lunak baik di sisi embedded maupun aplikasi terlihat menyatu dalam satu arsitektur sistem pemantauan.

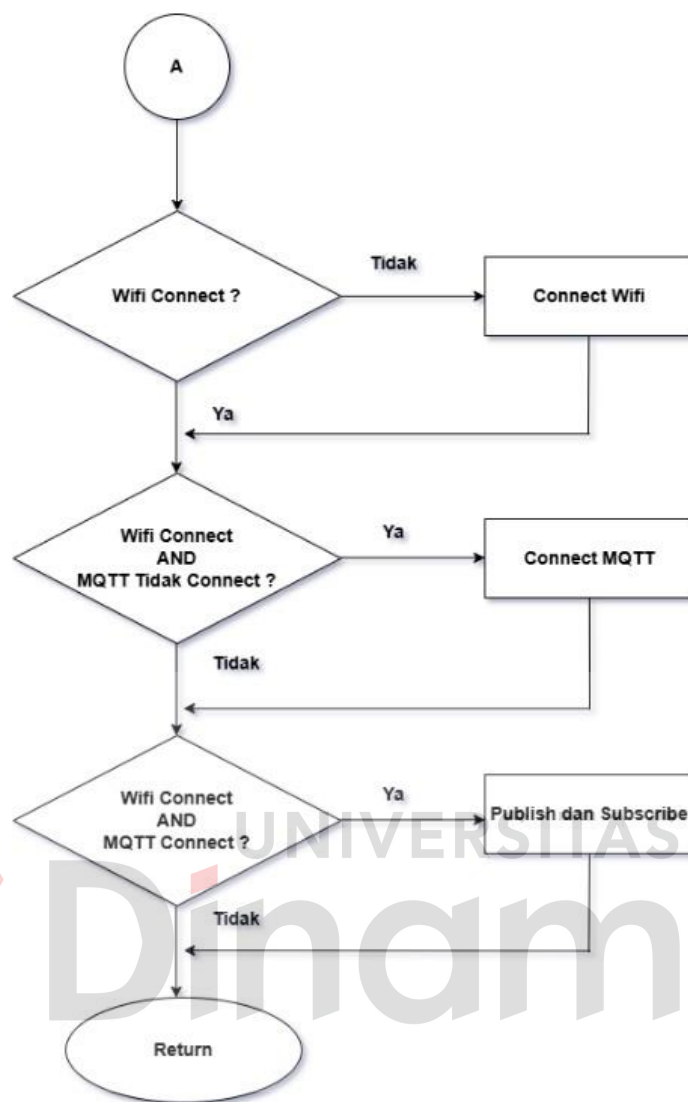
3.3.1 Flowchart



UNIVERSITAS
Dinamika







Gambar 3.12 *Flowchart* sistem

Program dimulai dengan inisialisasi library dan variabel global, dilanjutkan dengan proses setup. Pada tahap setup, pin-pin ESP32 diatur sesuai fungsinya dan sistem memastikan semua kipas exhaust dalam keadaan mati (*off*) sebelum memasuki loop utama. Jika sistem mendeteksi koneksi Wi-Fi belum tersedia, ESP32 akan mencoba menghubungkan diri ke jaringan.

Pada setiap siklus loop, ESP32 melakukan pembacaan data suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 serta sensor suhu tinggi dari thermocouple MAX6675. Data kelembapan udara yang diperoleh dibandingkan dengan sejumlah ambang batas:

1. Jika kelembapan udara $> 40\%$, maka kedua kipas exhaust diatur pada kecepatan cepat.
2. Jika kelembapan antara $20\text{--}40\%$, kipas dijalankan dengan kecepatan sedang.
3. Jika kelembapan antara $10\text{--}20\%$, kipas diatur pada kecepatan pelan.
4. Jika kelembapan $< 10\%$, kipas dimatikan.

```

if (kelembapan < 10) {
    statuskipas = "Berhenti";
    pwm = 0;
} else if (kelembapan < 20) {
    statuskipas = "Pelan";
    pwm = 85;
} else if (kelembapan < 40) {
    statuskipas = "Sedang";
    pwm = 170;
} else {
    statuskipas = "Cepat";
    pwm = 255;
}

int kecepatan = map(pwm, 0, 255, 30, 75);
dimmer.setPower(kecepatan);

```

Gambar 3.13 Penerapan pada program ESP32

Kode program pada gambar 3.13 menunjukkan logika pengaturan kecepatan kipas exhaust berdasarkan tingkat kelembapan udara. Nilai PWM (Pulse Width Modulation) diberikan empat level utama:

1. 0 untuk “Berhenti” (kipas mati), berarti kipas benar-benar dimatikan (tidak ada tegangan pulsa yang dikirim), sehingga kipas exhaust tidak berputar sama sekali.
2. 85 untuk “Pelan”, menghasilkan pulsa dengan lebar sekitar 33% dari maksimum. Kipas exhaust akan berputar perlahan, cukup untuk menjaga sirkulasi tanpa membuang panas/kelembapan terlalu cepat.
3. 170 untuk “Sedang”, berarti pulsa sekitar 66% dari maksimum. Kipas akan berputar dengan kecepatan sedang, menyeimbangkan efisiensi pengeringan dan konsumsi energi.
4. 255 untuk “Cepat”, artinya kipas bekerja pada kecepatan penuh untuk membuang kelembapan sebanyak-banyaknya dalam waktu singkat.

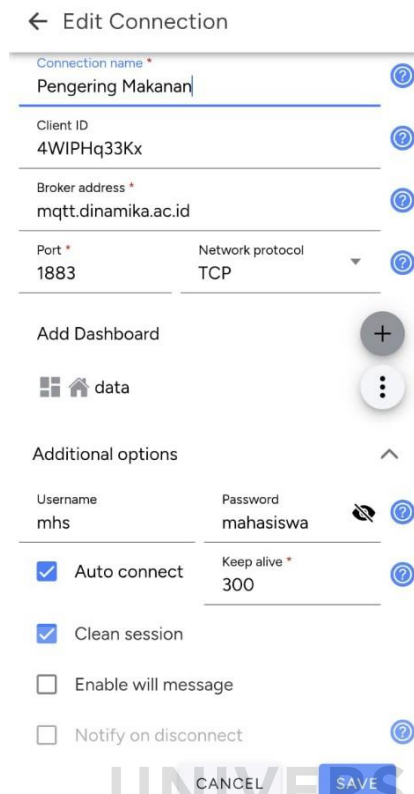
Setelah menentukan nilai PWM ini, nilai tersebut di mapping/rubah nilai inputnya pada program arduino ke range 30–75 sebelum dikirim ke AC Dimmer, agar sesuai dengan karakteristik dua kipas exhaust yang digunakan. Rentang 30–75 dipilih berdasarkan hasil pengujian langsung dengan dua kipas exhaust yang digunakan, di mana nilai 30 kipas tidak berputar sama sekali, dan 75 kecepatan kipas sudah maksimal.

Setiap jenis atau jumlah beban (misalnya kipas AC lain, jumlah lebih banyak, atau tipe berbeda) bisa menghasilkan angka optimal yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik motor, rating daya, dan spesifikasi driver (AC Dimmer). Karena itu, proses kalibrasi range sangat penting dilakukan untuk setiap jenis beban baru atau jumlah kipas yang berbeda, agar kipas dapat beroperasi optimal tanpa risiko macet atau kecepatan tidak sesuai harapan.

Setiap perubahan status ini juga diikuti dengan pembaruan tampilan nilai pada LCD, sehingga pengguna bisa langsung memantau status suhu, kelembapan, dan kipas di panel lokal. Setelah proses pembacaan sensor dan pengambilan keputusan, flowchart juga mengatur komunikasi data ke platform IoT menggunakan MQTT. ESP32 akan memastikan koneksi Wi-Fi tetap aktif, lalu mencoba terhubung ke broker MQTT jika belum terkoneksi. Jika sudah terhubung, data hasil pembacaan sensor (suhu dan kelembapan) serta status kipas akan dipublish ke topik MQTT yang telah ditentukan, dan juga dapat menerima perintah (*subscribe*) dari aplikasi IoT MQTT Panel di smartphone. Proses ini berjalan secara terus-menerus selama loop berjalan, sehingga data dan pengendalian dapat diakses secara real-time baik secara lokal maupun jarak jauh.

Flowchart ini merepresentasikan sistem yang otomatis di mana ESP32 secara berkala membaca sensor, mengatur kipas sesuai kondisi kelembapan, menampilkan data di LCD, dan secara paralel mengelola komunikasi MQTT untuk pemantauan dan pengendalian melalui perangkat seluler berbasis IoT. Arsitektur ini menjamin pemantauan efektif dan pengaturan kelembapan otomatis sesuai kebutuhan pengeringan bahan makanan.

3.3.2 Konfigurasi pada IoT MQTT Panel



← Edit Connection

Connection name *
Pengering Makanan

Client ID
4WIPHq33Kx

Broker address *
mqtt.dinamika.ac.id

Port *
1883

Network protocol
TCP

Add Dashboard

data

Additional options

Username
mhs

Password
mahasiswa

☒ Auto connect

Keep alive *
300

☒ Clean session

☐ Enable will message

☐ Notify on disconnect

CANCEL SAVE

Gambar 3.14 Konfigurasi IoT MQTT Panel

Gambar 3.14 menampilkan tampilan pengaturan koneksi MQTT pada aplikasi IoT MQTT Panel di smartphone untuk sistem “Pengering Makanan”. Pada konfigurasi ini, beberapa parameter penting diisi, antara lain Connection name sebagai identitas koneksi (“Pengering Makanan”), Broker address yang menunjuk ke Broker MQTT Universitas Dinamika (mqtt.dinamika.ac.id) sebagai pengelola lalu lintas data. Port yang digunakan adalah 1883, yang merupakan port standar untuk komunikasi MQTT berbasis protokol TCP. Selain itu, terdapat opsi tambahan seperti Username (“mhs”) dan Password (“mahasiswa”) untuk autentikasi ke broker, serta pengaturan keep alive pada 300 detik agar koneksi tetap stabil. Beberapa fitur lain diaktifkan, seperti Auto connect (aplikasi akan otomatis terhubung saat dibuka) dan clean session (setiap kali terkoneksi, tidak menyimpan sesi sebelumnya untuk menjamin data yang diterima adalah data terbaru). Terdapat juga opsi dashboard (“data”) untuk memantau dan mengelola topik-topik MQTT yang digunakan. Konfigurasi ini memastikan aplikasi smartphone dapat

berkomunikasi dua arah dengan perangkat ESP32 melalui broker MQTT, sehingga proses pemantauan dan pengendalian sistem pengering makanan dapat dilakukan secara real-time dan aman.

```
// MQTT Broker
const char* mqtt_server = "mqtt.dinamika.ac.id";
const char* mqtt_username = "mhs";
const char* mqtt_password = "mahasiswa";
const int mqtt_port = 1883;
```

Gambar 3.15 Konfigurasi MQTT pada ESP32

Pada Gambar 3.15 menunjukkan konfigurasi MQTT yang sama diterapkan pada program ESP32 dan IoT MQTT Panel, sehingga data dapat terkirim melalui Broker Universitas Dinamika.



```
// MQTT Topics
const char* suhu_topic = "mhs/suhupengering";
const char* kelembapan_topic = "mhs/kelembapanpengering";
const char* kipas_topic = "mhs/statuskipas";
```

Gambar 3.16 Topik MQTT

Gambar 3.16 menunjukkan program ESP32 yang terdapat tiga variabel yang mendefinisikan nama topik MQTT untuk sistem pemantauan pengering:

1. `suhu_topic = "mhs/suhupengering"`
Digunakan untuk mengirimkan data suhu hasil pembacaan thermocouple.
2. `kelembapan_topic = "mhs/kelembapanpengering"`
Untuk mengirimkan data kelembapan udara.
3. `kipas_topic = "mhs/statuskipas"`
Untuk mengirimkan status kipas (berhenti, pelan, sedang, cepat).

Setiap topik ini akan digunakan sebagai jalur komunikasi antara ESP32 dan aplikasi pemantauan IoT (seperti IoT MQTT Panel di smartphone), sehingga pengguna bisa membaca setiap parameter secara terpisah.

```
client.publish(suhu_topic, kirimsuhu);
client.publish(kelembapan_topic, kirimkelembapan);
client.publish(kipas_topic, kirimkipas);
```

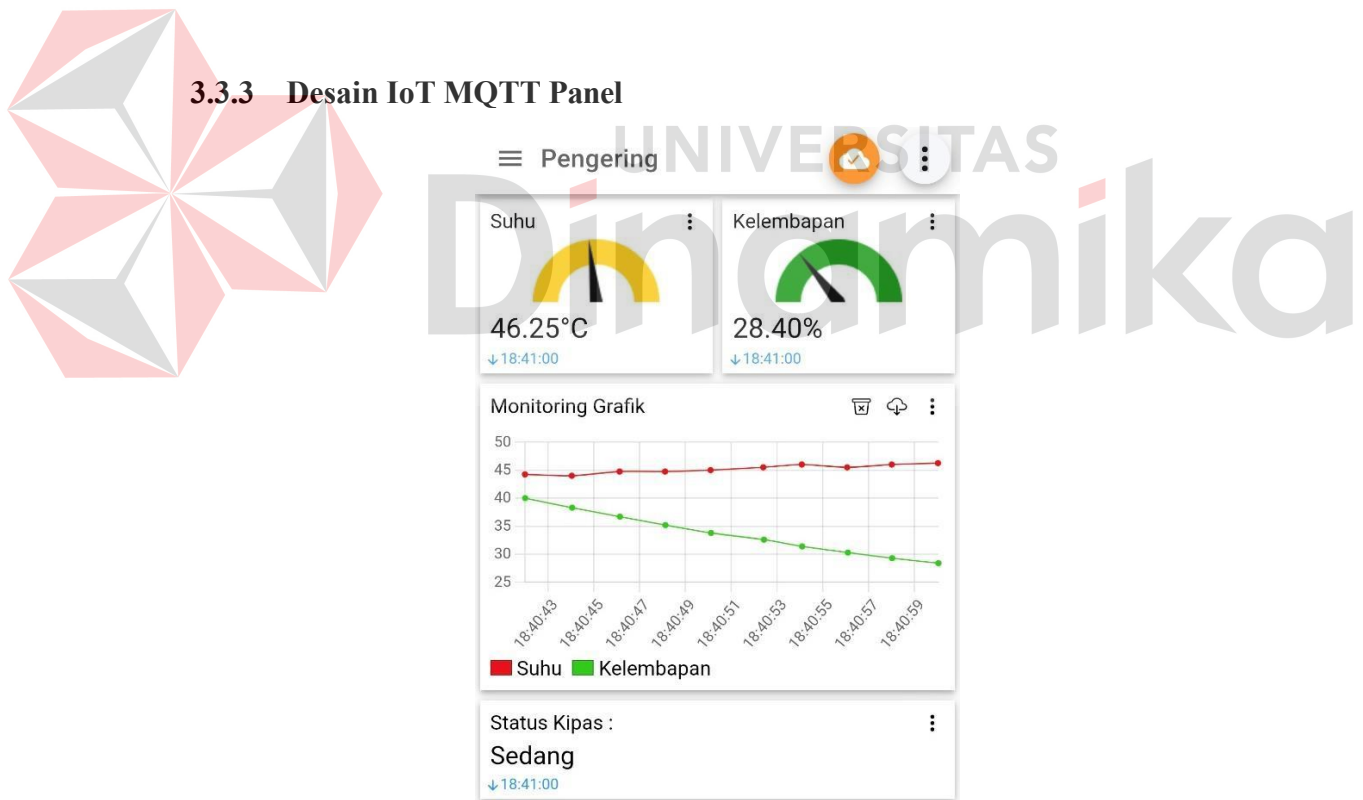
Gambar 3.17 Program Publish MQTT

Gambar 3.17 memperlihatkan cara data dikirim (publish) ke masing-masing topik menggunakan perintah `client.publish()`:

1. `client.publish(suhu_topic, kirimsuhu);`
Mengirimkan nilai suhu ke topik "mhs/suhupengering".
2. `client.publish(kelembapan_topic, kirimkelembapan);`
Mengirimkan nilai kelembapan ke topik "mhs/kelembapanpengering".
3. `client.publish(kipas_topic, kirimkipas);`
Mengirimkan status kipas ke topik "mhs/statuskipas".

Dengan cara ini, setiap kali ESP32 membaca data terbaru dari sensor atau status kipas berubah, maka data tersebut secara otomatis dikirim ke broker MQTT dan dapat langsung dipantau oleh client yang berlangganan (subscribe) pada topik terkait, seperti aplikasi IoT MQTT Panel di smartphone.

3.3.3 Desain IoT MQTT Panel



Gambar 3.18 Desain tampilan smartphone di MQTT Panel

Gambar 3.18 merupakan desain dari dashboard MQTT Panel pada smartphone/hp, pada gambar tersebut terdapat beberapa komponen yaitu suhu

(temperature) dan kelembapan (humidity) yang nantinya menampilkan hasil pembacaan sensor dan terdapat line chart untuk menampilkan histori dari pembacaan sensor. Selain itu sistem ini juga menampilkan status kecepatan kipas saat ini.

3.3.4 Skenario Pengujian

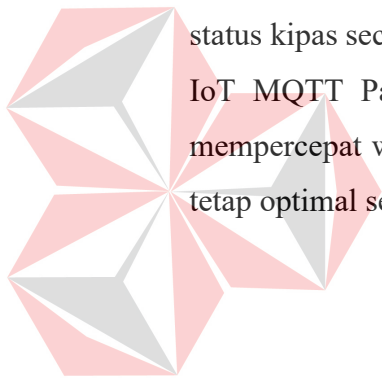
Sub bab ini membahas berbagai skenario pengujian yang dirancang untuk mengevaluasi kinerja sistem pengering bahan makanan berbasis ESP32, khususnya dalam hal akurasi sensor suhu dan kelembapan, respons kendali kipas exhaust, serta efektivitas proses pengeringan pada bahan temulawak dan kunyit. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari verifikasi fungsionalitas dan kalibrasi sensor, pengujian karakteristik pengendalian kecepatan kipas menggunakan sinyal PWM melalui AC Dimmer, hingga uji performa sistem secara keseluruhan dengan mengamati perubahan suhu, kelembapan, dan kadar air bahan selama proses pengeringan berlangsung. Selain itu, pengujian juga mencakup pemantauan kestabilan koneksi serta integrasi data pemantauan melalui platform IoT MQTT Panel. Skenario yang disusun diharapkan dapat menggambarkan sejauh mana sistem yang dirancang mampu memenuhi standar parameter pengeringan optimal sesuai literatur, serta mengidentifikasi potensi kendala teknis yang mungkin muncul dalam implementasinya. Tabel 3.5 menunjukkan beberapa skenario pengujian yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini.

Tabel 3.5 Skenario Pengujian

No	Skenario Pengujian	Tujuan	Parameter
1	Pengujian Sensor DHT22 Pengujian	Mengetahui akurasi kelembapan	Kelembapan Udara (%)
2	Sensor Thermocouple	Mengetahui akurasi suhu	Suhu (°C)
3	Pengujian AC Dimmer	Menentukan mapping (memberikan nilai input) 30-75 valid dan ketepatan kecepatan kipas	PWM (0-255)
4	Uji Koneksi MQTT	Menjamin data terkirim	Waktu pengiriman (ms)
5	Pengujian Seluruh Sistem	Menilai performa seluruh proses	Suhu Oven (°C) Kelembapan Udara (%)

Pada proses pengujian pengeringan temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), suhu yang direkomendasikan adalah pada kisaran 55–65°C dengan kelembapan relatif udara (RH) dijaga di bawah 30% (Raharjo, 2014). Pengaturan suhu ini bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan sekaligus mencegah kerusakan senyawa aktif seperti kurkumin dan xanthorrhizol. Selama pengujian, bahan temulawak yang telah diiris tipis diletakkan pada rak oven. Pengendalian kelembapan dilakukan secara otomatis dengan pengaturan kecepatan kipas exhaust, sehingga RH di ruang pengering tetap stabil dan proses berlangsung efisien sesuai standar simplisia.

Untuk kunyit (*Curcuma longa*), suhu pengeringan yang disarankan berada pada rentang 50–60°C dengan kelembapan relatif udara dijaga sekitar 20% (Srinivasan, 2007). Suhu tersebut dipilih berdasarkan studi yang menunjukkan kestabilan kandungan kurkumin dan efisiensi pengeringan terbaik pada kondisi tersebut. Proses pengujian dilakukan dengan memantau suhu, kelembapan, dan status kipas secara real-time menggunakan sistem pemantauan berbasis ESP32 dan IoT MQTT Panel. Pengaturan suhu dan kelembapan yang tepat tidak hanya mempercepat waktu pengeringan, tetapi juga menjaga mutu simplisia kunyit agar tetap optimal sesuai standar.



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sensor DHT22

4.1.1 Tujuan Pengujian Sensor DHT22

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan akurasi pembacaan kelembapan oleh sensor DHT22 dibandingkan dengan alat ukur referensi. Data yang dihasilkan akan dibandingkan dengan pembacaan Hygrometer digital, sehingga pengujian ini akan menghasilkan seberapa tingkat keberhasilan DHT22 dalam mendeteksi kelembapan udara.

4.1.2 Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Sensor DHT22

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Sensor DHT22
2. Hygrometer digital
3. ESP32
4. Laptop
5. Smartphone

4.1.3 Cara Pengujian Sensor DHT22

Cara Pengujian Sensor DHT22 adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat: Letakkan sensor DHT22 dan hygrometer referensi di ruangan uji yang sama agar membaca kondisi lingkungan yang serupa.
2. Inisialisasi perangkat: Hubungkan sensor DHT22 ke ESP32 dan jalankan program pemantauan yang menampilkan data kelembapan secara periodik.
3. Sinkronisasi waktu: Atur waktu pencatatan antara DHT22 dan alat acuan agar data dapat dibandingkan pada waktu yang sama.
4. Pengambilan data: Catat data kelembapan dari DHT22 dan alat acuan.
5. Pengulangan: Ulangi proses untuk melihat konsistensi sensor.
6. Analisis data: Hitung selisih error antara pembacaan DHT22 dan alat acuan pada tiap waktu, kemudian cari rata-rata error keseluruhan.

4.1.4 Hasil Pengujian Sensor DHT22



Gambar 4.1 Perbandingan data kelembapan sensor dan Hygrometer 1

Pada Gambar 4.1 menunjukkan hasil pembacaan sensor kelembapan DHT22 yang dibandingkan dengan pembacaan hygrometer, dimana sensor membaca kelembapan pada alat pengering adalah 17,60%, sedangkan pada hygrometer terbaca 18%.



Gambar 4.2 Perbandingan data kelembapan sensor dan Hygrometer 2

Pada Gambar 4.2 menunjukkan hasil pembacaan sensor kelembapan DHT22 dengan waktu yang berbeda dan dibandingkan dengan pembacaan hygrometer, Dimana sensor membaca kelembapan pada alat pengering adalah 33,90%, sedangkan pada hygrometer terbaca 34%.

Selanjutnya dilakukan pengujian secara berkala untuk mengetahui konsistensi sensor dan juga mengetahui nilai rata-rata dari sensor. Data pengujian yang dilakukan secara berkala dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pengujian dilakukan pada beberapa pengujian.

Tabel 4.1 Data pengujian kelembapan DHT22

No	Kelembapan		Selisih	Error
	DHT (%)	Hygrometer (%)		
1	66.90	67.00	0.10	0.15
2	67.50	68.00	0.50	0.74
3	63.40	64.00	0.60	0.94
4	58.50	59.00	0.50	0.85
5	55.80	56.00	0.20	0.36
6	50.90	51.00	0.10	0.20
7	49.80	51.00	1.20	2.35
8	46.30	47.00	0.70	1.49
9	43.90	45.00	1.10	2.44
10	41.50	42.00	0.50	1.19
11	39.10	41.00	1.90	4.63
12	37.00	38.00	1.00	2.63
13	34.90	35.00	0.10	0.29
14	31.90	32.00	0.10	0.31
15	31.10	32.00	0.90	2.81
16	30.20	31.00	0.80	2.58
17	28.70	29.00	0.30	1.03
18	28.00	29.00	1.00	3.45
19	27.20	28.00	0.80	2.86
20	24.50	25.00	0.50	2.00
21	19.90	20.00	0.10	0.50
22	18.30	19.00	0.70	3.68
23	17.40	18.00	0.60	3.33
24	17.30	18.00	0.70	3.89
25	16.20	17.00	0.80	4.71
26	15.40	16.00	0.60	3.75
27	14.10	14.00	0.10	0.71
28	13.10	13.00	0.10	0.77
29	12.60	13.00	0.40	3.08
30	11.90	12.00	0.10	0.83
Rata – Rata Error				1.95

Rumus yang digunakan untuk menghitung dari nilai selisih, error, dan rata-rata error diantara lain sebagai berikut:

- Rumus untuk mencari selisih antara kelembapan hygrometer dan dht:

$$\text{Selisih} = |\text{Kelembapan Hygrometer} - \text{Kelembapan DHT}|$$

- Rumus untuk mencari error (kesalahan dalam persen) antara dht dan hygrometer:

$$\text{Error} = \frac{\text{Selisih}}{\text{Kelembapan DHT}} \times 100\%$$

- Rumus mencari rata-rata error dari seluruh data:

$$\text{Rata - Rata Error} = \frac{\text{Jumlah semua Error}}{\text{Jumlah Data}}$$

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4.1, sensor DHT22 menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur kelembapan udara jika dibandingkan dengan hygrometer sebagai alat acuan. Nilai error relatif yang diperoleh dari tiga puluh kali pengujian berkisar antara 0,15% hingga 4,71%, dengan rata-rata error sebesar 1.95%. Nilai rata-rata error ini masih berada dalam batas toleransi spesifikasi sensor DHT22, yang umumnya memiliki tingkat akurasi $\pm 2-5\%$ RH. Dengan demikian, sensor DHT22 dapat diandalkan untuk digunakan pada sistem pemantauan kelembapan alat pengering bahan makanan, karena mampu memberikan hasil pengukuran yang cukup presisi dan konsisten pada berbagai rentang kelembapan. Error yang terjadi masih tergolong rendah sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap proses pengendalian kelembapan selama pengeringan.

4.2 Pengujian Sensor Thermocouple

4.2.1 Tujuan Pengujian Sensor Thermocouple

Mengukur tingkat akurasi pembacaan suhu tinggi oleh sensor thermocouple type k (MAX6675) dengan membandingkannya terhadap termometer digital. Data yang dihasilkan akan dibandingkan dengan pembacaan termometer digital, sehingga pengujian ini akan menghasilkan seberapa tingkat keberhasilan thermocouple dalam mendeteksi suhu.

4.2.2 Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Sensor Thermocouple

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Sensor Thermocouple
2. Thermometer digital
3. ESP32
4. Laptop
5. Smartphone

4.2.3 Cara Pengujian Sensor Thermocouple

Cara Pengujian Sensor Thermocouple adalah sebagai berikut:

1. Setup alat: Tempelkan sensor thermocouple dan probe termometer laboratorium pada titik yang sama di dalam oven uji.
2. Inisialisasi sistem: Nyalakan ESP32 yang terhubung ke modul MAX6675 dan pastikan data suhu dapat terbaca dan tercatat.
3. Naikkan suhu: Tingkatkan suhu oven secara bertahap.
4. Stabilisasi suhu: Tunggu hingga suhu di oven stabil pada tiap set point sebelum mencatat data.
5. Pencatatan data: Catat suhu yang terbaca oleh thermocouple dan termometer setiap kali suhu stabil.
6. Pengulangan: Ulangi pengambilan data untuk memastikan konsistensi hasil.
7. Analisis Error: Hitung selisih tiap titik pengujian dan tentukan rata-rata error sensor thermocouple.

4.2.4 Hasil Pengujian Sensor Thermocouple



Gambar 4.3 Pengujian perbandingan sensor suhu dan Thermometer 1

Gambar 4.3 menunjukkan proses pengambilan data thermometer yang nantinya dibandingkan hasilnya dengan data yang dihasilkan oleh sensor suhu thermocouple.



Gambar 4.4 Pengujian perbandingan sensor suhu dan Thermometer 2

Pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil pembacaan sensor suhu thermocouple yang dibandingkan dengan pembacaan thermometer, Dimana sensor membaca suhu pada alat pengering adalah 37,75 derajat celcius, sedangkan pada thermometer terbaca 37,98 derajat celcius.

Tabel 4.2 Data pengujian suhu Thermocouple

No	Suhu Thermocouple (C)	Suhu Thermometer (%)	Selisih	Error
1	30.25	30.76	0.51	1.66
2	30.75	30.90	0.15	0.49
3	31.25	31.82	0.57	1.79
4	38.50	39.20	0.70	1.79
5	40.00	41.23	1.23	2.98
6	41.75	41.97	0.22	0.52
7	45.50	45.77	0.27	0.59
8	46.25	47.00	0.75	1.60
9	47.00	47.22	0.22	0.47
10	48.25	48.54	0.29	0.60
11	49.75	50.42	0.67	1.33
12	50.25	50.40	0.15	0.30
13	50.25	51.02	0.77	1.51
14	52.25	53.00	0.75	1.42
15	53.75	54.34	0.59	1.09
16	54.25	55.18	0.93	1.69
17	54.75	55.23	0.48	0.87
18	54.50	55.23	0.73	1.32
19	55.25	56.17	0.92	1.64
20	55.75	56.21	0.46	0.82
21	56.25	56.84	0.59	1.04
22	57.00	57.4	0.40	0.70
23	57.00	57.5	0.50	0.87
24	58.00	58.6	0.60	1.02
25	60.25	60.56	0.31	0.51
26	61.25	61.49	0.24	0.39
27	62.25	62.64	0.39	0.62
28	61.75	62.04	0.29	0.47
29	63.00	63.24	0.24	0.38
30	63.25	63.71	0.46	0.72
Rata – Rata Error				1.04

- Rumus untuk mencari selisih antara suhu thermometer dan suhu thermocouple:

$$\text{Selisih} = |\text{Suhu Thermometer} - \text{Thermocouple}|$$

Rumus untuk mencari error (kesalahan dalam persen) antara suhu thermocouple dan thermometer:

$$Error = \frac{Selisih}{Suhu Thermocouple} \times 100\%$$

- Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rata-rata error yang dihasilkan adalah:

$$Rata - Rata Error = \frac{Jumlah Semua Error}{Jumlah Data}$$

Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum pada Tabel 4.2, sensor thermocouple yang digunakan pada sistem menunjukkan akurasi yang cukup baik jika dibandingkan dengan pembacaan termometer digital sebagai alat acuan. Nilai error relatif pada setiap titik pengujian berkisar antara 0.30% hingga 2.98%, dengan rata-rata error sebesar 1.04% dari seluruh data yang diuji. Angka rata-rata error ini menandakan bahwa sensor thermocouple mampu memberikan hasil pengukuran suhu yang sangat mendekati nilai sebenarnya, dan masih berada dalam toleransi akurasi yang umum digunakan untuk aplikasi pemantauan suhu pada alat pengering makanan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sensor thermocouple layak digunakan sebagai perangkat pemantauan suhu dalam sistem ini, karena error yang terjadi sangat kecil dan tidak mempengaruhi validitas proses pengendalian suhu selama pengujian berlangsung.

4.3 Pengujian AC Dimmer

4.3.1 Tujuan Pengujian AC Dimmer

Mengetahui hubungan antara nilai PWM yang diberikan ESP32 dengan kecepatan putar kipas yang dikendalikan oleh AC Dimmer. Menentukan nilai kecepatan yang bisa dihasilkan oleh kedua kipas, karena setiap beban yang menggunakan AC Dimmer sebagai pembatas daya akan berbeda-beda.

4.3.2 Peralatan yang Digunakan pada Pengujian AC Dimmer

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. AC Dimmer
2. Kipas Exhaust
3. ESP32

4. Laptop
5. Smartphone

4.3.3 Cara Pengujian AC Dimmer

Cara Pengujian AC Dimmer adalah sebagai berikut:

1. Perakitan rangkaian: Hubungkan ESP32 ke modul AC dimmer yang mengatur kipas exhaust.
2. Penulisan program: Buat program yang mengirimkan sinyal PWM dari ESP32 ke AC dimmer pada level 0, 85, 170, dan 255.
3. Pengukuran awal: Pastikan kipas dalam kondisi mati (PWM 0), kemudian catat tegangan output pada dimmer dan RPM kipas.
4. Variasi PWM: Tingkatkan nilai PWM bertahap ke 85, 170, dan 255; catat tegangan output dan RPM pada tiap level.
5. Pencatatan hasil: Lakukan pengukuran berulang sebanyak tiga kali pada setiap level PWM untuk mendapatkan data yang valid.
6. Analisis mapping/menentukan nilai input: Uji dan pastikan rentang mapping 30–75 pada dimmer menghasilkan respon kipas dari mulai berputar hingga kecepatan maksimum.
7. Evaluasi beban: Ulangi pengujian pada dua kipas secara bersamaan untuk melihat kestabilan kinerja dimmer pada beban ganda.

4.3.4 Hasil Pengujian AC Dimmer

Tabel 4.3 Data pengujian AC Dimmer

No	Nilai Dimmer (%)	Tegangan Output (V)	Status Kipas
1	0	0	Mati
2	20	38	Mati
3	25	56	Mati
4	29	67	Mati
5	30	70	Mulai Berputar
6	40	110	Pelan
7	50	150	Sedang
8	60	180	Cepat
9	75	220	Maksimal Stabil
10	76	220	Tidak Stabil
11	80	220	Tidak Stabil
12	100	220	Tidak Stabil

Pada Tabel 4.3 diketahui bahwa pada nilai dimmer di bawah 30, kipas tidak berputar sama sekali. Kipas mulai berputar secara stabil pada nilai 30, dan mencapai kecepatan maksimum pada nilai 75. Di atas nilai 75, tidak terjadi peningkatan kecepatan yang signifikan karena tegangan sudah mencapai maksimum yang didukung oleh motor kipas. Berdasarkan pengujian ini, dipilih rentang 30–75 sebagai mapping output terbaik dari PWM ke modul AC Dimmer. Rentang ini memberikan respons kipas yang optimal dari mulai hidup hingga kecepatan maksimum untuk dua kipas exhaust secara bersamaan pada sistem.

```
int kecepatan = map(pwm, 0, 255, 30, 75);
dimmer.setPower(kecepatan);
```

Gambar 4.5 Konfigurasi nilai rentang AC Dimmer

4.4 Pengujian Koneksi MQTT

4.4.1 Tujuan Pengujian Koneksi MQTT

Mengukur stabilitas dan keandalan komunikasi data antara ESP32 dan aplikasi pemantauan (IoT MQTT Panel) melalui broker MQTT. ESP32 mengirimkan data kelembapan dan status kipas setiap 2 detik. Dicatat berapa kali data diterima, waktu tunda (latency), dan adanya paket hilang.

4.4.2 Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Koneksi MQTT

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. DHT22
2. Thermocouple
3. AC Dimmer
4. Kipas Exhaust
5. ESP32
6. Laptop
7. Smartphone

4.4.3 Cara Pengujian Koneksi MQTT

Cara Pengujian Koneksi MQTT adalah sebagai berikut:

1. Konfigurasi jaringan: Pastikan ESP32 dan smartphone terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama dengan akses ke broker MQTT.
2. Set broker dan topik: Konfigurasi alamat broker MQTT, topik data, username, dan password pada ESP32 serta aplikasi IoT MQTT Panel.
3. Inisialisasi sistem: Nyalakan ESP32 dan buka aplikasi IoT MQTT Panel di smartphone.
4. Proses publish: Jalankan program agar ESP32 mengirim data suhu, kelembapan, dan status kipas ke broker secara periodik.
5. Pemantauan data: Amati data yang diterima di aplikasi MQTT Panel dan bandingkan waktu update (delay).
6. Simulasi gangguan: Matikan dan hidupkan ulang koneksi Wi-Fi untuk menguji kemampuan reconnect dan keberlanjutan data pemantauan.
7. Analisis performa: Hitung rata-rata delay dan persentase paket data yang hilang selama pengujian.

4.4.4 Hasil Pengujian Koneksi MQTT



Gambar 4.6 Tampilan IoT MQTT Panel saat Online

Gambar 4.6 merupakan tampilan hasil pengujian pemantauan sistem pengering berbasis IoT menggunakan aplikasi IoT MQTT Panel pada smartphone. Pada dashboard ini, data suhu dan kelembapan pada alat pengering yang terbaca oleh sensor secara real-time ditampilkan dalam bentuk gauge (meter analog digital) dan grafik tren. Suhu terbaca stabil di angka 55.00°C, yang sesuai dengan set-point pengeringan bahan seperti temulawak dan kunyit. Kelembapan terpantau pada 16.70%, menunjukkan sistem mampu menurunkan kelembapan sesuai target pengeringan optimal.

Grafik Pemantauan menampilkan tren data suhu (garis merah) dan kelembapan (garis hijau) dalam kurun waktu beberapa detik terakhir, memperlihatkan kestabilan dan konsistensi sistem dalam menjaga parameter lingkungan ruang pengering. Status Kipas tercatat dalam mode "Pelan", menandakan bahwa sistem pengendalian secara otomatis menurunkan kecepatan kipas ketika kelembapan sudah mendekati ambang minimum, sesuai logika program yang telah dirancang.

Waktu update pada tiap panel (misal 13:39:53) menandakan data diterima secara real-time melalui protokol MQTT tanpa ada keterlambatan signifikan. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa integrasi antara ESP32, sensor suhu-kelembapan, AC dimmer, kipas exhaust, serta aplikasi IoT MQTT Panel berjalan efektif. Sistem mampu mengirimkan, menampilkan, dan mengendalikan parameter pengeringan secara otomatis serta dapat dipantau jarak jauh, sehingga proses pengeringan dapat diawasi dan dioptimalkan dengan mudah.

Tabel 4.4 Pengujian delay pengiriman data MQTT

No	Waktu Kirim	Waktu Terima	Delay (ms)
1	17:17:00.971	17:17:01.182	211
2	17:17:02.983	17:17:03.278	295
3	17:17:04.985	17:17:05.298	313
4	17:17:07.002	17:17:07.243	241
5	17:17:08.974	17:17:09.297	323
6	17:17:10.967	17:17:11.280	313
7	17:17:12.969	17:17:13.295	326
8	17:17:14.969	17:17:15.174	205
9	17:17:16.978	17:17:17.282	304
10	17:17:18.991	17:17:19.334	343
11	17:17:21.002	17:17:21.349	347

No	Waktu Kirim	Waktu Terima	Delay (ms)
12	17:17:22.982	17:17:23.286	304
13	17:17:24.974	17:17:25.220	246
14	17:17:27.011	17:17:27.214	203
15	17:17:29.006	17:17:29.329	323
16	17:17:31.005	17:17:31.322	317
17	17:17:32.977	17:17:33.303	326
18	17:17:35.009	17:17:35.319	310
19	17:17:36.982	17:17:37.222	240
20	17:17:38.971	17:17:39.320	349
21	17:17:41.019	17:17:41.256	237
22	17:17:42.974	17:17:43.190	216
23	17:17:45.021	17:17:45.250	229
24	17:17:46.976	17:17:47.296	320
25	17:17:48.995	17:17:49.339	344
26	17:17:51.015	17:17:51.215	200
27	17:17:52.987	17:17:53.301	314
28	17:17:54.980	17:17:55.189	209
29	17:17:56.990	17:17:57.212	222
30	17:17:59.011	17:17:59.343	332
Rata Rata			282.06

Untuk mencatat dan menghitung delay antara waktu pengiriman dan penerimaan data dalam sistem IoT menggunakan ESP32 dan aplikasi IoT MQTT Panel, pertama-tama perlu dilakukan beberapa langkah penting. Di sisi pengirim, yaitu ESP32, perangkat harus terlebih dahulu terhubung ke jaringan Wi-Fi dan mengakses broker MQTT. Setelah itu, ESP32 mengirimkan waktu yang akan dicatat menggunakan Serial Monitor Arduino IDE. Di sisi penerima, aplikasi IoT MQTT Panel yang sudah terhubung ke broker MQTT akan mendengarkan topik yang sama dan menampilkan pesan waktu yang diterima dari ESP32. Saat pesan diterima di aplikasi, pengguna mencatat waktu penerimaan yang tampil pada aplikasi IoT MQTT Panel. Delay dihitung dengan cara mengurangi waktu penerimaan dengan waktu pengiriman yang dikirim oleh ESP32. Misalnya, jika waktu yang dikirim ESP32 adalah 17:17:00.971 dan aplikasi menerimanya pada 17:17:01.182, maka delay yang terjadi adalah 211 ms.

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai delay (ms) yang dihasilkan adalah:

$$\text{Delay} = \text{Waktu Terima} - \text{Waktu Kirim}$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai rata-rata delay yang dihasilkan adalah:

$$\text{Rata - rata} = \frac{\text{Jumlah Seluruh Delay}}{\text{Jumlah Data}}$$

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa cepat data sensor suhu, kelembapan, dan status kipas yang dikirim oleh ESP32 dapat diterima di aplikasi IoT MQTT Panel melalui broker MQTT. Pada pengujian sebanyak 30 data, waktu pengiriman dan penerimaan data dicatat serta dihitung delay atau waktu tunda pengiriman. Berdasarkan hasil simulasi, seluruh data yang berhasil terkirim memiliki delay antara 200 hingga 350 ms. Rata-rata delay yang dihasilkan adalah 282.06 ms, sehingga data yang dikirimkan dari alat pengering dapat dimonitor secara real-time tanpa adanya keterlambatan yang signifikan di sisi pengguna. Hasil ini menunjukkan performa sistem pemantauan IoT yang baik dan sangat layak digunakan untuk proses pemantauan pengeringan bahan makanan.

Tabel 4.5 Pengujian pengiriman data MQTT

No	Waktu Kirim	Status Pengiriman	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Status Kipas
1	17:18:17	Terkirim	31.50	52.80	Cepat
2	17:18:19	Terkirim	31.00	52.00	Cepat
3	17:18:21	Terkirim	31.25	51.20	Cepat
4	17:18:23	Terkirim	31.75	50.30	Cepat
5	17:18:25	Terkirim	31.50	49.20	Cepat
6	17:18:27	Terkirim	31.75	48.30	Cepat
7	17:18:29	Terkirim	32.00	47.30	Cepat
8	17:18:31	Terkirim	31.75	46.30	Cepat
9	17:18:33	Terkirim	32.00	45.20	Cepat
10	17:18:35	Terkirim	32.25	44.30	Cepat
11	17:19:11	Gagal (WiFi mati)	34.50	30.40	Sedang
12	17:19:13	Gagal (WiFi mati)	34.75	29.80	Sedang
13	17:19:15	Gagal (WiFi mati)	34.75	29.40	Sedang
14	17:19:17	Gagal (WiFi mati)	35.00	28.70	Sedang
15	17:19:19	Gagal (WiFi mati)	35.00	28.30	Sedang
16	17:20:21	Terkirim	40.00	13.60	Pelan
17	17:20:23	Terkirim	40.25	13.40	Pelan
18	17:20:25	Terkirim	40.75	13.30	Pelan
19	17:20:27	Terkirim	40.75	13.00	Pelan
20	17:20:29	Terkirim	41.25	12.80	Pelan
21	17:20:31	Terkirim	40.75	12.60	Pelan
22	17:20:33	Terkirim	41.50	12.40	Pelan

No	Waktu Kirim	Status Pengiriman	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Status Kipas
23	17:20:35	Terkirim	41.50	12.20	Pelan
24	17:20:37	Terkirim	41.50	12.10	Pelan
25	17:20:39	Terkirim	41.75	12.00	Pelan
26	17:20:41	Terkirim	41.50	11.90	Pelan
27	17:20:43	Terkirim	42.00	11.70	Pelan
28	17:21:05	Terkirim	44.00	9.80	Berhenti
29	17:21:07	Terkirim	44.00	9.70	Berhenti
30	17:21:09	Terkirim	44.50	9.60	Berhenti

Tabel 4.5 merupakan pengujian status pengiriman data bertujuan memastikan sistem mampu menangani kondisi jaringan, baik saat koneksi WiFi aktif maupun saat terjadi gangguan. Dari 30 data pengujian, 25 data berhasil dikirimkan ke broker MQTT (“Terkirim”), sementara pada data ke-11 hingga ke-15 sistem diuji dengan mematikan koneksi WiFi secara sengaja. Pada kondisi ini, status pengiriman tercatat sebagai “Gagal (WiFi mati)”, namun sistem alat pengering tetap dapat beroperasi secara lokal tanpa hambatan sensor tetap membaca, kipas tetap berjalan otomatis, dan data masih tampil di LCD. Setelah WiFi kembali dinyalakan, data pengiriman berlanjut tanpa kendala. Sistem yang dibuat mampu beradaptasi saat terjadi gangguan koneksi jaringan.

4.5 Pengujian Waktu Pengeringan

4.5.1 Tujuan Pengujian Waktu Pengeringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan alat pengering dalam menurunkan kadar air bahan makanan dari kondisi awal hingga mencapai kadar air akhir yang telah ditetapkan. Dengan melakukan pemantauan waktu pengeringan secara terukur, diharapkan dapat diketahui efisiensi sistem pengering dalam mencapai mutu hasil yang optimal.

4.5.2 Peralatan yang Digunakan pada Pengujian Waktu Pengeringan

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. ESP32
2. Kipas exhaust AC dan modul AC dimmer
3. LCD 20x4 I2C

4. Smartphone Android dengan aplikasi IoT MQTT Panel untuk pemantauan
5. Timbangan digital untuk mengukur berat bahan
6. Stopwatch/timer untuk mencatat waktu proses
7. Bahan uji berupa irisan temulawak/kunyit segar

4.5.3 Cara Pengujian Waktu Pengeringan

Cara Pengujian Koneksi MQTT adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan uji (temulawak atau kunyit) dengan berat dan ketebalan irisan yang seragam, lalu catat berat awalnya menggunakan timbangan digital. Bahan kunyit dan temulawak akan dianalisis serta diambil data baru berdasarkan dua objektif masing-masing bahan. Setiap bahan akan diproses melalui tahap pengirisan dengan ketebalan 2–3 milimeter, kemudian dilakukan penimbangan masing-masing sebanyak 200 gram untuk memastikan keseragaman dalam observasi awal sebelum analisis lebih lanjut.
2. Memasukkan bahan ke dalam ruang pengering pada langkah ini kunyit dan temulawak diletakkan di bagian tengah oven lalu aktifkan sistem pengering.
3. Mengatur suhu ruang pengering sesuai parameter yang direkomendasikan (60°C) dan pastikan kelembapan awal tercatat.
4. Menyalakan pemantauan waktu menggunakan stopwatch, lalu catat suhu, kelembapan, dan berat bahan secara berkala.
5. Memantau dan dokumentasikan perubahan suhu dan kelembapan melalui LCD dan aplikasi IoT MQTT Panel secara real-time selama proses berlangsung.
6. Memroses pengeringan dihentikan ketika berat bahan tidak berubah signifikan dalam dua kali pengukuran berturut-turut atau sudah mencapai kadar air akhir yang diinginkan ($<15\%$).
7. Mencatat total waktu pengeringan, suhu rata-rata, kelembapan rata-rata, dan kadar air akhir bahan sebagai data hasil pengujian.

4.5.4 Hasil Pengujian

Tabel 4.6 Tabel pengeringan kunyit

No	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Waktu (Menit)
1	62.75	15.20	63
2	61.92	15.60	58
3	60.53	15.40	77

No	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Waktu (Menit)
4	61.44	15.90	62
5	60.15	15.80	66
Rata-Rata 61.358		15.58	65.2

$$\text{Rata – Rata Waktu Pengeringan} = \frac{\text{Total Waktu}}{\text{Jumlah Pengujian Data}}$$

Tabel 4.6 menampilkan hasil pengujian proses pengeringan kunyit dengan menggunakan sistem pengering berbasis ESP32 dan pemantauan IoT. Pada pengujian ini, suhu ruang pengering yang berhasil dijaga selama proses berkisar antara 60,15°C hingga 62,75°C, dengan kelembapan udara relatif antara 15,20% hingga 15,90%. Lama waktu pengeringan pada setiap siklus uji bervariasi, yaitu antara 58 hingga 77 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan suhu dan kelembapan dalam rentang yang diinginkan untuk proses pengeringan kunyit.

Pada setiap sesi pengujian, bahan kunyit segar dengan berat 200 gram dengan ketebalan irisannya sebesar 2-3 milimeter dimasukkan ke ruang pengering. Setelah proses selesai, berat kunyit kering yang dihasilkan rata-rata 119 gram, yang menandakan terjadinya penurunan kadar air yang signifikan. Pada tabel pengujian kunyit, dengan rata-rata suhu 61,358°C untuk mendapatkan rata-rata kelembapan 15,58% diperlukan rata-rata waktu 65,2 menit. Data ini mengindikasikan adanya hubungan potensial antara peningkatan suhu dan penurunan kelembapan terhadap durasi waktu proses, rata-rata waktu pengeringan 65,2 menit per siklus dan pencapaian kadar air akhir yang rendah, dapat disimpulkan bahwa alat pengering yang dirancang bekerja efisien dan efektif untuk proses pengeringan kunyit.

Tabel 4.7 Tabel pengeringan temulawak

No	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Waktu (Menit)
1	60.50	15.70	32
2	60.96	15.20	40
3	60.23	15.90	38
4	60.84	15.40	43
5	60.46	15.80	34
Rata-Rata 60.60		15.60	37.4

$$\text{Rata – Rata Waktu Pengeringan} = \frac{\text{Total Waktu}}{\text{Jumlah Pengujian Data}}$$

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian proses pengeringan temulawak dengan menggunakan alat pengering berbasis ESP32 yang dilengkapi pengendalian suhu, kelembapan, dan pemantauan IoT. Selama proses pengeringan, suhu ruang pengering berhasil dipertahankan dalam rentang 60,23°C hingga 60,96°C, sedangkan kelembapan udara berkisar antara 15,20% hingga 15,90%. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kadar air akhir pada setiap sesi pengujian bervariasi, mulai dari 32 hingga 43 menit.

Pengujian dilakukan dengan memasukkan temulawak segar sebanyak 200 gram dengan ketebalan irisannya 2-3 milimeter ke dalam alat pengering. Setelah proses pengeringan selesai, diperoleh temulawak kering dengan rata-rata berat akhir 163 gram. Pada tabel pengujian temulawak, dengan rata-rata suhu 60,60°C untuk mendapatkan rata-rata kelembapan 15,60% diperlukan rata-rata waktu 37.4 menit. Data yang diperoleh mengindikasikan adanya keterkaitan antara kenaikan suhu dan penurunan kelembapan relatif terhadap efisiensi waktu pengeringan. Rata-rata durasi proses yaitu 37.4 menit per siklus serta pencapaian kadar air akhir yang rendah menjadi indikator bahwa perangkat pengering yang dirancang mampu menjalankan proses pengeringan temulawak secara optimal.

4.6 Pengujian Keseluruhan Sistem

4.6.1 Tujuan Pengujian Keseluruhan Sistem

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem pengering bahan makanan berbasis ESP32 dalam menjaga suhu dan kelembapan pada rentang yang telah direkomendasikan selama proses pengeringan temulawak dan kunyit. Selain itu, pengujian bertujuan untuk mengetahui efektivitas pengendalian kecepatan kipas exhaust melalui pengaturan PWM dan AC Dimmer, serta memvalidasi kemampuan sistem pemantauan berbasis IoT MQTT Panel dalam menampilkan data suhu, kelembapan, dan status kipas secara real-time. Melalui pengujian ini, diharapkan dapat diperoleh data terkait laju penurunan kadar

air pada bahan yang dikeringkan, stabilitas parameter lingkungan selama proses, serta kendala teknis yang mungkin muncul selama implementasi sistem.

4.6.2 Peralatan yang Dibutuhkan pada Pengujian Keseluruhan Sistem

Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

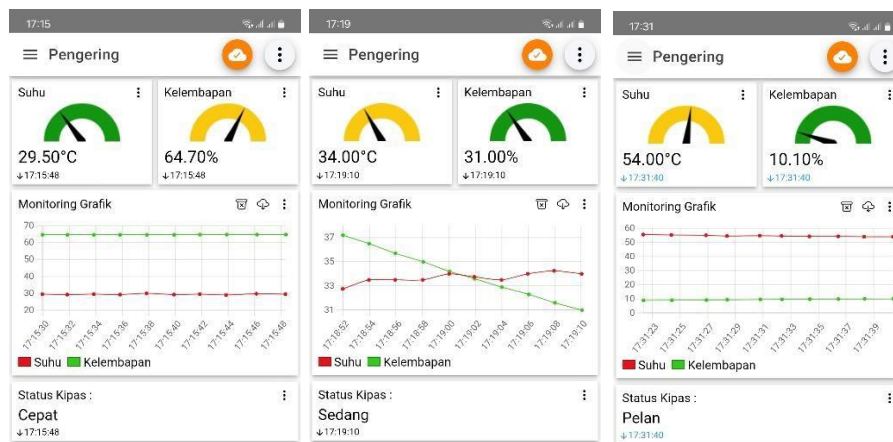
1. DHT22
2. Thermocouple
3. AC Dimmer
4. Kipas Exhaust
5. ESP32
6. Laptop
7. Smartphone
8. Temulawak
9. Kunyit

4.6.3 Cara Pengujian Keseluruhan Sistem

Cara Pengujian Keseluruhan Sistem adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan: Iris temulawak atau kunyit segar dengan ketebalan seragam.
2. Setup sistem: Pasang bahan pada rak oven pengering, pastikan semua sensor dan perangkat sudah terpasang serta sistem dalam kondisi siap operasi.
3. Atur parameter: Set suhu oven pada 50-65°C dan pastikan target RH ($\leq 30\%/20\%$) disetting pada sistem pengendalian.
4. Mulai proses: Nyalakan sistem, mulai dari pemanasan oven dan pemantauan sensor oleh ESP32.
5. Pengumpulan data: Catat suhu, kelembapan, status PWM kipas, dan berat bahan secara periodik selama proses pengeringan.
6. Pantau data: Pastikan semua data tampil pada LCD dan aplikasi IoT MQTT Panel tanpa gangguan selama proses.
7. Analisis hasil: Bandingkan waktu pengeringan, kestabilan suhu & kelembapan, dan performa pemantauan.

4.6.4 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem



Gambar 4.7 Pengujian seluruh sistem

Pada gambar 4.7 sistem pengering baru dijalankan dengan suhu ruang pengering masih rendah (29.50°C) dan kelembapan udara sangat tinggi (64.70%). Status kipas pada aplikasi IoT MQTT Panel terbaca "Cepat", sesuai dengan logika control ketika kelembapan melebihi ambang batas atas, sistem secara otomatis mengaktifkan kipas dengan kecepatan maksimal. Grafik pemantauan memperlihatkan tren kelembapan tinggi dan suhu yang masih rendah, menandakan proses awal pengeringan di mana kadar air bahan masih banyak.

Selanjutnya setelah proses pengeringan sudah berlangsung beberapa waktu. Suhu ruang pengering mulai naik (34.00°C) dan kelembapan turun signifikan menjadi 31.00%. Status kipas berubah menjadi "Sedang", yang artinya sistem secara otomatis menurunkan kecepatan kipas sesuai dengan logika program karena kelembapan mulai mendekati ambang batas berikutnya. Grafik pemantauan di aplikasi menunjukkan adanya penurunan kelembapan yang cukup tajam serta kenaikan suhu secara bertahap, memperlihatkan sistem berjalan efektif dalam mengendalikan parameter lingkungan secara real-time.

Selanjutnya kondisi mendekati akhir proses pengeringan. Suhu sudah mencapai set-point optimal (54.00°C), dan kelembapan udara turun drastis menjadi 10.10%, mendekati target kadar air bahan yang diharapkan. Status kipas secara otomatis berubah menjadi "Pelan", menunjukkan sistem mampu mengatur laju

kipas exhaust agar tidak membuang panas secara berlebihan ketika kelembapan sudah rendah.

Tabel 4.8 Pengujian seluruh sistem

No	Suhu (C)	Kelembapan (%)	Status Kipas	Kondisi	Keterangan
1	32.75	48.50	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
2	32.75	49.30	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
3	33.00	48.90	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
4	33.00	49.40	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
5	33.25	48.00	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
6	33.25	48.30	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
7	33.25	48.60	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
8	33.25	48.70	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
9	33.25	49.10	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
10	33.50	48.20	Cepat	Kipas Cepat	Sesuai
11	35.00	39.70	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
12	35.25	39.30	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
13	35.25	39.90	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
14	35.50	39.10	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
15	35.50	39.50	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
16	35.75	38.90	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
17	35.75	39.00	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
18	35.75	39.00	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
19	35.75	39.00	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
20	36.00	39.30	Sedang	Kipas Sedang	Sesuai
21	44.25	19.40	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
22	44.25	19.80	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
23	44.50	18.20	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
24	44.50	19.70	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
25	44.75	19.20	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
26	45.00	17.90	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
27	45.00	18.90	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
28	45.25	18.50	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
29	45.50	17.90	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
30	45.75	17.90	Pelan	Kipas Pelan	Sesuai
31	54.25	9.80	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
32	54.25	9.90	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
33	54.50	9.40	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
34	54.50	9.70	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
35	54.75	9.60	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
36	55.00	9.20	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
37	55.25	9.10	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
38	55.50	8.80	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
39	55.50	9.00	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai
40	55.75	8.60	Berhenti	Kipas Berhenti	Sesuai

Berdasarkan data Tabel 4.6 pengujian sistem pengendalian kipas exhaust telah berjalan sesuai dengan logika program yang dirancang. Pada saat nilai kelembapan udara tinggi (sekitar 48–49%), kipas exhaust otomatis berada pada

mode “Cepat” untuk mempercepat proses penurunan kelembapan di awal pengeringan. Setelah kelembapan turun ke kisaran 39%, kipas beralih ke mode “Sedang”, menandakan sistem secara bertahap menyesuaikan laju pembuangan uap air sesuai kebutuhan. Ketika kelembapan mencapai rentang 17–19%, kecepatan kipas menurun ke mode “Pelan”, dan begitu nilai kelembapan sudah di bawah 10%, kipas exhaust otomatis berhenti (mati). Seluruh perubahan mode ini terdeteksi dan tercatat dengan keterangan “Sesuai”, menandakan tidak ada deviasi logika pengendalian.

Pola perubahan kecepatan kipas yang otomatis berdasarkan pembacaan sensor membuktikan bahwa sistem pemantauan dan pengendalian berbasis ESP32 mampu bekerja secara adaptif dan presisi dalam menjaga parameter suhu dan kelembapan ruang pengering sesuai tahapan proses pengeringan. Hasil ini juga menunjukkan bahwa logika pengaturan kecepatan kipas yang diterapkan benar-benar dapat diandalkan untuk aplikasi pengeringan bahan makanan secara otomatis, sehingga kualitas dan efisiensi pengeringan dapat tercapai dengan optimal.



Gambar 4.8 Temulawak dan Kunyit sebelum pengeringan



Gambar 4.9 Hasil jadi Temulawak kering

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

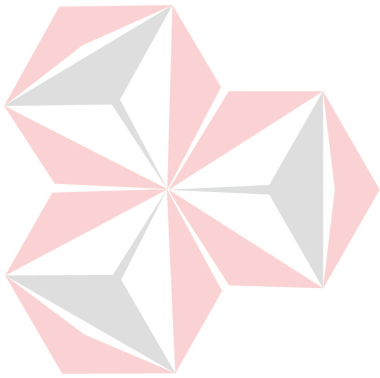
Kesimpulan akhir yang didapatkan dari hasil pengerjaan Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun Pemantauan Dan Pengendalian Tingkat Kelembapan Pada Alat Pengering Bahan Makanan adalah:

1. Sistem pengering berbasis ESP32 yang dirancang mampu mengendalikan suhu dan kelembapan ruang pengering secara otomatis melalui pengaturan kecepatan kipas Exhaust Fan menggunakan modul AC Dimmer, sesuai parameter pengeringan optimal untuk temulawak dan kunyit.
2. Sensor DHT22 dan thermocouple yang digunakan menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata error masing-masing 1,95% untuk kelembapan dan 1,04% untuk suhu, sehingga layak diaplikasikan pada sistem pemantauan pengeringan bahan makanan.
3. Logika pengendalian kecepatan kipas exhaust berhasil diimplementasikan sesuai dengan perubahan nilai kelembapan, di mana kipas otomatis berada pada mode Cepat, Sedang, Pelan, hingga Berhenti mengikuti kondisi aktual ruang pengering.
4. Integrasi pemantauan berbasis IoT MQTT Panel pada smartphone terbukti berjalan efektif dan real-time, dengan delay pengiriman data rata-rata 200–350 ms serta tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 100% kecuali pada saat simulasi gangguan WiFi, di mana sistem tetap berjalan secara lokal.
5. Sistem yang dikembangkan mampu menurunkan kadar air temulawak dan kunyit hingga <10%, dengan waktu pengeringan yang lebih cepat, serta kualitas proses dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian ini, ada beberapa hal yang disarankan untuk penelitian selanjutnya yakni sebagai berikut:

1. Penyempurnaan data logging, misalnya dengan menambahkan penyimpanan data pada SD card atau integrasi dengan cloud database, agar histori proses pengeringan dapat diakses dan dianalisis lebih lanjut.
2. Pengujian lebih lanjut perlu dilakukan pada berbagai jenis bahan makanan lain, serta pada skala pengeringan yang lebih besar untuk menguji keandalan dan skalabilitas sistem.
3. Optimasi algoritma pengendalian dan penerapan metode PID pada pengaturan kecepatan kipas dan elemen pemanas diharapkan dapat meningkatkan presisi pengendalian suhu dan kelembapan, sehingga kualitas simplisia hasil pengeringan semakin konsisten.
4. Sistem pemantauan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur alarm notifikasi pada aplikasi IoT MQTT Panel jika terjadi kegagalan sensor, overheat, atau kondisi abnormal lain.



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR PUSTAKA

Andhini, N. (2017). *2017. Pendahuluan Temulawak: Journal of Chemical Information and Modeling*.

Arduino. (2022). *LiquidCrystal Library Documentation*. Arduino.

Arduino. (2023). *Arduino IDE 2.x Documentation*. Arduino.

ASHRAE. (2019). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook—HVAC Applications*.

Electronics, A. (2018). *AM2302/DHT22 Product Manual*. Aosong Electronics.

Hughes, E. (2012). *Electrical and Electronic Technology (11th ed.)*. Pearson Education.

Instruments, N. (2020). *Thermocouple Temperature Measurement*. National Instruments.

Naik, N. (2017). *Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP*. International Systems Engineering Symposium (ISSE).

Raharjo, T. J. (2014). *Budidaya dan Pemanfaatan Tanaman Obat*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.

RI, D. K. (2000). *Materia Medika Indonesia (Vol. VI)*. Jakarta: Depkes RI.

Sangian, J. (2019). *Pengendalian Kelembapan Ruang Pengering Hibrida Pada . Teknik Elektro dan Komputer*.

Singh, R. P. (2021). *IoT based smart home using MQTT protocol and Android application*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 10 Issue 05.

Srinivasan, K. (2007). *Turmeric: The Golden Spice of Life. In: Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer.

System, E. (2025). *ESP32 Series Datasheet*. Shanghai: Espressif System. Retrieved from www.espressif.com.