

**PROTOTIPE PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN
UNTUK MONITORING TINGKAT KEMATANGAN PADA
PROSES FERMENTASI TEMPE MELALUI APLIKASI
ANDROID**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Oleh:
MU'LINATUS SA'ADAH
NIM : 2108026037

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mu'linatus Sa'adah

NIM : 2108026037

Progran Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**"PROTOTYPE PENGENDALI SUHU DAN KELEMBABAN
UNTUK MONITORING TINGKAT KEMATANGAN PADA
PROSES FERMENTASI TEMPE MELALUI APLIKASI
ANDROID"**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 23 Juni 2025



Mu'linatus Sa'adah

NIM. 2108026037

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah Skripsi berikut ini:

Judul : Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban untuk
Monitoring Tingkat Kematangan pada Proses Fermentasi
Tempe melalui Aplikasi Android

Penulis : Mu'linatus Sa'adah

Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam sidang akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan
Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Fisika.

Semarang, 30 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua,

Alwiyah Nurhayati, Ph.D.
NIP. 19811211 201101 2006

Penguji I,

Sheilla Rully Anggita, M.Si.
NIP. 199005052019032017

Pembimbing I,

Agus Sudarmanto, M.Si.
NIP. 197708232009121001

Sekretaris,

Agus Sudarmanto, M.Si.
NIP. 197708232009121001

Penguji II,

Istikomah, M.Sc.
NIP. 19011262019031009

Pembimbing II,

Alwiyah Nurhayati, Ph.D.
NIP. 19811211 201101 2006



NOTA DINAS

Semarang, 23 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban
untuk Monitoring Tingkat Kematangan pada
Proses Fermentasi Tempe Melalui Aplikasi
Android
Nama : Mu'linatus Sa'adah
NIM : 2108026037
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing I,


Agus Sudarmanto, M.Si.
NIP: 197708232009121001

NOTA DINAS

Semarang, 23 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

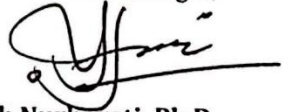
Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban
untuk Monitoring Tingkat Kematangan pada
Proses Fermentasi Tempe Melalui Aplikasi
Android
Nama : **Mu'linatus Sa'adah**
NIM : 2108026037
Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II,



Alwiyah Nurhayati, Ph.D.
NIP: 198112112011012006

ABSTRAK

Fermentasi tempe yang dilakukan oleh sebagian besar pengrajin tempe masih dilakukan secara konvensional, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mendapatkan tempe yang matang sempurna, sedangkan pengrajin tempe tidak mengetahui suhu dan kelembaban saat terjadi proses tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun prototipe pengontrol dan pengendali suhu dan kelembaban pada proses fermentasi tempe berbasis android yang dapat digunakan untuk mengontrol suhu dan kelembaban secara otomatis untuk mempercepat proses fermentasi tempe yang dapat dimonitoring dari jarak jauh. Metodologi penelitian ini meliputi studi literatur, perancangan *hardware* berupa prototipe inkubator, perancangan *software* berupa aplikasi Blynk, pengujian, pengambilan data, menganalisis data, dan pembuatan laporan. Hasil pengujian sensor DHT22 memiliki akurasi suhu 99,52% dan kelembaban 99,06%, akurasi sensor HC-SR04 98,82%, Load Cell memiliki akurasi 99,9%, dan TCS34725 memiliki pola pembacaan RGB tempe mentah dan matang naik seperti pembacaan pada Corel Draw. Prototipe dapat memberikan informasi tempe matang setelah tempe berada dalam prototipe selama 24 jam dengan suhu 36,9°C, kelembaban 63,5%, ketebalan 1,63 cm, dan massa 76 gram dengan TCS34725 memberikan informasi matang yang ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk.

Kata kunci: Tempe, Suhu, Kelembaban, Fermentasi, Blynk

MOTTO

"Do you feel cold and lost in desperation. You build up hope but failure's all you've known. Remember all the sadness and frustration. And let it go. Let it go." (Linkin Park - Iridescent)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban untuk Monitoring Tingkat Kematangan pada Proses Fermentasi Tempe melalui Aplikasi Android” ini dengan baik. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga mendapat syafa’at di hari akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan skripsi yang disusun guna memenuhi tugas dan persyaratan memperoleh gelar Sarjana sains dalam Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang ini banyak mendapatkan dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Nizar, M.Ag. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Ibu Alwiyah Nurhayati, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas

Islam Negeri Walisongo Semarang sekaligus Dosen Pembimbing.

4. Bapak Muhammad Ardhi Khalif, M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
5. Bapak Agus Sudarmanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing.
6. Segenap Dosen, Pegawai, dan Civitas Akademik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
7. Keluarga besar tercinta di rumah, khususnya Bapak Salim dan Ibu Sundari, selaku orang tua penulis yang telah memberikan dukungan moril maupun materiil yang tiada henti kepada penulis.
8. Seseorang yang senantiasa menemani dan memberikan dukungan kepada penulis dari awal sampai akhir penulisan tugas akhir.
9. Teman-teman seperjuangan Fisika-21 yang membantu dan memberikan *support* penulis untuk menyelesaikan studi.
10. Teman-teman kelompok Program Studi Elektronika dan Instrumentasi yang bersedia direpotkan dalam pembuatan tugas akhir.

11. Semua pihak yang terlibat yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, motivasi, semangat, dan bantuan serta doa sehingga skripsi ini dapat selesai.

Semarang, 23 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS.....	iv
NOTA DINAS.....	v
ABSTRAK.....	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	6
E. Batasan Masalah	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Landasan Teori.....	9
1. Tempe	9
2. Fermentasi	12
3. Suhu	14
4. Kelembaban.....	15
5. Android	16

6.	Blynk	17
7.	Arduino IDE.....	18
8.	NodeMCU ESP8266	19
9.	Sensor DHT22.....	21
10.	Sensor TCS34725.....	23
11.	Sensor Ultrasonik HC-SR04	25
12.	Load Cell	28
13.	Modul HX711.....	32
14.	Relay.....	33
15.	Lampu Pemanas Keramik Infrared	34
16.	Exhaust Fan.....	35
17.	Liquid Crystal Display (LCD) 16X2.....	36
B.	Kajian Pustaka	37
BAB III METODE PENELITIAN		41
A.	Jenis Penelitian.....	41
B.	Waktu dan Tempat	41
C.	Alat dan Bahan	41
D.	Prosedur Penelitian.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		55
A.	Hasil Rancang Bangun Prototipe	55
B.	Hasil Pengujian Prototipe	59
C.	Hasil Pengujian Prototipe Fermentasi Tempe Berbasis Android.....	70
BAB V KESIMPULAN		84
A.	Kesimpulan	84
B.	Saran.....	85

DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tempe	9
Gambar 2.2 Blynk Apps	17
Gambar 2.3 Jendela Arduino IDE.....	18
Gambar 2.4 Mikrokontroler NodeMCU.....	20
Gambar 2.5 Sensor DHT22.....	21
Gambar 2.6 Sensor TCS34725	23
Gambar 2.7 Sensor HC-SR04	26
Gambar 2.8 Ilustrasi Cara Kerja HC-SR04.....	26
Gambar 2.9 Load Cell.....	28
Gambar 2.10 Konfigurasi Kabel Load Cell	29
Gambar 2.11 Prinsip Kerja Load Cell.....	30
Gambar 2.12 Kerangka Jembatan Wheatstone.....	30
Gambar 2.13 Modul HX711.....	33
Gambar 2.14 Relay Modul	34
Gambar 2.15 Pemanas Keramik.....	35
Gambar 2.16 Exhaust Fan.....	35
Gambar 2.17 LCD 16X2.....	36
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian.....	43
Gambar 3.2 Desain Prototipe	44
Gambar 3.3 Desain Sistem Prototipe Keseluruhan (A) Tampak depan (B) Tampak dalam prototipe.....	45
Gambar 3.4 Diagram Alir Sistem Prototipe Suhu Maksimum	48
Gambar 3.5 Desain Software Arduino IDE	49
Gambar 4.1 Implementasi Prototipe Fermentasi Tempe (A) Tampak Luar (B) Tampak Dalam (C) Komponen	57
Gambar 4.2 Desain Aplikasi Blynk	59
Gambar 4.3 Perbedaan tempe fermentasi (A) Tidak Dimasukkan Prototipe (B) Dimasukkan Prototipe	78
Gambar 4.4 Implementasi Tampilan Aplikasi Blynk	82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kategori Error Sensor	52
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor DHT22.....	60
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor HC-SR04	61
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor TCS34725	62
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Load Cell	64
Tabel 4.5 Pengujian Otomasi Alat Sebelum Mencapai Suhu Maksimum Set Point	65
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Otomasi Alat Setelah Mencapai Suhu Maksimum <i>Set Point</i>	65
Tabel 4.7 Hasil pengujian Kontrol Melalui Android	67
Tabel 4.8 Pengujian Serial Data.....	68
Tabel 4.9 Pengujian Serial Data Android	69
Tabel 4.10 Hasil Uji Komponen Secara Keseluruhan	70
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Keseluruhan Suhu Maksimum 37°C.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengujian Sensor	95
Lampiran 2. Gambar Grafik Pengujian Sensor	101
Lampiran 3. Gambar Prototipe Inkubator Fermentasi Tempe dan Proses Pengujian	105
Lampiran 4. Data Sheet Sensor	109
Lampiran 5. Syntax Arduino Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban untuk Monitoring Tingkat Kematangan Tempe	148

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tempe menjadi salah satu makanan yang paling disukai oleh orang Indonesia. Di beberapa tempat, tempe telah menjadi lauk pokok yang selalu ada di meja setiap hari, dan karena harganya yang terjangkau, tempe yang kaya akan protein dapat digunakan sebagai alternatif sumber protein nabati. Tempe juga memiliki banyak nutrisi lain yang dibutuhkan tubuh, seperti karbohidrat, lemak, mineral, dan protein (Darmawan *et al.*, 2022).

Tempe adalah bahan makanan yang dihasilkan dari kacang kedelai atau kacang-kacangan lainnya difermentasi dengan jamur *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae* (Rizaldi, 2018). Beberapa faktor mempengaruhi proses fermentasi tempe, termasuk suhu, kelembaban, dan waktu pemeraman (Darmawan *et al.*, 2022). Fermentasi sebaiknya dilakukan pada suhu ruang antara 20-37°C dalam kondisi pencahayaan yang redup dan suhu paling tinggi 40° C, karena jika suhunya terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan kapang tempe, sehingga kapang tidak tumbuh dengan sempurna. Selain suhu, kelembaban juga berperan penting dalam fermentasi (Mukhojarah, 2015). Kelembaban relatif

untuk fermentasi tempe berkisar antara 62-85% (Triyono, Nazaruddin and Werdiningsih, 2017). Faktor yang paling mempengaruhi suhu dan kelembaban adalah cuaca. Ketika cuaca panas, suhu akan naik dan melebihi suhu normal untuk fermentasi tempe, sementara ketika hujan, suhu akan turun dan kurang dari suhu normal untuk fermentasi tempe (Nakhoda, Soetedjo and S, 2020).

Sebagian besar pengrajin tempe masih melakukan fermentasi secara konvensional, yaitu saat cuaca dingin ditutup menggunakan kain untuk menjaga suhu, sedangkan pengrajin tempe tidak mengetahui suhu dan kelembaban saat terjadi proses tersebut. Selama proses fermentasi tempe, aerasi yang merupakan proses masuknya udara dengan membuat lubang pada plastik sangat membantu pertumbuhan jamur dan fermentasi tempe untuk mendapatkan udara yang cukup (Rizaldi, 2018).

Kemajuan teknologi saat ini sangat pesat, salah satu contohnya adalah *Internet of Things* (IoT) (Mutaqin, 2021). IoT adalah sebuah jaringan yang mengintegrasikan berbagai objek melalui internet agar dapat saling berbagi informasi dengan cara yang cepat, sederhana, dan efisien (Muchlis, Sulisworo and Toifur, 2019). Salah satu teknologi yang mendukung pengembangan IoT adalah

mikrokontroler. Mikrokontroler merupakan sebuah *microchip* yang memproses data digital sebagai respon terhadap instruksi yang dituliskan dalam bahasa pemrograman. Penggunaan sensor dan mikrokontroler transduser sangat berkaitan dengan kemajuan teknologi. Mikrokontroler memiliki sejumlah keunggulan, salah satunya adalah kemampuannya untuk berfungsi sebagai alat ukur sekaligus sistem otomatisasi digital yang dilengkapi dengan panel LCD (Jayanti, Sudarmanto and Faqih, 2020).

Penggunaan *Internet of Things* sering digunakan dalam bisnis dan industri dengan tujuan mempermudah kebutuhan industri yang tidak dapat dipenuhi oleh manusia dan mempercepat proses produksi dalam industri. Selain itu, diharapkan bahwa penerapan IoT akan membantu industri dalam mendukung faktor yang sangat penting, seperti memantau dan mengontrol suhu di dalam ruangan, sangat mempengaruhi produksi tempe untuk mendapatkan hasil yang bagus (Faizin, 2023).

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Rizaldi, 2018) adalah sistem kendali pengontrol suhu dengan menggunakan sensor SHT11 dan mikrokontroler Arduino UNO R3 dapat mengontrol dengan baik suhu dan kelembaban di dalam inkubator tempe sesuai set point

suhu 30°C dan kelembaban 62%, namun untuk menampilkan data yang didapatkan harus terhubung dengan laptop. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh (Santoso, 2022) adalah inkubator tempe berbasis IoT (*Internet of Things*) dengan menggunakan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban, sensor LDR untuk mengukur cahaya dengan mikrokontroler ESP8266 dan terhubung ke aplikasi Blynk. Suhu diatur pada suhu 30°C-40°C memakan waktu fermentasi selama 24 jam. Penelitian lain yang telah dilakukan oleh (Istiadi, 2023) yaitu membuat sistem inkubator fermentasi tempe untuk pengrajin kripih tempe dengan menggunakan sensor DHT11 sebagai pengontrol suhu dan kelembaban, sensor warna TCS3200 untuk mengetahui kematangan tempe, dan ESP8266 sebagai mikrokontroler yang langsung terhubung ke ponsel. Temperatur diatur pada set point 35°C dan kelembaban 60%-70% RH, serta dapat melakukan fermentasi kematangan kurang dari 20 jam.

Ditinjau dari penelitian-penelitian sebelumnya masih belum ada yang dapat mengendalikan kontrol set point suhu secara langsung melalui aplikasi yang digunakan, sehingga peneliti akan mengembangkan prototipe pengatur dan pengontrol suhu dan kelembaban untuk proses fermentasi tempe yang dapat meningkatkan

efisiensi dan mutu kualitas produksi tempe dengan menggunakan mikrokontroler ESP8266, sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban, sensor HC-SR04 untuk mendeteksi ketebalan pertumbuhan jamur selama terjadi fermentasi, sensor Load Cell untuk mengetahui massa tempe saat masih kedelai dan saat sudah ditumbuhi jamur, sensor warna TCS34725 untuk mendeteksi kematangan, dan langsung terhubung ke android yang dapat memudahkan produsen tempe tanpa harus datang ke tempat produksi.

B. Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah yang diselidiki dalam penelitian ini:

1. Bagaimana rancang bangun prototipe pengendali suhu, kelembaban, dan tingkat kematangan pada proses fermentasi tempe melalui aplikasi android?
2. Bagaimana akurasi pengukuran sensor suhu, kelembaban, warna, ketebalan, dan massa pada prototipe fermentasi tempe melalui aplikasi android?
3. Bagaimana prototipe dapat memberikan informasi suhu, kelembaban, dan tingkat kematangan tempe?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Untuk dapat mengetahui rancang bangun prototipe pengendali suhu, kelembaban, dan tingkat kematangan pada proses fermentasi tempe melalui aplikasi android.
2. Untuk dapat mengetahui akurasi pengukuran sensor suhu, kelembaban, warna, ketebalan, dan massa pada prototipe fermentasi tempe melalui aplikasi android.
3. Untuk dapat mengetahui suhu, kelembaban, dan tingkat kematangan tempe dari prototipe.

D. Manfaat Penelitian

1. Bagi Penulis
Untuk mengimplementasikan ilmu yang sudah didapatkan selama duduk di bangku kuliah.
2. Bagi Orang Lain
Dapat menciptakan alat yang dapat pengontrol suhu, kelembaban, dan tingkat kematangan tempe secara realtime. Penelitian ini dapat menambah wawasan dan informasi bagi mahasiswa fisika yang sedang memperdalam Elektronika Instrumentasi.
3. Bagi Universitas
Dapat menambah referensi dalam bahan kajian terutama tentang penerapan Elektronika Instrumentasi.

E. Batasan Masalah

1. Penerapan sistem ini dilakukan pada prototipe.
2. Prototipe fermentasi tempe memiliki dimensi panjang 30 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 40 cm.
3. Suhu dan kelembaban di dalam prototipe diatur dari 30°C hingga 37°C.
4. Untuk pemanas menggunakan lampu pemanas keramik 25W dan pendingin menggunakan *exhaust fan*.
5. Spesifikasi materi pendukung dengan memanfaatkan DHT22 untuk mengukur temperatur dan kelembaban, HC-SR04 untuk mengukur ketebalan jamur, Load Cell untuk mengetahui massa tempe, sedangkan sensor TCS34725 untuk mengukur tingkat kematangan.
6. Aplikasi yang digunakan untuk penelitian ini adalah aplikasi Blynk.
7. Tempe yang dimasukkan ke dalam prototipe berjumlah satu buah dengan bungkus plastik transparan.
8. Set point pengendali suhu yang dapat diatur melalui aplikasi Blynk yaitu suhu minimum (30°C), standar (34°C), dan maksimum (37°C).

9. Informasi tempe matang ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Tempe

Tempe adalah makanan tradisional yang memiliki potensi untuk berubah menjadi makanan fungsional karena kandungannya yang bermanfaat bagi kesehatan, seperti meningkatkan penyerapan zat besi dan kalsium (Amelia, 2018). Tempe juga merupakan makanan hasil fermentasi biji kedelai atau bahan lainnya menggunakan beberapa jenis kapang *Rhizopus*, seperti *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus arrhizus*, atau *Rhizopus stolonifer* (kapang roti) (Arnold, Pinondang Nainggolan and Darwin Damanik, 2020).



Gambar 2.1 Tempe
(static.vecteezy.com)

Gambar 2.1 yaitu tempe yang selain mengandung antioksidan, tempe merupakan sumber vitamin B dan B6, yang kadarnya meningkat selama proses fermentasi. Selain itu, vitamin B12 berperan

penting dalam pembentukan sel darah merah (Amelia, 2018). Berbagai zat yang terkandung dalam tempe mempunyai manfaat sebagai bahan pengobatan, seperti antioksidan pencegah penyakit degeneratif dan antibiotika untuk menyembuhkan infeksi, sehingga tempe baik untuk dikonsumsi (Oktaviani, 2023). Ditinjau dari kandungan dan manfaat yang terdapat pada tempe, tempe termasuk makanan yang halal dan baik untuk dikonsumsi. Di dalam Al-Qur'an banyak dijelaskan tentang makanan yang halal dan baik, misalnya dalam Surah Al-Baqarah Ayat 168 Allah berfirman sebagai berikut:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا ۚ وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ

Artinya : “Wahai manusia, makanlah sebagian (makanan) di bumi yang halal lagi baik dan janganlah mengikuti langkah-langkah setan. Sesungguhnya ia bagimu merupakan musuh yang nyata.” (QS. Al-Baqarah: 168) (Tim Penyempurnaan Terjemahan Al-Qur'an, 2019).

Dalam ayat tersebut dijelaskan (Fitriani, 2022) menurut *tafsir Al-Misbah* karya M. Quraish Shihab memaparkan bahwa seruan untuk menjaga makanan halal pada ayat ini ditujukan kepada semua orang,

terlepas dari apakah mereka beriman kepada Allah SWT atau tidak. Namun demikian, tidak semua makanan dan minuman yang dianggap halal secara otomatis menjadi thayyib, dan tidak semua makanan dan minuman yang dianggap halal secara otomatis menjadi halal sesuai dengan kondisi tertentu. Dalam kondisi kesehatan tertentu, ada yang halal dan bermanfaat bagi seseorang, tetapi ada juga yang tidak bermanfaat baginya, meskipun bermanfaat bagi orang lain.

Salah satu ciri tempe yang berkualitas baik adalah teksturnya yang keras dan kering, bebas dari kotoran, dan bebas dari campuran bahan lain. Tempe mempunyai daya simpan yang terbatas, maksimal dapat disimpan dalam waktu 2x24 jam. Setelah melewati batas waktu tersebut, jamur tempe akan mati dan bakteri-bakteri baru akan tumbuh, sehingga menyebabkan tempe menjadi busuk. Ciri-ciri tempe yang kualitasnya tidak bagus antara lain kapang tumbuh tidak merata atau bahkan tumbuh sama sekali, kedelai membusuk, dan tekstur tempe tetap basah disertai bercak hitam di permukaannya (Oktaviani, 2023).

Tempe dapat dikatakan memiliki mutu fisik yang baik jika memiliki ciri-ciri tertentu, antara lain warna putih merata yang menyelimuti seluruh permukaan. Warna putih tersebut berasal dari miselium kapang yang tumbuh di permukaan biji kedelai (Oktaviani, 2023). Massa tempe sebelum dan sesudah difermentasi dapat mengalami penurunan antara 10% - 20% (Jalaludin, 2023). Perubahan massa tersebut dapat disebabkan oleh menurunnya kadar air setelah fermentasi (Fatisa and Pitasari, 2016). Selama fermentasi, jamur tumbuh dan membentuk miselium yang mengikat biji kedelai. Proses ini bisa membuat tempe tampak lebih mengembang karena adanya jaringan miselium di antara biji-biji kedelai, sehingga ketebalan tempe dapat sedikit bertambah. Perubahan ketebalannya bisa sampai 43% lebih tinggi dari sebelum ditumbuhi jamur (Ariyani, 2022).

2. Fermentasi

Fermentasi secara umum diartikan sebagai proses pemanfaatan mikroba untuk menghasilkan suatu produk. Namun, dalam biokimia, fermentasi berarti proses pembentukan energi melalui pemecahan senyawa organik secara katabolik.

Pembuatan tempe dari kedelai dilakukan melalui proses fermentasi dengan menambahkan ragi khusus untuk tempe. Ragi tempe merupakan bahan yang mengandung kultur jamur tempe dan berfungsi sebagai alat untuk mengubah bahan baku menjadi tempe melalui pertumbuhan jamur dan proses fermentasi. Sifat tempe yang terdapat pada jamur *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae* berperan dalam proses pembuatan tempe. Kedua jenis jamur tersebut bisa mengubah kedelai menjadi asam amino dan protein lain yang mudah larut dan cepat diserap saat dikonsumsi (Elita, 2017).

Fermentasi tempe memerlukan suhu yang optimal untuk proses fermentasi yaitu pada suhu ruang antara 20-37°C dalam kondisi pencahayaan yang redup dan suhu paling tinggi 40° C, karena suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan kapang tempe, sehingga kapang tidak tumbuh dengan sempurna. Selain suhu, kelembaban juga memegang peranan penting dalam fermentasi (Mukhoyaroh, 2015). Kelembaban relatif untuk fermentasi tempe berkisar antara 62-85% (Triyono, Nazaruddin and Werdiningsih, 2017).

3. Suhu

Suhu atau temperatur merupakan salah satu besaran pokok dalam fisika yang menggambarkan tingkat panas atau dinginnya suatu objek dengan Satuan Internasional Kelvin (K). Simbol yang digunakan untuk melambangkan suhu yaitu (T). Alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu biasa disebut dengan termometer yang tentunya memiliki skala suhu (Farhan, 2022).

Secara Internasional, terdapat beberapa skala suhu, antara lain kelvin, celcius, reamur, dan fahrenheit. Untuk menetapkan skala suhu, sebelumnya harus ditentukan dua titik acuan suhu. Misalnya, titik leleh es yang melebur menjadi air murni adalah 0° , dan titik saat air mulai mendidih. Setelah itu, skala suhu baru dapat ditetapkan (Ramadhani, 2021).

Titik tetap bawah pada skala Reamur dan Celcius masing-masing adalah 0°R dan 0°C , sementara pada skala Fahrenheit berada pada 32°F . ketiga skala termometer tersebut menetapkan titik beku air murni pada tekanan normal sebagai acuan titik tetap bawahnya. Skala Reamur memiliki titik tetap atas 80°R , Celcius 100°C , dan Fahrenheit 212°F .

Sementara itu, skala Kelvin menetapkan titik bawahnya pada 273°K dan titik tetap atas pada 373°K , titik bawah ini didasarkan pada rata-rata energi kinetik molekul suatu zat (Kreith, 1991).

4. Kelembaban

Kelembaban udara adalah banyaknya uap air yang terdapat di atmosfer. Secara sederhana, kelembaban menunjukkan tingkat konsentrasi uap air di udara. Perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur kelembaban disebut hygrometer. Kelembaban udara merupakan tingkat kebasahan udara, karena uap air selalu selalu terdapat di dalamnya. Udara yang hangat mengandung lebih banyak uap air dibandingkan dengan udara yang dingin (Pambudi, 2019).

Beberapa istilah dikenal dalam kelembaban. Kelembaban mutlak adalah jumlah massa uap air yang terdapat dalam satuan volume udara, biasanya dinyatakan dalam (gram/m^3). Kelembaban spesifik mengacu pada rasio antara massa uap air dan massa total udara, dengan satuan (gram/kg). Sementara itu, kelembaban relatif merupakan rasio antara jumlah uap air yang ada di udara dengan jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara pada suhu

tertentu yang dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Nilai kelembaban relatif berkisar antara 0-100%, dimana 0% menandakan udara sangat kering, sedangkan 100% menunjukkan udara sangat basah (lembab) (Nurkhafidzah, 2022).

5. Android

Android merupakan sistem operasi yang dirancang untuk *smartphone* dan tablet yang meliputi aplikasi, *middleware*, dan sistem operasi. Android SDK menyediakan berbagai API dan fitur penting yang dibutuhkan untuk memulai pengembangan aplikasi berbasis Java di platform Android (Arifah, Fernando and Rusliyawati, 2022). Sistem operasi berperan sebagai "jembatan" antara perangkat (*device*) dan penggunanya, memungkinkan pengguna berinteraksi dengan perangkat serta mengoperasikan aplikasi yang ada di dalamnya (Satyapura and Aritonang, 2015).

Menurut Nazrudin (2012) yang terdapat pada artikel (Arifah, Fernando and Rusliyawati, 2022) mengatakan bahwa setelah Google Inc. mengakuisisi Android Inc., sebuah perusahaan baru yang mengembangkan perangkat lunak untuk ponsel. Kemudian untuk mendukung pengembangan

Android didirikanlah Open Handset Alliance yang merupakan koalisi dari 34 perusahaan di bidang perangkat lunak, produsen perangkat keras, dan perusahaan telekomunikasi termasuk Google, Motorola, Intel, Qualcomm, T-Mobile, dan Nvidia yang dirilis pertama kali Android pada 5 November 2007. Koalisi ini menghasilkan dua sistem distributor, yaitu *Google Mail Service* (GSM) yang didukung oleh Google dan *Open Handset Distribution* (OHD) yang distribusinya bebas tanpa didukung Google.

6. Blynk

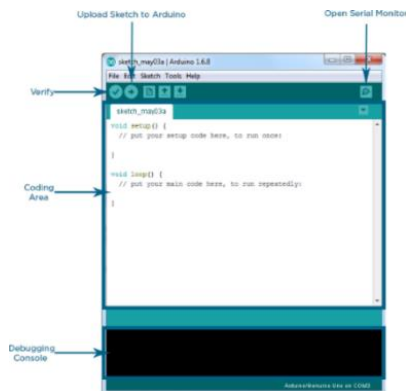


Gambar 2.2 Blynk Apps
(nyebarilmu.com)

Gambar 2.2 yaitu *Blynk Apps* yang merupakan sebuah layanan yang memungkinkan pembuatan proyek aplikasi menggunakan berbagai komponen *input* dan *output* yang mendukung proses pengiriman dan penerimaan data berdasarkan komponen yang akan digunakan (Harir, Novianta and Kristiyana, 2019).

Blynk adalah penyedia layanan distribusi dalam aplikasi untuk *smartphone* Android dan iOS yang bisa dijadikan pilihan dalam membuat layanan berbasis IoT (Harir, Novianta and Kristiyana, 2019). Saat digunakan, aplikasi Blynk memiliki kemampuan membuat proyek antarmuka dengan berbagai jenis komponen *input* dan *output*. Komponen tersebut berperan sebagai pemancar dan penerima data yang dapat ditampilkan melalui grafik, visual atau angka langsung (Tatit Juwariyah, Sugeng Prayitno, 2018).

7. Arduino IDE



Gambar 2.3 Jendela Arduino IDE
(dawudrosales.blogspot.com)

Arduino merupakan program yang menggunakan dasar Bahasa pemrograman Java yang digunakan untuk mengubah, membuat, dan membuka kode sumber Arduino yang dikenal sebagai

sketch. Kode tersebut mengandung logika dan algoritma yang akan diunggah ke mikrokontroler Arduino (Santoso, 2015). Antarmuka Arduino IDE memiliki tiga bagian utama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3 merupakan jendela *software* Arduino IDE. Pada penelitian Syahwil (2013) yang terdapat dalam artikel (Mutaqin, 2021) mengatakan bahwa pada bagian atas terdapat area perintah yang dilengkapi dengan *toolbar* berisi fitur-fitur seperti *file*, *edit*, *sketch*, *tools*, dan *help*. Bagian tengah merupakan area teks yang digunakan untuk menulis program (*Sketch*), dan bagian bawah adalah Jendela pesan yang mengirimkan pesan kesalahan untuk memperingatkan tentang kesalahan yang terjadi saat menulis *Sketch* dan kesalahan pesan (*Error*).

8. NodeMCU ESP8266

NodeMCU merupakan papan mikrokontroler berbasis ESP8266 yang dilengkapi dengan WiFi di dalamnya, ESP8266 dapat digunakan untuk proyek IoT karena memiliki kemampuan untuk terhubung ke internet (Mariza Wijayanti, 2022). ESP8266 dengan kemampuan pemrosesan dan penyimpanan yang tinggi, memungkinkan NodeMCU diintegrasikan

dengan mudah ke sensor dan berbagai aplikasi lainnya melalui pin GPIO. Ini juga sederhana untuk dikembangkan dan tidak membutuhkan banyak beban (Hidayat, Christiono and Sapudin, 2018).



Gambar 2.4 Mikrokontroler NodeMCU
(www.wikipedia.id)

Gambar 2.4 merupakan mikrokontroler NodeMcu yang dapat diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino IDE, kemudian mengirimkan program tersebut melalui *port* USB yang tersedia pada modul NodeMCU. Pada dasarnya, NodeMCU adalah pengembangan dari ESP8266 yang menggunakan *firmware* e-Lua. Selain memiliki port USB, NodeMCU memiliki tombol *flash* dan *reset*. Jika tidak menggunakan bahasa pemrograman Arduino IDE, NodeMCU menggunakan bahasa pemrograman Lua yang merupakan paket yang diberikan oleh ESP8266. Bahasa Lua memiliki struktur pemrograman dan logika yang sama dengan bahasa C, kecuali sintaknya. Program Lua membutuhkan alat

Lua *loader* atau *uploader* (Efendi, 2018). Perbedaan antara penggunaan arduino IDE dan bahasa Lua adalah jika menggunakan arduino IDE diperlukan *firmware* keluaran dari Ai-thinker yang sudah *support* dengan AT Command, sedangkan untuk penggunaan *tool Lua loader* digunakan *firmware* NodeMCU (Hidayat, Christiono and Sapudin, 2018).

9. Sensor DHT22

Sensor DHT22 merupakan sensor yang dapat mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya, DHT22 termasuk sensor suhu dan kelembaban digital berbiaya rendah, sensor ini menggunakan sensor kelembaban berbasis kapasitor yang dikombinasikan dengan komponen sensor suhu. Output sensor adalah sinyal digital yang akan ditransfer ke pin data yang sesuai. Sensor ini memiliki kalibrasi akurat yang bekerja dalam rentang suhu dan kelembaban yang luas (Abdulrazzak, Bierk and Aday, 2018).



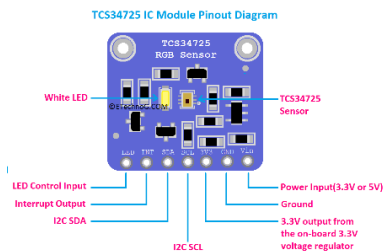
Gambar 2.5 Sensor DHT22
(www.amazon.co.uk)

Gambar 2.5 merupakan sensor DHT22 yang beroperasi pada kelembaban antara 0 –100% dengan akurasi $\pm 2\%$ dan suhu antara $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang memiliki akurasi $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Suwandi, 2024). Komponen sensor kelembaban yang terdapat dalam DHT22 terbentuk dari dua elektroda dan substrat penahan kelembaban. Substrat tersebut biasanya terbuat dari garam plastik konduktif atau polimer. Saat uap air diserap oleh substrat, ion-ion dilepaskan dan menyebabkan peningkatan konduktivitas antara elektroda. Perubahan resistansi di antara kedua elektroda berbanding lurus dengan tingkat kelembaban relatif. Semakin tinggi kelembaban relatif, maka resistansi antar elektroda akan semakin rendah, sedangkan kelembaban relatif yang lebih rendah akan menyebabkan resistansi lebih tinggi (Juwariyah, Krisnawati and Sulasminingsih, 2020).

Cara kerja DHT22 dalam mengukur suhu didasarkan pada adanya thermistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) yang terdapat di dalam sensornya, dan pada dasarnya thermistor bekerja dengan prinsip bahwa perubahan suhu akan mempengaruhi nilai resistansinya. Sensor ini menggunakan thermistor tipe NTC yang nilai

resistansi NTC lebih rendah ketika suhu di sekitar sensor lebih tinggi, dan sebaliknya nilai resistansinya lebih tinggi ketika suhu ruangan di sekitar sensor lebih rendah. Perubahan resistansi tersebut menghasilkan output berupa nilai analog yang dapat dibaca oleh arduino dan dikonversi menjadi suhu dalam satuan derajat Celcius ($^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban dalam satuan persen (%) (Kurniawan, 2020).

10. Sensor TCS34725



Gambar 2.6 Sensor TCS34725
(esphome.id)

Gambar 2.6 adalah sensor TCS34725 yang merupakan sensor warna yang mempunyai photodiode untuk mendeteksi warna merah, hijau, biru, dan clear serta memiliki filter pemblokiran IR (inframerah) (Rahmanto, Prasajo and Handayani, 2022). Filter IR membuat lebih banyak warna yang lebih nyata daripada sensor lain, karena manusia tidak dapat melihat inframerah. Sensor ini memiliki

rentang dinamis 3,800,000:1 dengan waktu integrasi dan penguatan yang dapat disesuaikan, sehingga cocok untuk digunakan di balik kaca gelap. Temperatur LED sensor 4150°K, sehingga warnanya netral, dan regulator 3.3V memungkinkannya digunakan dengan tegangan 3.3V atau 5V. Level logika output memungkinkan LED untuk dinyalakan atau dimatikan dengan mudah (Rahmanto, Prasajo and Handayani, 2022).

TCS34725 adalah sensor warna yang dapat mengubah cahaya menjadi data digital. Sensor ini memiliki susunan 12 fotodioda (3 x 4) yang terdiri dari filter warna merah, hijau, biru, dan transparan (tanpa filter). Sensor ini juga dilengkapi dengan empat konverter analog-ke-digital (ADC) yang mengubah arus dari fotodioda menjadi data digital 16-bit. Setelah proses pengukuran selesai, hasilnya disimpan dalam register data dengan sistem buffer ganda agar data tetap akurat. Semua proses dalam sensor, termasuk mode hemat daya, dikendalikan oleh sistem otomatis (state machine) (Watson, 2024).

TCS34725 merupakan sensor yang memiliki prinsip kerja yaitu LED akan menyala untuk menerangi objek yang terdeteksi. Cahaya yang

dipantulkan kemudian dianalisis untuk mengetahui perbandingan warna merah (R), hijau (G), dan biru (B) menggunakan filter, sehingga warna objek dapat dikenali berdasarkan rasio RGB. TCS34725 pada dasarnya memiliki empat fotodioda yang mendeteksi intensitas cahaya merah, hijau, biru, dan bening (tanpa filter). Fotodioda ini mengukur cahaya yang dipantulkan dari suatu objek. IR (*infrared*) internal memblokir, menyaring, dan menghilangkan gangguan dari cahaya inframerah, yang dapat mendistorsi pembacaan warna. Sensor mengubah intensitas cahaya yang terdeteksi menjadi nilai digital 16-bit menggunakan konverter analog-ke-digital (ADC) pada chip. Ketika sensor warna dihubungkan ke mikrokontroler, nilai digital untuk cahaya merah, hijau, biru, dan bening dikirim ke Arduino melalui komunikasi I2C (Watson, 2024).

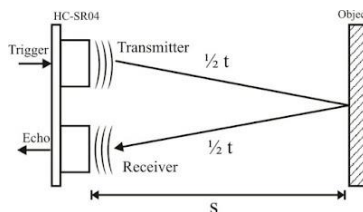
11. Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi jarak antara sensor dan suatu benda. Sensor ini memiliki empat pin utama, yaitu Ground, Echo, Trigger, dan VCC. HC-SR04 beroperasi dengan tegangan DC 5V, memiliki arus kerja sebesar 15 mA, dan

menggunakan frekuensi kerja 40kHz, Jarak minimal pengukurannya adalah 2 cm dan jarak maksimalnya adalah 400 cm, pengukuran sudut 15 derajat, dan sinyal pemicu berupa pulsa TTL selama 10 mikrodetik. Sensor ini berfungsi dengan cara mengirimkan gelombang ultrasonik dan menghitung waktu yang diperlukan gelombang tersebut untuk dipantulkan kembali oleh suatu objek, sehingga dapat menentukan jarak dengan akurat (Arifin, Febriyani Pratiwi and Janrafsasih, 2022). Gambar 2.7 di bawah merupakan tampilan fisik HC-SR04.



Gambar 2.7 Sensor HC-SR04
(www.elangsakti.com)



Gambar 2.8 Ilustrasi Cara Kerja HC-SR04
(www.aldyrazor.com)

Gambar 2.8 merupakan ilustrasi cara kerja HC-SR04 yang memiliki prinsip kerja yang mengacu

prinsip pantulan gelombang ultrasonik, sensor ini dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan jarak suatu objek dengan menggunakan frekuensi tertentu. Gelombang ultrasonik dibangkitkan oleh transmitternya yaitu piezoelektrik yang bekerja pada frekuensi tertentu. Piezoelektrik akan menghasilkan memancarkan gelombang ultrasonik ketika diberi sinyal dari osilator dengan frekuensi 40 kHz. Secara umum, sensor ini memancarkan gelombang ultrasonik yang diarahkan ke suatu area atau objek sasaran, saat gelombang tersebut mengenai permukaan objek, gelombang tersebut akan memantul kembali dan kemudian ditangkap oleh sensor. Setelah menerima pantulan, sensor menentukan dengan menghitung perbedaan waktu antara saat gelombang dipancarkan dan saat diterima kembali untuk menentukan jarak objek tersebut. Selang waktu ini berbanding lurus dengan jarak antara sensor dan benda, sehingga proses perhitungan jarak dengan sensor ultrasonik didasarkan pada rumus kecepatan dalam Gerak Lurus Beraturan, dengan kecepatan rambat sebesar 340 m/s, sehingga untuk menghitung antara jarak antara sensor dan benda dapat digunakan persamaan 2.1:

$$s = \frac{340t}{2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

s = Jarak (m)

t = Selisih waktu dipancarkan dan diterimanya gelombang (s)

(Khasanah, 2023).

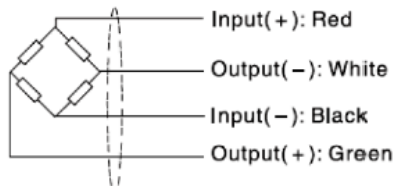
12. Load Cell



Gambar 2.9 Load Cell
(e-katalog.lkpp.go.id)

Gambar 2.9 adalah load cell yang merupakan sensor yang dirancang untuk mengukur tekanan atau berat suatu benda. Sensor ini umumnya digunakan dalam sistem timbangan digital dan dapat digunakan pada jembatan timbang untuk mengukur berat truk yang membawa bahan baku (Vesdiyanto, 2019). Load cell bekerja berdasarkan prinsip tekanan dengan menggunakan *strain gauge* sebagai elemen pendeteksinya (Lusi, Ch.Louk and Warsito, 2018). Load cell berfungsi mengubah regangan pada logam menjadi perubahan resistansi, yang kemudian menghasilkan sinyal listrik sebanding dengan berat yang terdeteksi. Sensor ini mampu memberikan

output yang sesuai atau proporsional dengan gaya atau beban yang diterapkan (Sari *et al.*, 2020).

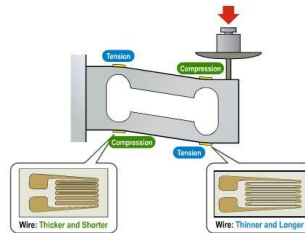


Gambar 2.10 Konfigurasi Kabel Load Cell

Gambar 2.10 menunjukkan susunan kabel load cell, seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 terdapat empat kabel dengan warna merah, putih, hitam, dan hijau. Kabel merah berfungsi sebagai *input* tegangan sensor, kabel hitam berfungsi sebagai *input ground*, kabel putih sebagai *output ground* dari sensor, dan kabel warna hijau merupakan *output* positif dari sensor. Tegangan *output* yang dihasilkan oleh sensor ini berkisar sekitar 1,2 mV (Ayuningtyas, 2018).

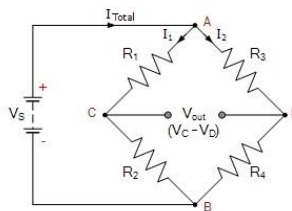
Prinsip kerja load cell didasarkan pada perubahan resistansi yang terjadi karena regangan pada *foil metal strain gauge*. Ketika beban diberikan pada bagian elastis load cell, tekanan yang timbul mengakibatkan perubahan resistansi yang sebanding dengan besarnya gaya yang diterapkan. Tekanan yang dihasilkan kemudian dikonversi menjadi sinyal

tegangan melalui komponen pendukung yang ada dalam sistem (Ayuningtyas, 2018).



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Load Cell

Gambar 2.11 merupakan prinsip kerja load cell dalam mendeteksi perubahan tekanan dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Selama proses penimbangan, elemen logam pada load cell kan bereaksi dengan menghasilkan gaya elastis saat menerima beban. Gaya yang timbul dari regangan ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik oleh *strain gauge* yang terpasang pada load cell. Gambar 2.12 menunjukkan skema *Jembatan Wheatstone*, yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan resistansi akibat regangan tersebut (Ayuningtyas, 2018).



Gambar 2.12 Kerangka Jembatan Wheatstone

Gambar 2.12 merupakan kerangka *jembatan wheatstone*, salah satu kawat regangan bagian atas load cell dihubungkan ke kutub positif dari sumber eksitasi, sedangkan kawat pada bagian bawah tersambung ke kutub negatif atau ground. Dua kawat lainnya bertemu pada satu titik untuk membentuk simpul tengah cabang yang berfungsi sebagai *output* positif jembatan, sementara *output* negatif berada pada titik tengah antara dua resistor referensi. Secara teoritis, cara kerja load cell bekerja pada prinsip *Jembatan Wheatstone*, karena beban yang diberikan menyebabkan perubahan nilai resistansi. Ketika beban diterapkan, resistansi pada R_1 dan R_3 menurun, sedangkan resistansi R_2 dan R_4 meningkat. Komponen R_1 , R_2 , dan R_3 merupakan resistor tetap dengan akurasi tinggi, sedangkan R_4 bersifat variabel sehingga nilai resistansinya dapat berubah. Namun, dalam beberapa kondisi, R_4 juga bisa berupa resistor tetap dengan nilai hambatan yang tidak diketahui (Ayuningtyas, 2018).

Selama pengukuran untuk mengetahui nilai R_4 , resistor R_3 akan disesuaikan hingga tidak ada arus yang mengalir dalam rangkaian, yang dapat diamati melalui indikator arus pada Galvanometer. Pada

kondisi ini, arus pada rangkaian resistor bernilai 0 atau disebut sebagai kondisi "null". Situasi ini di mana tidak terjadi aliran arus pada *Jembatan Wheatstone* disebut sebagai kondisi seimbang atau lebih dikenal sebagai kesetimbangan nol (*null balance*). Ketika *Jembatan Wheatstone* diberikan beban, dan hubungan antara resistansi menjadi $R_1 = R_4$ dan $R_2 = R_3$. Perubahan ini menyebabkan ketidakseimbangan dalam sensor load cell, yang mengakibatkan munculnya beda potensial. Output sensor load cell dihasilkan dari beda potensial ini. Dalam kondisi setimbang, tegangan keluaran (V_{out}) load cell = 0 volt. Akan tetapi, saat nilai resistansi R_1 dan R_3 meningkat, tegangan keluaran (V_{out}) juga mengalami perubahan. Pada sisi output load cell, sinyal positif (+) dipengaruhi oleh perubahan pada resistansi terjadi perubahan pada V_{out} . Pada output load cell, data positif (+) dipengaruhi oleh perubahan resistansi R_1 , sementara sinyal negatif (-) ditentukan oleh perubahan pada resistansi R_3 (Ayuningtyas, 2018).

13. Modul HX711

Modul HX711 yang merupakan chip elektronik buatan "AVIA SEMICONDUCTOR" yang memiliki

akurasi tinggi dalam mengkonversi sinyal analog menjadi digital (24-bit). Komponen ini dirancang untuk bekerja dengan sensor jembatan wheatstone, yang sering digunakan untuk mengukur perubahan fisik seperti gaya atau tekanan menjadi sinyal listrik. HX711 kemudian mengubah sinyal listrik ini menjadi data digital yang dapat diproses dibaca oleh perangkat komputer atau mikrokontroler, sehingga memungkinkan pengukuran yang sangat presisi dalam berbagai aplikasi, termasuk timbangan digital dan sistem kontrol industri. Gambar 2.13 merupakan modul HX711 yang tersusun dari berbagai komponen yang saling terintegrasi, seperti transistor, kapasitor, resistor, dan IC HX711 yang memiliki fungsi sebagai penguat, regulator, dan osilator sehingga dapat mengeluarkan data output digital. (Sari *et al.*, 2020).



Gambar 2.13 Modul HX711
(cronyos.com)

14. Relay

Relay adalah suatu komponen elektronika yang berfungsi sebagai saklar dalam proyek elektronika.

Relay bekerja secara otomatis menggunakan tegangan listrik dan terdiri dari dua bagian utama, yaitu kumparan sebagai elektromagnetik dan beberapa kontak yang menjalankan fungsi mekanisnya (Efendi, 2018).



Gambar 2.14 Relay Modul
(store.ichibot.id)

Gambar 2.14 merupakan modul Relay yang diperlukan sebagai eksekutor. Selain berfungsi sebagai eksekutor, relay juga berfungsi sebagai penghubung antara sistem kendali dan beban, yang memiliki perbedaan tegangan pada sumber daya listrik. Secara fisik, bagian saklar atau kontaktor dan elektromagnet pada relay terpisah, sehingga sistem kendali dan beban tidak langsung terhubung langsung (Turang, 2015).

15. Lampu Pemanas Keramik Infrared

Lampu pemanas keramik *infrared* adalah perangkat pemanas yang memanfaatkan teknologi *infrared* untuk menghasilkan panas. Lampu ini

memiliki elemen pemanas yang terbuat dari keramik yang dipanaskan hingga menghasilkan radiasi *infrared*. Gambar 2.15 merupakan lampu pemanas keramik *infrared* yang berfungsi sebagai penghangat ruangan. Cara kerja lampu tersebut dengan menggunakan prinsip termodinamika biasa, yaitu menggunakan panas lalu dialirkan ke wilayah bertemperatur rendah agar menjadi lebih hangat (Suryadiwansa Harun, Herlinawati, 2023).



Gambar 2.15 Pemanas Keramik
(akvarimplus.hu)

16. Exhaust Fan



Gambar 2.16 Exhaust Fan
(shopee.com)

Exhaust fan adalah tipe kipas yang berfungsi untuk menjaga dan mengatur sirkulasi udara dalam

ruangan atau rumah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16. *Exhaust fan* berperan dalam mengeluarkan udara panas dari dalam ruangan ke luar, sekaligus mengalirkan udara segar dari luar ke dalam ruangan secara bersamaan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16. Selain itu, *exhaust fan* juga dapat mengontrol jumlah udara yang bersirkulasi di dalam ruangan. Untuk menjaga kualitas udara tetap baik, diperlukan sirkulasi yang memungkinkan udara luar masuk ke dalam ruangan secara rutin (Rombang, Setyawan and Dewantoro, 2022).

17. Liquid Crystal Display (LCD) 16X2



Gambar 2.17 LCD 16X2
(circuitgeks.com)

Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 merupakan salah satu jenis tampilan elektronik yang dirancang menggunakan teknologi CMOS (Anantama *et al.*, 2020). LCD digunakan untuk menampilkan nilai suatu besaran atau angka, sehingga informasi

tersebut dapat dibaca dan diketahui melalui tampilan layar kristalnya

Gambar 2.17 adalah LCD 16x2 yang memiliki 16 pin, dimana setiap pin memiliki simbol dan fungsi tertentu. LCD ini bekerja pada catu daya +5V, namun juga dapat berfungsi pada catu daya +3V (Yuliani *et al.*, 2017). Karakteristik LCD16x2 meliputi 16 kolom dan 2 baris, dikenal juga dengan sebutan LCD16x2, mampu menampilkan hingga 192 karakter, mendukung mode operasi 4 bit maupun 8 bit, dan dapat dioperasikan dengan fitur pencahayaan belakang (*backlight*) (Suprianto, 2015).

B. Kajian Pustaka

1. Rizaldi (2018), mengembangkan sistem kendali pengontrol suhu dengan menggunakan sensor SHT11 dan mikrokontroler Arduino UNO R3 dan *software* Arduino IDE dengan set point suhu 30°C dan kelembaban 62%, pemanas berupa lampu 250W dengan pendingin dua buah kipas DC 12V, data yang didapatkan ditampilkan pada laptop. Persamaan dengan penelitian sebelumnya sama menggunakan *software* Arduino IDE. Namun terdapat perbedaan diantaranya mikrokontroler yang digunakan peneliti menggunakan Arduino UNO R3, untuk penelitian kali

ini menggunakan ESP8266, sensor suhu dan kelembaban yang digunakan berbeda, peneliti menggunakan SHT11, sedangkan untuk penelitian kali ini menggunakan DHT22, serta pemanas yang digunakan juga berbeda yaitu peneliti menggunakan lampu pijar, sedangkan penelitian kali ini menggunakan lampu pemanas keramik *infrared*. Perbedaan lainnya yaitu ditambahkan sensor warna TCS34725 yang berfungsi monitoring kematangan tempe, Load Cell untuk mengetahui massa tempe, dan HC-SR04 untuk mengetahui ketebalan jamur pada tempe. Sistem komunikasi penelitian kali ini sudah menggunakan android dengan kelebihan perangkat tidak ada batasan jarak.

2. Santoso (2022), mengembangkan inkubator tempe berbasis IOT (*Internet Of Things*) dengan menggunakan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban, sensor LDR untuk mengukur cahaya dengan mikrokontroler ESP8266 dan terhubung ke aplikasi Blynk. Persamaan dengan penelitian sebelumnya sama menggunakan mikrokontroler ESP8266. Namun pada penelitian kali ini menggunakan sensor DHT22, ditambahkan sensor warna TCS34725 yang berfungsi untuk mengetahui

tingkat kematangan tempe, Load Cell untuk mengetahui massa tempe, dan HC-SR04 untuk mengetahui ketebalan jamur pada tempe.

3. Ariyani (2022) mengembangkan pengendali suhu dan kelembaban dan menentukan kematangan sesuai ketebalan jamur pada proses fermentasi tempe dengan menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontrolernya, sensor DHT11 untuk mengetahui nilai suhu dan kelembaban, dan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengetahui ketebalan jamur pada tempe, dan *software* Arduino IDE. Persamaan dengan penelitian sebelumnya sama menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengetahui ketebalan tempe dan *software* Arduino IDE. Namun terdapat perbedaan diantaranya mikrokontroler dan sensor suhu dan kelembaban yang digunakan peneliti menggunakan Arduino UNO dan DHT11, untuk penelitian kali ini menggunakan ESP8266 dan DHT22, perbedaan lainnya yaitu sudah berbasis android, dan untuk mengetahui tingkat kematangan ditambahkan sensor TCS34725 yang akan mendeteksi kematangan dari warna tempe dan Load Cell yang akan mendeteksi massa tempe.

4. Istiadi (2023) mengembangkan inkubator deteksi kematangan tempe untuk pengrajin keripik tempe dengan menggunakan sensor warna TCS3200, DHT11 untuk monitoring suhu dan kelembaban, arduino sebagai mikrokontroler, dan modul ESP8266 untuk mengkoneksikan ke wifi dan ditampilkan di aplikasi android. Penelitian tersebut mampu menghasilkan kematangan tempe kurang dari 20 jam. Namun terdapat perbedaan diantaranya pada penelitian kali ini tidak digunakan arduino akan tetapi langsung digunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, TCS34725 sebagai sensor untuk mendeteksi kematangan, DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembaban, Load Cell untuk mengetahui massa tempe, HC-SR04 untuk mendeteksi ketebalan jamur serta suhu dapat dikendalikan melalui aplikasi android.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian pengembangan yang dikenal juga sebagai R&D (*Research and Development*). Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menghasilkan pengembangan alat pengendali suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22, sensor TCS34725, sensor Load Cell, dan sensor HC-SR04 berbasis android untuk mempercepat fermentasi tempe.

B. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan dari bulan Februari sampai Juni 2025. Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu tahap perancangan dan tahap pengujian prototipe. Perancangan *hardware*, *software*, dan desain prototipe dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang dan pengujian keseluruhan prototipe dilakukan di Desa Kalitengah, Kec. Pancur, Kab. Rembang, Provinsi Jawa Tengah.

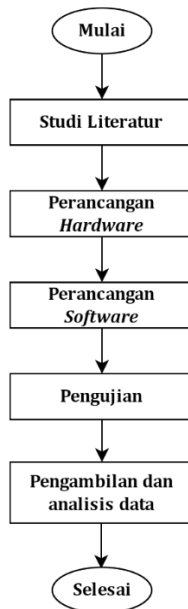
C. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Software Arduino IDE: digunakan untuk pemrograman alat.
2. Aplikasi Blynk: digunakan untuk monitoring dan kontrol hardware.
3. Kabel USB: digunakan untuk upload program.
4. ESP8266: digunakan sebagai mikrokontroler.
5. Relay: digunakan sebagai saklar.
6. Sensor DHT22: digunakan sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban.
7. Sensor TCS34725: digunakan sebagai pendeteksi warna.
8. Sensor HC-SR04: digunakan sebagai pendeteksi ketebalan jamur pada tempe.
9. Sensor Load Cell: digunakan sebagai pendeteksi massa pada tempe.
10. Lampu pemanas keramik 25W: digunakan sebagai pemanas suhu.
11. *Exhaust fan* 5V: digunakan sebagai pendingin suhu.
12. LCD 16x2 I2C: digunakan untuk menampilkan suhu dan kelembaban.
13. Kabel: digunakan untuk menyambung komponen dan mikrokontroler.

D. Prosedur Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan pada penelitian pengembangan prototipe pengendali suhu, kelembaban, dan tingkat kematangan pada proses fermentasi melalui aplikasi android ditunjukkan pada Gambar 3.1:



Gambar 3.1 Prosedur Penelitian

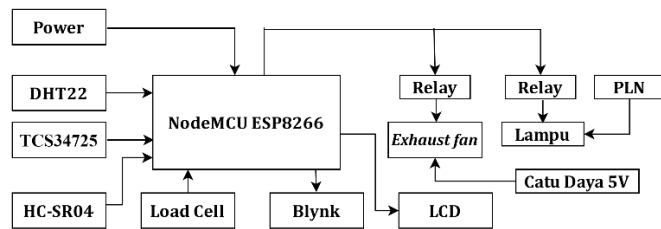
1. Studi Literatur

Langkah pertama dalam penelitian ini yaitu mencari referensi yang berkaitan dengan penelitian ini. Sumber referensi ini berasal dari buku-buku dan

jurnal penelitian dan dimaksudkan untuk membantu dalam proses perancangan dan pelaksanaan penelitian ini sesuai dengan tujuan. sehubungan dengan literatur yang relevan fermentasi tempe, alat aplikasi android.

2. Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

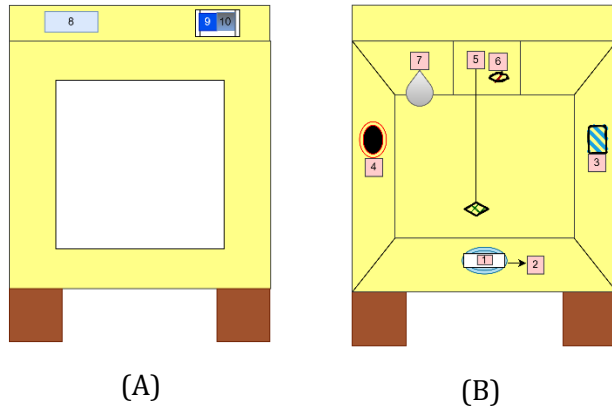
Langkah kedua adalah tahap perancangan perangkat keras yang meliputi perancangan prototipe pengendali fermentasi tempe.



Gambar 3.2 Desain Prototipe

Gambar 3.2 yang merupakan desain *hardware* prototipe meliputi ESP8266 dimanfaatkan sebagai pengendali mikro untuk mengolah data dan menghubungkan rangkaian dengan *Smartphone* Android melalui WiFi. ESP8266 yang disambungkan dengan sensor DHT22, relay, LCD, sensor TCS34725, sensor Load Cell, dan sensor HC-SR04. Secara operasional, ESP8266 memproses data sensor

DHT22 kemudian ditampilkan pada LCD sistem dan data dari sensor DHT22, TCS34725, Load Cell, dan HC-SR04 pada *Smartphone*.



Keterangan:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Tempe | 6. TCS34725 |
| 2. Load Cell | 7. Lampu |
| 3. DHT22 | 8. LCD |
| 4. <i>Exhaust fan</i> | 9. Relay |
| 5. HC-SR04 | 10. NodeMCU ESP8266 |

Gambar 3.3 Desain Sistem Prototipe Keseluruhan (A) Tampak depan (B) Tampak dalam prototipe

Gambar 3.3 merupakan *platform* prototipe pengendali fermentasi tempe. Penjelasan dari detail alat sebagai berikut:

- a. Kerangka prototipe pengendali fermentasi tempe dibuat inkubator menggunakan bahan

dasar kayu karena dari segi biaya yang terjangkau dan mudah untuk dimodifikasi.

- b. ESP8266 yang ditempatkan di kerangka bagian atas yang berfungsi sebagai mikrokontroler.
- c. Sensor DHT22 diletakkan di dalam kerangka yang berfungsi untuk memonitoring suhu dan kelembaban dalam kerangka pengendali fermentasi tempe.
- d. Sensor TCS34725 diletakkan di dalam kerangka yang berfungsi untuk mengetahui tingkat kematangan tempe dalam kerangka pengendali fermentasi tempe.
- e. Sensor Load Cell diletakkan di dalam kerangka bagian bawah yang berfungsi untuk mengetahui massa pada tempe.
- f. Sensor HC-SR04 diletakkan di dalam kerangka yang berfungsi untuk mengetahui ketebalan jamur pada tempe.
- g. Lampu diletakkan di dalam kerangka yang berfungsi sebagai pemanas suhu dalam kerangka pengendali fermentasi tempe.
- h. *Exhaust fan* diletakkan di dalam kerangka yang berfungsi sebagai pendingin jika suhu di dalam kerangka terlalu panas.

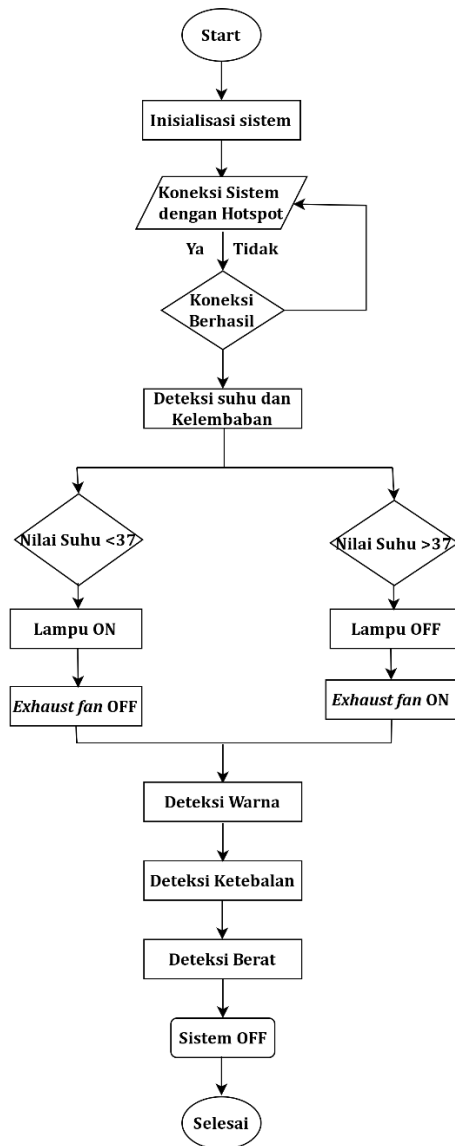
- i. Relay diletakkan di atas kerangka yang berfungsi sebagai saklar dari lampu dan *fan*.
- j. LCD diletakkan di atas kerangka yang berfungsi untuk mengetahui suhu dan kelembaban yang dideteksi oleh sensor DHT22.

3. Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Langkah ketiga yaitu tahap perancangan aplikasi Blynk, program dan ESP8266 melalui Arduino IDE. Program source code dibuat agar sistem yang dibuat dapat berjalan dengan baik. Gambar 3.4 menunjukkan diagram sistem prototipe pengendali fermentasi tempe.

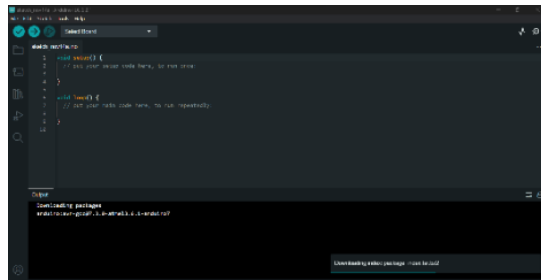
a. Perancangan Aplikasi Blynk

Salah satu platform IoT gratis adalah Blynk, yang dapat diunduh di *App Store* dan *Google Play Store*. Setelah *mendownload* aplikasi Blynk melalui *smartphone*, langkah selanjutnya adalah mendaftar dengan akun. Setelah pendaftaran akun berhasil, akan menerima "token autentikasi" melalui email yang digunakan saat melakukan pendaftaran akun. "Token autentikasi" digunakan untuk menghubungkan *smartphone* ke server *Blynk Cloud*.



Gambar 3.4 Diagram Alir Sistem Prototipe Suhu Maksimum

b. Perancangan Arduino IDE



Gambar 3.5 Desain *Software* Arduino IDE

Gambar 3.5 merupakan perancangan software arduino IDE yang digunakan sebagai bahasa pemrograman yang mendukung board pemrograman ESP8266. Program Arduino IDE adalah antarmuka antara perangkat lunak dan perangkat keras dengan menggunakan pemrograman bahasa C#. Data masukan dari sensor akan diproses di Arduino IDE versi 2.3.4 dengan pengkodean yang berisi tentang suhu, kelembaban, jarak, massa, dan warna.

4. Pengujian

Langkah keempat adalah pemeriksaan komponen elektronik, seperti sensor DHT22, TCS34725, HC-SR04, dan koneksi data. Langkah ini sangat penting karena dapat mempengaruhi

seberapa baik alat praktikum dapat digunakan. Rincian pengujian dirancang sebagai berikut:

1. Perancangan Pengujian Sensor DHT22

Pengujian karakteristik sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukurannya dengan termometer untuk mengetahui karakteristiknya. Seperti yang dinyatakan oleh (Wahyudi and Lestari, 2019), perbedaan antara pengukuran sensor dan alat ukur dapat dibagi dengan nilai pengukuran alat ukur, lalu dikalikan dengan 100%. Oleh karena itu, persamaan berikut dapat digunakan untuk mengetahui kesalahan dan ketelitian pengukuran sensor DHT22:

$$Error = \frac{T_i}{T_T} 100\% \quad (3.1)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (3.2)$$

Keterangan:

T_i = selisih pengukuran sensor dengan termometer.

T_T = pengukuran dengan termometer.

T_s = pengukuran dengan sensor.

2. Perancangan Pengujian Sensor HC-SR04

Pengujian sensor jarak dilakukan untuk mengetahui akurasi dan ketelitian pada sensor jarak. Acuan pada pengukuran sensor jarak

adalah mistar, pengujian dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Error = \frac{h_i}{h_M} 100\% \quad (3.3)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (3.4)$$

Keterangan:

h_i = selisih pengukuran sensor dengan mistar.

h_M = pengukuran dengan mistar.

h_s = pengukuran dengan sensor.

3. Perancangan Pengujian Sensor TCS34725

Pengujian sensor warna dilakukan untuk mengetahui ketelitian pada sensor warna. Acuan pada pengujian sensor warna adalah dengan membandingkan warna dengan mengamati secara langsung dan warna pembacaan oleh sensor. Pembacaan dari sensor digunakan untuk menentukan nilai ambang indikator kematangan tempe yang sesuai untuk dikalibrasikan dan disesuaikan dengan warna objek yang diamati berdasarkan warna red, green, dan blue.

4. Perancangan Pengujian Sensor Load Cell

Pengujian sensor Load Cell dilakukan untuk mengetahui akurasi dan ketelitian pada sensor Load Cell. Acuan pada pengujian sensor warna adalah dengan membandingkan hasil

pengukurannya dengan pengukuran menggunakan timbangan yang sudah ada. pengujian dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Error = \frac{m_i}{m_T} 100\% \quad (3.7)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (3.8)$$

Keterangan:

m_i = selisih pengukuran sensor dengan timbangan.

m_T = pengukuran dengan timbangan.

m_s = pengukuran dengan sensor.

Akurasi pada sensor dapat dikategorikan dari nilai pembacaan akurasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kategori Akurasi Sensor

Kategori	Range Akurasi
Sangat baik	akurasi \geq 99%
Baik	95% \leq akurasi <99%
Cukup baik	90% \leq akurasi<95%
Kurang akurat	70% \leq akurasi<90%
Tidak Akurat	70%>akurasi

5. Perancangan Pengujian Otomasi Alat

Pengujian otomatisasi alat bertujuan untuk mengontrol dan mengatur aktuator agar bekerja sesuai dengan parameter yang telah ditentukan, berdasarkan informasi yang diterima dari sensor oleh mikrokontroler

NodeMCU ESP8266. Proses pengujian dilakukan dengan menyusun seluruh komponen menjadi satu sistem yang terintegrasi dalam mengirimkan instruksi melalui Arduino IDE.

6. Perancangan Pengujian Aplikasi *Smartphone*

Pengujian aplikasi *smartphone* dilakukan untuk memastikan bahwa aplikasi yang telah dikembangkan dapat berjalan dengan baik. Pengujian ini mencakup verifikasi pengiriman serta pembacaan data dan juga pemeriksaan fungsi kendali instrumen melalui tombol-tombol yang telah tersedia dalam aplikasi *smartphone*.

7. Perancangan Pengujian Komunikasi Data

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketepatan data yang dikirim secara *real-time*.

8. Perancangan Pengujian Alat secara Keseluruhan

Pengujian keseluruhan mencakup evaluasi kinerja prototipe alat serta aplikasi pengontrolnya. Seluruh parameter yang terlibat akan diuji dalam tahap ini. Variasi data yang dianalisis dalam penelitian mencakup suhu, kelembaban, jarak, massa, dan warna. Setelah data diperoleh, dilakukan pengolahan untuk

menentukan tingkat akurasi dari prototipe sistem kendali fermentasi tempe.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Rancang Bangun Prototipe

Prototipe pengendali suhu, kelembaban, dan monitoring tingkat kematangan tempe memiliki ukuran 30 cm x 30 cm x 40 cm dengan menggunakan kayu dan triplek setebal 8 mm sebagai bahan inkubatornya. Rancang bangun prototipe meliputi tiga bagian, yaitu masukan atau *input*, pemrosesan data, dan *output*.

Input merupakan nilai awal yang ditentukan berdasarkan hasil deteksi dari sensor DHT22, HC-SR04, TCS34725, dan Load Cell. Hasil deteksi suhu dan kelembaban udara sensor DHT22 berkaitan dengan lampu pemanas keramik untuk meningkatkan suhu di dalam prototipe inkubator fermentasi tempe dan *exhaust fan* untuk menurunkan suhu dengan membuang udara panas yang ada dalam prototipe inkubator fermentasi tempe keluar. Selain itu, informasi mengenai ketebalan, warna, dan massa tempe diperoleh dari masing-masing sensor sebagai parameter utama untuk monitoring proses fermentasi tempe dari awal ketika tempe dalam kondisi mentah sampai tempe matang dan siap dikonsumsi.

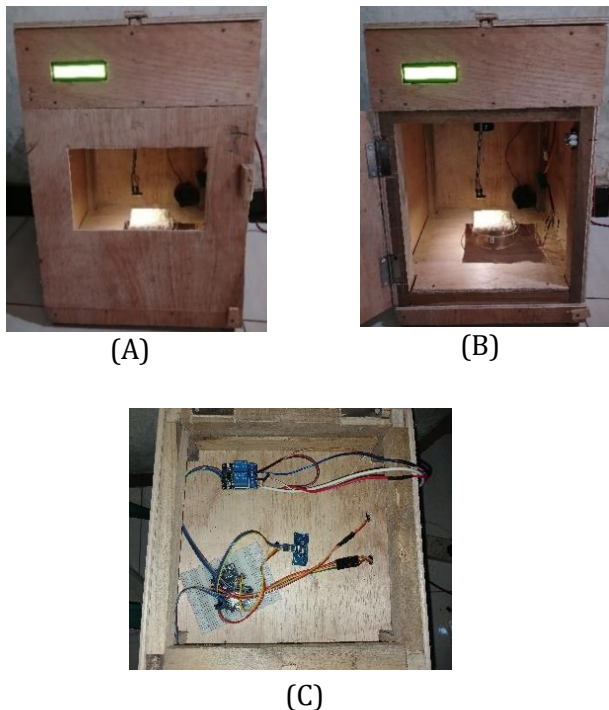
Nilai *set point* untuk sensor DHT22 meliputi *set point* suhu minimum yaitu 30°C, suhu medium dengan *set*

point 34°C, dan *set point* suhu maksimum yaitu 37°C. Ketika menggunakan *set point* suhu minimum, saat suhu melebihi 30°C maka lampu pemanas akan mati (*OFF*) dan *exhaust fan* akan menyala (*ON*). Saat menggunakan *set point* suhu medium, maka ketika suhu melebihi 34°C *exhaust fan* akan hidup (*ON*) lampu pemanas akan mati (*OFF*). Ketika menggunakan *set point* suhu maksimum, maka ketika suhu melebihi 37°C lampu pemanas akan mati (*OFF*) dan *exhaust fan* akan menyala (*ON*). Setelah nilai awal ditentukan selanjutnya yaitu pemrosesan data hasil deteksi sensor.

Hasil deteksi sensor diperiksa dan diproses melalui pemrosesan data untuk mencegah error. Pemrosesan data dilakukan oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan Blynk server. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pengendali keseluruhan sistem sedangkan Blynk server berfungsi untuk menampung hasil pembacaan sensor sekaligus menjadi penghubung antara mikrokontroler dan aplikasi Android. Setelah nilai-nilai tersebut diproses tanpa kesalahan, tahap selanjutnya adalah *output*.

Output adalah tindakan yang dapat dilakukan setelah pemrosesan data selesai. Terdapat tiga *output* dalam rancang bangun prototipe pengendali suhu dan kelembaban untuk monitoring tingkat kematangan pada

proses fermentasi tempe yang dibuat, yaitu tampilan hasil pengukuran suhu dan kelembaban pada LCD16x2, pengoperasian aktuator lampu pemanas dan *exhaust fan* sesuai dengan nilai *set point* yang telah ditentukan, dan menampilkan hasil deteksi sensor secara *real time* pada aplikasi android. Prototipe fermentasi tempe dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Implementasi Prototipe Fermentasi Tempe
(A) Tampak Luar (B) Tampak Dalam (C) Komponen

Aplikasi android berfungsi untuk mempermudah pengguna dalam pemantauan dan pengendalian prototipe fermentasi tempe dari jarak jauh. Aplikasi android terdiri dari dua bagian, yaitu monitoring dan kontrol. Pada bagian monitoring berfungsi untuk menampilkan data hasil pengamatan dengan menampilkan informasi hasil deteksi sensor DHT22 yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban ruangan inkubator fermentasi tempe, HC-SR04 yang dipakai untuk mengukur ketebalan jamur pada tempe, TCS34725 yang digunakan untuk mengetahui warna pada tempe dengan memberikan status mentah dan matang, dan Load Cell yang dipakai untuk mengukur massa tempe secara *real time*.

Bagian kontrol terdiri dari empat buah tombol kontrol yaitu tombol sistem, *set point* suhu minimum (30°), *set point* suhu medium (34°C), dan *set point* suhu maksimum (37°C). Tombol sistem digunakan untuk menghidupkan semua sistem ketika sistem akan digunakan dan mematikan semua sistem setelah digunakan. Tombol *set point* suhu digunakan untuk mengatur suhu maksimal yang diinginkan pada inkubator fermentasi tempe yang dapat digunakan untuk mengatur *set point* suhu sesuai dengan kebutuhan yang dapat

dilakukan dari jarak jauh. Aplikasi yang sudah dibuat dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Desain Aplikasi Blynk

B. Hasil Pengujian Prototipe

Berikut adalah hasil pengujian *hardware* dan *software* yang telah diperoleh:

1. Hasil Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 berfungsi untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor tersebut. Dalam pengujian ini nilai pengukuran sensor akan dibandingkan dengan nilai pengukuran pada termometer dan hygrometer yang dapat dilihat pada lampiran 3. Grafik pengujian sensor DHT22 dapat

dilihat pada lampiran 2. Hasil pengujian sensor DHT22, termometer, dan hygrometer dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor DHT22

Waktu	Suhu (°C)		Kelembaban (%)	
	Termometer	Sensor	Hygrometer	Sensor
14.00	31,9	31,8	74	74,8
15.00	31,4	31,6	74	75
16.00	30,9	31	75	75,7
17.00	30,6	30,8	76	76
18.00	30	30,1	74	75,2
19.00	29,4	29,4	76	76,4
20.00	29	28,9	74	75,4
21.00	28,5	28,4	75	75,3
22.00	28,3	28	76	76,3
23.00	28,1	28	75	76

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian suhu dan kelembaban menggunakan sensor DHT22 yang dibandingkan dengan termometer dan hygrometer dengan melakukan pengukuran sebanyak 10 kali diperoleh nilai akurasi pengukuran suhu pada sensor sebesar 99,52% dengan kesalahan relatifnya atau error 0,48%. Untuk akurasi pengukuran kelembaban pada sensor didapatkan nilai akurasi sensor sebesar 99,06% dengan kesalahan relatif atau error 0,94%. Hasil pengujian sensor DHT22 dengan rincian akurasi dan errornya dapat dilihat pada lampiran 1.

2. Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

Pengujian sensor HC-SR04 bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor tersebut. Dalam pengujian ini nilai pengukuran jarak yang dibaca sensor akan dibandingkan dengan nilai pengukuran menggunakan mistar yang dapat dilihat pada lampiran 3. Grafik pengujian sensor HC-SR04 dapat dilihat pada lampiran 2. Hasil pengujian sensor HC-SR04 dan mistar dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor HC-SR04

No.	Mistar (cm)	Sensor (cm)
1.	5	4,90
2.	7	7,16
3.	8	8,13
4.	10	10,17
5.	12	11,85
6.	15	15,15
7.	18	17,97
8.	20	20,09
9.	25	24,77
10.	27	26,93

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian jarak menggunakan sensor HC-SR04 yang dibandingkan dengan pengukuran mistar sebanyak 10 kali diperoleh nilai akurasi sensor sebesar 98,82% dengan kesalahan relatifnya atau error 1,18%. Hasil

pengujian sensor HC-SR04 dengan rincian akurasi dan errornya dapat dilihat pada lampiran 1.

3. Hasil Pengujian Sensor TCS34725

Pengujian TCS34725 bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai R, G, dan B dari pembacaan sensor warna terhadap tempe mentah dan matang dengan menggunakan Corel Draw yang dapat dilihat pada lampiran 3, sehingga dapat ditentukan nilai ambang kematangan fermentasi tempe. Grafik pengujian nilai RGB pada sensor dan Corel Draw dapat dilihat pada lampiran 2 yang menunjukkan bahwa pola RGB saat tempe mentah dan matang sama-sama mengalami kenaikan saat tempe sudah matang. Hasil pengujian sensor TCS34725 dan Corel Draw dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Sensor TCS34725

Tempe	Kode Sampel	Sensor			Corel Draw		
		R	G	B	R	G	B
Mentah	S1	151	121	61	130	111	65
	S2	137	109	54	123	117	70
	S3	149	120	61	127	111	68
	S4	139	111	55	121	117	70
	S5	145	117	61	124	106	64
Setengah Matang	S1	153	123	63	127	114	76
	S2	138	111	56	125	108	75
	S3	154	124	64	131	121	79
	S4	139	112	56	131	115	72
	S5	145	111	58	129	115	82

Tempe	Kode Sampel	Sensor			Corel Draw		
		R	G	B	R	G	B
Matang	S1	155	130	71	144	133	94
	S2	160	135	75	146	141	102
	S3	159	134	75	148	139	94
	S4	159	134	75	147	136	92
	S5	160	136	76	156	153	100

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian warna RGB pada sensor warna dengan menggunakan lima buah sampel tempe dengan jarak 4 cm di atas permukaan tempe karena jarak tersebut merupakan jarak yang optimal untuk mendapatkan hasil pembacaan sensor yang stabil, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Athifa (2019) yang terdapat dalam skripsi (Helmi, 2021) menyatakan bahwa jarak optimal pengukuran TCS34725 berada pada jarak 4 cm. Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui terdapat perbedaan nilai RGB antara tempe yang masih mentah dengan tempe yang sudah matang. Oleh karena itu, nilai minimum dan maksimum yang telah diperoleh dari sampel tersebut dapat dijadikan referensi sebagai ambang indikator kematangan fermentasi tempe pada penelitian ini.

4. Hasil Pengujian Sensor Load Cell

Pengujian sensor Load Cell berfungsi untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor tersebut.

Dalam pengujian ini nilai pengukuran sensor akan dibandingkan dengan nilai pengukuran pada timbangan yang dapat dilihat pada lampiran 3. Grafik pengujian Load Cell dapat dilihat pada lampiran 2. Hasil pengujian sensor Load Cell dan timbangan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Load Cell

No.	Timbangan (gram)	Sensor (gram)
1.	13	13
2.	50	50
3.	100	100
4.	200	201
5.	235	235

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengujian massa pada sensor Load Cell yang dibandingkan dengan timbangan dengan melakukan pengujian sebanyak lima kali diperoleh nilai akurasi sensor sebesar 99,9% dengan kesalahan relatifnya 0,1%. Hasil pengujian sensor Load Cell dengan rincian akurasi dan *error*nya dapat dilihat pada lampiran 1.

5. Hasil Pengujian Otomasi Alat

Pengujian otomasi bertujuan untuk memastikan bahwa sistem otomasi berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan mengamati status instrumen berubah sesuai dengan sistem otomasi

yang sudah ditentukan. Hasil pengujian otomasi prototipe dapat dilihat pada tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 Pengujian Otomasi Alat Sebelum Mencapai Suhu Maksimum Set Point

Set Point	A	B	
	T	C	D
30	29,9	ON	OFF
	30	OFF	ON
	30,1	OFF	ON
	33,9	ON	OFF
34	34	OFF	ON
	34,1	OFF	ON
	36,9	ON	OFF
37	37	OFF	ON
	37,1	OFF	ON

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Otomasi Alat Setelah Mencapai Suhu Maksimum *Set Point*

Set Point	A	B	
	T	C	D
37	36	ON	OFF
	36,9	OFF	ON
	37	OFF	ON
34	33	ON	OFF
	33,9	OFF	ON
	34	OFF	ON
	29	ON	OFF
30	29,9	OFF	ON
	30	OFF	ON

Keterangan:

- A: DHT22

T: Suhu

B: Relay
- C: Lampu

D: *Exhaust fan*

Pada sensor DHT22 telah ditetapkan tiga nilai *set point* untuk suhu yaitu pada suhu minimum 30°C, suhu medium 34°C, dan suhu maksimum 37°C. Berdasarkan pengujian yang dilakukan yang terdapat pada Tabel 4.5 dan 4.6 menunjukkan bahwa saat *set point* suhu 30°C diaktifkan, ketika suhu kurang dari 30°C status lampu ON kemudian saat suhu lebih dari 30°C lampu dalam kondisi OFF. Namun setelah lampu mati terdapat zona aman sebesar 1°C untuk menghindari sistem agar tidak mengalami gangguan ketika suhu hanya naik atau turun sedikit. Sehingga ketika *set point* suhu 30°C diaktifkan dan suhu telah mencapai 30°C maka lampu akan otomatis OFF dan akan menyala kembali saat suhu 29°C, begitu juga ketika *set point* suhu diaktifkan dan suhu mencapai 34°C, maka lampu akan otomatis OFF dan ON kembali saat suhu 33°C, untuk *set point* 37°C juga berlaku hal demikian, saat suhu mencapai 37°C lampu akan OFF dan akan ON kembali saat suhu 36°C.

6. Hasil Pengujian Kontrol dari Sistem

Pengujian kontrol bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tombol pada aplikasi *smartphone* berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menekan tombol di aplikasi dan mengamati status

instrumen berubah sesuai dengan perintah yang diberikan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengujian Kontrol Melalui Android

Status Tombol Kontrol					Status Relay		Status Instru- men
A	B	C	D	T	E	F	
OFF	OFF	OFF	OFF		OFF	OFF	OFF
ON	OFF	OFF	OFF		OFF	OFF	ON
				>30	OFF	ON	
ON	ON	OFF	OFF	<30	ON	OFF	ON
				>34	OFF	ON	
ON	OFF	ON	OFF	<34	ON	OFF	ON
				>37	OFF	ON	
ON	OFF	OFF	ON	<37	ON	OFF	ON

Keterangan:

- A: Button
- T: Temperatur
- B: *Set Point* Minimum
- E: Lampu
- C: *Set Point* Medium
- F: *Exhaust fan*
- D: *Set Point* Maksimum

Berdasarkan Tabel 4.7 menunjukkan bahwa tombol dapat bekerja dengan baik dalam mengontrol prototipe, sehingga instrumen berjalan sesuai dengan

yang diperintahkan oleh tombol pada aplikasi *smartphone*.

7. Hasil Pengujian Komunikasi Serial Data

Pengujian komunikasi serial data bertujuan untuk mengetahui keakuratan data yang dikirim oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Pengujian dilakukan dengan membandingkan data serial monitor dan data yang tampil pada LCD 16x2. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Pengujian Serial Data

No.	Temperatur		Humidity	
	Serial Monitor	LCD 16x2	Serial Monitor	LCD 16x2
1.	29,1	29,1	86	86
2.	29,5	29,5	82,3	82,3
3.	30,7	30,7	82,6	82,6
4.	31,6	31,6	80,5	80,5
5.	32,4	32,4	78,7	78,7
6.	33,3	33,3	73,8	73,8
7.	34,2	34,2	71,6	71,6
8.	35,4	35,4	67,8	67,8
9.	36,1	36,1	65,2	65,2
10.	37	37	62,4	61,4

Berdasarkan Tabel 4.8 dengan membandingkan data yang ditampilkan pada serial monitor dan LCD 16x2 bernilai sama, sehingga akurasi pembacaan LCD 16x2 sebesar 100% dengan kesalahan relatifnya 0%.

8. Hasil Pengujian Komunikasi Serial Data Berbasis Android

Pengujian komunikasi serial data berbasis android bertujuan untuk mengetahui keakuratan data yang dikirimkan oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data yang ditampilkan pada serial monitor dengan data yang ditampilkan pada aplikasi Blynk. Pengujian komunikasi serial data berbasis android dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Pengujian Serial Data Android

A		B		C		D	
a	b	a	b	a	b	a	b
29,1	29,1	86	86	1,15	1,15	34,25	34,25
29,5	29,5	82,3	82,3	1,42	1,42	64,72	64,72
30,5	30,5	84,5	84,5	1,44	1,44	67,65	67,65
31	31	81,6	81,6	1,57	1,57	75,56	75,56
32,4	32,4	78,7	78,7	1,71	1,71	85,52	85,52
33,3	33,3	73,8	73,8	1,92	1,92	19,12	19,12
34,2	34,2	71,6	71,6	4,03	4,03	81,83	81,83
35,4	35,4	67,8	67,8	4,98	4,98	26,87	26,87
36,1	36,1	65,2	65,2	6,58	6,58	30,82	30,82
37	37	61,4	61,4	9,77	9,77	7,74	7,74

Keterangan:

A: Temperatur

B: Humidity

C: Ketebalan

D: Berat

a: Serial Monitor

b: Blynk

Berdasarkan Tabel 4.9 dengan membandingkan data yang ditampilkan pada serial monitor dan aplikasi pada android, dapat dilihat bahwa kedua data tersebut bernilai sama, sehingga akurasi pembacaan aplikasi Blynk sebesar 100% dengan kesalahan relatifnya 0%.

C. Hasil Pengujian Prototipe Fermentasi Tempe Berbasis Android

Pengujian fungsi alat secara keseluruhan dilakukan untuk semua komponen yang ada pada prototipe inkubator fermentasi tempe. Uji ini terdiri dari uji sensor, otomatisasi lampu dan *exhaust fan*. Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Uji Komponen Secara Keseluruhan

Alat	Fungsi	Keterangan	Berfungsi	
			Baik	Kurang baik
DHT22	Kontrol lampu dan <i>exhaust fan</i>	Dengan menentukan nilai batas, lampu dan <i>exhaust fan</i> dapat bekerja secara otomatis	V	-
HC-SR04	Monitoring ketebalan tempe	Dengan menentukan jarak antara sensor dan permukaan load	V	-

Alat	Fungsi	Keterangan	Berfungsi	
			Baik	Kurang baik
		cell, sensor dapat menentukan ketebalan tempe		
TCS34725	Monitoring status kematangan tempe	Dengan menentukan nilai batas saat tempe matang dan mentah, sensor dapat menentukan status kematangan tempe	V	-
Load Cell	Monitoring massa tempe	Dengan mengkalibrasi, sensor dapat menentukan massa tempe	-	V
Konektivitas	Menghubungkan prototipe dengan aplikasi kontrol	Prototipe dapat dikontrol dan dipantau melalui aplikasi dengan memanfaatkan konektivitas internet	V	-
Lampu	Menjaga kestabilan suhu dan kelembaban	Ketika lampu menyala suhu akan meningkat, kelembaban menurun dan ketika lampu mati suhu akan	V	-

Alat	Fungsi	Keterangan	Berfungsi	
			Baik	Kurang baik
		menurun, kelembaban meningkat		
<i>Exhaust fan</i>	Menjaga kestabilan suhu dan kelembaban	Ketika <i>exhaust fan</i> menyala suhu akan menurun, kelembaban meningkat dan ketika <i>exhaust fan</i> mati suhu akan meningkat, kelembaban menurun	V	-
Aplikasi	Mengontrol dan mengawasi inkubator dari jarak jauh	Aplikasi mengontrol prototipe secara otomatis maupun manual, baik berupa suhu, kelembaban, ketebalan, massa, status warna, lampu, serta <i>exhaust fan</i>	V	-

Berdasarkan Tabel 4.10 dapat diketahui bahwa ketika semua komponen dirangkai semua masih terdapat komponen yang kurang baik kinerjanya, yaitu sensor Load Cell dianggap kurang baik dalam menampilkan data yang dibacanya karena kurang stabil dengan 1 sampai 2 gram

di atas atau di bawah massa yang sesungguhnya. Hal itu kemungkinan dikarenakan interferensi antar sensor karena sensor aktif bersamaan dan semua daya diambil dari mikrokontroler NodeMCU ESP8266, noise listrik karena perpindahan arus yang mendadak, terutama pada pengaktifan relay dan perubahan kondisi sensor, dan beban pemrosesan data pada mikrokontroler karena pengolahan data dari berbagai sensor serta proses update ke server Blynk juga dapat menyebabkan gangguan waktu baca pada sensor Load Cell.

Pengujian kerja prototipe digunakan untuk mengontrol dan monitoring tingkat kematangan tempe. Pada pengujian alat dilakukan dengan menyalakan tombol ON pada aplikasi android kemudian diatur set point suhu, maka alat akan bekerja dengan baik dengan memberikan informasi suhu, kelembaban, ketebalan, massa, dan status mentah atau matang pada tempe. Hasil dari pengujian prototipe pada suhu maksimum 37°C dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Keseluruhan Suhu Maksimum 37°C

A	B	C	D	E	F	G
0	37	63	83	1,32	Berembun	Mentah
3	36,8	65,3	83	1,32	Berembun	Mentah
6	36	66	83	1,32	Berembun	Mentah
12	36,5	65	83	1,35	Berembun	Mentah

A	B	C	D	E	F	G
15	36,8	65	80	1,4	Berembun dan mulai tumbuh koloni jamur	Mentah
18	37	63,1	78	1,5	Jamur memenuhi tempe sebagian	Mentah
21	36,7	65,2	77	1,57	Jamur memenuhi tempe namun belum sempurna	Mentah
24	36,9	63,5	76	1,63	Jamur memenuhi tempe dengan sempurna	Matang
36	36,6	64,3	76	1,63	Jamur memenuhi tempe dengan sempurna	Matang
48	36,3	65	76	1,63	Jamur memenuhi tempe dengan sempurna	Matang
60	37	63,5	75	1,62	Jamur memenuhi tempe	Matang

A	B	C	D	E	F	G
					dengn sempurna	
72	37	63,3	75	1,62	Jamur memenuhi tempe dengan sempurna	Matang
84	36	65,4	73	1,58	Jamur mulai berubah warna dan menyusut namun tempe masih padat	Matang
96	36,7	64,2	72	1,57	Jamur mulai berubah warna dan menyusut namun tempe masih padat	Matang
108	36,4	64,5	70	1,55	Jamur menyusut dan sebagian tempe lembek	Matang
120	36,7	63,7	70	1,55	Jamur menyusut dan	Matang

A	B	C	D	E	F	G
					sebagian tempe lembek	

Keterangan:

A: Waktu (jam)	E: Ketebalan (cm)
B: Temperatur (°C)	F: Kondisi
C: Kelembaban (%)	G: Status tempe
D: Massa (gram)	

Pengujian dilakukan dengan memasukkan satu buah tempe ke dalam prototipe. Tempe yang dimasukkan merupakan tempe yang masih berupa kedelai yang telah mengalami proses pencucian dan pembersihan, pengupasan kulit arinya, perendaman, perebusan, penirisan, dan penambahan ragi, serta telah dikemas menggunakan plastik transparan.

Pengujian keseluruhan yang pertama yaitu pengujian terkait prototipe dapat memberikan informasi suhu dan kelembaban. Tabel 4.11 menunjukkan hasil fermentasi tempe menggunakan set point suhu 37°C dengan menggunakan sensor DHT22 sebagai pembaca suhu dan kelembaban di dalam prototipe. Menurut Mukhoyaroh (2015) mengatakan bahwa suhu yang baik untuk fermentasi tempe adalah pada suhu kamar 20-37°C dengan kondisi agak gelap. Karena menurut Triyono

(2017) jamur *Rhizopus Oligosporus* dapat tumbuh optimum pada suhu 30-35°C, dengan suhu minimum 12°C dan suhu maksimum 42°C. Oleh sebab itu digunakan set point suhu maksimum 37°C yang bertujuan untuk mempercepat proses fermentasi tempe, karena jika suhu di bawah 30°C cukup diletakkan manual saja tanpa menggunakan inkubator sudah cukup yang mana suhu ruangan tanpa menggunakan inkubator berkisar antara 26-30°C. Sedangkan kelembaban optimal untuk fermentasi tempe menurut Triyono (2017) adalah 62-85% RH. Hasil monitoring yang telah dilakukan didapatkan bahwa kelembaban dengan set point suhu maksimum 37°C adalah 63-66% RH. Sehingga untuk mendapatkan tempe dengan kematangan sempurna hanya membutuhkan waktu selama 24 jam, sedangkan tempe yang tidak dimasukkan ke dalam prototipe membutuhkan waktu selama 48 jam. Seperti yang terdapat dalam artikel (Mukhoyaroh, 2015) mengatakan bahwa untuk menghasilkan tempe yang baik dengan suhu 37-38°C membutuhkan waktu 22 jam dan untuk mendapatkan hasil tempe yang baik dengan suhu 28-30°C membutuhkan waktu 48 jam. Perbedaan tempe yang difermentasi tidak dimasukkan ke dalam prototipe dan

dimasukkan ke dalam prototipe dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbedaan tempe fermentasi (A) Tidak Dimasukkan Prototipe (B) Dimasukkan Prototipe

Pengujian keseluruhan keseluruhan yang kedua yaitu pengujian terhadap massa tempe saat proses fermentasi berlangsung dengan menggunakan sensor load cell yang sudah dikalibrasi, sehingga massa dapat dimonitoring langsung melalui aplikasi Blynk. Pengujian dilakukan dengan meletakkan tempe yang siap difermentasi di atas Load Cell dan dimonitoring sampai selesai fermentasi. Hasil dari pengujian menunjukkan massa saat tempe masih berupa kedelai dan saat sudah matang sempurna mengalami penurunan sebesar 8% dan terus mengalami penurunan sebesar 15% sampai tempe mengalami proses pembusukan. Hal ini terjadi karena kadar air pada tempe sebelum dan sesudah fermentasi mengalami penurunan (Fatisa and Pitasari, 2016), seperti yang terdapat pada penelitian (Arifin, 2023)

menunjukkan bahwa tempe sebelum dan sesudah matang yang dimonitoring secara *real time* menggunakan Load Cell mengalami penurunan massa sebesar 5,32-7,05%.

Pengujian keseluruhan yang ketiga yaitu pengujian ketebalan pada tempe saat masih berupa kedelai (mentah) dan saat sudah ditumbuhi jamur (matang) dengan menggunakan sensor HC-SR04 yang sudah diatur jarak antara HC-SR04 dengan permukaan Load Cell sebelum diletakkan tempe di atas Load Cell, kemudian jarak yang sudah ditetapkan dikurangi dengan jarak pengukuran HC-SR04 dengan permukaan tempe, sehingga didapatkan hasil ketebalan tempe saat itu. Pengujian dilakukan dengan meletakkan tempe siap fermentasi sampai selesai fermentasi. Hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa tempe mengalami peningkatan ketebalan sebanyak 23% dari saat tempe masih berbentuk kedelai sampai jamur memenuhi permukaan tempe saat tempe berada dalam prototipe selama 24 jam. Hal ini terjadi karena selama fermentasi, jamur tumbuh dan membentuk miselium yang mengikat biji kedelai. Proses ini bisa membuat tempe tampak lebih mengembang karena adanya jaringan miselium di antara biji-biji kedelai, sehingga ketebalan tempe dapat sedikit bertambah. Perubahan ketebalannya bisa sampai 43%

lebih tinggi dari sebelum ditumbuhi jamur (Ariyani, 2022). Namun saat jamur terlalu lama mengalami fermentasi maka jamur akan berangsur-angsur menyusut kembali karena jamur tidak lagi aktif tumbuh dan miselium jamur mulai menguap, sehingga miselium menjadi kering dan menyusut seperti layu. Sesuai Tabel 4.11 fase ini terjadi saat 84-120 jam setelah jamur tempe mengalami puncak optimal pertumbuhan 24-72 jam.

Pengujian yang kelima yaitu pengujian kondisi tempe secara manual dengan mengamati secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi pada 0-12 jam kedelai berembun, koloni jamur mulai tumbuh setelah tempe dimasukkan ke dalam prototipe selama 15 jam. Pada jam ke 18 jamur telah memenuhi sebagian bungkus tempe dan sampai jam ke 21 jamur sudah memenuhi tempe, namun belum matang sempurna karena permukaan tempe masih lembek ketika ditekan. Setelah 24 jam berada dalam prototipe jamur sudah memenuhi permukaan tempe dengan sempurna dan lebih padat ketika ditekan, hal ini menunjukkan bahwa tempe sudah matang dengan sempurna, karena menurut (Oktaviani, 2023) tempe dapat dikatakan memiliki mutu fisik yang baik jika memiliki ciri-ciri tertentu, antara lain memiliki warna putih dan bagian permukaan atas diselimuti jamur

tebal, serta tekstur padat dan tidak lembek. Kondisi optimal tempe yang telah diamati yang terdapat pada tabel 4.11 menunjukkkn bahwa tempe matang sempurna saat tempe berada 24 – 72 jam dalam inkubator.

Pengujian keseluruhan yang keenam yaitu pengujian untuk mengetahui tingkat kematangan tempe melalui warna tempe dengan menggunakan TCS34725. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan tempe di bawah sensor TCS34725 dengan jarak antara sensor dan tempe adalah 4 cm, dipilih jarak 4 cm karena jika jaraknya kurang maupun lebih dari 4 cm maka pembacaan sensor kurang stabil. Ambang batas warna RGB sudah ditentukan yaitu saat tempe mentah yaitu ketika masih berbentuk kedelai memiliki nilai R (137-154), G (109-124), B (54-64) dan saat tempe sudah matang yaitu ketika jamur sudah memenuhi permukaan tempe memiliki nilai R (155-160), G (130-136), B (71-76). Pada penelitian ini pola nilai RGB saat masih mentah dan matang cenderung meningkat sesuai dengan pembacaan pola pada Corel Draw yang juga mengalami peningkatan, peningkatan ini kemungkinan terjadi karena tempe yang masih mentah cenderung berwarna kuning kusam sehingga menyerap lebih banyak cahaya dibandingkan memantulkannya. Sedangkan tempe yang sudah matang permukaannya lebih rata dan

cenderung berwarna putih yang disebabkan oleh bertumbuhnya jamur sehingga memantulkan lebih banyak cahaya yang menyebabkan nilai pembacaan RGB naik. Dengan menggunakan ambang batas RGB tersebut, dapat digunakan sebagai indikator kematangan tempe. Sesuai dengan hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 4.11 saat permukaan tempe belum ditumbuhi jamur secara sempurna, sensor akan memberikan informasi bahwa tempe masih mentah dan saat kedelai sudah ditumbuhi jamur sempurna sensor warna akan memberikan informasi bahwa tempe sudah matang yang ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk.



Gambar 4.4 Implementasi Tampilan Aplikasi Blynk

Gambar 4.4 merupakan tampilan aplikasi Blynk prototipe pengendali fermentasi tempe yang dapat digunakan untuk kontrol dan monitoring prototipe secara *real time* dari jarak jauh yang dapat menampilkan informasi suhu, kelembaban, massa, ketebalan, dan status kematangan pada tempe.

BAB V

KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rancang bangun yang telah dibuat memiliki dua bagian yaitu perangkat keras (*hardware*) berupa prototipe inkubator fermentasi tempe yang dibuat menggunakan triplek setebal 8 mm, menggunakan lampu pemanas keramik dengan daya 25W dan *exhaust fan* 5V untuk mengontrol suhu dan kelembaban, sensor DHT22 digunakan sebagai sensor suhu dan kelembaban udara, TCS34725 digunakan sebagai sensor deteksi warna tingkat kematangan tempe, HC-SR04 digunakan sebagai sensor deteksi ketebalan tempe, Load Cell digunakan sebagai sensor deteksi massa tempe dan perangkat lunak (*software*) berupa aplikasi Blynk untuk kontrol dan monitoring inkubator fermentasi tempe dari jarak jauh.
2. Tingkat akurasi pengukuran sensor suhu, kelembaban, warna, ketebalan, dan massa pada prototipe fermentasi tempe yaitu sensor DHT22 mampu mengukur suhu dan kelembaban dengan tingkat akurasi sangat baik untuk mengukur suhu

memiliki akurasi 99,53% dan mengukur kelembaban dengan akurasi 99,06%. Sensor warna TCS34725 memiliki pola pembacaan yang sama dengan Corel Draw saat membaca tempe mentah dan matang. Sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki tingkat akurasi baik yaitu 98,82%. Load Cell yang telah dikalibrasi mampu memberikan pembacaan dengan akurasi sangat baik mencapai 99,9%.

3. Prototipe inkubator fermentasi tempe yang telah dibuat dapat memberikan informasi tempe matang saat berada dalam inkubator selama 24 jam dengan suhu 36,9°C, kelembaban 63,5%, ketebalan 1,63 cm, massa 76 gram, dan sensor warna memberikan informasi bahwa tempe sudah matang yang ditampilkan pada LCD dan aplikasi Blynk.

B. Saran

Peneliti menyadari bahwa dalam penelitian ini masih memiliki sejumlah keterbatasan. Oleh karena itu, peneliti memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya. Adapun saran tersebut antara lain:

1. Perlu ditambahkan catu daya dari luar agar tidak menggunakan catu daya dari mikrokontroler saja.

2. Jika dalam skala banyak, perlu ditambahkan motor servo untuk menggerakkan sensor TCS34725, HC-SR04, dan Load Cell.
3. Perlu ditambahkan buzzer atau LED untuk memberikan informasi ketika tempe sudah matang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrazzak, I.A., Bierk, H. and Aday, L.A. (2018) 'Humidity and temperature monitoring', *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), pp. 5174–5177. Available at: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.23225>.
- Amelia, R. (2018) *Pengaruh Lama Perendaman Menggunakan Limbah Kulit Nanas Terhadap Konsentrasi Asam Laktat Kedelai Bahan Baku Tempe*. Universitas Islam Negeri Raden Intan.
- Anantama, A. *et al.* (2020) 'Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik Pada Alat Elektronik Berbasis Arduino Uno', *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, 1(1), p. 29. Available at: <https://doi.org/10.33365/jtst.v1i1.712>.
- Arifah, S.N., Fernando, Y. and Rusliyawati, R. (2022) 'Upaya Meningkatkan Citra Diri Melalui Game Edukasi Pengembang Kepribadian Berbasis Mobile', *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 3(3), pp. 295–315. Available at: <https://doi.org/10.33365/jatika.v3i3.2036>.
- Arifin, T.N., Febriyani Pratiwi, G. and Janrafsasih, A. (2022) 'Sensor Ultrasonik Sebagai Sensor Jarak', *Jurnal Tera*, 2(2), pp. 55–62. Available at: <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnaltera/>.
- Arifin, Z. (2023) *Rancang Bangun Alat Fermentasi Tempe Menggunakan Metode Fuzzy Guna Menentukan Tingkat Kematangan Tempe*. Universitas Teknokrat Indonesia Bandar Lampung.
- Ariyani, S. (2022) 'Program Studi Teknik Elektronika', *Pcr.Ac.Id*, (0542), pp. 1–7. Available at: <https://pcr.ac.id/prodi/125/teknik-elektronika>.

- Arnold, P.W., Pinondang Nainggolan and Darwin Damanik (2020) 'Analisis Kelayakan Usaha dan Strategi Pengembangan Industri Kecil Tempe di Kelurahan Setia Negara Kecamatan Siantar Sitalasari', *Jurnal EKUILNOMI*, 2(1), pp. 29-39. Available at: <https://doi.org/10.36985/ekuilnومي.v2i1.349>.
- Ayuningtyas, N. (2018) 'Sistem Monitoring Berat pada Alat Pemilah Sampah Logam dan Nonlogam dengan Sensor Berat (Load Cell) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)', pp. 1-23.
- Darmawan, B. *et al.* (2022) 'Rancang Bangun Alat Pengendali Suhu Pada Fermentasi Tempe', *Prosiding SAINTEK LPPM Universitas Mataram*, 4(November 2021), pp. 23-24.
- Efendi, Y. (2018) 'Internet Of Things (Iot) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile', *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 4(2), pp. 21-27. Available at: <https://doi.org/10.35329/jiik.v4i2.41>.
- Elita, E. (2017) 'Pemanfaatan Tempe dan Bayam dalam Pembuatan Nugget Analog Sebagai Pangan Fungsional Tinggi Serat', *Skripsi*, 3(1), p. 48 halaman.
- Faizin, T.A. (2023) *Sistem Monitoring dan Kontrol Suhu Berbasis Internet Of Things (IOT) pada Pabrik Tempe*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Farhan, A.P.M. (2022) *Sistem Pengendali Pendingin Ruangan dan Monitoring Suhu Menggunakan Bot Telegram, Skripsi. Fakultas Teknik. Universitas Hasanuddin*. Universitas Hasanuddin.
- Fatisa, Y. and Pitasari, D. (2016) 'Pemanfaatan Buah Pedada (Sonneratia Caseolaris) sebagai Bahan Baku Pembuatan Tempe dan Analisis Proksimat serta Sifat Organoleptiknya', *Photon: Jurnal Sain dan Kesehatan*,

6(02), pp. 35–43. Available at:
<https://doi.org/10.37859/jp.v6i02.452>.

Fitriani (2022) 'Konsep Makanan Halalan Thayyiban Dalam Qs. Al-Baqarah : 168 Perspektif Quraish Shihab Dan Ilmu Kesehatan', *NIHAIYYAT: Journal of Islamic Interdisciplinary Studies*, 1(1), p. 73.

Harir, R., Novianta, M.A. and Kristiyana, D.S. (2019) 'Jurnal Elektrikal', Volume 6 Nomor 1, Juni 2019, 1-10', *Elektrikal*, 6, pp. 1–10. Available at:
<https://www.99.co/blog/indonesia/harga-pompa-air-mini/>.

Helmi, Y. (2021) *Evaluasi Nilai RGB Konsentrasi Konsentrat Terhadap Pelarut Menggunakan Aplikasi Foto Smartphone Android*. Institut Teknologi Nasional Bandung.

Hidayat, M.R., Christiono, C. and Sapudin, B.S. (2018) 'Perancangan Sistem Keamanan Rumah Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 Menggunakan Sensor PIR HC-SR501 dan Sensor Smoke Detector', *Kilat*, 7(2), pp. 139–148. Available at:
<https://doi.org/10.33322/kilat.v7i2.357>.

Istiadi, Aviv Yuniar Rahman, Sabar Setiawidayat, Alvin Putra Pratama, A.T. (2023) 'Inkubator Fermentasi Tempe dengan Deteksi Kematangan Berbasis Sensor Warna pada Perajin Kripik Tempe', (Ciastech), pp. 435–444.

Jalaludin, Achmad. 2023. Pembuatan Tempe. Universitas Negeri Malang Available at:
https://www.studocu.id/id/document/universitas-negeri-malang/biology/laporan-praktikum-kelompok-5-pembuatan-tempe-off-h/76038029?utm_source=chatgpt.com.

- Jayanti, T.A.D., Sudarmanto, A. and Faqih, M.I. (2020) 'Cold Smoking Equipment Design of Smoked Fish Products with Closed Circulation Using Temperature and Concentration Monitoring System Based on Arduino Uno', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 846(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/846/1/012025>.
- Juwariyah, T., Krisnawati, L. and Sulasminingsih, S. (2020) 'Sistem Monitoring Terpadu Smart Bins Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi Blynk', *JIRE (Jurnal Informasi & Rekayasa Elektronika)*, 3(2), pp. 91–99. Available at: <https://ejournal.stmiklombok.ac.id/index.php/jire/article/view/247>.
- Khasanah, U.N. (2023) 'Aplikasi Sensor Ultrasonik Sebagai Alat Ukur Jarak Digital Berbasis Arduino Application of Ultrasonic Sensors As Arduino-Based Digital Distance Measuring Instruments', *JSNu: Journal of Science Nusantara*, 3(4), pp. 135–140.
- Kreith, Frank. 1991. Prinsip-Prinsip Perpindahan Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Kurniwan, Alfian. (2020). Sensor Suhu dan Kelembaban DHT11 dan DHT22. Diunduh dari <https://www.teknikelektro.com/2020/08/sensor-suhu-dan-kelembaban.html> tanggal 1 Februari 2025 pada pukul 14.47.
- Lusi, V.M.M., Ch.Louk, A. and Warsito, A. (2018) 'Sensor Jarak Infra Merah Dan Load Cell', *Jurnal Fisika, Fisika Sains dan Aplikasi*, 3(1), p. 44. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/278618-sistem-pnugukuran-indeks-massa-tubuh-men-229be9b9.pdf>.

- Mariza Wijayanti (2022) 'Prototype Smart Home Dengan Nodemcu Esp8266 Berbasis Iot', *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(2), pp. 101–107. Available at: <https://doi.org/10.56127/juit.v1i2.169>.
- Muchlis, F., Sulisworo, D. and Toifur, M. (2019) 'Pengembangan alat peraga fisika berbasis Internet of Things untuk praktikum hukum newton II', *Jurnal Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Makassar*, 6(1), pp. 13–20.
- Mukhoyaroh, H. (2015) 'Pengaruh Jenis Kedelai, Waktu, dan Suhu Pemeraman Terhadap Kandungan Protein Tempe Kedelai', *E-Journal Universitas PGRI Madiun (Persatuan Guru Republik Indonesia)*, 2(November), pp. 47–51.
- Mutaqin, K. (2021) 'Rancang Bangun Real Laboratory Praktikum Pendinginan Air Berbasis IoT', *Industry and Higher Education*, 3(1), pp. 1689–1699. Available at: <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>.
- Nakhoda, Y.I., Soetedjo, A. and S, P.O. (2020) 'Rancang Bangun Alat Proses Fermentasi Kedelai Menggunakan Kendali Suhu dan Kelembaban untuk Produksi Tempe Skala Kecil', *Jurnal Aplikasi Sains Teknologi Nasional*, 01(01), pp. 14–18.
- Nurkhafidzah (2022) *Analisis Temperatur dan Kelembaban Rancangan di Makassar*. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Oktaviani, Y. (2023) 'Proses produksi Tempe dan Inovasi Olahan Tempe di UMKM Sony Jaya Surabaya', pp. 7–21.
- Pambudi, D.S. (2019) 'Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruang Server Berbasis Internet of Things', *Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*, pp. 4–

13. Available at:
<https://repository.ums.ac.id/handle/123456789/24178>.
- Rahmanto, D.N., Prasajo, J. and Handayani, T. (2022) 'Alat Pendeteksi Warna RGB', *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, 2022(November), pp. 664–672. Available at: <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII>.
- Ramadhani, M.N. (2021) *Real Laboratory Praktikum Koefisien Muai Panjang Berbasis Internet of Things Dan Aplikasi Android*. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Rizaldi, A. (2018) 'Rancang Bangun Pengontrol Suhu dan Kelembaban pada Proses Fermentasi Tempe Menggunakan Kontroler Proporsional', 1(1), pp. iii–vii. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jns.2018.09.022><http://dx.doi.org/10.1016/j.ejphar.2009.04.058><http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2015.10.001><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2854659&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Rombang, I.A., Setyawan, L.B. and Dewantoro, G. (2022) 'Perancangan Prototipe Alat Deteksi Asap Rokok dengan Sistem Purifier Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2', *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 21(1), pp. 131–144. Available at: <https://doi.org/10.31358/techne.v21i1.312>.
- Santoso, H. (2015) *Panduan Praktis Arduino untuk Pemula*. Trenggalek: Elang Sakti.
- Santoso, R. pria (2022) 'Incubator Tempe Berbasis IOT', pp. 1–20. Available at: <http://eprints.ums.ac.id/98645/>.

- Sari, A. *et al.* (2020) 'Pengembangan Koper Pintar Berbasis Arduino', *Journal ICTEE*, 1(1), pp. 4–8. Available at: <https://doi.org/10.33365/jictee.v1i1.699>.
- Satyapura, A. and Aritonang, E.M. (2015) *Let's Build Your Android Apps with Android Studio*. Edited by P.E.M. Komputindo. Jakarta: Kompas Gramedia.
- Suprianto. (2015). Liquid Crystal Display (LCD) 16 X 2. Diunduh dari <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/liquid-crystal-display-lcd-16-x-2> tanggal 15 September 2024.
- Suryadiwansa Harun, Herlinawati, S.R.S. (2023) 'Penerapan Teknologi Mesin Perebus-Pengering Ikan Asin', *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* [Preprint].
- Suwandi, I. (2024) 'Perancangan Sistem Pengukuran Suhu Dan Kelembaban Otomatis Dengan Md_Parola Dan Sensor Dht22', *Journal Of Power electric And Renewable Energy*, 1(2), pp. 30–37. Available at: <https://doi.org/10.59811/jper.v1i2.88>.
- Tatik Juwariyah, Sugeng Prayitno, A.M. (2018) 'Perancangan Sistem Deteksi Dini Pencegah Kebakaran Rumah Berbasis IoT (Internet of Things)', *Seinasi-Kesi*, pp. 57–62.
- Tim, P.T.A.-Q. (2016-2019) (2019) *Al-Qur'an dan Terjemahannya Edisi Penyempurnaan, Juz 1-10*. Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Triyono, M., Nazaruddin, N. and Werdiningsih, W. (2017) 'Uji Aktivitas Inokulum Tempe Dari Bahan Limbah Kulit Pisang Terhadap Mutu Tempe Kedelai', *Pro Food*, 3(1), pp. 200–206. Available at: <https://doi.org/10.29303/profood.v3i1.43>.
- Turang, D.A.O. (2015) 'Pengembangan Sistem Relay

Pengendalian dan Penghematan Pemakaian Lampu Berbasis Mobile', *UPN 'Veteran' Yogyakarta*, 3005(November), pp. 73–83. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-540-24653-4_8.

Vesdiyanto, F. (2019) *Pemberi Pakan Ikan Otomatis dan Notifikasi Melalui SMS Berbasis Arduino*, *UTDI Institutional Repository*. Available at: http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI.

Wahyudi, W. and Lestari, I. (2019) 'Pengaruh Modul Praktikum Optika Berbasis Inkuiri Terhadap Keterampilan Proses Sains dan Sikap Ilmiah Mahasiswa', *Jurnal Pendidikan Fisika dan Keilmuan (JPFK)*, 5(1), p. 33. Available at: <https://doi.org/10.25273/jpfk.v5i1.3317>.

Watson, David. (2024). TCS34725 Color Sensor. Diunduh dari <https://www.theengineeringprojects.com/2024/12/tcs34725-color-sensor.html#:~:text=TCS34725%20is%20a%20module%20specific,resolution%20to%20give%20precise%20output> tanggal 7 Februari 20.43

Yuliani, A. *et al.* (2017) 'Prototipe Sistem Monitoring Dan Peringatan Dini Kondisi Tubuh Manusia Berdasarkan Suhu Dan Denyut Nadi Berbasis Mikrokontroler 328P', *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 2(4), pp. 9–14.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengujian Sensor

1. DHT22

a. Tabel pengujian Suhu

Waktu	TT (°C)	TS (°C)	Ti (°C)	Error (%)	Akurasi (%)
14.00	31,9	31,8	0,1	0,3	99,7
15.00	31,4	31,6	0,2	0,6	99,4
16.00	30,9	31	0,1	0,3	99,7
17.00	30,6	30,8	0,2	0,9	99,1
18.00	30	30,1	0,1	0,3	99,7
19.00	29,3	29,4	0,1	0,3	99,7
20.00	29	28,9	0,1	0,3	99,7
21.00	28,5	28,4	0,1	0,4	99,6
22.00	28,3	28	0,3	1	99
23.00	28,1	28	0,1	0,4	99,6

$$Error = \frac{T_i}{T_T} 100\% \quad (L1.1)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (L1.2)$$

Keterangan:

T_i = selisih pengukuran sensor dengan termometer.

T_T = pengukuran dengan termometer.

T_s = pengukuran dengan sensor.

Error= kesalahan relatif sensor (%).

Akurasi= nilai ketelitian sensor (%).

Dari persamaan 0.1 dan 0.2 didapatkan hasil kesalahan relatif dan akurasi dari tiap pengukuran. Selanjutnya untuk mengetahui kesalahan relatif dan akurasi sensor secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Error\ Sensor = \frac{\Sigma Error}{n} \quad (L1.3)$$

$$Akurasi\ Sensor = \frac{\Sigma Akurasi}{n} \quad (L1.4)$$

Dengan n adalah banyaknya data, sehingga didapatkan kesalahan relatif dan akurasi:

$$Error\ Sensor = 4,8 / 10 = 0,48 \%$$

$$Akurasi\ Sensor = 995,2\% / 10 = 99,52\%$$

b. Tabel pengujian Kelembaban

Waktu	RHH (%)	RHS (%)	RHi (%)	Error (%)	Akurasi (%)
14.00	74	74,8	0,8	1	99
15.00	74	75	1	1,4	98,6
16.00	75	75,7	0,7	0,9	99,1
17.00	76	76	0	0	100
18.00	74	75,2	1,2	1,6	98,4
19.00	76	76,4	0,4	0,5	99,5
20.00	74	75,4	1,4	1,9	98,1
21.00	75	75,3	0,3	0,4	99,6
22.00	76	76,3	0,3	0,4	99,6
23.00	75	76	1	1,3	98,7

$$Error = \frac{RH_i}{RH_H} 100\% \quad (L1.5)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (L1.6)$$

Keterangan:

RH_i = selisih pengukuran sensor dengan hygrometer.

RH_H = pengukuran dengan hygrometer.

RH_s = pengukuran dengan sensor.

Error= kesalahan relatif sensor (%).

Akurasi= nilai ketelitian sensor (%).

Dari persamaan 0.5 dan 0.6 didapatkan hasil kesalahan relatif dan akurasi dari tiap pengukuran. Selanjutnya untuk mengetahui kesalahan relatif dan akurasi sensor secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Error\ Sensor = \frac{\Sigma Error}{n} \quad (L1.7)$$

$$Akurasi\ Sensor = \frac{\Sigma Akurasi}{n} \quad (L1.8)$$

Dengan n adalah banyaknya data, sehingga didapatkan kesalahan relatif dan akurasi:

$$Error\ Sensor = 9,4 / 10 = 0,94 \%$$

$$Akurasi\ Sensor = 990,6\% / 10 = 99,06\%$$

2. HC-SR04

No.	hM (cm)	hS (cm)	hi (cm)	Error (%)	Akurasi (%)
1.	5	4,90	0,10	2,0	98
2.	7	7,16	0,16	2,3	97,7
3.	8	8,13	0,13	1,6	98,4
4.	10	10,17	0,17	1,7	98,3
5.	12	11,85	0,15	1,3	98,7
6.	15	15,15	0,15	1	99
7.	18	17,97	0,03	0,2	99,8
8.	20	20,09	0,09	0,5	99,5
9.	25	24,77	0,23	0,9	99,1
10.	27	26,93	0,07	0,3	99,7

$$Error = \frac{h_i}{h_M} 100\% \quad (L1.9)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (L1.10)$$

Keterangan:

h_i = selisih pengukuran sensor dengan mistar.

h_T = pengukuran dengan mistar.

h_s = pengukuran dengan sensor.

Error= kesalahan relatif sensor (%).

Akurasi= nilai ketelitian sensor (%).

Dari persamaan 0.9 dan 0.10 didapatkan hasil kesalahan relatif dan akurasi dari tiap pengukuran. Selanjutnya untuk mengetahui kesalahan relatif dan akurasi sensor secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Error\ Sensor = \frac{\Sigma Error}{n} \quad (L1.9)$$

$$Akurasi\ Sensor = \frac{\Sigma Akurasi}{n} \quad (L1.10)$$

Dengan n adalah banyaknya data, sehingga didapatkan kesalahan relatif dan akurasi:

$$Error\ sensor = 11,8\%/10 = 1,18\%$$

$$Akurasi\ sensor = 998,2\%/10 = 98,82\%$$

3. Load Cell

No.	mT (g)	mS (g)	mi (g)	Error (%)	Akurasi (%)
1.	11	11	0	0	100
2.	50	50	0	0	100
3.	100	100	0	0	100
4.	200	201	1	0,5	99,5
5.	242	242	0	0	100

$$Error = \frac{m_i}{m_T} 100\% \quad (L1.11)$$

$$Akurasi = 100\% - Error \quad (L1.12)$$

Keterangan:

m_i = selisih pengukuran sensor dengan timbangan.

m_T = pengukuran dengan timbangan.

m_s = pengukuran dengan sensor.

Error= kesalahan relatif sensor (%).

Akurasi= nilai ketelitian sensor (%).

Dari persamaan 0.11 dan 0.12 didapatkan hasil kesalahan relatif dan akurasi dari tiap pengukuran. Selanjutnya untuk mengetahui kesalahan relatif dan akurasi sensor secara keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Error\ Sensor = \frac{\Sigma Error}{n} \quad (L1.13)$$

$$Akurasi\ Sensor = \frac{\Sigma Akurasi}{n} \quad (L1.14)$$

Dengan n adalah banyaknya data, sehingga didapatkan kesalahan relatif dan akurasi:

$$Error\ Sensor = 0,5 / 5 = 0,1 \%$$

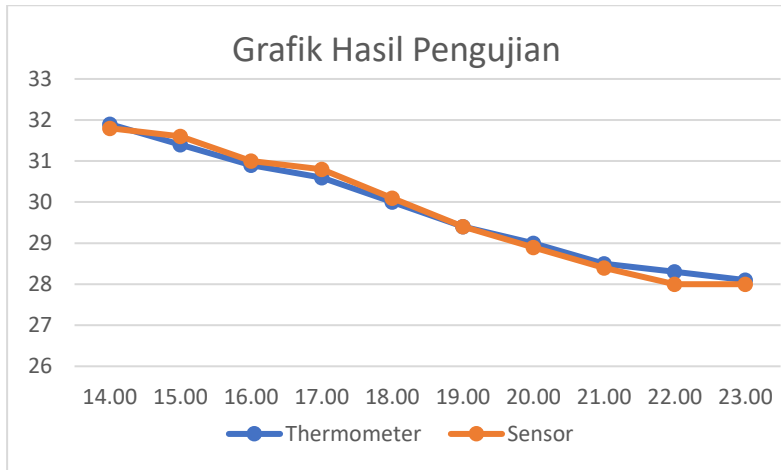
$$Akurasi\ Sensor = 499,5\% / 5 = 99,9 \%$$

4. TCS34725

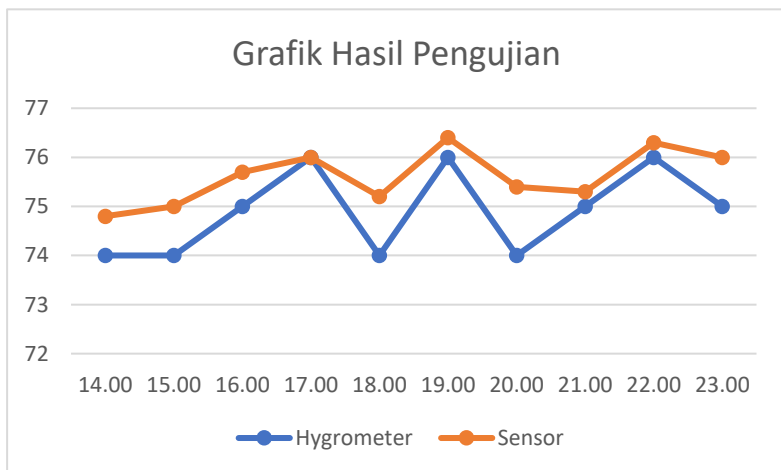
Tempe	Kode Sampel	Sensor			Corel Draw		
		R	G	B	R	G	B
Mentah	S1	151	121	61	130	111	65
	S2	137	109	54	123	117	70
	S3	149	120	61	127	111	68
	S4	139	111	55	121	117	70
	S5	145	117	61	125	106	64
Nilai Maksimum		151	121	61	130	117	70

Tempe	Kode Sampel	Sensor			Corel Draw		
		R	G	B	R	G	B
Nilai Minimum		137	109	54	121	106	64
Setengah Matang	S1	153	123	63	127	114	76
	S2	138	111	56	125	108	75
	S3	154	124	64	131	121	79
	S4	139	112	56	131	115	72
	S5	145	111	58	129	115	82
Nilai Maksimum		154	124	64	131	121	82
Nilai Minimum		138	111	56	125	108	72
Matang	S1	155	130	71	144	133	94
	S2	160	135	75	146	141	102
	S3	159	134	75	148	139	94
	S4	159	134	75	147	136	92
	S5	160	136	76	156	153	100
Nilai Maksimum		160	136	76	156	153	102
Nilai Minimum		155	130	71	144	133	92

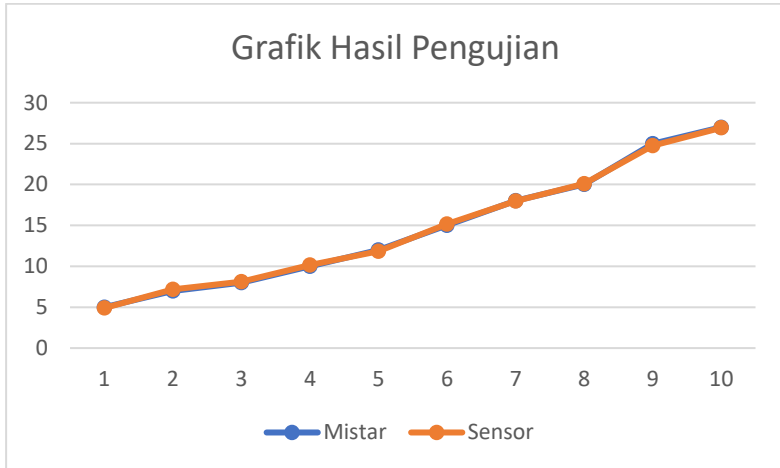
Lampiran 2. Gambar Grafik Pengujian Sensor



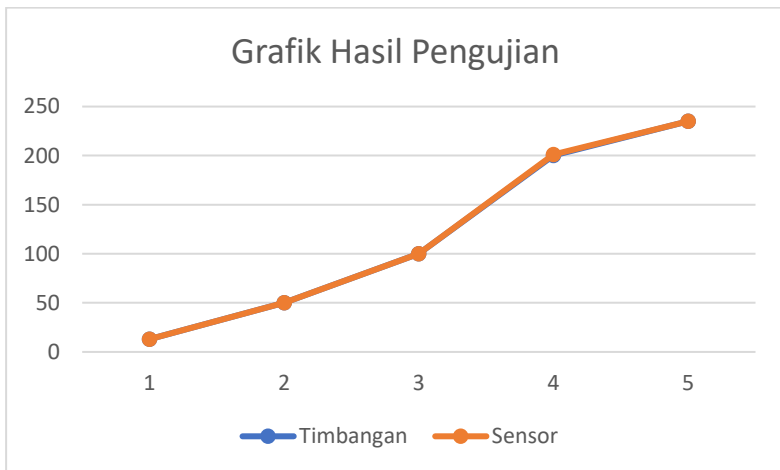
Gambar 0.1. Grafik Hasil Pengujian Suhu DHT22 dan Thermometer



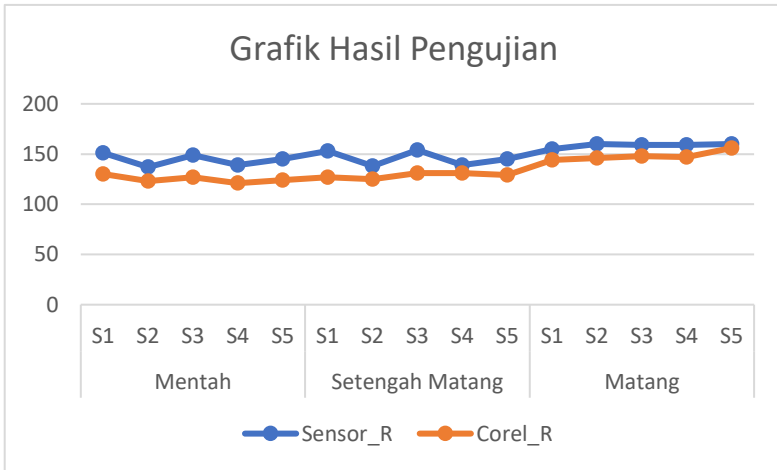
Gambar 0.2. Grafik Hasil Pengujian Kelembaban DHT22 dan Hygrometer



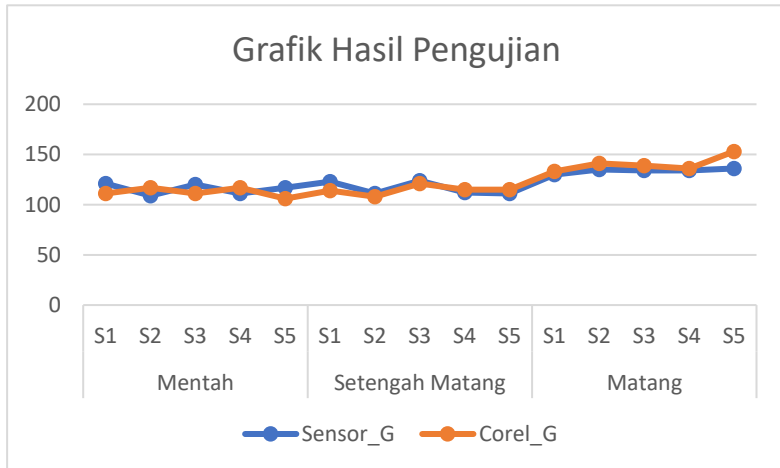
Gambar 0.3. Grafik Hasil Pengujian Jarak HC-SR04 dan Mistar



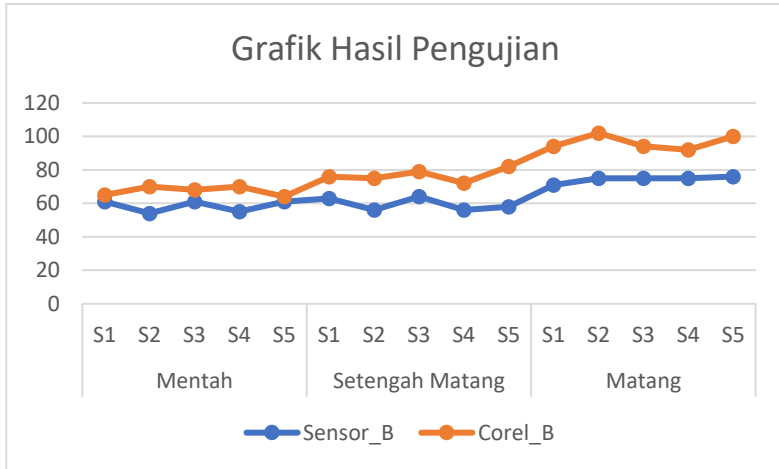
Gambar 0.4. Grafik Hasil Pengujian Massa Load Cell dan Timbangan



Gambar 0.5. Grafik Hasil Pengujian Warna Merah (R) pada TCS34725 dan Corel Draw



Gambar 0.6. Grafik Hasil Pengujian Warna Hijau (G) pada TCS34725 dan Corel Draw

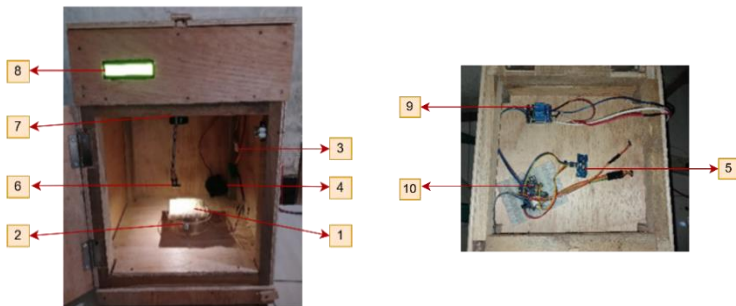


Gambar 0.7. Grafik Hasil Pengujian Warna Biru (B) pada
TCS34725 dan Corel Draw

Lampiran 3. Gambar Prototipe Inkubator Fermentasi Tempe dan Proses Pengujian



Gambar 0.8. Implementasi Prototipe Inkubator Fermentasi Tempe



Keterangan:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1. Tempe | 6. TCS34725 |
| 2. Load Cell | 7. Lampu |
| 3. DHT22 | 8. LCD 16x2 |
| 4. <i>Exhaust fan</i> | 9. Relay |
| 5. HC-SR04 | 10. NodeMCU ESP8266 |

Gambar 0.9. Implementasi Komponen Hardware Sistem dan Kontrol



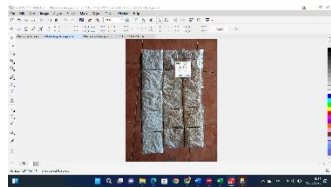
Gambar 0.10. Proses Pengujian Sensor DHT22



Gambar 0.11. Proses Pengujian Sensor HC-SR04



Gambar 0.12. Proses Pengujian Sensor Load Cell



Gambar 0.13. Proses Pengujian Sensor TCS34725



Gambar 0.14. Proses Pengujian Komunikasi Serial Data



Gambar 0.15. Proses Pengujian Tempe

Lampiran 4. Data Sheet Sensor

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal * Outstanding long-term stability * Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

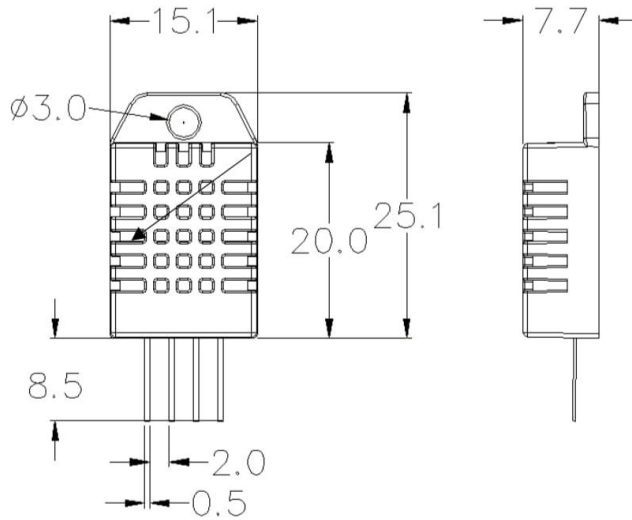
Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity $\pm 2\%$ RH(Max $\pm 5\%$ RH); temperature ± 0.5 Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1 Celsius
Repeatability	humidity $\pm 1\%$ RH; temperature ± 0.2 Celsius
Humidity hysteresis	$\pm 0.3\%$ RH
Long-term Stability	$\pm 0.5\%$ RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

1) Small size dimensions: (unit----mm)

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



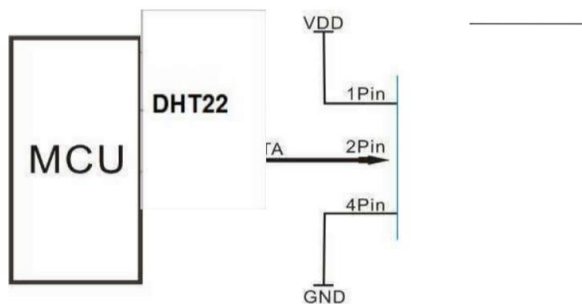
Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

5

Thomas Liu (Business Manager)

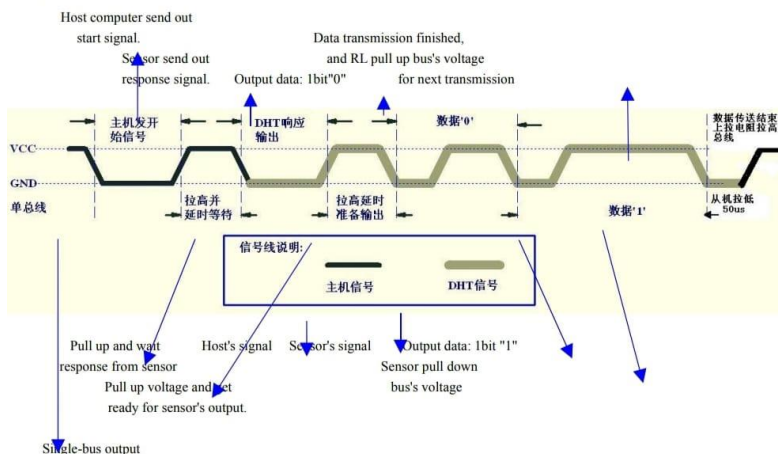
Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



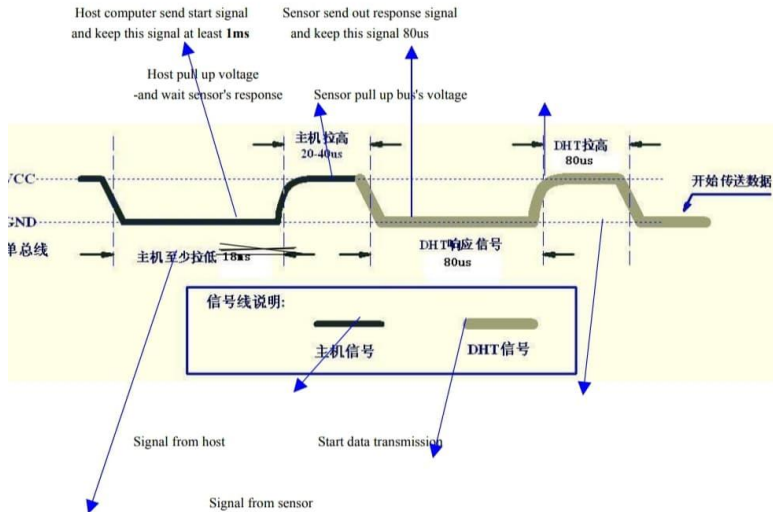
2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for DHT22's response.

Check bellow picture for step 1:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

Check bellow picture for step 2:

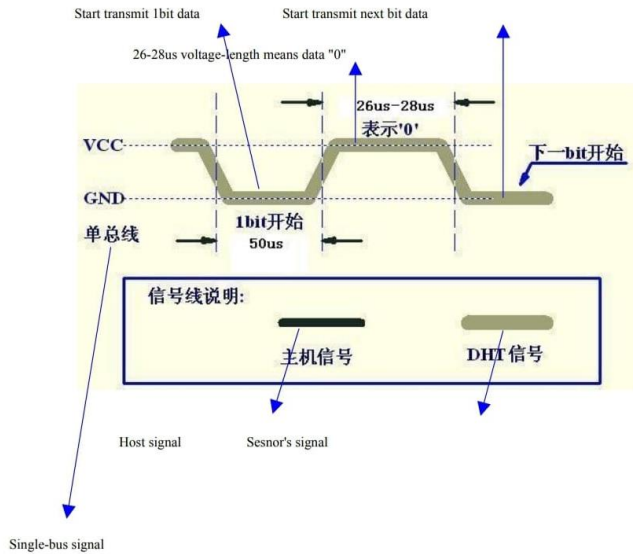
7

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



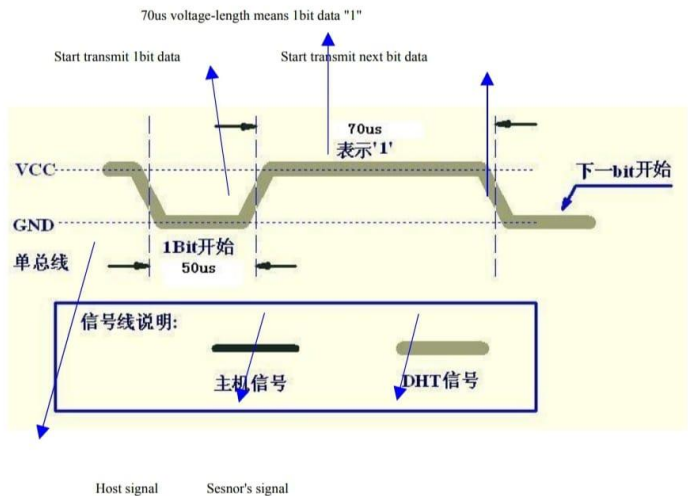
Step 3: DHT22 send data to MCU

When DHT22 is sending data to MCU, every bit's transmission begin with low-voltage-level that last 50us, the following high-voltage-level signal's length decide the bit is "1" or "0".

Check bellow picture for step 3:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

*Collecting period should be : >2 second.

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50~60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20~30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

Datasheet

3134 - Micro Load Cell (0-20kg) - CZL635



Contents

- 1 What do you have to know?
- 1 How does it work - For curious people
- 1 Installation
- 2 Calibration
- 2 Product Specifications
- 3 Glossary

What do you have to know?

A load cell is a force sensing module - a carefully designed metal structure, with small elements called strain gauges mounted in precise locations on the structure. Load cells are designed to measure a specific force, and ignore other forces being applied. The electrical signal output by the load cell is very small and requires specialized amplification. Fortunately, the **1046 PhidgetBridge will perform all the amplification and measurement of the electrical output.**

Load cells are designed to measure force in one direction. They will often measure force in other directions, but the sensor sensitivity will be different, since parts of the load cell operating under compression are now in tension, and vice versa.

How does it work - For curious people

Strain-gauge load cells convert the load acting on them into electrical signals. The measuring is done with very small resistor patterns called strain gauges - effectively small, flexible circuit boards. The gauges are bonded onto a beam or structural member that deforms when weight is applied, in turn deforming the strain-gauge. As the strain gauge is deformed, it's electrical resistance changes in proportion to the load.

The changes to the circuit caused by force is much smaller than the changes caused by variation in temperature. Higher quality load cells cancel out the effects of temperature using two techniques. By matching the expansion rate of the strain gauge to the expansion rate of the metal it's mounted on, undue strain on the gauges can be avoided as the load cell warms up and cools down. The most important method of temperature compensation involves using multiple strain gauges, which all respond to the change in temperature with the same change in resistance. Some load cell designs use gauges which are never subjected to any force, but only serve to counterbalance the temperature effects on the gauges that measuring force. Most designs use 4 strain gauges, some in compression, some under tension, which maximizes the sensitivity of the load cell, and automatically cancels the effect of temperature.

Installation

This Single Point Load Cell is used in small jewelry scales and kitchen scales. It's mounted by bolting down the end of the load cell where the wires are attached, and applying force on the other end **in the direction of the arrow**. Where the force is applied is not critical, as this load cell measures a shearing effect on the beam, not the bending of the beam. If you mount a small platform on the load cell, as would be done in a small scale, this load cell provides accurate readings regardless of the position of the load on the platform.



Calibration

A simple formula is usually used to convert the measured mV/V output from the load cell to the measured force:

$$\text{Measured Force} = A * \text{Measured mV/V} + B \text{ (offset)}$$

It's important to decide what unit your measured force is - grams, kilograms, pounds, etc.

This load cell has a rated output of $1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$ which corresponds to the sensor's capacity of 20kg.

To find A we use

$$\text{Capacity} = A * \text{Rated Output}$$

$$A = \text{Capacity} / \text{Rated Output}$$

$$A = 20 / 1.0$$

$$A = 20$$

Since the Offset is quite variable between individual load cells, it's necessary to calculate the offset for each sensor. Measure the output of the load cell with no force on it and note the mV/V output measured by the PhidgetBridge.

$$\text{Offset} = 0 - 20 * \text{Measured Output}$$

Product Specifications	
Mechanical	
Housing Material	Aluminum Alloy
Load Cell Type	Strain Gauge
Capacity	20kg
Dimensions	55.25x12.7x12.7mm
Mounting Holes	M5 (Screw Size)
Cable Length	550mm
Cable Size	30 AWG (0.2mm)
Cable - no. of leads	4
Electrical	
Precision	0.05%
Rated Output	$1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$
Non-Linearity	0.05% FS
Hysteresis	0.05% FS
Non-Repeatability	0.05% FS
Creep (per 30 minutes)	0.1% FS
Temperature Effect on Zero (per 10°C)	0.05% FS
Temperature Effect on Span (per 10°C)	0.05% FS
Zero Balance	$\pm 1.5\%$ FS
Input Impedance	$1130 \pm 10 \text{ Ohm}$
Output Impedance	$1000 \pm 10 \text{ Ohm}$
Insulation Resistance (Under 50VDC)	$\geq 5000 \text{ MOhm}$
Excitation Voltage	5 VDC
Compensated Temperature Range	-10 to $\sim +40^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	-20 to $\sim +55^\circ\text{C}$
Safe Overload	120% Capacity
Ultimate Overload	150% Capacity

Glossary

Capacity

The maximum load the load cell is designed to measure within its specifications.

Creep

The change in sensor output occurring over 30 minutes, while under load at or near capacity and with all environmental conditions and other variables remaining constant.

FULL SCALE or FS

Used to qualify error - FULL SCALE is the change in output when the sensor is fully loaded. If a particular error (for example, Non-Linearity) is expressed as 0.1% F.S., and the output is 1.0mV/V, the maximum non-linearity that will be seen over the operating range of the sensor will be 0.001 mV/V. An important distinction is that this error doesn't have to only occur at the maximum load. If you are operating the sensor at a maximum of 10% of capacity, for this example, the non-linearity would still be 0.001mV/V, or 1% of the operating range that you are actually using.

Hysteresis

If a force equal to 50% of capacity is applied to a load cell which has been at no load, a given output will be measured. The same load cell is at full capacity, and some of the force is removed, resulting in the load cell operating at 50% capacity. The difference in output between the two test scenarios is called hysteresis.

Excitation Voltage

Specifies the voltage that can be applied to the power/ground terminals on the load cell. In practice, if you are using the load cell with the PhidgetBridge, you don't have to worry about this spec.

Input Impedance

Determines the power that will be consumed by the load cell. The lower this number is, the more current will be required, and the more heating will occur when the load cell is powered. In very noisy environments, a lower input impedance will reduce the effect of Electromagnetic interference on long wires between the load cell and PhidgetBridge.

Insulation Resistance

The electrical resistance measured between the metal structure of the load cell, and the wiring. The practical result of this is the metal structure of the load cells should not be energized with a voltage, particularly higher voltages, as it can arc into the PhidgetBridge. Commonly the load cell and the metal framework it is part of will be grounded to earth or to your system ground.

Maximum Overload

The maximum load which can be applied without producing a structural failure.

Non-Linearity

Ideally, the output of the sensor will be perfectly linear, and a simple 2-point calibration will exactly describe the behaviour of the sensor at other loads. In practice, the sensor is not perfect, and Non-linearity describes the maximum deviation from the linear curve. Theoretically, if a more complex calibration is used, some of the non-linearity can be calibrated out, but this will require a very high accuracy calibration with multiple points.

Non-Repeatability

The maximum difference the sensor will report when exactly the same weight is applied, at the same temperature, over multiple test runs.

Operating Temperature

The extremes of ambient temperature within which the load cell will operate without permanent adverse change to any of its performance characteristics.

Output Impedance

Roughly corresponds to the input impedance. If the Output Impedance is very high, measuring the bridge will distort the results. The PhidgetBridge carefully buffers the signals coming from the load cell, so in practice this is not a concern.

Rated Output

Is the difference in the output of the sensor between when it is fully loaded to its rated capacity, and when it's unloaded. Effectively, it's how sensitive the sensor is, and corresponds to the gain calculated when calibrating the sensor. More expensive sensors have an exact rated output based on an individual calibration done at the factory.

Safe Overload

The maximum axial load which can be applied without producing a permanent shift in performance characteristics beyond those specified.

Compensated Temperature

The range of temperature over which the load cell is compensated to maintain output and zero balance within specified limits.

Temperature Effect on Span

Span is also called rated output. This value is the change in output due to a change in ambient temperature. It is measured over 10 degree C temperature interval.

Temperature Effect on Zero

The change in zero balance due to a change in ambient temperature. This value is measured over 10 degree C temperature interval.

Zero Balance

Zero Balance defines the maximum difference between the +/- output wires when no load is applied. Realistically, each sensor will be individually calibrated, at least for the output when no load is applied. Zero Balance is more of a concern if the load cell is being interfaced to an amplification circuit - the PhidgetBridge can easily handle enormous differences between +/- . If the difference is very large, the PhidgetBridge will not be able to use the higher Gain settings.



Tech Support: services@elecfreaks.com

Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time × velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

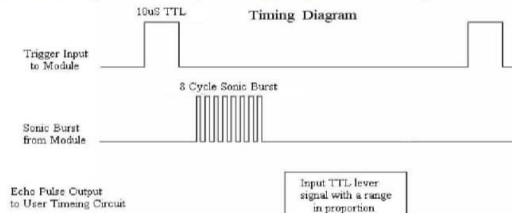
Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
Measuring Angle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10 μ s pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: $\mu\text{s} / 58 = \text{centimeters}$ or $\mu\text{s} / 148 = \text{inch}$; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



Attention:

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

www.Electfreaks.com

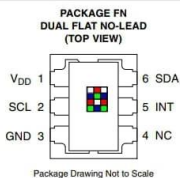




TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

Features

- Red, Green, Blue (RGB), and Clear Light Sensing with IR Blocking Filter
 - Programmable Analog Gain and Integration Time
 - 3,800,000:1 Dynamic Range
 - Very High Sensitivity — Ideally Suited for Operation Behind Dark Glass
- Maskable Interrupt
 - Programmable Upper and Lower Thresholds with Persistence Filter
- Power Management
 - Low Power — 2.5- μ A Sleep State
 - 65- μ A Wait State with Programmable Wait State Time from 2.4 ms to > 7 Seconds
- I²C Fast Mode Compatible Interface
 - Data Rates up to 400 kbit/s
 - Input Voltage Levels Compatible with V_{DD} or 1.8 V Bus
- Register Set and Pin Compatible with the TCS3x71 Series
- Small 2 mm × 2.4 mm Dual Flat No-Lead (FN) Package



Applications

- RGB LED Backlight Control
- Light Color Temperature Measurement
- Ambient Light Sensing for Display Backlight Control
- Fluid and Gas Analysis
- Product Color Verification and Sorting

End Products and Market Segments

- TVs, Mobile Handsets, Tablets, Computers, and Monitors
- Consumer and Commercial Printing
- Medical and Health Fitness
- Solid State Lighting (SSL) and Digital Signage
- Industrial Automation

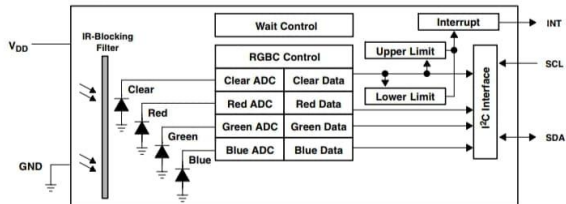
Description

The TCS3472 device provides a digital return of red, green, blue (RGB), and clear light sensing values. An IR blocking filter, integrated on-chip and localized to the color sensing photodiodes, minimizes the IR spectral component of the incoming light and allows color measurements to be made accurately. The high sensitivity, wide dynamic range, and IR blocking filter make the TCS3472 an ideal color sensor solution for use under varying lighting conditions and through attenuating materials.

The TCS3472 color sensor has a wide range of applications including RGB LED backlight control, solid-state lighting, health/fitness products, industrial process controls and medical diagnostic equipment. In addition, the IR blocking filter enables the TCS3472 to perform ambient light sensing (ALS). Ambient light sensing is widely used in display-based products such as cell phones, notebooks, and TVs to sense the lighting environment and enable automatic display brightness for optimal viewing and power savings. The TCS3472, itself, can enter a lower-power wait state between light sensing measurements to further reduce the average power consumption.

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

Functional Block Diagram



Detailed Description

The TCS3472 light-to-digital converter contains a 3×4 photodiode array, four analog-to-digital converters (ADC) that integrate the photodiode current, data registers, a state machine, and an I²C interface. The 3×4 photodiode array is composed of red-filtered, green-filtered, blue-filtered, and clear (unfiltered) photodiodes. In addition, the photodiodes are coated with an IR-blocking filter. The four integrating ADCs simultaneously convert the amplified photodiode currents to a 16-bit digital value. Upon completion of a conversion cycle, the results are transferred to the data registers, which are double-buffered to ensure the integrity of the data. All of the internal timing, as well as the low-power wait state, is controlled by the state machine.

Communication of the TCS3472 data is accomplished over a fast, up to 400 kHz, two-wire I²C serial bus. The industry standard I²C bus facilitates easy, direct connection to microcontrollers and embedded processors.

In addition to the I²C bus, the TCS3472 provides a separate interrupt signal output. When interrupts are enabled, and user-defined thresholds are exceeded, the active-low interrupt is asserted and remains asserted until it is cleared by the controller. This interrupt feature simplifies and improves the efficiency of the system software by eliminating the need to poll the TCS3472. The user can define the upper and lower interrupt thresholds and apply an interrupt persistence filter. The interrupt persistence filter allows the user to define the number of consecutive out-of-threshold events necessary before generating an interrupt. The interrupt output is open-drain, so it can be wire-ORed with other devices.



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

Terminal Functions

TERMINAL NAME	NO.	TYPE	DESCRIPTION
GND	3		Power supply ground. All voltages are referenced to GND.
INT	5	O	Interrupt — open drain (active low).
NC	4	O	No connect — do not connect.
SCL	2	I	I ² C serial clock input terminal — clock signal for I ² C serial data.
SDA	6	I/O	I ² C serial data I/O terminal — serial data I/O for I ² C.
V _{DD}	1		Supply voltage.

Available Options

DEVICE	ADDRESS	PACKAGE – LEADS	INTERFACE DESCRIPTION	ORDERING NUMBER
TCS34721 [†]	0x39	FN–6	I ² C V _{bus} = V _{DD} Interface	TCS34721FN
TCS34723 [†]	0x39	FN–6	I ² C V _{bus} = 1.8 V Interface	TCS34723FN
TCS34725	0x29	FN–6	I ² C V _{bus} = V _{DD} Interface	TCS34725FN
TCS34727	0x29	FN–6	I ² C V _{bus} = 1.8 V Interface	TCS34727FN

[†] Contact TAOS for availability.

Absolute Maximum Ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

Supply voltage, V _{DD} (Note 1)	3.8 V
Input terminal voltage	–0.5 V to 3.8 V
Output terminal voltage	–0.5 V to 3.8 V
Output terminal current	–1 mA to 20 mA
Storage temperature range, T _{stg}	–40°C to 85°C
ESD tolerance, human body model	2000 V

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltages are with respect to GND.

Recommended Operating Conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V _{DD} (TCS34721 & TCS34725) (I ² C V _{bus} = V _{DD})	2.7	3	3.6	V
Supply voltage, V _{DD} (TCS34723 & TCS34727) (I ² C V _{bus} = 1.8 V)	2.7	3	3.3	V
Operating free-air temperature, T _A	–30		70	°C

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

Operating Characteristics, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_{DD} Supply current	Active		235	330	μA
	Wait state		65		
	Sleep state — no I ² C activity		2.5	10	
V_{OL} INT, SDA output low voltage	3 mA sink current		0	0.4	V
	6 mA sink current		0	0.6	
I_{LEAK} Leakage current, SDA, SCL, INT pins		–5		5	μA
I_{LEAK} Leakage current, LDR pin		–5		5	μA
V_{RH} SCL, SDA input high voltage	TCS34721 & TCS34725	0.7 V_{DD}			V
	TCS34723 & TCS34727	1.25			
V_{IL} SCL, SDA input low voltage	TCS34721 & TCS34725		0.3 V_{DD}		V
	TCS34723 & TCS34727		0.54		

Optical Characteristics, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $\text{AGAIN} = 16\times$, $\text{ATIME} = 0x\text{F6}$ (unless otherwise noted) (Note 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	Red Channel			Green Channel			Blue Channel			Clear Channel			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
R_R Irradiance responsivity	$\lambda_D = 465\text{ nm}$ Note 2	0%	15%	10%	42%	65%	88%	11.0	13.8	16.6				counts/ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
	$\lambda_D = 525\text{ nm}$ Note 3	4%	25%	60%	85%	10%	45%	13.2	16.6	20.0				
	$\lambda_D = 615\text{ nm}$ Note 4	80%	110%	0%	14%	5%	24%	15.6	19.5	23.4				

NOTES: 1. The percentage shown represents the ratio of the respective red, green, or blue channel value to the clear channel value.
 2. The 465 nm input irradiance is supplied by an InGaP light-emitting diode with the following characteristics:
 dominant wavelength $\lambda_D = 465\text{ nm}$, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 22\text{ nm}$.
 3. The 525 nm input irradiance is supplied by an InGaP light-emitting diode with the following characteristics:
 dominant wavelength $\lambda_D = 525\text{ nm}$, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 35\text{ nm}$.
 4. The 615 nm input irradiance is supplied by a AlInGaP light-emitting diode with the following characteristics:
 dominant wavelength $\lambda_D = 615\text{ nm}$, spectral halfwidth $\Delta\lambda_{1/2} = 15\text{ nm}$.

RGB Characteristics, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $\text{AGAIN} = 16\times$, $\text{AEN} = 1$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Dark ADC count value	$E_D = 0$, $\text{AGAIN} = 60\times$, $\text{ATIME} = 0x\text{D6}$ (100 ms)	0	1	5	counts
ADC integration time step size	$\text{ATIME} = 0x\text{FF}$	2.27	2.4	2.56	ms
ADC number of integration steps (Note 5)		1		256	steps
ADC counts per step (Note 5)		0		1024	counts
ADC count value (Note 5)	$\text{ATIME} = 0x\text{C0}$ (153.6 ms)	0		65535	counts
Gain scaling, relative to 1 \times gain setting	4 \times	3.8	4	4.2	X
	16 \times	15	16	16.8	
	60 \times	58	60	63	

NOTE 5: Parameter ensured by design and is not tested.



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

Wait Characteristics, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $WEN = 1$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	CHANNEL	MIN	TYP	MAX	UNIT
Wait step size	WTIME = 0xFF		2.27	2.4	2.56	ms
Wait number of integration steps (Note 1)			1		256	steps

NOTE 1: Parameter ensured by design and is not tested.

AC Electrical Characteristics, $V_{DD} = 3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER [†]	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$f_{(SCL)}$ Clock frequency (I ² C only)		0		400	kHz
$t_{(BUF)}$ Bus free time between start and stop condition		1.3			μs
$t_{(HDATA)}$ Hold time after (repeated) start condition. After this period, the first clock is generated.		0.6			μs
$t_{(SUSTA)}$ Repeated start condition setup time		0.6			μs
$t_{(SUSTO)}$ Stop condition setup time		0.6			μs
$t_{(HODAT)}$ Data hold time		0			μs
$t_{(SDAT)}$ Data setup time		100			ns
$t_{(LOW)}$ SCL clock low period		1.3			μs
$t_{(HIGH)}$ SCL clock high period		0.6			μs
t_F Clock/data fall time				300	ns
t_R Clock/data rise time				300	ns
C_i Input pin capacitance				10	pF

[†] Specified by design and characterization; not production tested.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

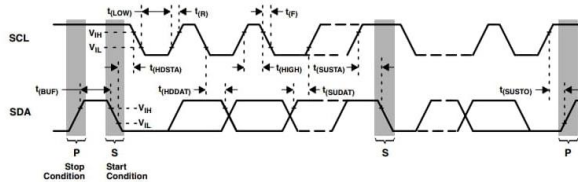


Figure 1. Timing Diagrams



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
 with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

TYPICAL CHARACTERISTICS

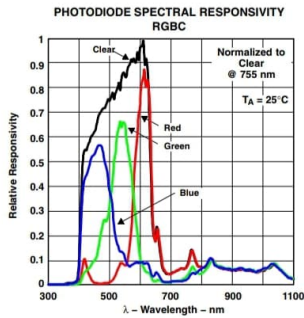


Figure 2

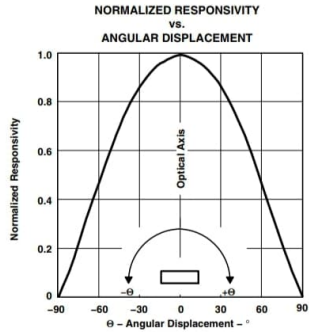


Figure 3

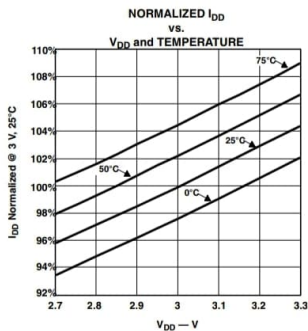


Figure 4

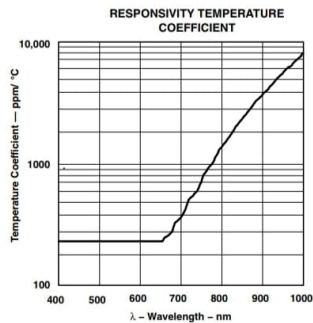


Figure 5



PRINCIPLES OF OPERATION

System States

An internal state machine provides system control of the RGBC and power management features of the device. At power up, an internal power-on-reset initializes the device and puts it in a low-power Sleep state.

When a start condition is detected on the I²C bus, the device transitions to the Idle state where it checks the Enable Register (0x00) PON bit. If PON is disabled, the device will return to the Sleep state to save power. Otherwise, the device will remain in the Idle state until the RGBC function is enabled (AEN). Once enabled, the device will execute the Wait and RGBC states in sequence as indicated in Figure 5. Upon completion and return to Idle, the device will automatically begin a new Wait-RGBC cycle as long as PON and AEN remain enabled.

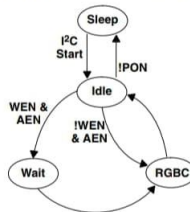


Figure 6. Simplified State Diagram



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

RGBC Operation

The RGBC engine contains RGBC gain control (AGAIN) and four integrating analog-to-digital converters (ADC) for the RGBC photodiodes. The RGBC integration time (ATIME) impacts both the resolution and the sensitivity of the RGBC reading. Integration of all four channels occurs simultaneously and upon completion of the conversion cycle, the results are transferred to the color data registers. This data is also referred to as channel *count*.

The transfers are double-buffered to ensure that invalid data is not read during the transfer. After the transfer, the device automatically moves to the next state in accordance with the configured state machine.

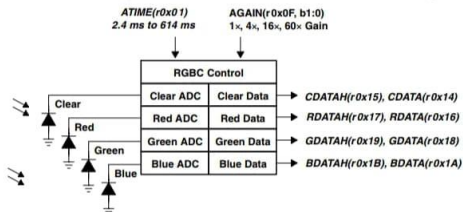


Figure 7. RGBC Operation

NOTE: In this document, the nomenclature uses the bit field name in *italics* followed by the register address and bit number to allow the user to easily identify the register and bit that controls the function. For example, the power on (PON) is in register 0x00, bit 0. This is represented as *PON (r0x00.b0)*.

The registers for programming the integration and wait times are a 2's compliment values. The actual time can be calculated as follows:

$$ATIME = 256 - \text{Integration Time} / 2.4 \text{ ms}$$

Inversely, the time can be calculated from the register value as follows:

$$\text{Integration Time} = 2.4 \text{ ms} \times (256 - ATIME)$$

For example, if a 100-ms integration time is needed, the device needs to be programmed to:

$$256 - (100 / 2.4) = 256 - 42 = 214 = 0xD6$$

Conversely, the programmed value of 0xC0 would correspond to:

$$(256 - 0xC0) \times 2.4 = 64 \times 2.4 = 154 \text{ ms.}$$



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS135 – AUGUST 2012

Interrupts

The interrupt feature simplifies and improves system efficiency by eliminating the need to poll the sensor for light intensity values outside of a user-defined range. While the interrupt function is always enabled and its status is available in the status register (0x13), the output of the interrupt state can be enabled using the RGBC interrupt enable (AIEN) field in the enable register (0x00).

Two 16-bit interrupt threshold registers allow the user to set limits below and above a desired light level. An interrupt can be generated when the Clear data (CDATA) is less than the Clear interrupt low threshold (AILTx) or is greater than the Clear interrupt high threshold (AIHTx).

It is important to note that the thresholds are evaluated in sequence, first the low threshold, then the high threshold. As a result, if the low threshold is set above the high threshold, the high threshold is ignored and only the low threshold is evaluated.

To further control when an interrupt occurs, the device provides a persistence filter. The persistence filter allows the user to specify the number of consecutive out-of-range Clear occurrences before an interrupt is generated. The persistence filter register (0x0C) allows the user to set the Clear persistence filter (APERS) value. See the persistence filter register for details on the persistence filter value. Once the persistence filter generates an interrupt, it will continue until a special function interrupt clear command is received (see command register).

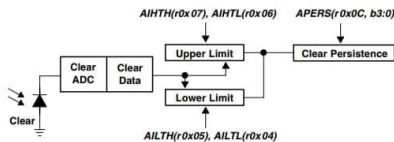


Figure 8. Programmable Interrupt

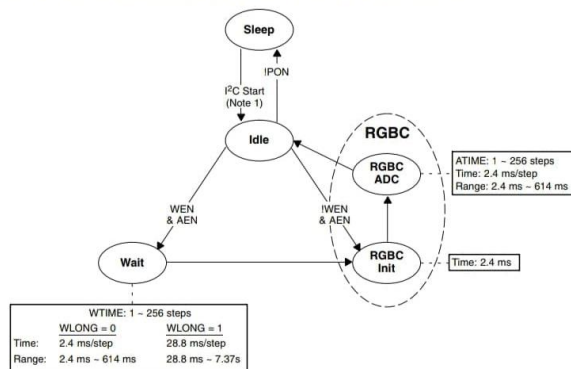
TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS135 – AUGUST 2012

System Timing

The system state machine shown in Figure 5 provides an overview of the states and state transitions that provide system control of the device. This section highlights the programmable features, which affect the state machine cycle time, and provides details to determine system level timing.

When the power management feature is enabled (WEN), the state machine will transition to the Wait state. The wait time is determined by WLONG, which extends normal operation by 12× when asserted, and WTIME. The formula to determine the wait time is given in the box associated with the Wait state in Figure 9.

When the RGBC feature is enabled (AEN), the state machine will transition through the RGBC Init and RGBC ADC states. The RGBC Init state takes 2.4 ms, while the RGBC ADC time is dependent on the integration time (ATIME). The formula to determine RGBC ADC time is given in the associated box in Figure 9. If an interrupt is generated as a result of the RGBC cycle, it will be asserted at the end of the RGBC ADC.



Notes: 1. There is a 2.4 ms warm-up delay if PON is enabled. If PON is not enabled, the device will return to the Sleep state as shown.
 2. PON, WEN, and AEN are fields in the Enable register (0x00).

Figure 9. Detailed State Diagram



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS135 – AUGUST 2012

Register Set

The TCS3472 is controlled and monitored by data registers and a command register accessed through the serial interface. These registers provide for a variety of control functions and can be read to determine results of the ADC conversions. The register set is summarized in Table 3.

Table 3. Register Address

ADDRESS	REGISTER NAME	R/W	REGISTER FUNCTION	RESET VALUE
—	COMMAND	W	Specifies register address	0x00
0x00	ENABLE	R/W	Enables states and interrupts	0x00
0x01	ATIME	R/W	RGBC time	0xFF
0x03	WTIME	R/W	Wait time	0xFF
0x04	AILTL	R/W	Clear interrupt low threshold low byte	0x00
0x05	AILTH	R/W	Clear interrupt low threshold high byte	0x00
0x06	AIHTL	R/W	Clear interrupt high threshold low byte	0x00
0x07	AIHTH	R/W	Clear interrupt high threshold high byte	0x00
0x0C	PERS	R/W	Interrupt persistence filter	0x00
0x0D	CONFIG	R/W	Configuration	0x00
0x0F	CONTROL	R/W	Control	0x00
0x12	ID	R	Device ID	ID
0x13	STATUS	R	Device status	0x00
0x14	CDATAL	R	Clear data low byte	0x00
0x15	CDATAH	R	Clear data high byte	0x00
0x16	RDATAL	R	Red data low byte	0x00
0x17	RDATAH	R	Red data high byte	0x00
0x18	GDATAL	R	Green data low byte	0x00
0x19	GDATAH	R	Green data high byte	0x00
0x1A	BDATAL	R	Blue data low byte	0x00
0x1B	BDATAH	R	Blue data high byte	0x00

The mechanics of accessing a specific register depends on the specific protocol used. See the section on I²C protocols on the previous pages. In general, the COMMAND register is written first to specify the specific control-status-data register for subsequent read/write operations.

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

Command Register

The command register specifies the address of the target register for future write and read operations.

Table 4. Command Register

		7	6	5	4	3	2	1	0	
COMMAND	CMD	TYPE		ADDR/SF						--
FIELD	BITS		DESCRIPTION							
CMD	7		Select Command Register. Must write as 1 when addressing COMMAND register.							
TYPE	6:5		Selects type of transaction to follow in subsequent data transfers:							
	FIELD VALUE	INTEGRATION TIME								
	00	Repeated byte protocol transaction								
	01	Auto-increment protocol transaction								
	10	Reserved — Do not use								
	11	Special function — See description below								
ADDR/SF	4:0		Byte protocol will repeatedly read the same register with each data access. Block protocol will provide auto-increment function to read successive bytes.							
	Address field/special function field. Depending on the transaction type, see above, this field either specifies a special function command or selects the specific control-status-data register for subsequent read and write transactions. The field values listed below only apply to special function commands:									
	FIELD VALUE	READ VALUE								
	00110	Clear channel interrupt clear								
	other	Reserved — Do not write								
The Clear channel interrupt clear special function clears any pending interrupt and is self-clearing.										



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS136 – AUGUST 2012

Enable Register (0x00)

The Enable register is used primarily to power the TCS3472 device on and off, and enable functions and interrupts as shown in Table 5.

Table 5. Enable Register

	7	6	5	4	3	2	1	0	
ENABLE	Reserved			AIEN	WEN	Reserved	AEN	PON	Address 0x00
FIELD	BITS	DESCRIPTION							
Reserved	7:5	Reserved. Write as 0.							
AIEN	4	RGBC interrupt enable. When asserted, permits RGBC interrupts to be generated.							
WEN	3	Wait enable. This bit activates the wait feature. Writing a 1 activates the wait timer. Writing a 0 disables the wait timer.							
Reserved	2	Reserved. Write as 0.							
AEN	1	RGBC enable. This bit activates the two-channel ADC. Writing a 1 activates the RGBC. Writing a 0 disables the RGBC.							
PON 1, 2	0	Power ON. This bit activates the internal oscillator to permit the timers and ADC channels to operate. Writing a 1 activates the oscillator. Writing a 0 disables the oscillator.							

NOTES: 1. See Power Management section for more information.
2. A minimum interval of 2.4 ms must pass after PON is asserted before an RGBC can be initiated.

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

RGBC Timing Register (0x01)

The RGBC timing register controls the internal integration time of the RGBC clear and IR channel ADCs in 2.4-ms increments. Max RGBC Count = $(256 - \text{ATIME}) \times 1024$ up to a maximum of 65535.

Table 6. RGBC Timing Register

FIELD	BITS	DESCRIPTION			
		VALUE	INTEG_CYCLES	TIME	MAX COUNT
ATIME	7:0	0xFF	1	2.4 ms	1024
		0xF6	10	24 ms	10240
		0xD5	42	101 ms	43008
		0xC0	64	154 ms	65535
		0x00	256	700 ms	65535

Wait Time Register (0x03)

Wait time is set 2.4 ms increments unless the WLONG bit is asserted, in which case the wait times are 12× longer. WTIME is programmed as a 2's complement number.

Table 7. Wait Time Register

FIELD	BITS	DESCRIPTION			
		REGISTER VALUE	WAIT TIME	TIME (WLONG = 0)	TIME (WLONG = 1)
WTIME	7:0	0xFF	1	2.4 ms	0.029 sec
		0xAB	85	204 ms	2.45 sec
		0x00	256	614 ms	7.4 sec



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS115 – AUGUST 2012

RGBC Interrupt Threshold Registers (0x04 – 0x07)

The RGBC interrupt threshold registers provides the values to be used as the high and low trigger points for the comparison function for interrupt generation. If the value generated by the clear channel crosses below the lower threshold specified, or above the higher threshold, an interrupt is asserted on the interrupt pin.

Table 8. RGBC Interrupt Threshold Registers

REGISTER	ADDRESS	BITS	DESCRIPTION
AILTL	0x04	7:0	RGBC clear channel low threshold lower byte
AILTH	0x05	7:0	RGBC clear channel low threshold upper byte
AIHTL	0x06	7:0	RGBC clear channel high threshold lower byte
AIHTH	0x07	7:0	RGBC clear channel high threshold upper byte

Persistence Register (0x0C)

The persistence register controls the filtering interrupt capabilities of the device. Configurable filtering is provided to allow interrupts to be generated after each integration cycle or if the integration has produced a result that is outside of the values specified by the threshold register for some specified amount of time.

Table 9. Persistence Register

		7 6 5 4 3 2 1 0	
PERS		Reserved	APERS
			Address 0x0C
FIELD	BITS	DESCRIPTION	
PPERS	7:4	Reserved	
APERS	3:0	Interrupt persistence. Controls rate of interrupt to the host processor.	
		FIELD VALUE	MEANING
		0000	Every
		0001	1
		0010	2
		0011	3
		0100	5
		0101	10
		0110	15
		0111	20
		1000	25
		1001	30
		1010	35
		1011	40
		1100	45
		1101	50
		1110	55
		1111	60



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS185 – AUGUST 2012

Configuration Register (0x0D)

The configuration register sets the wait long time.

Table 10. Configuration Register

	7	6	5	4	3	2	1	0	
CONFIG	Reserved						WLONG	Reserved	Address 0x0D
FIELD	BITS	DESCRIPTION							
Reserved	7:2	Reserved. Write as 0.							
WLONG	1	Wait Long. When asserted, the wait cycles are increased by a factor 12x from that programmed in the WTIME register.							
Reserved	0	Reserved. Write as 0.							

Control Register (0x0F)

The Control register provides eight bits of miscellaneous control to the analog block. These bits typically control functions such as gain settings and/or diode selection.

Table 11. Control Register

	7	6	5	4	3	2	1	0	
CONTROL	Reserved						AGAIN	Reserved	Address 0x0F
FIELD	BITS	DESCRIPTION							
Reserved	7:2	Reserved. Write bits as 0							
AGAIN	1:0	RGBC Gain Control.							
		FIELD VALUE RGBC GAIN VALUE							
		00 1x gain							
		01 4x gain							
		10 16x gain							
		11 60x gain							

ID Register (0x12)

The ID Register provides the value for the part number. The ID register is a read-only register.

Table 12. ID Register

	7	6	5	4	3	2	1	0	
ID	ID								Address 0x12
FIELD	BITS	DESCRIPTION							
ID	7:0	Part number identification						0x44 = TCS34721 and TCS34725	
								0x4D = TCS34723 and TCS34727	

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS135 – AUGUST 2012

Status Register (0x13)

The Status Register provides the internal status of the device. This register is read only.

Table 13. Status Register

	7	6	5	4	3	2	1	0	
STATUS	Reserved			AINT	Reserved			AVALID	Address 0x13
FIELD	BIT	DESCRIPTION							
Reserved	7:5	Reserved.							
AINT	4	RGBC clear channel Interrupt.							
Reserved	3:1	Reserved.							
AVALID	0	RGBC Valid. Indicates that the RGBC channels have completed an integration cycle.							

RGBC Channel Data Registers (0x14 – 0x1B)

Clear, red, green, and blue data is stored as 16-bit values. To ensure the data is read correctly, a two-byte read I²C transaction should be used with a read word protocol bit set in the command register. With this operation, when the lower byte register is read, the upper eight bits are stored into a shadow register, which is read by a subsequent read to the upper byte. The upper register will read the correct value even if additional ADC integration cycles end between the reading of the lower and upper registers.

Table 14. ADC Channel Data Registers

REGISTER	ADDRESS	BITS	DESCRIPTION
CDATA	0x14	7:0	Clear data low byte
CDATAH	0x15	7:0	Clear data high byte
RDATA	0x16	7:0	Red data low byte
RDATAH	0x17	7:0	Red data high byte
GDATA	0x18	7:0	Green data low byte
GDATAH	0x19	7:0	Green data high byte
BDATA	0x1A	7:0	Blue data low byte
BDATAH	0x1B	7:0	Blue data high byte

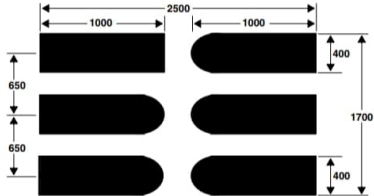
TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAO5135 – AUGUST 2012

APPLICATION INFORMATION: HARDWARE

PCB Pad Layout

Suggested PCB pad layout guidelines for the Dual Flat No-Lead (FN) surface mount package are shown in Figure 11.

Note: Pads can be extended further if hand soldering is needed.



NOTES: A. All linear dimensions are in micrometers.
 B. This drawing is subject to change without notice.

Figure 11. Suggested FN Package PCB Layout

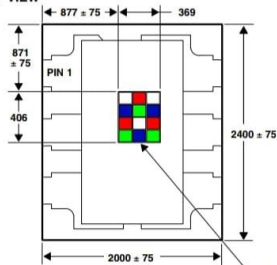
TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

PACKAGE INFORMATION

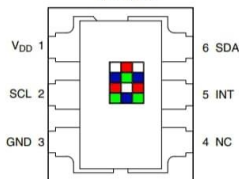
PACKAGE FN

Dual Flat No-Lead

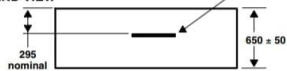
TOP VIEW



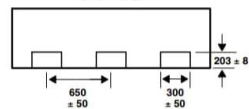
PIN OUT
TOP VIEW



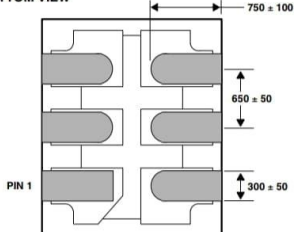
END VIEW



SIDE VIEW



BOTTOM VIEW



- NOTES: A. All linear dimensions are in micrometers. Dimension tolerance is $\pm 20 \mu\text{m}$ unless otherwise noted.
 B. The die is centered within the package within a tolerance of $\pm 3 \text{ mils}$.
 C. Package top surface is molded with an electrically nonconductive clear plastic compound having an index of refraction of 1.55.
 D. Contact finish is copper alloy A194 with pre-plated NiPdAu lead finish.
 E. This package contains no lead (Pb).
 F. This drawing is subject to change without notice.

Figure 12. Package FN — Dual Flat No-Lead Packaging Configuration

The LUMINOLOGY® Company



TEXAS
 ADVANCED
 OPTOELECTRONIC
 SOLUTIONS®

Copyright © 2012, TAOS Inc.

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
TAOS135 – AUGUST 2012

SOLDERING INFORMATION

The FN package has been tested and has demonstrated an ability to be reflow soldered to a PCB substrate. The process, equipment, and materials used in these test are detailed below.

The solder reflow profile describes the expected maximum heat exposure of components during the solder reflow process of product on a PCB. Temperature is measured on top of component. The components should be limited to a maximum of three passes through this solder reflow profile.

Table 15. Solder Reflow Profile

PARAMETER	REFERENCE	DEVICE
Average temperature gradient in preheating		2.5°C/sec
Soak time	t_{soak}	2 to 3 minutes
Time above 217°C (T_1)	t_1	Max 60 sec
Time above 230°C (T_2)	t_2	Max 50 sec
Time above $T_{\text{peak}} - 10^\circ\text{C}$ (T_3)	t_3	Max 10 sec
Peak temperature in reflow	T_{peak}	260°C
Temperature gradient in cooling		Max -5°C/sec

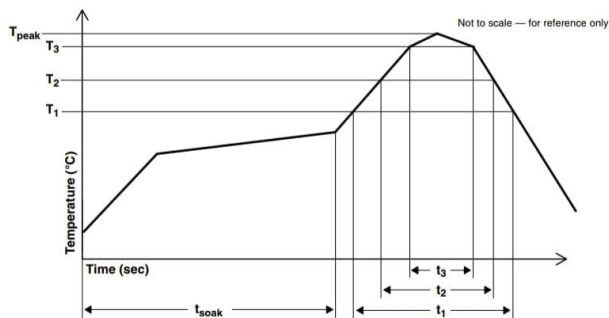


Figure 14. Solder Reflow Profile Graph

TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

STORAGE INFORMATION

Moisture Sensitivity

Optical characteristics of the device can be adversely affected during the soldering process by the release and vaporization of moisture that has been previously absorbed into the package. To ensure the package contains the smallest amount of absorbed moisture possible, each device is dry-baked prior to being packed for shipping. Devices are packed in a sealed aluminized envelope called a moisture barrier bag with silica gel to protect them from ambient moisture during shipping, handling, and storage before use.

The Moisture Barrier Bags should be stored under the following conditions:

Temperature Range	< 40°C
Relative Humidity	< 90%
Total Time	No longer than 12 months from the date code on the aluminized envelope if unopened.

Rebaking of the reel will be required if the devices have been stored unopened for more than 12 months and the Humidity Indicator Card shows the parts to be out of the allowable moisture region.

Opened reels should be used within 168 hours if exposed to the following conditions:

Temperature Range	< 30°C
Relative Humidity	< 60%

If rebaking is required, it should be done at 50°C for 12 hours.

The FN package has been assigned a moisture sensitivity level of MSL 3.



TCS3472
COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
with IR FILTER
 TAOS135 – AUGUST 2012

PRODUCTION DATA — information in this document is current at publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Inc. standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

LEAD-FREE (Pb-FREE) and GREEN STATEMENT

Pb-Free (RoHS) TAOS' terms *Lead-Free* or *Pb-Free* mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TAOS Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

Green (RoHS & no Sb/Br) TAOS defines *Green* to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material).

Important Information and Disclaimer The information provided in this statement represents TAOS' knowledge and belief as of the date that it is provided. TAOS bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TAOS has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TAOS and TAOS suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

NOTICE

Texas Advanced Optoelectronic Solutions, Inc. (TAOS) reserves the right to make changes to the products contained in this document to improve performance or for any other purpose, or to discontinue them without notice. Customers are advised to contact TAOS to obtain the latest product information before placing orders or designing TAOS products into systems.

TAOS assumes no responsibility for the use of any products or circuits described in this document or customer product design, conveys no license, either expressed or implied, under any patent or other right, and makes no representation that the circuits are free of patent infringement. TAOS further makes no claim as to the suitability of its products for any particular purpose, nor does TAOS assume any liability arising out of the use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages.

TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS, INC. PRODUCTS ARE NOT DESIGNED OR INTENDED FOR USE IN CRITICAL APPLICATIONS IN WHICH THE FAILURE OR MALFUNCTION OF THE TAOS PRODUCT MAY RESULT IN PERSONAL INJURY OR DEATH. USE OF TAOS PRODUCTS IN LIFE SUPPORT SYSTEMS IS EXPRESSLY UNAUTHORIZED AND ANY SUCH USE BY A CUSTOMER IS COMPLETELY AT THE CUSTOMER'S RISK.

LUMINOLOGY, TAOS, the TAOS logo, and Texas Advanced Optoelectronic Solutions are registered trademarks of Texas Advanced Optoelectronic Solutions Incorporated.

Lampiran 5. Syntax Arduino Prototipe Pengendali Suhu dan Kelembaban untuk Monitoring Tingkat Kematangan Tempe

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <NewPing.h>
#include <Adafruit_TCS34725.h>
#include <HX711.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// ===== Konfigurasi Pin ===== //
#define DHTPIN D4
#define DHTTYPE DHT22
#define TRIG_PIN D5
#define ECHO_PIN D6
#define DOUT_PIN D7
#define SCK_PIN D8
#define RELAY_LAMP D0
#define RELAY_FAN D3

// ===== Objek Sensor ===== //
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
HX711 scale;
Adafruit_TCS34725 tcs =
Adafruit_TCS34725(TCS34725_INTEGRATIONTIME_614MS,
TCS34725_GAIN_1X);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// ===== Konfigurasi WiFi & Blynk ===== //
char auth[] = "XgHhvRl-6QEiRoDec03dqS8pU3lLghoH";
char ssid[] = "VirAAle Kuning";
char pass[] = "T@at4turaNK0sTkU";
```

```
// ===== Blynk Virtual Pin ===== //
#define BUTTON_VPIN V9
#define STATUS_LAMP_VPIN V10
#define STATUS_FAN_VPIN V11

// ===== Variabel Global ===== //
float calibration_factor = -969.26;
const float TINGGI_SENSOR = 25.40; // tinggi dari sensor
ultrasonik ke dasar
float setPointMin = 30.0;
float setPointMed = 34.0;
float setPointMax = 37.0;
float setPointAktif = 0;
bool systemState = false;
bool lampuNyala = false;
float hysteresis = 1.0;

// ===== Fungsi Ukur Jarak ===== //
float ukurJarak() {
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    long durasi = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH);
    float jarak = durasi * 0.0343 / 2;
    return jarak;
}

// ===== Setup ===== //
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();
    delay(2000);
    pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
}
```

```

pinMode(RELAY_LAMP, OUTPUT);
pinMode(RELAY_FAN, OUTPUT);

digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH);
digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);

lcd.init();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.print("Sistem Mati");

scale.begin(DOUT_PIN, SCK_PIN);
scale.set_scale(calibration_factor);
scale.tare();

if (tcs.begin()) {
    tcs.disable();
    Serial.println("Sensor warna siap.");
} else {
    Serial.println("Sensor warna tidak terdeteksi!");
}

WiFi.begin(ssid, pass);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
}
Serial.println("\nWiFi Connected!");
Blynk.begin(auth, ssid, pass, "iot.serangkota.go.id", 8080);
Blynk.syncVirtual(BUTTON_VPIN);
}

// ===== Fungsi Tombol Blynk ===== //
BLYNK_WRITE(BUTTON_VPIN) {
    systemState = param.asInt();
    if (systemState) {

```

```

    scale.begin(DOUT_PIN, SCK_PIN);
    scale.set_scale(calibration_factor);
    scale.tare();
    tcs.enable();
    lcd.backlight();
    lcd.clear();
    lcd.print("Sistem Menyala");
    digitalWrite(RELAY_LAMP, LOW);
    digitalWrite(RELAY_FAN, LOW);
} else {
    lcd.clear();
    lcd.noBacklight();
    lcd.print("Sistem Mati");
    tcs.disable();
    digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH);
    digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
    lampuNyala = false; // <-- Tambahkan ini
    Blynk.virtualWrite(STATUS_LAMP_VPIN, "OFF");
    Blynk.virtualWrite(STATUS_FAN_VPIN, "OFF");
    Blynk.virtualWrite(V0, 0);
    Blynk.virtualWrite(V1, 0);
    Blynk.virtualWrite(V5, 0);
    Blynk.virtualWrite(V6, 0);
    Blynk.virtualWrite(V7, 0);
    Blynk.virtualWrite(V8, 0);
}
Serial.print("Sistem: ");
Serial.println(systemState ? "MENYALA" : "MATI");
}

// ===== Fungsi Pilih Setpoint dari Blynk ===== //
BLYNK_WRITE(V2) {
    if (param.asInt() == 1) {
        setPointAktif = setPointMin;
        Blynk.virtualWrite(V3, 0);
        Blynk.virtualWrite(V4, 0);
    }
}

```

```

    } else if (setPointAktif == setPointMin) {
        setPointAktif = 0;
    }
    Blynk.virtualWrite(V5, setPointAktif);
}

```

```

BLYNK_WRITE(V3) {
    if (param.asInt() == 1) {
        setPointAktif = setPointMed;
        Blynk.virtualWrite(V2, 0);
        Blynk.virtualWrite(V4, 0);
    } else if (setPointAktif == setPointMed) {
        setPointAktif = 0;
    }
    Blynk.virtualWrite(V5, setPointAktif);
}

```

```

BLYNK_WRITE(V4) {
    if (param.asInt() == 1) {
        setPointAktif = setPointMax;
        Blynk.virtualWrite(V2, 0);
        Blynk.virtualWrite(V3, 0);
    } else if (setPointAktif == setPointMax) {
        setPointAktif = 0;
    }
    Blynk.virtualWrite(V5, setPointAktif);
}

```

```

// ===== Fungsi Baca Semua Sensor ===== //
void bacaSensor() {
    if (!systemState) return;

    float temperature = dht.readTemperature();
    float humidity = dht.readHumidity();
    float hum = (humidity*0.4788)+35.742;
}

```



```

// Load cell rata-rata
float berat = 0;
if (scale.is_ready()) {
    const int sampleCount = 5;
    float totalBerat = 0;
    for (int i = 0; i < sampleCount; i++) {
        totalBerat += scale.get_units();
        delay(1000);
    }
    berat = totalBerat / sampleCount;
}
if (berat < 0) berat = 0;

// Baca warna
uint16_t r, g, b, c;
tcs.getRawData(&r, &g, &b, &c);

String statusTempe;
if (r >= 155 && g >= 130 && b >= 71 && c >= 359) {
    statusTempe = "Matang";
} else if (r <= 154 && g <= 124 && b <= 64 && c <= 344) {
    statusTempe = "Mentah";
} else {
    statusTempe = "Tidak Diketahui";
}

// Ukur ketebalan
float jarak = ukurJarak();
float ketebalanTempe = TINGGI_SENSOR - jarak;
if (ketebalanTempe < 0) ketebalanTempe = 0;

// Kirim data ke Blynk
Blynk.virtualWrite(V0, temperature);
Blynk.virtualWrite(V1, hum);
Blynk.virtualWrite(V6, ketebalanTempe);
Blynk.virtualWrite(V7, berat);

```

```

    Blynk.virtualWrite(V8, statusTempe);
    Blynk.virtualWrite(V5, setPointAktif);

// LCD tampilkan suhu kelembaban dan kondisi berdasarkan
status tempe
    lcd.clear();
    if (statusTempe == "Matang") {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Tempe Matang!");
    } else {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Temp: ");
        lcd.print(temperature, 1);
        lcd.print((char)223);
        lcd.print("C");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Humidity: ");
        lcd.print(hum, 1);
        lcd.print("%");
    }
    // Debugging
    Serial.printf("Temp: %.2fC Hum: %.2f%% Berat: %.2fg
Ketebalan: %.2fcm Status: %s\n",
        temperature, hum, berat, ketebalanTempe,
statusTempe.c_str());
}

// ===== Fungsi Kontrol Suhu ===== //
void kontrolSuhu() {
    float temperature = dht.readTemperature();
    float humidity = dht.readHumidity();

    if (isnan(temperature) || isnan(humidity)) {
        Serial.println("Gagal membaca DHT22!");
        return;
    }
}

```

```

    }

    if (setPointAktif > 0) {
        if (!lampuNyala && temperature <= (setPointAktif -
hysteresis)) {
            digitalWrite(RELAY_LAMP, LOW);
            digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
            lampuNyala = true;
            Blynk.virtualWrite(STATUS_LAMP_VPIN, "ON");
            Blynk.virtualWrite(STATUS_FAN_VPIN, "OFF");
            Serial.println("Pemanas AKTIF (Lampu ON)");
        } else if (lampuNyala && temperature >= setPointAktif) {
            digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH);
            digitalWrite(RELAY_FAN, LOW);
            lampuNyala = false;
            Blynk.virtualWrite(STATUS_LAMP_VPIN, "OFF");
            Blynk.virtualWrite(STATUS_FAN_VPIN, "ON");
            Serial.println("Pendingin AKTIF (Kipas ON)");
        }
    } else {
        digitalWrite(RELAY_LAMP, HIGH);
        digitalWrite(RELAY_FAN, HIGH);
        Blynk.virtualWrite(STATUS_LAMP_VPIN, "OFF");
        Blynk.virtualWrite(STATUS_FAN_VPIN, "OFF");
    }
}

// ===== Loop ===== //
void loop() {
    Blynk.run();
    if (systemState) {
        bacaSensor();
        kontrolSuhu();
    }
    delay(1000);
}

```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP**A. Identitas Diri**

1. Nama : Mu'linatus Sa'adah
2. Tempat, Tanggal Lahir : Rembang, 08 Maret 2003
3. Alamat : Desa Kalitengah, Kec.
Pancur, Kab. Rembang
4. No. Hp : 0895414971951
5. Email : linaaaaa1514@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. SD Negeri 1 Kalitengah (2009 – 2015)
2. SMP Negeri 2 Pancur (2015 – 2018)
3. SMA Negeri 1 Pamotan (2015 – 2021)
4. UIN Walisongo Semarang (2021 – Sekarang)

Semarang, 23 Juni 2025

Mu'linatus Sa'adah

NIM. 2108026037