



**PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS
LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS
IOT PADA PT. XYZ**

SKRIPSI

Oleh:

RIZQI RAMADHANI

20211000031

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA
TANGERANG**

2025



**PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS
LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS
IOT PADA PT. XYZ**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Buddhi Dharma
Jenjang Pendidikan Strata 1**

Oleh:
RIZQI RAMADHANI
20211000031

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

**UNIVERSITAS BUDDHI DHARMA
TANGERANG**

2025

LEMBAR PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini.

NIM : 20211000031
Nama : Rizqi Ramadhani
Jenjang Studi : Strata 1
Program Studi : Teknik Informatika
Peminatan : Database Development

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik Sarjana atau kelengkapan studi, baik di Universitas Buddhi Dharma maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Skripsi ini saya buat sendiri tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam Skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan daftar pustaka.
4. Dalam Skripsi ini tidak terdapat pemalsuan (kebohongan), seperti buku, artikel, jurnal, data sekunder, pengolahan data, dan pemalsuan tanda tangan dosen atau Ketua Program Studi Universitas Buddhi Dharma yang dibuktikan dengan keasliannya..
5. Lembar pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, tanpa paksaan dan apabila dikemudian hari atau pada waktu lainnya terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar akademik yang telah saya peroleh karena Skripsi ini serta sanksi lainnya sesuai dengan peraturan dan norma yang berlaku.

Tangerang, 5 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,




Rizqi Ramadhani

20211000031

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini.

NIM : 20211000031
Nama : Rizqi Ramadhani
Jenjang Studi : Strata I
Program Studi : Teknik Informatika
Peminatan : Database Development

Dengan ini menyetujui untuk memberikan ijin kepada pihak Universitas Buddhi Dharma, Hak Bebas Royalti Non – Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah kami yang berjudul: “PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS IOT PADA PT. XYZ”, beserta alat yang diperlukan (apabila ada).

Dengan Hak Bebas Royalti Non – Eksklusif ini pihak Universitas Buddhi Dharma berhak menyimpan, mengalih-media atau format-kan, mengelolanya dalam pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan atau mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pertama atau pencipta karya ilmiah tersebut.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Universitas Buddhi Dharma, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Tangerang, 5 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Rizqi Ramadhani

20211000031

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS
LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS
IOT PADA PT. XYZ

Dibuat Oleh:

NIM : 20211000031

Nama : Rizqi Ramadhani

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian

Komprehensif

Program Studi Teknik Informatika

Peminatan Database Development

Tahun Akademik 2024/2025

Disahkan oleh,

Tangerang, 23 Juni 2025

Pembimbing,



Susanto Hariyanto, S.Kom., M.Kom

NUPTK. 2560764665130243

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI
PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS
LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS
IOT PADA PT. XYZ

Dibuat Oleh:

NIM : 20211000031

Nama : Rizqi Ramadhani

Telah disetujui untuk dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian

Komprehensif

Program Studi Teknik Informatika

Peminatan Database Development

Tahun Akademik 2024/2025

Disahkan oleh,

Tangerang, 05 Agustus 2025

Dekan,



Dr. Yakub, M.Kom., M.M.

NUPTK. 1836747648130172

Ketua Program Studi,



Hartana Wiaya, M.Kom.

NUPTK. 3844759660131192

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI

Nama : Rizqi Ramadhani
NIM : 20211000031
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS IOT PADA PT. XYZ

Dinyatakan LULUS setelah mempertahankan di depan Tim Penguji Komprehensif pada hari Selasa, 05 Agustus 2025.

Nama penguji:

Tanda Tangan:

Ketua Sidang : **Rino, M. Kom**

NUPTK. 5852763664130372

Penguji I : **Ramona Dyah Safitri, S.Si, M.Si**

NUPTK. 8652771672230312

Penguji II : **Susanto Hariyanto, S.Kom., M.Kom**

NUPTK. 2560764665130243

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Yakub, M.Kom., M.M.

NUPTK. 1836747648130172

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan Rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi ini dengan judul *PENGEMBANGAN PROTOTYPE ALAT KLASIFIKASI KUALITAS LAMPU DENGAN LONG SHORT-TERM MEMORY BERBASIS IOT PADA PT. XYZ*. Tujuan utama dari pembuatan Skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat kelengkapan dalam menyelesaikan program pendidikan Strata 1 Program Studi Teknik Informatika di Universitas Buddhi Dharma. Dalam penyusunan Skripsi ini penulis banyak menerima bantuan dan dorongan baik moril maupun materiil dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Limajatini, S.E., M.M., B.K.P. sebagai Rektor Universitas Buddhi Dharma.
2. Bapak Dr. Yakub, M.Kom., M.M. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Bapak Hartana Wijaya, M.Kom sebagai Ketua Program Studi Teknik Informatika.
4. Bapak Susanto Hariyanto, S.Kom., M.Kom sebagai pembimbing yang telah membantu dan memberikan dukungan serta harapan untuk menyelesaikan penulisan Skripsi ini.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan baik moril dan materiil.
6. Pimpinan perusahaan PT. XYZ.
7. Teman-teman yang selalu membantu dan memberikan semangat.

Serta semua pihak yang terlalu banyak untuk disebutkan satu-persatu sehingga terwujudnya penulisan ini. Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih belum sempurna, untuk itu penulis mohon kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan di masa yang akan datang.

Akhir kata semoga Skripsi ini dapat berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca yang berminat pada umumnya.

Tangerang, 5 Agustus 2025

Penulis

ABSTRAK

Proses pengujian kualitas lampu LED di PT. XYZ yang selama ini dilakukan secara manual cenderung menghasilkan penilaian yang subjektif, tidak konsisten, dan sulit dianalisis secara kuantitatif. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan sebuah prototipe sistem klasifikasi kualitas lampu berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM). Sistem ini menggunakan sensor BH1750FVI untuk mengukur intensitas cahaya, sensor PZEM-004T untuk memantau daya dan tegangan, serta mikrokontroler ESP32 untuk pengumpulan dan pengiriman data selama sesi pengujian berdurasi 15 menit. Data *time-series* dari 100 sesi (50 layak, 50 *defect*) digunakan sebagai *dataset* untuk pelatihan model LSTM. Evaluasi model dilakukan melalui *validation testing* menggunakan berbagai metrik yang dihitung dari *confusion matrix*, menghasilkan akurasi sebesar 0,95, presisi 0,90, *recall* 1,00, dan *F1-score* 0,947. Sistem ini juga secara otomatis mengidentifikasi lampu yang mati berdasarkan pola pembacaan lux yang bernilai nol secara berurutan. Prototipe juga dilengkapi dengan *dashboard* berbasis web untuk memantau, memulai, membatalkan, dan melihat hasil klasifikasi sesi pengujian. Pengujian sistem dilakukan melalui *functional testing* dengan pendekatan *blackbox testing*, untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai kebutuhan, termasuk validasi input, pengelolaan sesi, pengiriman data, dan tampilan data sensor melalui *dashboard*. Selain itu, *performance testing* menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan 450 hingga 750 baris data sensor per sesi ke *database*. Meskipun terjadi kehilangan sebagian data akibat *noise* dari ESP32 dan gangguan jaringan, proses klasifikasi tetap berjalan dengan akurat dan andal. Dengan demikian, proses pengujian kualitas lampu dapat diotomatisasi melalui sistem yang dikembangkan, dan memiliki potensi untuk menggantikan metode pengujian manual yang telah diterapkan sebelumnya.

Kata Kunci: *Deep Learning*, ESP32, IoT, LSTM

ABSTRACT

The LED lamp quality testing process at PT. XYZ, which has been carried out manually, tends to result in subjective and inconsistent assessments, making it difficult to analyze quantitatively. To address this issue, a prototype of a lamp quality classification system based on the Internet of Things (IoT) and the Long Short-Term Memory (LSTM) algorithm was developed. The system uses a BH1750FVI sensor to measure light intensity, a PZEM-004T sensor to monitor power and voltage, and an ESP32 microcontroller to collect and transmit data during a 15-minute testing session. Time-series data from 100 sessions (50 proper, 50 defective) were used to train the LSTM model. Model evaluation was conducted through validation testing using metrics derived from the confusion matrix, resulting in an accuracy of 0.95, precision of 0.90, recall of 1.00, and an F1-score of 0.947. The system also identifies dead lamps automatically through sequential lux readings of zero. The prototype includes a web-based dashboard to monitor, start, cancel, and display classification results. System testing was conducted using black-box functional testing to ensure all features worked as expected, including input validation, session management, data transmission, and sensor display on the dashboard. Performance testing showed the system could transmit 450 to 750 rows of sensor data per session to the database. Despite some data loss due to ESP32 noise and network disruptions, the classification process remained accurate and reliable. Thus, the developed system can automate the lamp quality testing process and has the potential to replace the previously applied manual method.

Keywords: Deep Learning, ESP32, IoT, LSTM

DAFTAR ISI

LEMBAR PENYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iv
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.4.1 Tujuan Penelitian	4
1.4.2 Manfaat Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Sistem	7
2.2 Data	7
2.3 Website.....	8
2.4 LED	8

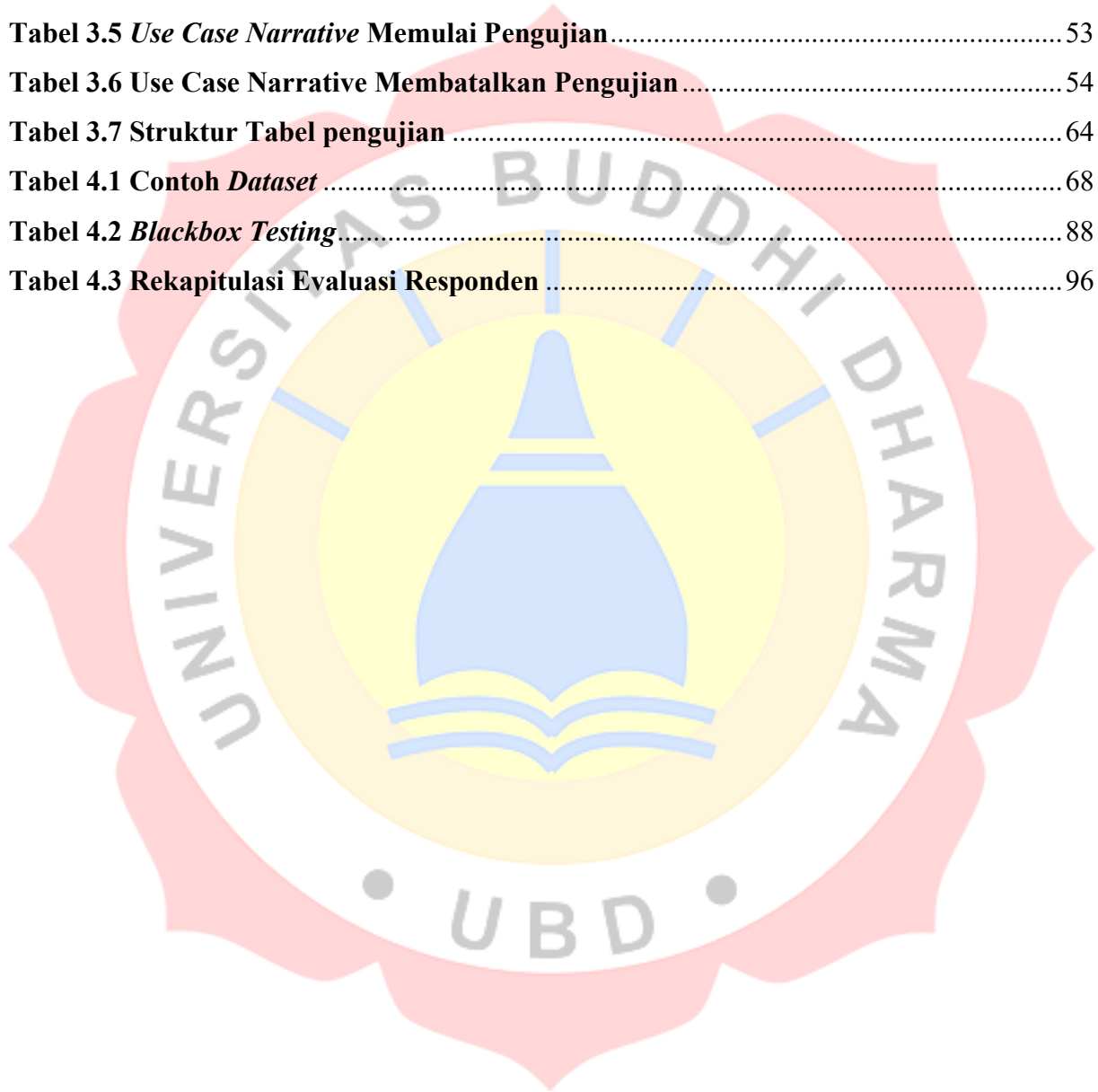
2.5	<i>Machine Learning</i>	9
2.6	<i>Deep Learning</i>	9
2.7	ESP32	10
2.8	<i>Long Short-Term Memory (LSTM)</i>	11
2.9	Arduino IDE	12
2.10	<i>Internet of Things (IoT)</i>	13
2.11	<i>Unified Modeling Language (UML)</i>	14
2.12	<i>Activity Diagram</i>	14
2.13	<i>Use Case Diagram</i>	15
2.14	<i>Sequence Diagram</i>	15
2.15	<i>Application Programming Interface (API)</i>	15
2.16	MySQL	16
2.17	PHP	16
2.18	XAMPP	16
2.19	JavaScript	17
2.20	Python	17
2.21	<i>HyperText Markup Language (HTML)</i>	17
2.22	<i>Cascading Style Sheets (CSS)</i>	18
2.23	Tegangan Listrik	18
2.24	Daya Listrik	19
2.25	Tinjauan Studi	19
2.25.1	Penelitian oleh Supriyadi, et al.	19
2.25.2	Penelitian oleh Yulio Agefa Purmala	20
2.25.3	Penelitian oleh Susetyo, et al.	21
2.25.4	Penelitian oleh Syamsuri, et al.	22
2.25.5	Penelitian oleh Hidayat & Amrullah	23
2.25.6	Penelitian oleh Hanifa, et al.	24

2.25.7	Penelitian oleh Arip Kristiyanto	24
2.25.8	Penelitian oleh Muhammad & Irawan	26
2.25.9	Penelitian oleh Wahyudi, et al.....	27
2.25.10	Penelitian oleh Febby Apri Wenando	27
2.25.11	Penelitian oleh Rahman, et al.	28
2.25.12	Penelitian oleh Hercog, et al.	29
2.25.13	Penelitian oleh Papastefanopoulos, et al.....	30
2.25.14	Penelitian oleh Kumar, Thamizharasan, dan Krishna	31
2.25.15	Penelitian oleh Qiao dan Zhou	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		33
3.1	Tinjauan Umum Perusahaan	33
3.2	Identifikasi Kebutuhan.....	37
3.2.1	Identifikasi Kebutuhan Pengguna	37
3.2.2	Identifikasi Kebutuhan Sistem	37
3.3	Pembahasan Metode Yang Digunakan	39
3.3.1	Metode Pengumpulan Data	39
3.3.2	Metode Pengembangan Sistem.....	41
3.3.3	Metode Pengujian Sistem.....	42
3.4	Pembahasan Algoritma Yang Digunakan	45
3.5	Kerangka Pemikiran	50
3.6	Perancangan UML.....	51
3.6.1	<i>Use Case Diagram</i>	51
3.6.2	<i>Activity Diagram</i>	54
3.6.3	<i>Sequence Diagram</i>	55
3.7	Desain Prototype Alat.....	57
3.7.1	Desain Ruang Uji.....	57
3.7.2	Desain Otomatisasi Slide Regulator.....	58

3.7.3	Desain Rangkaian Alat.....	59
3.7.4	<i>Pinout Diagram</i> Sistem	60
3.8	Perancangan Layar, Menu, <i>Database</i>	63
3.8.1	<i>Dashboard</i>	63
3.8.2	Rancangan <i>Database</i>	64
3.9	Jadwal Penelitian	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		67
4.1	Persiapan Pelatihan Model	67
4.1.1	Persiapan Data.....	67
4.1.2	Penyesuaian Format Sekuens untuk Model LSTM.....	73
4.2	Penerapan dan Evaluasi Model	75
4.2.1	Penerapan Model LSTM.....	75
4.2.2	Evaluasi Model.....	80
4.3	Tampilan Program dan Alat.....	82
4.3.1	Tampilan Website.....	82
4.3.2	Tampilan Alat	85
4.4	<i>Blackbox Testing</i>	87
4.5	<i>User Acceptance Testing (UAT)</i>	89
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		99
5.1	Simpulan	99
5.2	Saran	100
DAFTAR PUSTAKA		102
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		106
LAMPIRAN		107

DAFTAR TABEL

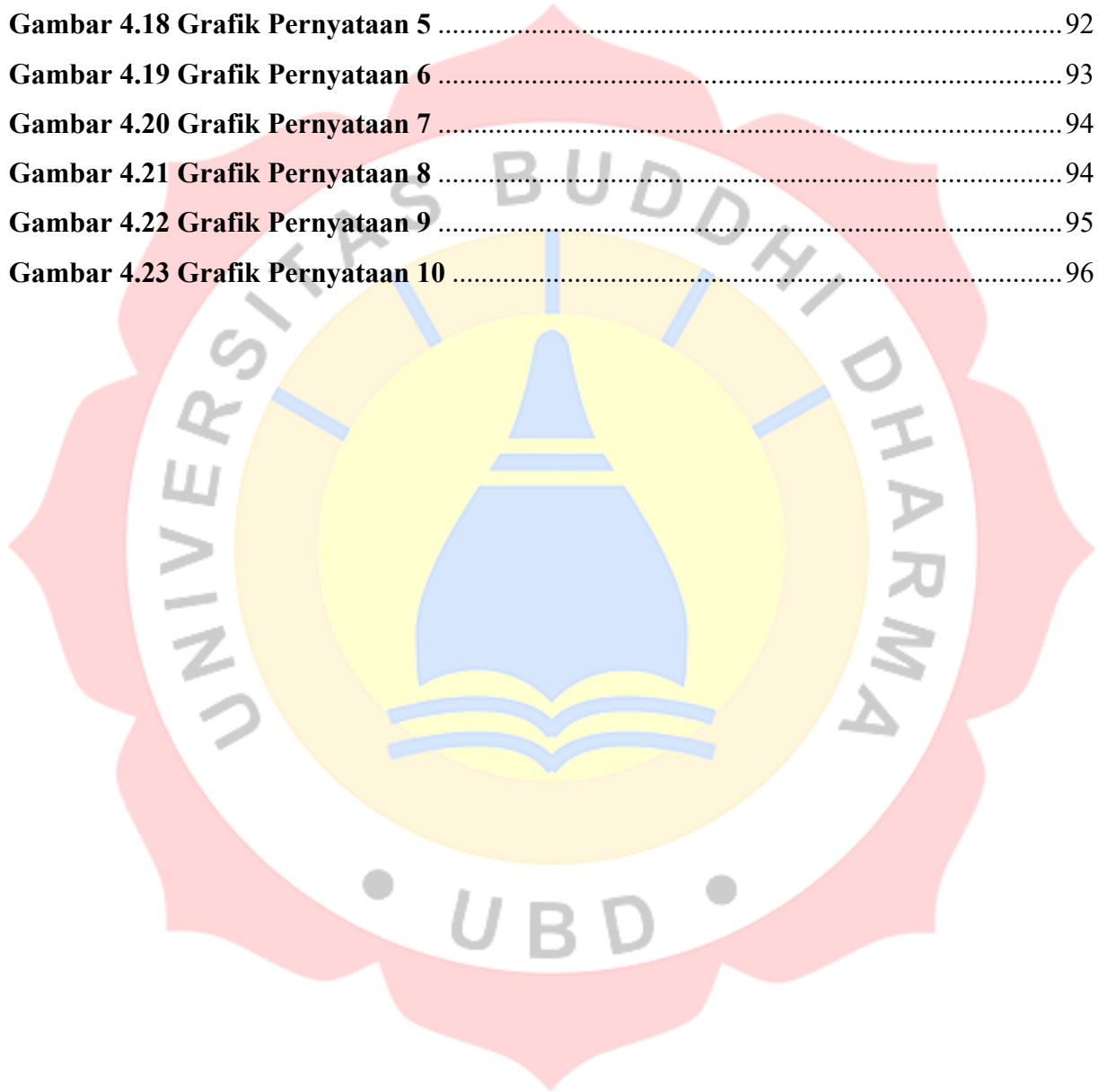
Tabel 3.1 Analisa Kebutuhan Pengguna	37
Tabel 3.2 <i>Confusion Matrix</i>	45
Tabel 3.3 Identifikasi Aktor.....	51
Tabel 3.4 Identifikasi <i>Use case</i>	52
Tabel 3.5 <i>Use Case Narrative</i> Memulai Pengujian.....	53
Tabel 3.6 Use Case Narrative Membatalkan Pengujian	54
Tabel 3.7 Struktur Tabel pengujian	64
Tabel 4.1 Contoh <i>Dataset</i>	68
Tabel 4.2 <i>Blackbox Testing</i>	88
Tabel 4.3 Rekapitulasi Evaluasi Responden	96



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Utama LSTM	12
Gambar 3.1 Struktur Organisasi PT. XYZ.....	34
Gambar 3.2 Tahapan <i>Evolutionary Prototype</i>	41
Gambar 3.3 Arsitektur LSTM	46
Gambar 3.4 Kerangka Pemikiran.....	50
Gambar 3.5 <i>Use Case Diagram</i>	52
Gambar 3.6 <i>Activity Diagram</i> Memulai Pengujian	55
Gambar 3.7 <i>Activity Diagram</i> Membatalkan Pengujian	55
Gambar 3.8 <i>Sequence Diagram</i> Memulai Pengujian.....	56
Gambar 3.9 <i>Sequence Diagram</i> Membatalkan Pengujian.....	56
Gambar 3.10 Desain Ruang Uji (1).....	57
Gambar 3.11 Desain Ruang Uji (2).....	58
Gambar 3.12 Desain Otomatisasi <i>Slide Regulator</i>	58
Gambar 3.13 Desain Rangkaian Alat	59
Gambar 3.14 <i>Pinout Diagram</i> BH1750FVI	60
Gambar 3.15 <i>Pinout Diagram</i> PZEM-004T	61
Gambar 3.16 <i>Pinout Diagram</i> TB6600.....	62
Gambar 3.17 Halaman <i>Dashboard</i> (1).....	63
Gambar 3.18 Halaman <i>Dashboard</i> (2)	64
Gambar 3.19 Jadwal Penelitian	66
Gambar 4.1 Grafik Data Lampu Layak.....	71
Gambar 4.2 Grafik Data Lampu <i>Defect</i>	72
Gambar 4.3 Arsitektur LSTM untuk Klasifikasi Kelayakan Lampu	76
Gambar 4.4 <i>Confusion Matrix</i>	81
Gambar 4.5 Halaman <i>Dashboard</i>	83
Gambar 4.6 Halaman <i>Dashboard</i> (menampilkan daftar pilihan).....	83
Gambar 4.7 Halaman <i>Dashboard</i> (Setelah memilih tipe & watt lampu)	84
Gambar 4.8 Halaman <i>Dashboard</i> (Pengujian berjalan)	84
Gambar 4.9 Alat IoT	85
Gambar 4.10 Otomatisasi Pengaturan Volt Pengujian.....	86
Gambar 4.11 Box Uji (1)	86

Gambar 4.12 Box Uji (2)	87
Gambar 4.13 Grafik Responden	89
Gambar 4.14 Grafik Pernyataan 1	90
Gambar 4.15 Grafik Pernyataan 2	91
Gambar 4.16 Grafik Pernyataan 3	91
Gambar 4.17 Grafik Pernyataan 4	92
Gambar 4.18 Grafik Pernyataan 5	92
Gambar 4.19 Grafik Pernyataan 6	93
Gambar 4.20 Grafik Pernyataan 7	94
Gambar 4.21 Grafik Pernyataan 8	94
Gambar 4.22 Grafik Pernyataan 9	95
Gambar 4.23 Grafik Pernyataan 10	96



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penelitian Skripsi	107
Lampiran 2 Kartu Bimbingan Skripsi	108



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Dalam dunia bisnis, sebuah perusahaan memproduksi suatu barang bukan hanya untuk memperoleh keuntungan, tetapi juga untuk memenuhi kebutuhan dan kepuasan pelanggan. Ketika pelanggan merasa puas, hal ini dapat berdampak pada peningkatan profit perusahaan (Supriyadi et al., 2021). Oleh karena itu, memastikan kualitas produk yang dihasilkan menjadi hal yang krusial untuk menjaga kepercayaan pelanggan. Sehingga, kontrol kualitas produk menjadi salah satu kunci utama dalam mendukung keberhasilan perusahaan di pasar yang semakin kompetitif serta mencegah distribusi produk cacat yang dapat menyebabkan keluhan konsumen, peningkatan biaya akibat pengembalian produk, dan penurunan reputasi perusahaan di pasar.

Salah satu cara utama untuk menjaga kualitas produk adalah melalui proses kontrol kualitas. Namun, banyak perusahaan masih mengandalkan pemeriksaan manual yang bergantung pada pengamatan manusia, yang sering kali kurang akurat dan tidak konsisten. Dalam situasi seperti ini, teknologi dapat menjadi solusi efektif. Penggunaan sistem informasi dan perangkat otomatisasi memungkinkan proses pengecekan dilakukan secara objektif dan akurat, serta menghasilkan data kuantitatif yang dapat dianalisis lebih lanjut (Supriyadi et al., 2021). Dengan bantuan teknologi, perusahaan jadi lebih mudah memantau kualitas secara *real-time*, mendeteksi masalah sejak dini, dan menjaga agar proses produksi tetap berjalan efisien dan konsisten (Kumar et al., 2025).

Seiring kemajuan teknologi, *machine learning* semakin banyak diterapkan dalam industri manufaktur untuk mendukung otomatisasi dan pengambilan keputusan berbasis

data. Dalam bidang manufaktur, *machine learning* tidak hanya digunakan untuk inspeksi kualitas, tetapi juga dalam prediksi hasil produksi, pemantauan kondisi mesin, serta peningkatan efisiensi operasional (Purmala, 2021). Perkembangan sensor dan IoT turut mempercepat transformasi ini dengan memungkinkan pengumpulan data *time-series* secara otomatis dari proses produksi. Data ini merepresentasikan kondisi dinamis mesin atau produk dan dianalisis menggunakan *deep learning* untuk mendeteksi pola atau anomali secara lebih akurat. Sebagai bagian dari *machine learning*, *deep learning* efektif dalam mengekstraksi fitur secara otomatis dan unggul dalam klasifikasi *time-series* kompleks, seperti pemantauan kondisi, deteksi kerusakan dan klasifikasi (Farahani et al., 2024).

PT. XYZ, salah satu produsen lampu LED di Indonesia, memproduksi lampu jenis E27 LED yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pencahayaan di sektor rumah tangga, perkantoran, hingga industri. Saat ini, pengujian kualitas lampu di PT. XYZ dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengamatan mata. Metode ini digunakan untuk menentukan apakah lampu menyala normal, redup, atau mati. Meskipun metode manual dapat memberikan hasil yang langsung terlihat, proses ini memiliki sejumlah kekurangan. Salah satunya adalah ketergantungan pada operator manusia yang rentan terhadap subjektivitas, kesalahan, dan inkonsistensi hasil. Selain itu, metode ini sulit mendeteksi kesalahan kecil secara konsisten, seperti variasi tingkat cahaya lampu, yang hanya diandalkan pada pengamatan visual. Proses manual juga tidak mampu menghasilkan data kuantitatif yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, sehingga mengurangi keandalan data sebagai dasar pengambilan keputusan.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi di PT. XYZ, maka diusulkanlah Skripsi dengan judul **"PENGEMBANGAN *PROTOTYPE* ALAT KLASIFIKASI KUALITAS LAMPU DENGAN *LONG SHORT-TERM MEMORY* BERBASIS**

IOT PADA PT. XYZ". Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengujian lampu yang memanfaatkan teknologi berbasis mikrokontroler ESP32 untuk pengumpulan data dan algoritma *long short-term memory* untuk proses klasifikasi kualitas lampu. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam proses *quality control*, sehingga dapat meminimalkan kesalahan manusia, memberikan data yang lebih dapat diandalkan untuk analisis serta pengambilan keputusan, serta mengurangi risiko distribusi produk cacat, dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan dalam latar belakang, permasalahan utama pada perusahaan adalah:

1. Proses pengujian lampu masih dilakukan secara manual menggunakan pengamatan mata, sehingga sulit untuk mengukur intensitas cahaya lampu secara kuantitatif dan menyebabkan hasil yang tidak konsisten serta kurang akurat.
2. Tidak adanya sistem pengumpulan dan penyimpanan data yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.
3. Distribusi lampu yang tidak memenuhi standar kualitas berpotensi merugikan reputasi perusahaan dan menurunkan kepuasan pelanggan.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penulisan dibuat agar menekankan ruang lingkup penelitian yang akan dibatasi serta hanya berfokus pada pembahasan yang berupa:

1. Sistem yang dikembangkan bertujuan untuk mengotomatisasi proses pengujian kualitas.
2. Sistem pengujian yang dibuat hanya dibatasi pada lampu LED X 18W sebagai objek pengujian.

3. Fokus utama ditujukan pada desain alur pengujian otomatis dan performa klasifikasi model terhadap data sensor yang tersedia.
4. Prototipe hanya dirancang untuk digunakan di lingkungan pengujian lampu PT. XYZ. dan belum diarahkan untuk skenario penggunaan skala industri atau implementasi massal.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Disimpulkan dengan tujuan Berdasarkan Identifikasi dan Perumusan Masalah Penelitian:

1. Merancang sistem pengujian lampu berbasis mikrokontroler yang mampu mengukur parameter kualitas. Serta mengimplementasikan metode *deep learning* untuk klasifikasi kualitas lampu.
2. Menyediakan data kuantitatif yang dapat digunakan untuk analisis dan pengambilan keputusan lebih lanjut.
3. Mengurangi risiko distribusi produk cacat, sehingga meningkatkan kepuasan pelanggan dan reputasi perusahaan.

1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Mengurangi ketergantungan pada evaluasi manual dengan menyediakan sistem pengujian berbasis mikrokontroler yang meningkatkan akurasi *quality control*.
2. Mempermudah proses dokumentasi dan analisis kualitas lampu melalui penyimpanan data hasil pengujian dalam sistem berbasis teknologi.

3. Mendukung upaya perusahaan untuk meningkatkan daya saing dengan menyediakan produk berkualitas tinggi yang telah melalui proses pengujian yang andal dan konsisten.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan ini akan menguraikan secara garis besar mengenai bagaimana pembahasan dalam skripsi ini disusun secara sistematis yang dibagi dalam 5 (lima) bab sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian, identifikasi masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Bagian ini bertujuan memberikan gambaran awal mengenai topik dan arah penelitian yang dilakukan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini dibahas teori-teori pendukung yang relevan dengan penelitian. Bab ini mencakup tinjauan pustaka, dasar-dasar teori terkait, standar-standar yang digunakan, serta pemahaman menyeluruh mengenai sistem yang dirancang. Landasan teori ini menjadi acuan dalam melakukan penelitian dan pengembangan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam penelitian. Metode penelitian yang diterapkan bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai proses pengembangan sistem. Adapun bagian-bagian yang dibahas meliputi tinjauan umum perusahaan, identifikasi kebutuhan, metode dan algoritma yang digunakan, kerangka pemikiran, perancangan sistem, hingga jadwal penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan secara terstruktur, dimulai dari proses pelatihan model yang mencakup persiapan data dan penyesuaian format *input*. Selanjutnya dijelaskan penerapan dan evaluasi model LSTM yang digunakan. Tampilan sistem ditunjukkan melalui antarmuka website dan alat IoT yang dirancang. Terakhir, pengujian dilakukan menggunakan metode *black box* untuk menilai kesesuaian sistem terhadap spesifikasi yang ditetapkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan lebih lanjut. Kesimpulan merangkum temuan-temuan utama, sementara saran memberikan rekomendasi bagi penelitian mendatang atau pengembangan sistem lebih lanjut.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem

Sistem adalah kumpulan elemen atau prosedur yang saling terhubung dan bekerja bersama untuk mencapai tujuan tertentu. Sistem berfungsi mengolah masukan (*input*) yang diterima, memprosesnya, dan menghasilkan keluaran (*output*) sesuai dengan yang diharapkan (Bisri et al., 2021). Selain itu, sistem juga dapat diartikan sebagai jaringan kerja dari berbagai prosedur yang saling terkait dan terintegrasi dengan tujuan yang sama, dirancang untuk melaksanakan suatu aktivitas atau mencapai hasil tertentu (Brata, 2021).

2.2 Data

Data adalah elemen dasar yang menjadi fondasi dari berbagai analisis dan pengambilan keputusan. Data didefinisikan sebagai bahan mentah yang memerlukan proses pengolahan untuk menghasilkan informasi atau keterangan. Informasi tersebut dapat berupa data kualitatif yang menggambarkan sifat atau karakteristik, maupun data kuantitatif yang menyajikan nilai numerik yang mencerminkan fakta, sehingga bermanfaat bagi peneliti dalam memahami kondisi atau suatu keadaan tertentu (Wahono & Ali, 2021).

Data dapat diklasifikasikan secara umum ke dalam tiga kategori utama, yaitu data terstruktur, tidak terstruktur, dan semi-terstruktur. Data terstruktur adalah data yang diorganisasi dengan format atau skema tertentu, seperti dalam tabel *database*, sehingga mudah dicari dan dianalisis menggunakan *query*. Sebaliknya, data tidak terstruktur tidak memiliki format yang jelas, sulit diolah, dan biasanya mencakup konten seperti video, audio, atau dokumen PDF. Sementara itu, data semi-terstruktur berada di antara

keduanya, memiliki elemen struktur seperti *tag* atau *marker*, tetapi tetap fleksibel tanpa aturan yang kaku, seperti file JSON atau XML (Breitinger & Jotterand, 2023).

2.3 Website

Web adalah sebuah aplikasi yang berisi berbagai dokumen multimedia, termasuk teks, gambar, suara, animasi, dan video. Untuk mengaksesnya, digunakan protokol HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) melalui perangkat lunak yang dikenal sebagai browser (Juwantoro et al., 2023). Sebuah situs web merujuk pada kumpulan halaman web yang biasanya terhubung dalam satu nama domain atau subdomain di *World Wide Web* (WWW) di Internet. WWW mencakup seluruh situs web yang dapat diakses publik. Halaman-halaman web diakses melalui sebuah URL utama, yang dikenal sebagai *Homepage*, dan umumnya disimpan di server yang sama. WWW, atau lebih dikenal sebagai web, merupakan salah satu layanan yang dapat diakses oleh pengguna komputer yang terhubung ke internet (Bisri et al., 2021).

2.4 LED

LED (*Light Emitting Diode*) adalah komponen elektronik yang menghasilkan cahaya monokromatik saat diberikan tegangan maju. Sebagai bagian dari keluarga dioda, LED dibuat menggunakan bahan semikonduktor, dengan warna cahaya yang dihasilkan bergantung pada jenis bahan semikonduktor yang digunakan. Selain menghasilkan cahaya tampak, LED juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak terlihat oleh mata, seperti yang digunakan pada *remote control* TV atau perangkat elektronik lainnya. Berbeda dengan lampu pijar, LED tidak membutuhkan pembakaran filamen untuk menghasilkan cahaya sehingga tidak menghasilkan panas (Supriyadi et al., 2021).

Secara teknis, LED merupakan bentuk khusus dari dioda yang memiliki sambungan antara material bermuatan positif (p) dan negatif (n), yang dirancang untuk

menghasilkan cahaya saat dialiri arus listrik. Ketika arus diberikan ke LED dalam kondisi bias maju, elektron dari sisi negatif (tipe-n) bergerak menuju sisi positif (tipe-p), tempat di mana terdapat kekosongan muatan yang disebut hole. Saat elektron dan hole bertemu di area sambungan, mereka bergabung dan membentuk keadaan yang lebih stabil. Dalam proses tersebut, dilepaskan energi dalam bentuk cahaya atau foton, yang menjadi sumber cahaya dari LED (Rahman et al., 2023).

2.5 *Machine Learning*

Machine learning adalah bagian dari kecerdasan buatan yang membuat komputer bisa belajar dari data tanpa harus diprogram secara detail. Dengan algoritma tertentu, komputer dapat mengenali pola dan membuat keputusan berdasarkan data yang sudah ada (Salintohe et al., 2022). Saat ini, teknologi ini digunakan di banyak bidang, seperti pencarian di internet, rekomendasi produk online, iklan digital, hingga diagnosis di dunia medis. Dalam industri manufaktur, *machine learning* membantu proses *quality control*, memprediksi hasil produksi, dan meningkatkan efisiensi kerja (Purmala, 2021).

Secara umum, *machine learning* terbagi menjadi dua jenis. Yang pertama adalah *supervised learning*, yaitu saat model dilatih menggunakan data yang sudah ada labelnya, seperti data produk layak dan tidak layak. Model ini belajar dari data tersebut untuk mengenali pola. Yang kedua adalah *unsupervised learning*, di mana model bekerja tanpa tahu label dari datanya. Ia berusaha menemukan pola atau kelompok dalam data itu sendiri (Wahyudi et al., 2022).

2.6 *Deep Learning*

Deep learning merupakan cabang dari *machine learning* yang menggunakan arsitektur jaringan saraf tiruan (*artificial neural networks*), yaitu model komputasi yang terinspirasi dari cara kerja otak manusia dalam memproses informasi. Dalam jaringan saraf, data diproses secara bertahap melalui beberapa lapisan (*layers*), di mana setiap

lapisan secara otomatis belajar mengekstraksi fitur atau pola dari data yang diberikan. Berbeda dengan metode *machine learning* konvensional yang memerlukan rekayasa fitur secara manual, *deep learning* mampu mengenali dan membangun representasi fitur secara otomatis, sehingga lebih efektif dalam menangani data kompleks seperti gambar, suara, dan *time series* (Farahani et al., 2024).

Dalam pengolahan data *time series multivariat*, *deep learning* menjadi pendekatan yang sangat populer karena mampu menangkap pola yang kompleks serta hubungan antar variabel dari waktu ke waktu. Algoritma *deep learning* dirancang untuk memproses banyak deret waktu secara bersamaan dan memahami keterkaitan di antara variabel-variabel tersebut, sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan andal. Beberapa arsitektur yang umum digunakan dalam konteks ini meliputi *recurrent neural networks* (RNN), *long short-term memory* (LSTM), *gated recurrent units* (GRU), *convolutional neural networks* (CNN), *graph neural networks* (GNN), serta mekanisme perhatian (*attention mechanism*). Masing-masing arsitektur ini memiliki kekuatan dalam memodelkan dinamika temporal maupun spasial dari data, sehingga sering diterapkan dalam berbagai studi yang berfokus pada peramalan data *time-series* berbasis IoT (Papastefanopoulos et al., 2023).

2.7 ESP32

ESP32 adalah platform yang kuat dan hemat biaya untuk pengembangan aplikasi IoT, dikembangkan oleh Espressif Systems (Shanghai, China). Modul ini dilengkapi dengan prosesor *dual-core* Tensilica Xtensa LX6, yang memberikan daya pemrosesan tinggi, mendukung *multitasking*, dan menangani tugas-tugas kompleks secara efisien. ESP32 memiliki konektivitas bawaan Wi-Fi dan Bluetooth, mendukung protokol Wi-Fi 802.11 b/g/n, serta opsi *Bluetooth Classic* dan *Bluetooth Low Energy* (BLE), yang memudahkan komunikasi dengan perangkat atau jaringan lain. ESP32 juga menyediakan

banyak pin GPIO yang mendukung berbagai antarmuka, seperti SPI, I2C, UART, dan PWM, sehingga mempermudah integrasi dengan perangkat eksternal dan sensor (Hercog et al., 2023).

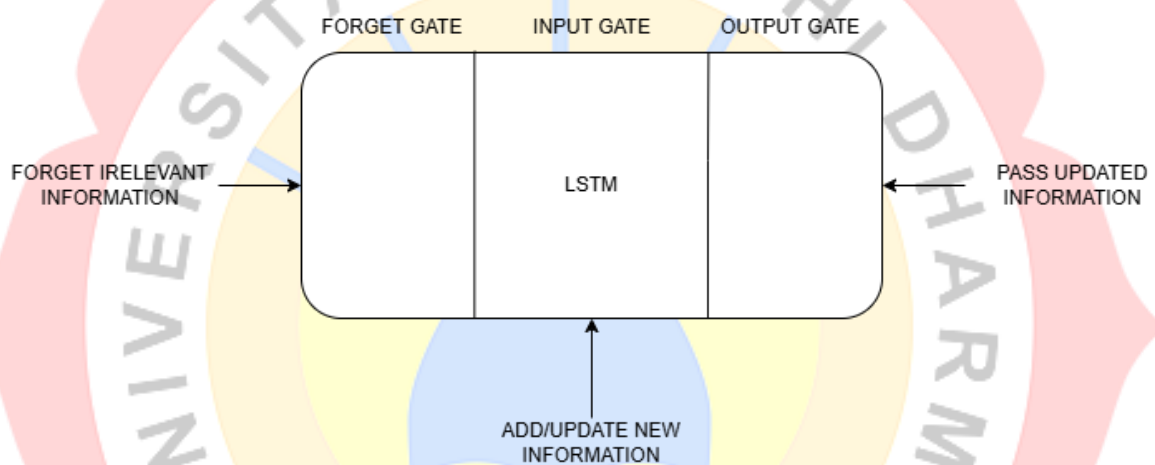
Mikrokontroler ini dirancang sebagai perangkat portabel yang mudah digunakan, menjadikannya platform ideal untuk berbagai aplikasi IoT. Dengan efisiensi konsumsi daya yang tinggi berkat fitur hemat energi, seperti pengaturan *clock gating* yang optimal, berbagai mode daya, dan kemampuan penskalaan daya yang dinamis, ESP32 semakin unggul dalam mendukung pengembangan perangkat IoT modern (Syamsuri et al., 2022).

2.8 Long Short-Term Memory (LSTM)

LSTM (*Long Short-Term Memory*) adalah salah satu jenis dari *Recurrent Neural Network* (RNN) yang dirancang khusus untuk mengingat informasi dalam jangka waktu yang lebih lama. Teknologi ini pertama kali dikembangkan oleh Hochreiter dan Schmidhuber (Muhammad & Irawan, 2023). LSTM dirancang khusus untuk mengolah data deret waktu. LSTM unggul karena mampu mengatasi masalah umum pada RNN, seperti hilangnya informasi penting (*vanishing gradient*) dan kesulitan mengingat data lama (Alshingiti et al., 2023).

Keunggulan ini berasal dari cara kerja LSTM yang menggunakan "gerbang" di dalam memorinya. Gerbang ini berfungsi menyaring mana informasi yang penting untuk disimpan, mana yang bisa dibuang, dan mana yang perlu diteruskan. Karena itu, LSTM bisa mengenali pola dalam data waktu (*time series*) secara lebih akurat, termasuk tren jangka panjang dan perubahan musiman. Hal ini membuatnya sangat cocok untuk tugas-tugas yang memerlukan pemahaman terhadap urutan data dalam konteks waktu (Qiao & Zhou, 2023).

Model ini menggunakan tiga jenis mekanisme gerbang, yaitu gerbang *input*, gerbang lupa (*forget gate*), dan gerbang *output*. Ketiga mekanisme tersebut memungkinkan LSTM untuk mengelola aliran informasi dengan lebih efisien, sehingga model mampu menyimpan dan mengolah informasi dalam rentang waktu yang Panjang (Susetyo et al., 2025). Gerbang *input* menentukan data baru mana yang perlu disimpan. Gerbang lupa berperan untuk menghapus bagian informasi yang dianggap tidak lagi relevan. Sementara itu, gerbang *output* memilih informasi mana yang akan diteruskan ke tahap berikutnya (Hanifa et al., 2021).



Gambar 2.1 Komponen Utama LSTM

2.9 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah platform yang digunakan untuk mengembangkan kode aplikasi, di mana pemrograman dilakukan menggunakan bahasa C (Majhi et al., 2021). Arduino IDE dirancang untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode ke papan yang didukung Arduino. IDE ini menawarkan antarmuka yang ramah pengguna dengan berbagai fitur, seperti editor kode, pengelola pustaka, pengelola papan, monitor serial, serta alat kompilasi dan pengunggahan. Editor kode dilengkapi dengan fitur seperti penyorotan sintaks, *auto-*

indentasi, dan alat bantu lainnya untuk mempermudah penulisan dan pengorganisasian kode.

Pengelola pustaka memungkinkan pengguna mengelola pustaka tambahan yang menyediakan fungsionalitas untuk integrasi sensor, aktuator, dan komponen lainnya. Pengelola papan digunakan untuk menginstal dan mengelola definisi papan Arduino, termasuk papan resmi seperti Arduino Uno dan Mega, serta papan pihak ketiga seperti ESP32. Monitor serial adalah alat bawaan yang memungkinkan komunikasi antara komputer dan perangkat Arduino melalui *port serial*, yang berguna untuk *debugging*. Fitur kompilasi dan pengunggahan digunakan untuk mengubah kode menjadi bahasa mesin dan mengunggahnya ke papan melalui koneksi *serial* atau USB. Selain itu, Arduino IDE didukung oleh komunitas pengembang yang luas, menyediakan berbagai sumber daya, pustaka, dan contoh proyek untuk memudahkan kolaborasi dan pengembangan (Hercog et al., 2023).

2.10 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menggambarkan berbagai perangkat dengan sensor yang saling terhubung melalui internet untuk mengumpulkan dan mengirimkan data (Wenando, 2023). IoT tidak hanya mencakup konektivitas antar perangkat, tetapi juga melibatkan pengguna dan layanan yang memungkinkan proses penginderaan, pengambilan keputusan, serta respons otomatis.

Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan pengoperasian jarak jauh di lingkungan industri maupun wilayah terpencil yang sebelumnya tidak terhubung. Sebuah perangkat dapat dianggap sebagai bagian dari IoT jika memenuhi empat karakteristik utama: mampu mengumpulkan data dari lingkungan sekitar dan mengirimkannya ke perangkat lain atau langsung ke internet, dapat merespons sesuai dengan kondisi yang

terjadi, mampu menerima informasi dari jaringan, serta mendukung komunikasi dalam jaringan perangkat yang saling terhubung (Hercog et al., 2023).

IoT muncul sebagai hasil evolusi teknologi informasi dan jaringan internet, memungkinkan perangkat elektronik terhubung langsung ke internet dengan mudah. Teknologi ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan konektivitas dan pengalaman, serta diciptakan untuk mempermudah berbagai aktivitas dan pekerjaan di berbagai aspek kehidupan manusia (Kristiyanto, 2023). Dengan menggunakan teknologi IoT, kita dapat menciptakan sistem yang dapat dikendalikan dari jarak jauh dengan lebih praktis dan dapat diakses kapan saja (Hidayat & Amrullah, 2022).

2.11 Unified Modeling Language (UML)

Unified Modeling Language (UML) adalah sebuah bahasa yang digunakan untuk menentukan, memvisualisasikan, dan membangun struktur dasar dari sistem perangkat lunak, termasuk dalam memodelkan aturan-aturan bisnis. UML menjadi alat utama dalam proses analisis dan perancangan sistem berbasis objek (Bisri et al., 2021). UML digunakan untuk merancang sistem atau perangkat lunak agar lebih terstruktur dan rapi saat dikembangkan. Pemodelan ini membantu menyederhanakan permasalahan yang kompleks sehingga lebih mudah dipahami dan dipelajari (Irawan, 2024).

2.12 Activity Diagram

Activity diagram adalah diagram yang menggambarkan alur aktivitas dalam program yang sedang dirancang, mencakup bagaimana alur dimulai, keputusan-keputusan yang mungkin muncul, serta bagaimana sistem tersebut berakhir (Bisri et al., 2021). Diagram ini juga berfungsi sebagai representasi khusus dari kemampuan sistem untuk memodelkan setiap aktivitas dan alur kerja yang berlangsung di dalam sistem atau perangkat lunak yang sedang dikembangkan (Irawan, 2024).

2.13 Use Case Diagram

Use case diagram adalah representasi sistem dari perspektif pengguna yang menggambarkan interaksi antara satu sistem dengan sistem lain atau dengan komponen di dalam sistem tersebut. Diagram ini menjelaskan cara kerja sistem melalui cerita singkat yang menggambarkan bagaimana interaksi tersebut berlangsung (Irawan, 2024). Selain itu, *use case diagram* juga berfungsi untuk menggambarkan fungsi-fungsi yang diharapkan dari suatu sistem yang akan dirancang, sehingga memberikan gambaran jelas tentang kebutuhan *system* (Bisri et al., 2021).

2.14 Sequence Diagram

Sequence diagram digunakan untuk membantu memahami kebutuhan sistem baru, mendokumentasikan alur proses, serta memvisualisasikan skenario teknis selama sistem berjalan (*runtime*). Diagram ini memungkinkan pengguna untuk memahami dan memprediksi perilaku sistem secara keseluruhan (Rohmanto & Setiawan, 2022).

2.15 Application Programming Interface (API)

API adalah sebuah antarmuka yang dirancang oleh pengembang sistem untuk memungkinkan akses terprogram terhadap beberapa atau seluruh fungsi sistem tertentu. API juga sering dianggap sebagai sekumpulan metode yang dirancang secara jelas untuk memfasilitasi komunikasi antara perangkat lunak dengan komponen yang berbeda. Tujuan utama API adalah untuk mempermudah pengembang dalam memanfaatkan teknologi tertentu saat membangun perangkat lunak atau aplikasi. API memiliki beberapa jenis arsitektur, seperti REST (*Representational State Transfer*), GraphQL, dan lainnya (Akmal & Dasaprawira, 2022).

2.16 MySQL

MySQL adalah *relational database management systems* (RDBMS) yang cepat dan mudah digunakan, banyak diadopsi oleh perusahaan kecil maupun besar. MySQL merupakan aplikasi yang sangat efisien dan mencakup berbagai fitur yang biasanya ditemukan pada paket *database* dengan biaya tinggi. MySQL menggunakan versi sederhana dari bahasa SQL yang populer. Aplikasi ini kompatibel dengan berbagai sistem operasi dan mendukung banyak bahasa pemrograman seperti PHP, PERL, C, C++, dan JAVA. MySQL memiliki performa yang sangat cepat dan tetap berfungsi dengan baik, bahkan dengan kumpulan data yang besar. Selain itu, MySQL sangat cocok untuk PHP, salah satu bahasa pengembangan web yang paling banyak digunakan (Afolabi & Abimbola, 2022).

2.17 PHP

PHP adalah bahasa pemrograman yang dirancang untuk dijalankan pada halaman web, umumnya digunakan untuk memproses informasi di internet. Dalam pengertian lain, PHP adalah bahasa pemrograman sisi server (*server-side*) yang bersifat *open source* atau gratis. PHP adalah *script* yang terintegrasi dengan HTML (*HyperText Markup Language*) dan dijalankan pada sisi server (Sari et al., 2022).

2.18 XAMPP

XAMPP adalah *software* web server Apache yang dilengkapi dengan *database* server MySQL dan mendukung pemrograman PHP. XAMPP dikenal sebagai *software* yang mudah digunakan, bersifat gratis, serta kompatibel untuk diinstal pada sistem operasi Linux dan Windows (Sari et al., 2022). Nama XAMPP merupakan singkatan dari *Cross-Platform*, Apache, MySQL/MariaDB, PHP, dan Perl. Dengan XAMPP, pengembang dapat menginstal server lokal di komputer untuk menjalankan aplikasi web secara *offline*, sehingga mempermudah proses pengembangan dan pengujian sebelum

aplikasi dipublikasikan ke server *online*. XAMPP mendukung berbagai sistem operasi, menjadikannya alat yang fleksibel dan populer di kalangan pengembang web.

2.19 *JavaScript*

JavaScript adalah bahasa pemrograman yang digunakan di web dan bekerja di sisi pengguna (*client-side*). Artinya, prosesnya dijalankan langsung di browser seperti Google Chrome, Mozilla Firefox, atau Opera, bukan di server. Bahasa ini mulai dikembangkan sekitar pertengahan tahun 1990-an. Meskipun namanya mirip dengan Java, keduanya adalah bahasa yang berbeda. *JavaScript* bisa ditulis langsung di dalam file HTML atau dipisahkan dalam file tersendiri yang dihubungkan ke halaman web. Fungsinya adalah untuk mengatur interaksi antara halaman web dan penggunanya, seperti membuat elemen di halaman jadi lebih dinamis dan responsif (Sari et al., 2022).

2.20 *Python*

Python adalah bahasa pemrograman serbaguna yang mudah dipahami, berjalan di berbagai platform, dan banyak digunakan dalam web, *data science*, *machine learning*, serta ilmu alam. Dikenal karena sintaksnya yang sederhana dan pustaka yang lengkap, *Python* memudahkan analisis data, otomatisasi, dan pengembangan *software*. Meski tidak secepat C++, banyak pustaka *Python* ditulis dalam C++ agar tetap efisien. Di bidang kimia, *Python* mendukung simulasi dan visualisasi seperti kinetika, termodinamika, dan kimia kuantum (Ryzhkov et al., 2023).

2.21 *HyperText Markup Language (HTML)*

HTML adalah bahasa yang digunakan untuk menggambarkan struktur sebuah halaman web dan berfungsi untuk mempublikasikan dokumen secara online. Elemen dasar dalam HTML disebut *tag*, yang ditulis dalam tanda kurung siku (< >). Setiap *tag* yang digunakan untuk suatu dokumen atau bagian dokumen harus berupa pasangan, yaitu

tag pembuka dan *tag* penutup. *Tag* penutup ditandai dengan tambahan garis miring (/) di awal nama *tag* (Sari et al., 2022).

HTML sering dianggap sebagai dasar untuk pengembangan web sisi *front-end*. HTML digunakan secara luas untuk membangun berbagai jenis halaman yang umum ditemui dalam sebuah sistem web. Beberapa contohnya termasuk halaman *login*, halaman utama, halaman analitik, maupun halaman khusus untuk mengunggah dan mengunduh dokumen. Setiap komponen yang tampil di halaman web seperti teks, gambar, tombol, atau formulir dibuat dan diatur menggunakan *tag* HTML (Afolabi & Abimbola, 2022).

2.22 Cascading Style Sheets (CSS)

CSS adalah bahasa yang digunakan untuk menentukan tampilan halaman web, seperti warna, tata letak, dan jenis huruf, serta memungkinkan halaman web beradaptasi dengan berbagai ukuran layar. Umumnya, CSS ditulis terpisah dari HTML, meskipun bisa disisipkan langsung di dalamnya, untuk mempermudah pengelolaan desain pada halaman dengan struktur serupa (Sari et al., 2022). CSS berfungsi bersama dengan *tag* dan elemen HTML untuk mengatur tata letak, memberikan gaya visual, dan menciptakan desain yang unik guna meningkatkan pengalaman pengguna (Afolabi & Abimbola, 2022).

2.23 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah besarnya perbedaan energi potensial antara dua titik dalam suatu rangkaian, yang dinyatakan dalam satuan volt (V). Tegangan dapat diartikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu coulomb muatan listrik, atau dengan kata lain satu volt setara dengan satu joule per coulomb. Secara matematis, hubungan ini dituliskan dalam rumus $V = E / Q$, di mana V adalah tegangan dalam volt, E adalah energi dalam joule, dan Q adalah muatan dalam coulomb (Pramono et al., 2021).

2.24 Daya Listrik

Daya listrik merupakan ukuran banyaknya energi listrik yang digunakan atau mengalir setiap detik, dan dinyatakan dalam satuan watt (W), yang secara definisi setara dengan satu joule per detik. Hubungan antara daya, energi, dan waktu dapat dirumuskan sebagai $P = E / t$, di mana P adalah daya dalam watt, E adalah energi dalam joule, dan t adalah waktu dalam detik. Sebaliknya, energi juga dapat dihitung dengan rumus $E = P \times t$, yang menyatakan bahwa energi merupakan hasil kali antara daya listrik dengan waktu penggunaannya. Meskipun satuan energi listrik dalam Sistem Internasional adalah joule (J), dalam kehidupan sehari-hari lebih umum digunakan satuan kiloWatt-hour (kWh) (Pramono et al., 2021).

2.25 Tinjauan Studi

2.25.1 Penelitian oleh Supriyadi, et al.

Penelitian berjudul “Sistem Kendali Lampu *Defect* dan *Reject* Berbasis Web Server Menggunakan Raspberry Pi 3 Model B” yang diterbitkan dalam *Jurnal Teknik Informatika STMIK Antar Bangsa* Vol. VII No. 1 Februari 2021 oleh Endang Supriyadi, Maya Sofiana, dan Surya Dwipangga bertujuan untuk merancang sistem kendali lampu berbasis web. Sistem ini mampu mendeteksi kualitas barang produksi pada bagian *final inspection* di PT. Suryaraya Rubberindo Industries.

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan perangkat lunak dengan model *waterfall* yang meliputi beberapa tahap, yaitu analisis kebutuhan, desain sistem menggunakan diagram UML (*use case*, *activity*, *sequence*, dan *class*), pengkodean dengan bahasa pemrograman *Javascript* pada Raspberry Pi 3 Model B, pengujian sistem, dan pemeliharaan. Sistem memanfaatkan Raspberry Pi sebagai pengendali utama, relai, dan lampu LED filamen mini

sebagai indikator, di mana lampu kuning menyala untuk kategori *defect* (tingkat keseriusan rendah) dan lampu merah untuk kategori *reject* (tingkat keseriusan tinggi). Semua hasil deteksi tersimpan dalam basis data.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem dapat bekerja dengan baik, menunjukkan waktu respons yang cepat dalam mode *offline* maupun *online*. Namun, kinerja sistem pada mode *online* dipengaruhi oleh kualitas sinyal dan jaringan internet. Hal ini menjadi salah satu kelemahan sistem, meskipun kekuatan utama penelitian ini terletak pada integrasi sistem berbasis IoT yang memungkinkan pengendalian jarak jauh serta keandalan dalam meningkatkan akurasi deteksi barang *defect* dan *reject*.

2.25.2 Penelitian oleh Yulio Agefa Purmala

Penelitian berjudul “Penerapan *Machine Learning* dalam Meningkatkan Produktivitas di Industri Manufaktur: Tinjauan Literatur” oleh Yulio Agefa Purmala, diterbitkan dalam *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering* Vol. 13 No. 2, Juli 2021, membahas bagaimana *machine learning* digunakan untuk membantu meningkatkan produktivitas di dunia industri. Penelitian ini dilakukan dengan meninjau 36 artikel ilmiah dari tahun 2015 sampai 2020 yang membahas berbagai penerapan *machine learning* di sektor manufaktur.

Dari hasil tinjauan, diketahui bahwa *machine learning* banyak dimanfaatkan untuk mendeteksi kerusakan mesin, memprediksi keausan alat, menemukan cacat pada produk, hingga mengatur jadwal pemeliharaan secara otomatis. Penggunaan teknologi ini sangat membantu dalam pengambilan keputusan karena berbasis data, sehingga bisa mengurangi kesalahan manusia dan meningkatkan efisiensi kerja secara keseluruhan.

Namun, penelitian ini belum membahas penerapan langsung di lapangan, sehingga masih ada keterbatasan dari sisi implementasi nyata. Meski begitu, penelitian ini memberikan gambaran yang jelas bahwa *machine learning* memiliki potensi besar dalam mendorong peningkatan kualitas dan produktivitas di industri manufaktur, dan bisa menjadi dasar kuat untuk pengembangan lebih lanjut di masa depan.

2.25.3 Penelitian oleh Susetyo, et al.

Penelitian berjudul “LSTM-IOT (*LSTM-based IoT*) untuk Mengatasi Kehilangan Data Akibat Kegagalan Koneksi” diterbitkan dalam *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)* Vol. 12 No. 1, Februari 2025, oleh Yosia Adi Susetyo, Hanna Arini Parhusip, Suryasatriya Trihandaru, dan Bambang Susanto dari Universitas Kristen Satya Wacana. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis IoT yang mampu mengatasi kehilangan data akibat gangguan koneksi, dengan mengintegrasikan model *deep learning Long Short-Term Memory* (LSTM).

Perangkat menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DHT22, LCD 16x2, serta *database* lokal MySQL yang terhubung ke web antarmuka Streamlit. *Dataset* historis sebanyak 400.000 titik data dilatih menggunakan enam *optimizer* (Adam, RMSprop, AdaGrad, SGD, Nadam, Adadelata) pada dua arsitektur *Environment Intelligence* (Ei). Hasil terbaik diperoleh dari kombinasi arsitektur Ei versi (a) dan *optimizer* Nadam, dengan evaluasi MSE $5,844 \times 10^{-5}$, MAE 0,005971, dan RMSE 0,007645. Sistem mampu memprediksi data hingga 150 menit ke depan dan menampilkan data *real-time* melalui dashboard lokal.

Sistem ini unggul karena dapat menyimpan data secara lokal, bekerja tanpa *cloud*, hemat energi (daya tahan 24 jam), dan tetap berfungsi saat koneksi

terganggu. Namun, pengujian terbatas pada satu jenis sensor dan satu lokasi, sehingga generalisasi masih perlu diuji. Pengembangan ke depan disarankan mencakup lebih banyak variabel dan skenario lingkungan untuk meningkatkan adaptivitas sistem.

2.25.4 Penelitian oleh Syamsuri, et al.

Penelitian berjudul “Rancang Bangun Alat *Monitoring* Daya Listrik di Asrama Berbasis Web Menggunakan ESP32” oleh Tresna Umar Syamsuri dkk., yang diterbitkan dalam *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan* Vol. 09 No. 3 Agustus 2022, bertujuan untuk membangun sistem pemantauan dan pengendalian konsumsi daya listrik berbasis IoT di lingkungan asrama. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi modul Wi-Fi, sehingga dapat mengirimkan data sensor secara *real-time* ke platform web Blynk.

Data konsumsi daya diperoleh dari sensor ACS712 (arus) dan ZMPT101B (tegangan), lalu dikirim oleh ESP32 ke server untuk ditampilkan melalui antarmuka web. Melalui platform Blynk, admin dapat mengatur batas konsumsi daya untuk setiap kamar, sementara penghuni dapat memantau konsumsi listrik masing-masing. Sistem juga dilengkapi dengan relay otomatis untuk memutus arus jika batas konsumsi terlampaui, sehingga membantu menghindari pemborosan dan kelebihan beban.

Walaupun sistem memberikan solusi modern dan fleksibel dalam pengelolaan daya listrik, hasil pengujian menunjukkan adanya kelemahan pada akurasi pembacaan sensor arus, dengan error mencapai 11,88%. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi ESP32 dan *web-based monitoring* merupakan pendekatan efisien untuk manajemen daya di asrama, namun masih memerlukan

pengembangan lebih lanjut, terutama pada aspek akurasi sensor dan kalibrasi sistem agar lebih andal dalam implementasi nyata.

2.25.5 Penelitian oleh Hidayat & Amrullah

Penelitian berjudul "Sistem Kontrol dan *Monitoring* Tanaman Hidroponik Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan NodeMCU ESP32" oleh Muh. Adrian Juniarta Hidayat dan Ahmad Zuli Amrullah, yang diterbitkan dalam *Jurnal Saintekom* Vol. 12 No. 1 Maret 2022, bertujuan untuk merancang sistem otomatisasi pemberian nutrisi tanaman hidroponik berbasis IoT. Sistem ini menggunakan NodeMCU ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu dan pH untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*.

Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh mikrokontroler dan dikirim ke server web, lalu ditampilkan melalui antarmuka aplikasi berbasis web. Hal ini memungkinkan pengguna untuk mengakses informasi kondisi tanaman dari jarak jauh dan memantau sistem secara terus-menerus. Sistem juga dirancang untuk memberi nutrisi sesuai kebutuhan tanaman secara otomatis, berdasarkan parameter yang terdeteksi oleh sensor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara efektif dalam memantau dan mengontrol nutrisi tanaman. Namun, kendala yang muncul berupa keterlambatan pembaruan data akibat gangguan koneksi internet. Meskipun demikian, penelitian ini membuktikan bahwa teknologi IoT dengan NodeMCU ESP32 dapat diterapkan secara efisien dalam pengelolaan tanaman hidroponik, dengan potensi pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan keandalan sistem.

2.25.6 Penelitian oleh Hanifa, et al.

Penelitian berjudul "Perbandingan Metode LSTM dan GRU (RNN) untuk Klasifikasi Berita Palsu Berbahasa Indonesia", yang diterbitkan dalam *Jurnal Dinamika Rekayasa* Vol. 17 No. 1 Tahun 2021 oleh Aini Hanifa dan tim dari Universitas Jenderal Soedirman, bertujuan mengklasifikasikan berita palsu berbahasa Indonesia menggunakan dua model *deep learning*, yaitu LSTM dan GRU. *Dataset* yang digunakan berjumlah 600 berita, terdiri dari 372 berita valid dan 228 berita palsu, dengan *preprocessing* meliputi *stemming*, *tokenizing*, *stopword removal*, dan *padding*.

Setelah dilakukan *tuning hyperparameter* (*epochs*, *batch size*, dan *optimizer*), akurasi model meningkat signifikan. Model LSTM mencapai akurasi sekitar 73% dengan konfigurasi terbaik, sedangkan GRU hanya mencapai 64%. Hal ini menunjukkan bahwa LSTM lebih efektif dalam memahami struktur dan konteks data teks dalam klasifikasi berita.

Namun, meskipun LSTM menunjukkan performa lebih baik secara umum, model masih mengalami kesulitan dalam mendeteksi berita palsu secara akurat. *Recall* untuk kategori berita palsu hanya sekitar 49%, jauh lebih rendah dibandingkan dengan berita valid yang mencapai 85%. Hal ini menandakan bahwa konteks bahasa yang ambigu atau opini yang menyerupai hoaks masih menjadi tantangan utama dalam pemrosesan bahasa alami menggunakan metode ini.

2.25.7 Penelitian oleh Arip Kristiyanto

Penelitian berjudul "*Smart Aquarium IoT System* dengan Metode Fuzzy untuk Klasifikasi Kualitas Air Berdasarkan Suhu, pH, dan Kekeruhan" yang diterbitkan dalam *Smart Comp*, Vol. 12 No. 4, Oktober 2023, oleh Arip

Kristiyanto, mengembangkan sistem klasifikasi kualitas air akuarium berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan metode kecerdasan buatan berbasis *fuzzy logic*. Sistem ini menggunakan NodeMCU sebagai mikrokontroler, serta dilengkapi dengan sensor suhu DS18B20, sensor pH, dan sensor turbidity. Data sensor dikirim secara *real-time* ke server Ubidots agar dapat dimonitor melalui web atau aplikasi mobile, memungkinkan kontrol jarak jauh terhadap kondisi lingkungan akuarium.

Dalam klasifikasi kualitas air, metode *fuzzy* Tsukamoto digunakan sebagai pendekatan logika cerdas untuk memproses data suhu, pH, dan tingkat kekeruhan. Metode ini merupakan bagian dari teknik *machine learning* berbasis aturan (*rule-based learning*), yang memungkinkan sistem mengambil keputusan berdasarkan ambiguitas nilai *input*, berbeda dengan pendekatan statistik murni. Keluaran klasifikasi dibagi menjadi tiga kategori kualitas air: rendah, sedang, dan tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, sistem menunjukkan akurasi yang tinggi, dengan rata-rata error sensor suhu sebesar 0,30% dan sensor pH sebesar 0,62%, sementara sensor turbidity menghasilkan deteksi kekeruhan secara biner.

Penelitian ini menunjukkan bagaimana integrasi IoT dan teknik kecerdasan buatan, meskipun masih pada level *rule-based* seperti *fuzzy logic*, dapat menghasilkan sistem *monitoring* otomatis dan responsif. Notifikasi otomatis melalui email dan Telegram menambah kepraktisan sistem ini. Meski begitu, terdapat keterbatasan dari sisi sensor, khususnya karena sensor turbidity hanya menghasilkan data biner sehingga kurang presisi dalam menggambarkan variasi tingkat kekeruhan. Selain itu, sistem pemberian pakan belum mengintegrasikan *load cell*, sehingga belum sepenuhnya otomatis dan akurat. Penelitian ini menjadi bukti bahwa penerapan algoritma cerdas dalam sistem IoT

dapat memberikan landasan yang baik bagi pengembangan lebih lanjut, terutama dalam konteks prediksi atau klasifikasi berbasis data sensor waktu nyata.

2.25.8 Penelitian oleh Muhammad & Irawan

Penelitian berjudul “Implementasi *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk Prediksi Intensitas Curah Hujan (Studi Kasus: Kabupaten Malang)” diterbitkan dalam *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol. 12 No. 1, halaman A34–A39, Februari 2023, oleh Thoriq Afa Faisal Muhammad dan Mohammad Isa Irawan dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model prediksi curah hujan berbasis LSTM untuk membantu perencanaan pertanian di tengah ketidakpastian iklim.

Data diperoleh dari BMKG Karangploso Malang mencakup curah hujan, suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan tekanan udara selama 2017–2022. Data dibersihkan menggunakan interpolasi dan dinormalisasi dengan *min-max scaling*. Model dilatih dengan konfigurasi terbaik pada rasio 90:10 (*training:testing*), 500 *epoch*, *batch size* 15, dan *learning rate* 0.001. Evaluasi menunjukkan performa baik dengan RMSE 0.98162 dan MAE 0.68847.

LSTM terbukti efektif dalam mengenali pola musiman dan fluktuasi jangka panjang, didukung oleh teknik praproses yang tepat. Kekuatan penelitian ini terletak pada kecocokan arsitektur model untuk data deret waktu iklim. Namun, keterbatasannya ada pada cakupan data yang masih sempit secara spasial dan temporal. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan data yang lebih luas serta perbandingan dengan model lain seperti ARIMA, Prophet, dan SVM.

2.25.9 Penelitian oleh Wahyudi, et al.

Penelitian berjudul “Penerapan *Machine Learning* pada Mikrokontroler Arduino Mega Pro Mini ATmega2560-16AU” diterbitkan dalam *Jurnal JESSI*, Vol. 3 No. 1, halaman 29–39, Mei 2022, oleh Wahyudi, Wulan Purnamasari, Akmal Hidayat, dan M. Miftach Fakhri dari Universitas Negeri Makassar. Tujuan utama penelitian ini adalah menerapkan algoritma *machine learning K-Nearest Neighbor* (KNN) untuk klasifikasi warna menggunakan sensor TCS3200 yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino Mega Pro Mini.

Penelitian menggunakan metode studi pustaka dan eksperimen langsung. Sensor TCS3200 membaca nilai RGB dari sampel warna yang kemudian diproses oleh algoritma KNN. Pengujian dilakukan pada warna terang dan gelap dengan variasi nilai k , dan akurasi tertinggi (80%) diperoleh saat $k = 5$. Sistem juga diuji pada kondisi pencahayaan berbeda untuk mengamati pengaruh lingkungan terhadap akurasi klasifikasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat mengklasifikasikan warna secara efektif dengan pemrosesan ringan di perangkat mikrokontroler. Keunggulannya terletak pada kesederhanaan, efisiensi di sisi *edge device*, dan tidak memerlukan server eksternal. Namun, sensor masih sensitif terhadap cahaya sekitar dan jumlah data uji yang digunakan terbatas, sehingga validitas sistem dalam kondisi lebih kompleks masih perlu ditingkatkan.

2.25.10 Penelitian oleh Febby Apri Wenando

Penelitian berjudul “Peran Penggunaan IoT dengan *Machine Learning* dalam Penanganan Pandemi COVID-19: *Systematic Literature Review*” diterbitkan dalam *Jurnal FASILKOM*, Vol. 13 No. 2, halaman 318–325, pada Agustus 2023. Ditulis oleh Febby Apri Wenando dari Universitas Andalas,

penelitian ini bertujuan mengeksplorasi integrasi *Internet of Things* (IoT) dan *machine learning* dalam sistem monitoring dan klasifikasi risiko selama pandemi COVID-19.

Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* berdasarkan protokol PRISMA, dengan sumber literatur dari tahun 2020–2022. Dari 223 artikel awal, 15 dipilih dan dianalisis secara kualitatif. Sistem yang dikaji mencakup empat tahap: pengumpulan data dari sensor (suhu, jarak, data pribadi), pemrosesan menggunakan algoritma seperti *Random Forest* dan *Naive Bayes*, klasifikasi kondisi, dan visualisasi hasil. *Random Forest* dilaporkan memiliki akurasi tertinggi, hampir mencapai 99%.

Penelitian ini menunjukkan bahwa IoT dan *machine learning* efektif dalam pengolahan data *real-time* untuk mendukung pengambilan keputusan cepat dan tepat selama pandemi. Kelebihan terletak pada cakupan analisis yang menyeluruh terhadap pendekatan teknis dan algoritmik. Namun, keterbatasan utama adalah belum adanya implementasi langsung di lapangan, sehingga efektivitas sistem masih bersifat teoretis. Diperlukan studi lanjutan berbasis pengujian nyata untuk validasi lebih lanjut.

2.25.11 Penelitian oleh Rahman, et al.

Penelitian berjudul “*Machine Learning and Internet of Things in Industry 4.0: A Review*” diterbitkan dalam *Measurement: Sensors*, Volume 28 Nomor 100822, Juni 2023. Artikel ini ditulis oleh Md. Sazzadur Rahman, Tapotosh Ghosh, Nahid Ferdous Aurna, M. Shamim Kaiser, Mehrin Anannya, dan A.S.M. Sanwar Hosen dari institusi di Bangladesh, Jepang, dan Korea Selatan. Penelitian ini bertujuan meninjau integrasi teknologi IoT dan *machine learning* (ML) dalam Industri 4.0, serta mengevaluasi protokol, sensor, dan

algoritma yang digunakan dalam otomasi industri berdasarkan 28 publikasi dari 2017–2022.

Studi ini membahas protokol komunikasi seperti MQTT, LoRaWAN, CoAP, dan BLE, serta sensor seperti RFID, Raspberry Pi, dan spectrometer. Algoritma ML yang dikaji mencakup *Random Forest*, SVM, KNN, CNN, ANN, dan GMDH untuk klasifikasi, prediksi, dan deteksi anomali. Penelitian juga menyoroti arsitektur *edge/fog computing*, pemrosesan *cloud*, dan integrasi sensor *real-time* dalam sistem industri cerdas.

Hasil kajian menunjukkan bahwa sinergi IoT dan ML mampu meningkatkan efisiensi, fleksibilitas, dan otomatisasi di sektor manufaktur. Kelebihan studi ini terletak pada cakupan menyeluruh dan pendekatan sistematis terhadap teknologi yang digunakan. Namun, tantangan praktis masih ada, seperti isu privasi data, keamanan, dan tingginya biaya awal implementasi. Penelitian lanjutan disarankan untuk fokus pada solusi keamanan, efisiensi biaya, dan aplikasi pada sektor industri yang lebih luas.

2.25.12 Penelitian oleh Hercog, et al.

Penelitian berjudul "*Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices*", yang diterbitkan dalam *Sensors*, Vol. 23 No. 6739 pada Juli 2023, membahas pengembangan perangkat IoT berbasis ESP32 untuk tujuan pendidikan dan penelitian. Perangkat ini memanfaatkan fitur ESP32 seperti prosesor *dual-core*, konektivitas Wi-Fi dan *Bluetooth*, serta efisiensi daya untuk mendukung akuisisi dan pengolahan data sensor.

Sistem dirancang dengan pendekatan modular menggunakan sensor Grove, STEMMA QT, dan Qwiic, yang mempermudah integrasi dan pengujian berbagai konfigurasi perangkat keras. Pemrograman dilakukan melalui Arduino

IDE dengan dukungan library ESP32, serta dilengkapi kemampuan *logging* data ke kartu SD dan pengiriman data ke platform *cloud* seperti ThingSpeak.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa perangkat mampu melakukan pemantauan lingkungan secara *real-time*, seperti pengukuran suhu dan kelembapan, dengan konsumsi daya rata-rata 0,27 W. Penelitian ini menyoroti efisiensi dan keandalan ESP32 dalam pengembangan sistem IoT, meskipun masih terdapat keterbatasan dalam kecepatan transfer data akibat ketergantungan pada jaringan GPRS.

2.25.13 Penelitian oleh Papastefanopoulos, et al

Penelitian berjudul "*Multivariate Time-Series Forecasting: A Review of Deep Learning Methods in Internet of Things Applications to Smart Cities*", diterbitkan dalam *Smart Cities*, Vol. 6 No. 5, September 2023, membahas berbagai metode *deep learning* untuk peramalan data *time-series* multivariat pada konteks kota pintar berbasis IoT. Kajian ini mencakup enam domain utama kota pintar, dengan fokus utama pada lingkungan dan mobilitas, seperti peramalan kualitas udara, manajemen energi, arus lalu lintas, serta kualitas air.

Berbagai arsitektur *deep learning* dikaji, termasuk RNN, LSTM, GRU, CNN, GNN, serta pendekatan hibrid yang memanfaatkan *attention mechanism*. Penelitian ini membandingkan performa, kompleksitas, dan tantangan implementasi dari masing-masing model, serta menyusun tinjauan terstruktur terhadap studi terdahulu melalui tabel ringkasan.

Hasil kajian menunjukkan bahwa *deep learning* mampu menangani kompleksitas data deret waktu multivariat dari sensor IoT secara efektif, dengan kontribusi signifikan terhadap efisiensi pengelolaan kota pintar. Namun, tantangan seperti keterbatasan interpretabilitas model, kebutuhan komputasi

yang tinggi, dan generalisasi antar wilayah masih menjadi perhatian utama. Ditekankan pula perlunya pengembangan model yang lebih ringan, penggunaan *transfer learning*, dan integrasi pemantauan waktu nyata untuk meningkatkan aplikasi IoT dalam sistem perkotaan cerdas.

2.25.14 Penelitian oleh Kumar, Thamizharasan, dan Krishna

Penelitian berjudul “*Manufacturing Quality Control Analysis System*” diterbitkan dalam *IRJMETs*, Vol. 7 No. 4, halaman 4794–4803, April 2025. Ditulis oleh Harish Kumar N. J., Thamizharasan N., dan Krishna A. S. dari Rathinam College of Arts and Science serta Anna University, India, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan mutu produksi berbasis *machine learning* untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas di sektor manufaktur.

Sistem yang dikembangkan, bernama *Manufacturing Quality Control Tracker*, mampu melakukan deteksi cacat *real-time*, pelacakan standar mutu (ISO 9001), analisis tren, dan identifikasi akar masalah. *Dataset* dari HCL Technologies mencakup variabel suhu, tekanan, kecepatan mesin, jenis dan tingkat cacat, serta *timestamp*. Model ML yang digunakan meliputi *Random Forest*, SVM, *Decision Tree*, XGBoost, dan LSTM, dengan LSTM menghasilkan akurasi tertinggi (94,2%) dan F1-score 93,9%. Sistem dibangun menggunakan *Python*, *Dash*, dan *Tableau* untuk visualisasi.

Penelitian menunjukkan sistem efektif dalam pengawasan kualitas dan pengambilan keputusan berbasis data, dengan dasbor interaktif dan notifikasi otomatis. Keunggulan sistem terletak pada integrasi prediktif dan visualisasi *real-time*. Namun, keterbatasan terdapat pada cakupan data yang masih tunggal dan belum diuji di berbagai skenario industri. Rekomendasi lanjutan mencakup

integrasi dengan *cloud*, *edge computing*, dan pemanfaatan model *deep learning* lanjutan untuk meningkatkan skalabilitas dan adaptivitas sistem.

2.25.15 Penelitian oleh Qiao dan Zhou

Penelitian berjudul “*LSTM-Based Anomaly Detection in Manufacturing Environmental Monitoring Data*” diterbitkan dalam *Automation and Machine Learning*, Vol. 4 No. 3, tahun 2023, oleh Junjing Qiao dan Enxian Zhou dari Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co., Ltd., Tiongkok. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model deteksi anomali berbasis *Long Short-Term Memory* (LSTM) untuk pemantauan lingkungan manufaktur, khususnya emisi senyawa NMVOCs dari pipa pengecatan.

Dataset dikumpulkan dari platform IoT internal, terdiri atas 43.168 sampel dengan tujuh parameter, termasuk suhu, kelembapan, dan kadar NMVOCs. Setelah penghapusan data kosong dan uji kestasioneran (ADF), data dibagi menjadi pelatihan (6000 sampel normal) dan pengujian. LSTM dilatih hanya dengan data normal dan berhasil mendeteksi anomali dengan akurasi tinggi serta stabilitas dalam mengenali pola musiman dan jangka panjang.

Model LSTM menunjukkan performa lebih baik dibanding metode lain seperti *Isolation Forest*, *Matrix Profile*, dan *Autoencoder*. Keunggulannya terletak pada kemampuan generalisasi antar saluran data tanpa penyesuaian parameter tambahan. Namun, penelitian ini masih terbatas pada satu jenis gas dan belum diuji dalam skenario industri yang lebih kompleks. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperluas cakupan parameter dan lingkungan implementasi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum Perusahaan

PT. XYZ awalnya didirikan sebagai perusahaan distributor alat listrik dan lampu LED, dengan fokus utama mendistribusikan produk impor ke pasar Indonesia. Dengan jaringan distribusi yang luas, PT. XYZ berhasil membangun reputasi sebagai mitra terpercaya dalam menyediakan produk-produk berkualitas tinggi untuk kebutuhan rumah tangga, bisnis, dan industri.

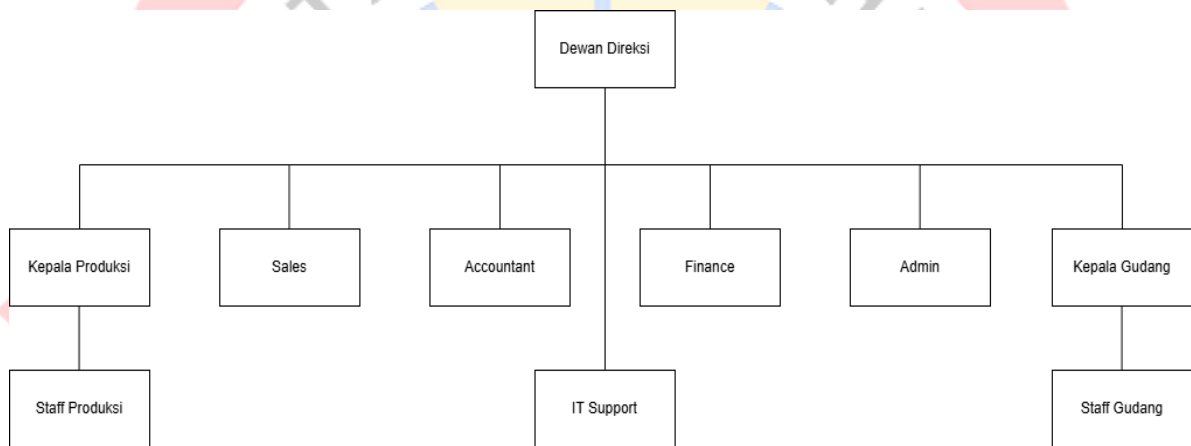
Namun, seiring dengan meningkatnya permintaan pasar, PT. XYZ mulai menghadapi tantangan terkait pasokan produk. Salah satu tantangan utamanya adalah ketergantungan pada produsen luar negeri yang seringkali menghadapi kendala logistik, waktu pengiriman, dan fluktuasi harga. Hal ini mendorong perusahaan untuk berpikir lebih jauh tentang cara mengurangi ketergantungan tersebut sekaligus memberikan solusi yang lebih inovatif dan efisien bagi pelanggannya.

Sebagai respons atas tantangan ini, PT. XYZ mengambil langkah strategis dengan memutuskan untuk memproduksi lampu LED secara mandiri. Langkah ini didorong oleh visi perusahaan untuk menyediakan produk pencahayaan yang ramah lingkungan dan hemat energi di Indonesia. Dengan investasi yang signifikan, perusahaan mulai membangun fasilitas produksi dan merekrut tenaga ahli.

Dengan fokus pada inovasi, PT. XYZ mengembangkan lini produk yang mencakup lampu rumah tangga, dan lampu industri, yang semuanya dirancang untuk hemat energi dan tahan lama. Dengan memproduksi lampu sendiri, PT. XYZ tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga memperkuat posisinya sebagai salah satu

pemain di industri manufaktur alat listrik dan pencahayaan di Indonesia. Saat ini, PT. XYZ terus berinovasi dan berkomitmen untuk menyediakan solusi pencahayaan berkualitas tinggi yang mendukung keberlanjutan lingkungan, sekaligus memenuhi kebutuhan konsumen yang terus berkembang.

Sebagai bagian dari upaya mendukung kegiatan operasional dan mencapai tujuan perusahaan, PT. XYZ memiliki struktur organisasi yang tersusun secara sistematis. Struktur ini berperan dalam membantu kelancaran berbagai aktivitas perusahaan. Berikut adalah bagan struktur organisasi PT. XYZ.



Gambar 3.1 Struktur Organisasi PT. XYZ

Berdasarkan struktur organisasi di atas, setiap bagian memiliki tugas dan wewenang yang telah ditetapkan untuk mendukung operasional perusahaan. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai peran masing-masing bagian:

1. Dewan Direksi

- A. Mengawasi seluruh aktivitas perusahaan.
- B. Membuat kebijakan strategis dan memimpin rapat penting.
- C. Bertanggung jawab atas keberhasilan perusahaan.
- D. Mengambil keputusan terkait operasional, keuangan, dan pengembangan perusahaan.

2. Kepala Produksi

- A. Mengelola proses produksi dan memastikan kualitas produk.
- B. Mengatur jadwal produksi agar sesuai target.
- C. Mengarahkan staf produksi dan melakukan evaluasi hasil produksi.
- D. Mengambil keputusan terkait teknis produksi.

3. Staf Produksi

- A. Melaksanakan proses produksi sesuai arahan kepala produksi.
- B. Menjaga kebersihan dan efisiensi alat produksi.
- C. Melaporkan kendala dalam proses produksi kepada kepala produksi.

4. Sales

- A. Mengembangkan strategi pemasaran dan menjual produk.
- B. Membangun hubungan dengan klien.
- C. Memberikan penawaran harga sesuai kebijakan perusahaan.
- D. Menegosiasikan kontrak dengan pelanggan.

5. Akuntan

- A. Mengelola pembukuan keuangan perusahaan.
- B. Menyusun laporan keuangan bulanan dan tahunan.
- C. Memastikan kepatuhan perusahaan terhadap aturan perpajakan.
- D. Memberikan rekomendasi terkait pengelolaan anggaran.

6. IT Support

- A. Menyediakan dukungan teknis untuk perangkat keras dan lunak perusahaan.
- B. Memastikan kelancaran sistem teknologi informasi.
- C. Melakukan *troubleshooting* dan memperbaiki perangkat IT yang bermasalah.

7. Admin

- A. Mendukung aktivitas administrasi perusahaan.
- B. Mengelola data dan dokumen perusahaan.
- C. Membantu pengaturan jadwal dan komunikasi internal.
- D. Menyusun laporan administratif untuk kebutuhan manajemen.

8. Finance

- A. Memastikan aliran kas perusahaan berjalan lancar.
- B. Menyetujui pengeluaran perusahaan dalam batas kewenangan.
- C. Menyusun laporan arus kas dan anggaran.
- D. Melakukan audit internal terhadap transaksi keuangan.

9. Kepala Gudang

- A. Mengatur penyimpanan barang di gudang.
- B. Memastikan stok barang sesuai kebutuhan.
- C. Menjaga keamanan barang.
- D. Mengatur jadwal staf gudang dan memberikan laporan stok.

10. Staf Gudang

- A. Melaksanakan aktivitas operasional seperti penerimaan, penyimpanan, dan pengiriman barang.
- B. Melaporkan kondisi stok kepada kepala gudang.
- C. Memastikan barang sesuai dengan catatan inventaris.

3.2 Identifikasi Kebutuhan

3.2.1 Identifikasi Kebutuhan Pengguna

Kebutuhan untuk perancangan sistem ini telah diidentifikasi berdasarkan informasi yang tersedia. Berbagai persyaratan yang diperlukan dirangkum sebagai berikut:

Tabel 3.1 Analisa Kebutuhan Pengguna

No	Kebutuhan Pengguna
1	Dapat melihat data pembacaan sensor melalui web
2	Dapat memulai pengujian melalui web
3	Dapat membatalkan pengujian melalui web
4	Dapat melihat hasil klasifikasi melalui web

3.2.2 Identifikasi Kebutuhan Sistem

1. *Software*

A. Perancangan

Perangkat lunak yang digunakan dalam merancang sistem untuk pembuatan sistem meliputi:

1. Arduino IDE
2. Visual Studio Code

3. XAMPP
4. Web Browser

B. Pengguna/*User*

Persyaratan minimum perangkat lunak yang harus dimiliki oleh pengguna:

1. Web Browser

2. *Hardware*

A. Kebutuhan *Hardware* untuk Perancangan Sistem

Perangkat keras yang digunakan oleh pengembang selama proses perancangan dan pengembangan sistem:

1. PC/Laptop dengan spesifikasi:
 - Prosesor Intel Core i3-1115G4 3GHz dengan Intel UHD *Graphics*
 - RAM 8 GB
 - Penyimpanan SSD 256 GB

B. Komponen Sistem

Komponen dan perangkat keras yang membentuk bagian dari sistem secara langsung:

1. NodeMCU ESP32 Doit V1
2. *Expansion Board* untuk ESP32 Doit V1
3. Kabel Jumper
4. BH1750FVI Sensor Lux
5. PZEM-004T Sensor Watt, Volt, dan Arus AC 100A 80-260V dengan *Close CT*
6. *Stepper Motor* Nema 17 17HS8401S

7. *Stepper Motor Driver* TB6600
8. *Timing Belt*
9. Boks Uji 30x30x30cm
10. *Fitting* lampu E27
11. *Slide Regulator* AC 500W

3.3 Pembahasan Metode Yang Digunakan

3.3.1 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan langsung dari sampel lampu LED yang diperoleh dari kepala produksi PT. XYZ. Sampel tersebut terdiri dari dua kategori utama, yaitu lampu yang normal/layak dan lampu *defect*. Untuk setiap pengujian, digunakan alat berbasis IoT yang dirancang khusus dengan mikrokontroler ESP32 dan beberapa sensor pendukung. Alat ini digunakan untuk merekam data dari setiap lampu selama satu sesi pengujian berdurasi 15 menit.

Durasi pengujian selama 15 menit ini mengikuti prosedur *quality control* (QC) yang berlaku di PT. XYZ, di mana setiap lampu diuji dengan tiga level tegangan berbeda secara bertahap, yaitu 110 volt (tegangan rendah), 220 volt (tegangan normal), hingga 250 volt (tegangan tinggi). Tujuannya adalah untuk menilai kestabilan dan kualitas penyalan lampu dalam berbagai kondisi tegangan yang mungkin terjadi di lapangan.

Selama pengujian, beberapa parameter penting yang mencerminkan performa lampu diukur secara otomatis. Sensor BH1750FVI digunakan untuk mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux, yang menunjukkan seberapa terang lampu menyala. Sementara itu, sensor PZEM-004T mencatat daya (watt)

dan tegangan (volt). Ketiga parameter ini dipilih karena mewakili aspek-aspek utama dari performa lampu: seberapa terang cahaya yang dihasilkan (lux), seberapa besar daya yang digunakan (watt), dan seberapa stabil lampu bekerja pada berbagai tingkat tegangan (volt).

Pemilihan parameter ini juga disesuaikan dengan kebiasaan pengujian di PT. XYZ. Di sana, pengecekan watt biasanya hanya dilakukan secara manual melalui label pada bodi lampu, sehingga pencatatan otomatis memberikan data yang lebih akurat dan konsisten. Sementara pengamatan terang atau tidaknya lampu umumnya dilakukan secara visual, penggunaan sensor lux memungkinkan pengukuran yang lebih objektif dan menghasilkan data angka yang bisa diolah lebih lanjut.

Untuk memastikan hasil pengukuran cahaya tidak terganggu oleh pencahayaan luar, seluruh pengujian dilakukan di dalam boks uji tertutup berukuran 30x30x30 cm. Desain ini menjaga kondisi awal tetap gelap atau 0 lux, sehingga sensor hanya menangkap cahaya dari lampu yang sedang diuji.

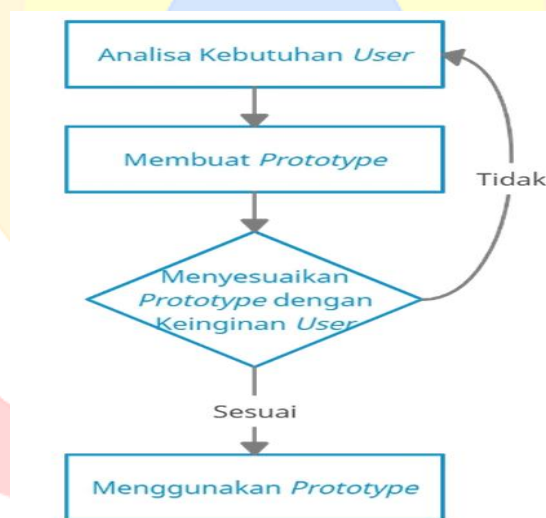
Data hasil pengukuran yang dikirim dari alat ke server melalui API akan terlebih dahulu melalui proses filter format dan validasi, seperti pengecekan struktur data dan tipe data agar sesuai. Kemudian, data tersebut disimpan ke dalam tabel MySQL dengan struktur *NOT NULL* untuk memastikan tidak ada data kosong atau tidak valid yang masuk. Dengan adanya filter ini, data yang tersimpan sudah bersih dari *noise* dan siap digunakan. Setelah itu, data diekspor dalam bentuk file CSV untuk keperluan analisis dan pelatihan model klasifikasi.

Setiap kali pengujian dilakukan, lima lampu layak dan lima lampu *defect* diuji secara bergantian. Proses ini diulang beberapa kali hingga menghasilkan

total 50 *dataset* untuk kategori lampu layak dan 50 dataset untuk lampu *defect*. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan data yang cukup banyak dan tetap mencerminkan kondisi pengujian nyata di lapangan. *Dataset* inilah yang kemudian digunakan dalam pelatihan dan pengujian model klasifikasi.

3.3.2 Metode Pengembangan Sistem

Metode pengembangan sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah *prototyping evolutionary*, yaitu prototipe yang secara terus menerus dikembangkan hingga prototipe tersebut memenuhi fungsi dan prosedur yang dibutuhkan oleh *system* (Firmansyah, 2021). Pendekatan ini dipilih karena mampu mengakomodasi perubahan kebutuhan secara dinamis dan memungkinkan pengembangan sistem yang lebih fleksibel dan responsif terhadap hasil pengujian atau masukan pengguna.



Gambar 3.2 Tahapan *Evolutionary Prototype*

(Sumber: Firmansyah, 2021)

Alur pengembangannya dimulai dari proses analisis kebutuhan, untuk memahami apa saja yang harus disediakan oleh sistem. Dari hasil analisis ini,

dibuatlah prototipe awal yang menggambarkan fungsi dasar sistem. Prototipe ini kemudian dievaluasi untuk memastikan kesesuaiannya.

Setelah prototipe awal selesai dibuat, dilakukan evaluasi terhadap kinerjanya. Hasil evaluasi ini kemudian dijadikan dasar untuk memperbaiki dan menyempurnakan prototipe. Proses penyempurnaan dilakukan secara bertahap, dengan memperhatikan setiap umpan balik yang diperoleh, baik dari pengujian teknis maupun dari pihak yang berkepentingan. Setiap iterasi pengembangan menghasilkan versi sistem yang lebih stabil, lengkap, dan sesuai dengan kebutuhan yang sebenarnya.

Proses ini terus dilakukan hingga sistem mencapai bentuk yang dianggap optimal, stabil, dan siap untuk digunakan. Dengan pendekatan ini, pengembangan sistem tidak hanya lebih terkontrol, tetapi juga memungkinkan hasil akhir yang lebih sesuai dengan kebutuhan nyata dan kondisi lapangan.

3.3.3 Metode Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan keandalan dan akurasi sistem klasifikasi kualitas lampu. Proses pengujian melibatkan beberapa langkah berikut:

1. Functional Testing

Functional testing dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen utama sistem berfungsi sebagaimana mestinya. dengan pendekatan *blackbox testing* untuk menilai respon sistem terhadap berbagai *input* yang diberikan, tanpa melihat struktur internal program. Misalnya, saat sistem dijalankan, sensor BH1750FVI dan PZEM-004T dapat menghasilkan data saat sistem dijalankan. Motor NEMA 17 dapat bergerak

sesuai perintah sistem. ESP32 dapat membaca data dari sensor dan mengirimkannya melalui API. Web dapat menampilkan data dan mengontrol pengujian. API dapat memverifikasi bahwa data dari ESP32 dapat diterima dan disimpan dengan benar. Pengujian ini memastikan alur sistem berjalan dengan baik dari pengambilan data hingga penyimpanan.

2. *Performance Testing*

Performance testing dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan sistem dalam menjalankan fungsinya secara terus-menerus. Sistem diuji selama periode waktu tertentu dengan pengiriman data secara berkala. Misalnya selama pengujian, diamati apakah sistem tetap stabil, koneksi tetap terjaga, dan tidak terjadi kehilangan data. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara konsisten dalam kondisi operasional nyata.

3. *Validation Testing*

Pengujian validasi dilakukan untuk mengukur kinerja model klasifikasi berbasis *Long Short-Term Memory* (LSTM) dalam mengenali kualitas lampu berdasarkan data sensor. Metrik evaluasi yang digunakan meliputi akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*, dengan definisi dan formulasi yang merujuk pada (Alshingiti et al., 2023).

A. Akurasi (*Accuracy*)

Mengukur sejauh mana model mampu memberikan prediksi yang benar secara keseluruhan.

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

True Positive (TP): Prediksi "buruk" yang benar.

True Negative (TN): Prediksi "baik" yang benar.

False Positive (FP): Prediksi "buruk" yang salah.

False Negative (FN): Prediksi "baik" yang salah

B. Presisi (*Precision*)

Mengukur seberapa akurat prediksi positif model, yaitu proporsi data yang benar-benar positif dari semua data yang diprediksi sebagai positif.

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + FP}$$

C. Sensitivitas (*Recall*)

Mengukur kemampuan model untuk mendeteksi semua data positif yang sebenarnya.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

D. *F-1 Score*

F1-Score adalah metrik yang menggabungkan presisi dan *recall* menjadi satu angka tunggal.

$$F1 - \text{Score} = 2 \times \frac{\text{Presisi} \times \text{Recall}}{\text{Presisi} + \text{Recall}}$$

E. *Confusion Matrix*

Confusion Matrix adalah tabel yang memberikan pandangan rinci tentang prediksi model untuk setiap kategori, menampilkan jumlah prediksi yang benar dan salah untuk setiap kategori.

Tabel 3.2 Confusion Matrix

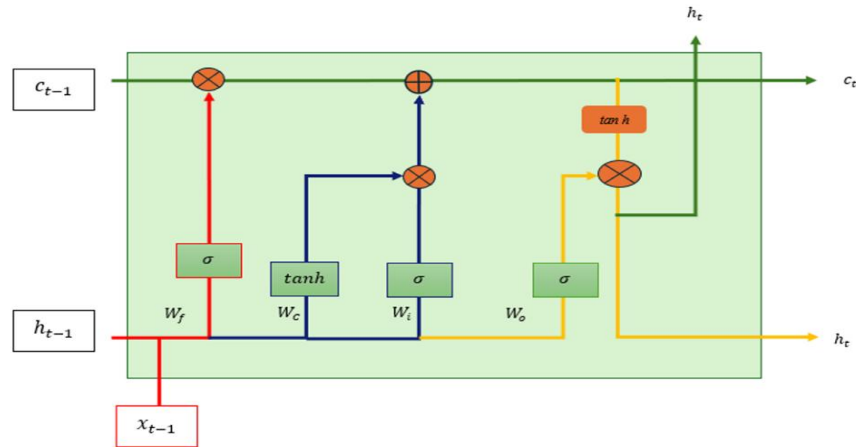
	Prediksi Positif (Buruk)	Prediksi Negatif (Baik)
Aktual Positif (Buruk)	<i>True Positive (TP)</i>	<i>False Negative (FN)</i>
Aktual Negatif (Baik)	<i>False Positive (FP)</i>	<i>True Negative (TN)</i>

(Sumber: Hanifa et al., 2021)

3.4 Pembahasan Algoritma Yang Digunakan

Long Short-Term Memory (LSTM) merupakan salah satu jenis jaringan saraf tiruan berbasis *Recurrent Neural Network (RNN)* yang dirancang khusus untuk menangani data sekuensial atau data deret waktu. Keunggulan utama dari LSTM terletak pada kemampuannya untuk menyimpan informasi jangka panjang melalui struktur memori internal yang disebut *cell state*. Dengan adanya mekanisme gerbang (*gate*) seperti *forget gate*, *input gate*, dan *output gate*, LSTM mampu mengontrol informasi mana yang perlu disimpan, diperbarui, atau dibuang, sehingga sangat efektif dalam menangani masalah *vanishing gradient* yang umum terjadi pada RNN konvensional.

Dalam perancangan sistem ini, LSTM digunakan sebagai arsitektur utama untuk mengklasifikasikan kualitas lampu LED berdasarkan data sekuensial yang diperoleh dari sensor BH1750FVI dan PZEM-004T. Seluruh data direkam secara kontinu dan disimpan dalam format CSV. Implementasi algoritma ini memberikan solusi otomatisasi untuk proses *quality control* yang sebelumnya dilakukan secara manual, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi. Rancangan internal LSTM yang digunakan pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui gambar berikut:



Gambar 3.3 Arsitektur LSTM

(Sumber: Susetyo et al., 2025)

Berdasarkan gambar di atas, LSTM memiliki dua fungsi aktivasi utama, yaitu sigmoid (σ) dan $\tanh$. Fungsi sigmoid adalah fungsi non-linear yang memetakan *input* ke dalam rentang 0 hingga 1. Fungsi ini digunakan pada setiap gerbang (*forget*, *input*, dan *output gate*) untuk memutuskan seberapa besar informasi yang perlu diteruskan: nilai yang mendekati 1 berarti informasi diteruskan hampir sepenuhnya, sedangkan nilai mendekati 0 berarti informasi cenderung diabaikan. Sementara itu, fungsi $\tanh$ digunakan untuk membatasi nilai *cell state candidate* dan *hidden state* agar tetap berada dalam rentang $[-1, 1]$, menjaga kestabilan model dalam proses pelatihan. LSTM memproses input x_t (data saat ini), bersama dengan hidden state sebelumnya h_{t-1} dan cell state sebelumnya c_{t-1} , untuk menghasilkan *hidden state* terkini h_t dan *cell state* terkini C_t . Proses perhitungan di setiap langkah merujuk pada definisi dan formulasi dari (Susetyo et al., 2025) sebagai berikut:

1. W_f, W_i, W_c, W_o : bobot yang digunakan pada *forget gate*, *input gate*, kandidat *cell state*, dan *output gate*.
2. b_f, b_i, b_c, b_o : bias yang digunakan pada masing-masing gerbang dan kandidat *cell state*.

3. f_t : keluaran *forget gate*, menentukan berapa proporsi memori lama yang dipertahankan.
4. i_t : keluaran *input gate*, menentukan berapa banyak informasi baru dimasukkan ke *cell state*.
5. $\tilde{C}_t$: kandidat *cell state*, yaitu nilai memori baru yang akan digabungkan ke memori lama.
6. o_t : keluaran *output gate*, menentukan seberapa besar *cell state* mempengaruhi *hidden state*.
7. $[h_{t-1}, x_t]$: penggabungan (*concatenation*) antara *hidden state* sebelumnya dan *input* saat ini.
8. σ : fungsi aktivasi sigmoid yang menghasilkan nilai 0–1.
9. $\tanh$: fungsi aktivasi *hyperbolic tangent* yang menghasilkan nilai -1 sampai 1.

Empat komponen utama LSTM bekerja secara terintegrasi melalui alur berikut:

1. *Forget Gate* (f_t)

Forget gate menentukan seberapa banyak informasi dari *cell state* sebelumnya yang perlu dilupakan. Input berupa gabungan dari x_t dan h_{t-1} dijumlahkan dengan bias b_f , lalu diproses menggunakan fungsi aktivasi sigmoid (σ):

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f)$$

2. *Input Gate* (i_t) dan *Cell State Candidate* ($\tilde{C}_t$)

Input gate menentukan informasi baru yang akan ditambahkan ke *cell state*. Sama seperti *forget gate*, data *input* dijumlahkan dengan bias b_i lalu dilewatkan ke fungsi sigmoid:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i)$$

Secara bersamaan, *cell state candidate* dihitung dengan fungsi aktivasi tanh:

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c)$$

3. *Update Cell State (C_t)*

Cell state diperbarui dengan menggabungkan informasi yang diloloskan oleh *forget gate* dan *input gate*. Persamaannya:

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tilde{C}_t$$

4. *Output Gate (o_t) dan Hidden State (h_t)*

Output gate mengatur informasi mana yang akan dijadikan *hidden state* saat ini. Prosesnya melalui sigmoid:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o)$$

Kemudian *hidden state* diperoleh dengan:

$$h_t = o_t * \tanh(C_t)$$

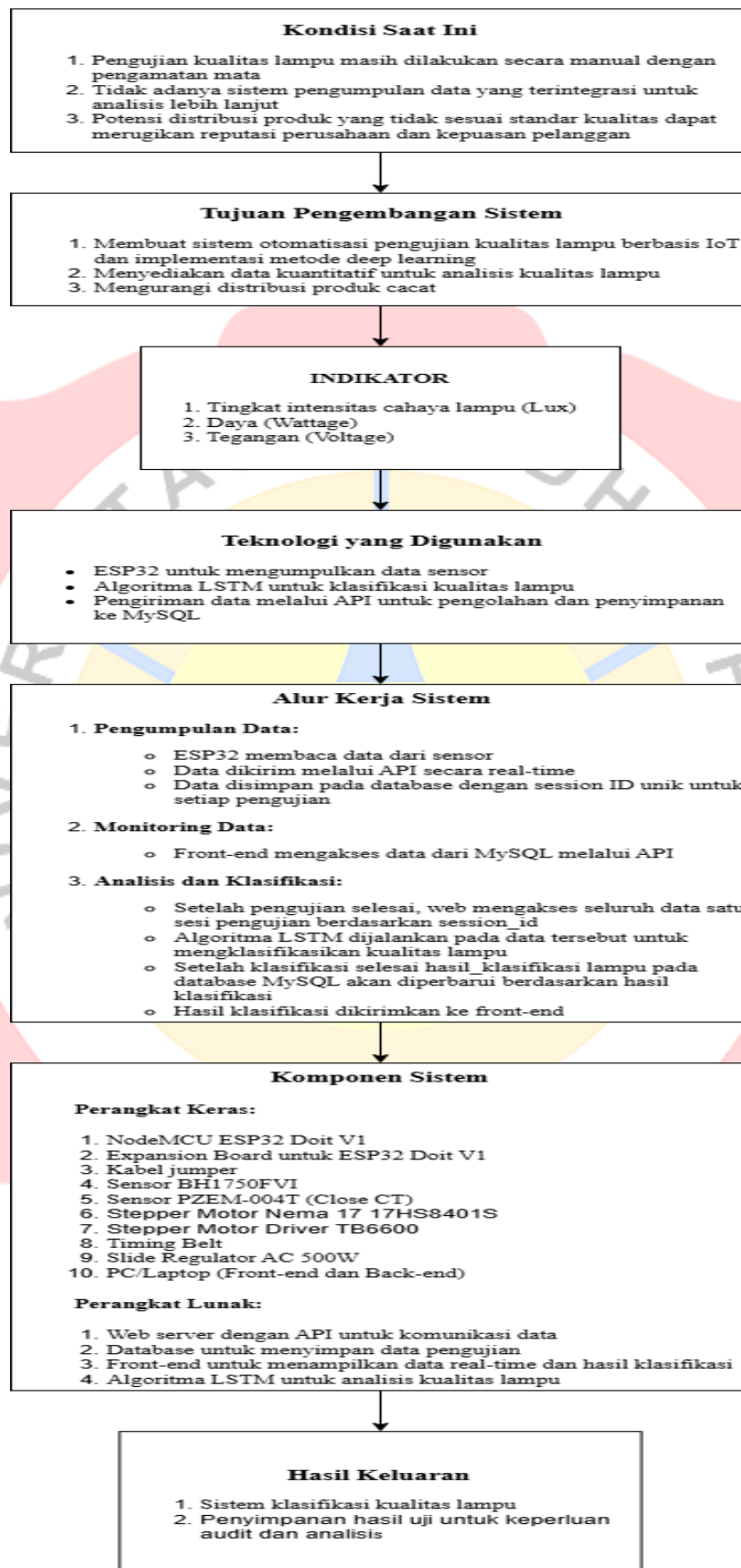
Struktur internal ini dirancang agar model mampu menyimpan informasi penting dari waktu sebelumnya, mengabaikan informasi yang tidak relevan, dan menghasilkan representasi internal (*hidden state*) yang optimal untuk klasifikasi. Oleh karena itu, LSTM sangat cocok untuk memproses data sekuensial seperti yang digunakan dalam penelitian ini, di mana informasi waktu dan urutan sangat mempengaruhi makna dari data sensor.

Selain model LSTM yang digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas lampu (layak atau *defect*), sistem juga dilengkapi dengan logika tambahan pada kontroler untuk mendeteksi kondisi lampu mati. Dalam hal ini, kontroler bertugas memantau pembacaan sensor selama pengujian berlangsung, dan apabila terdeteksi pola tertentu yang menunjukkan lampu tidak menyala, maka klasifikasi dilakukan secara langsung tanpa melibatkan model. Pendekatan ini diterapkan untuk meningkatkan efisiensi dan mempercepat proses pengujian.

Dengan rancangan ini, model diharapkan mampu mengenali pola-pola dalam perilaku lampu berdasarkan fitur-fitur sensor yang diberikan, dan menghasilkan *output* akhir yang dapat digunakan untuk klasifikasi kualitas lampu secara otomatis, sehingga meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kesalahan manusia.



3.5 Kerangka Pemikiran



Gambar 3.4 Kerangka Pemikiran

3.6 Perancangan UML

3.6.1 Use Case Diagram

Use case diagram digunakan untuk menggambarkan interaksi antara aktor dan fungsi sistem dari sudut pandang pengguna. Dalam proses perancangan *use case diagram*, terdapat beberapa langkah yang perlu dilakukan, yaitu mengidentifikasi aktor, menentukan *use case* yang relevan, membuat pemodelan *use case*, serta menyusun narasi untuk menjelaskan masing-masing *use case*.

A. Identifikasi Aktor

Pada tahap ini, ditentukan siapa saja yang akan berinteraksi langsung dengan sistem. Aktor bisa berupa pengguna utama maupun sistem lain yang terhubung.

Tabel 3.3 Identifikasi Aktor

ID	Aktor	Deskripsi
AC-01	User	Memulai atau membatalkan pengujian, memantau data sensor, dan melihat hasil klasifikasi lampu.

B. Identifikasi *Use Case*

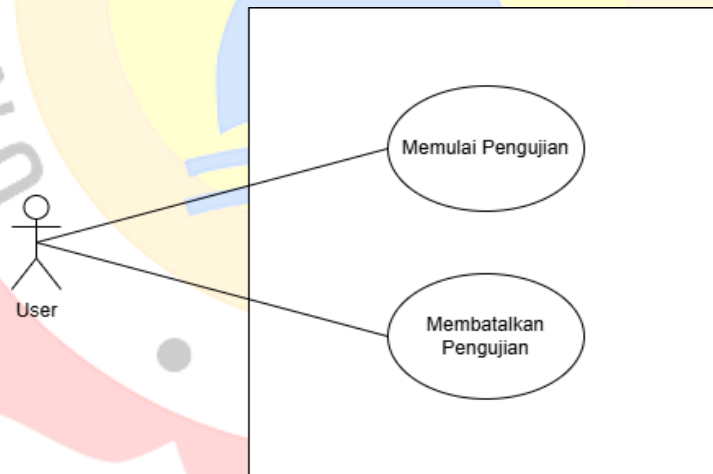
Setelah aktor diketahui, langkah selanjutnya adalah mencari tahu apa saja yang bisa dilakukan oleh masing-masing aktor dalam sistem.

Tabel 3.4 Identifikasi *Use case*

ID	<i>Use Case</i>	Deskripsi	Aktor
UC-01	Memulai Pengujian	Memulai pengumpulan data dari sensor dan proses klasifikasi lampu.	<i>User</i>
UC-02	Membatalkan Pengujian	Membatalkan seluruh proses pengujian. Baik proses pengumpulan data maupun proses klasifikasi.	<i>User</i>

C. Pemodelan *Use Case Diagram*

Jika aktor dan *use case* sudah lengkap, semuanya kemudian dituangkan ke dalam diagram visual yang memperlihatkan hubungan antar keduanya.



Gambar 3.5 *Use Case Diagram*

D. *Use Case Narrative*

Terakhir, masing-masing *use case* dijelaskan dalam bentuk narasi singkat untuk memperjelas alur dan interaksi yang terjadi antara *user* dan sistem.

Tabel 3.5 Use Case Narrative Memulai Pengujian

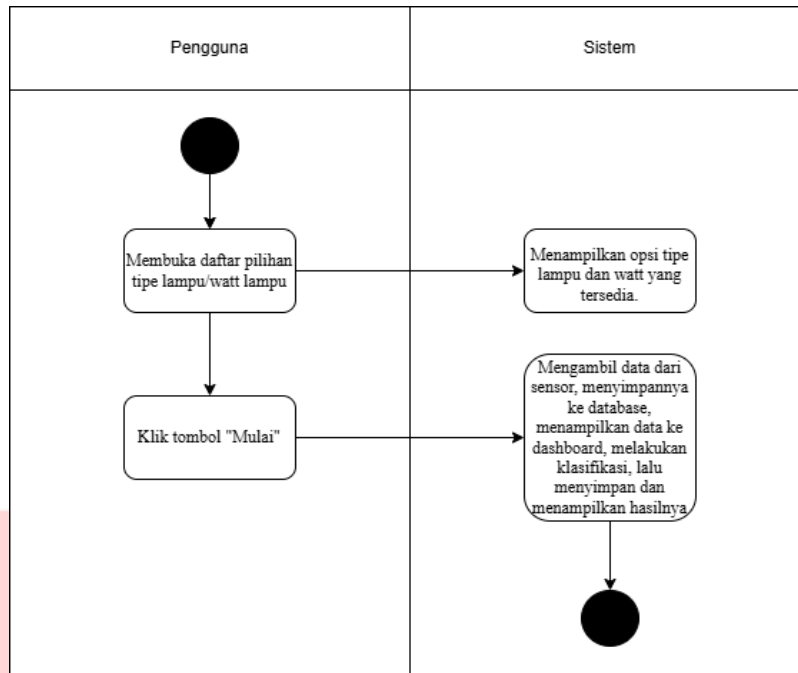
Nama <i>Use Case</i> : Memulai Pengujian	ID: UC-01
Aktor: <i>User</i>	
Deskripsi Singkat: Memulai pengumpulan data dari sensor dan proses klasifikasi lampu	
Prasyarat: <i>User</i> berada di halaman <i>dashboard</i>	
Kondisi Akhir: Sistem berhasil melakukan klasifikasi dan menyimpan hasilnya di <i>database</i> .	
Aliran Normal	Respon Sistem
1. User membuka daftar pilihan tipe lampu/watt lampu	2. Sistem menampilkan tipe atau watt lampu yang tersedia
3. User menekan tombol "Mulai"	4. Sistem mengambil data dari sensor, menyimpannya ke <i>database</i> , menampilkan data ke <i>dashboard</i> , melakukan klasifikasi, lalu menyimpan dan menampilkan hasilnya.
Aliran Alternatif:	
Subaliran:	
Aliran Salah:	

Tabel 3.6 Use Case Narrative Membatalkan Pengujian

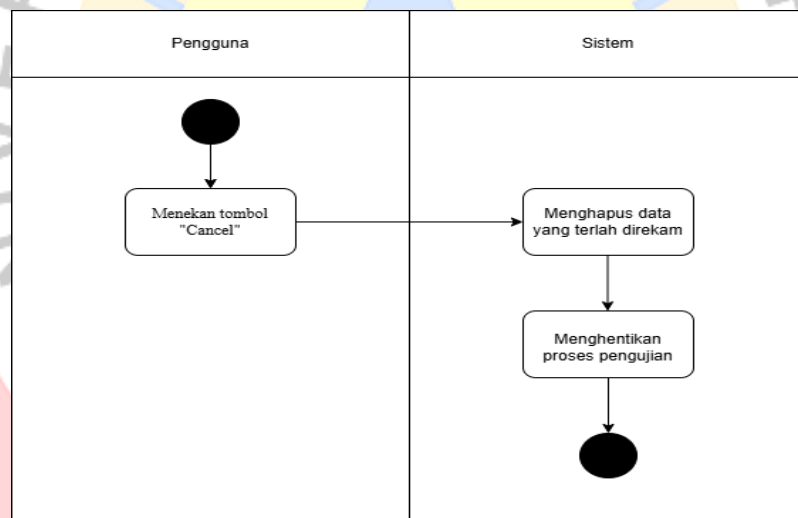
Nama <i>Use Case</i> : Membatalkan Pengujian	ID: UC-02
Aktor: <i>User</i>	
Deskripsi Singkat: Membatalkan proses pengumpulan data dan klasifikasi	
Prasyarat: Sistem dalam status pengujian	
Kondisi Akhir: Sistem membatalkan proses pengujian dan menghapus data pengujian yang sudah berjalan	
Aliran Normal	Respon Sistem
1. User menekan tombol " <i>Cancel</i> "	2. Sistem membatalkan proses pengumpulan data dan menghapus data yang sudah direkam
Aliran Alternatif:	
Subaliran:	
Aliran Salah:	

3.6.2 Activity Diagram

Activity diagram digunakan untuk menggambarkan alur aktivitas dalam sistem, mulai dari proses dimulai, keputusan-keputusan yang diambil, hingga proses berakhir. Diagram ini membantu memetakan logika kerja sistem secara runtut sehingga lebih mudah dipahami.



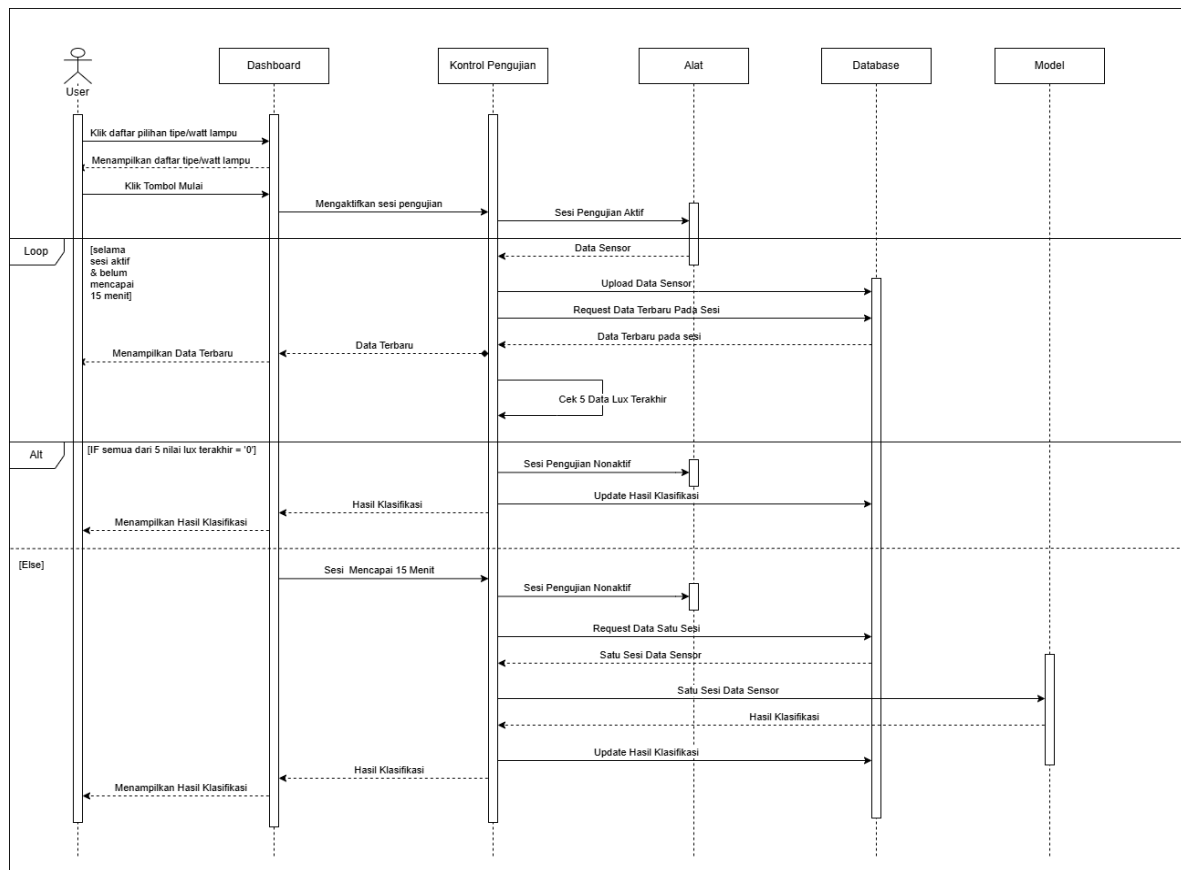
Gambar 3.6 Activity Diagram Memulai Pengujian



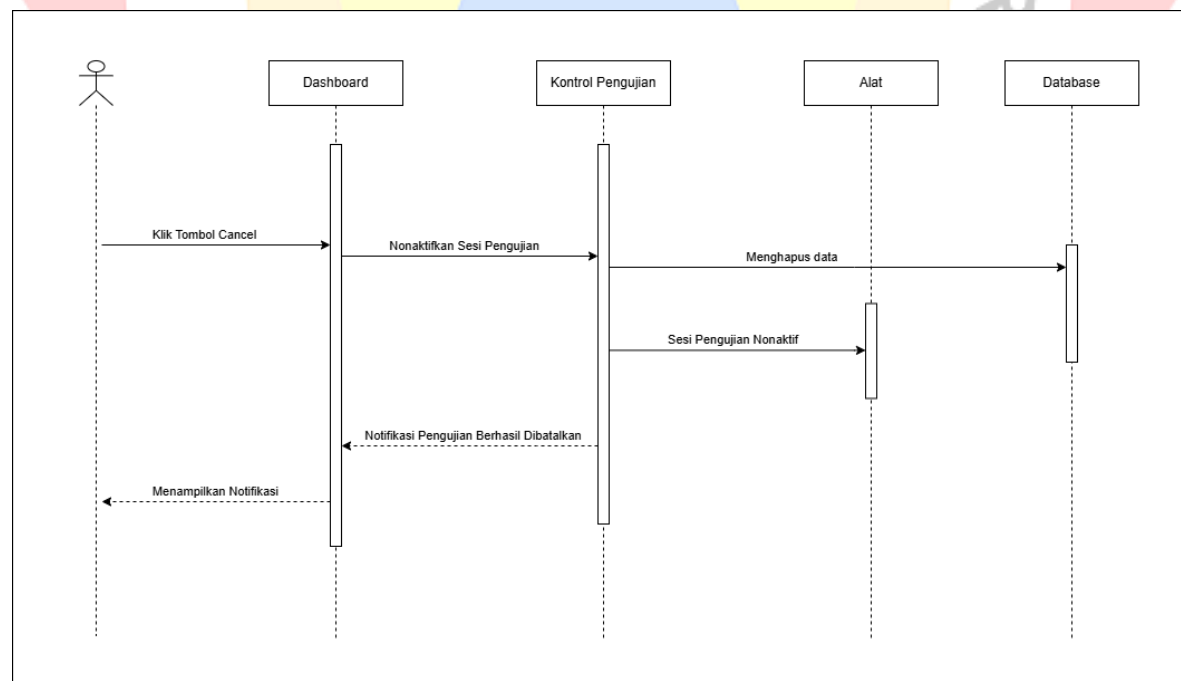
Gambar 3.7 Activity Diagram Membatalkan Pengujian

3.6.3 Sequence Diagram

Sequence diagram memperlihatkan urutan interaksi antar objek dalam sistem berdasarkan waktu. Dengan diagram ini, kita bisa melihat bagaimana komunikasi antar bagian sistem terjadi secara berurutan selama proses berlangsung.



Gambar 3.8 Sequence Diagram Memulai Pengujian

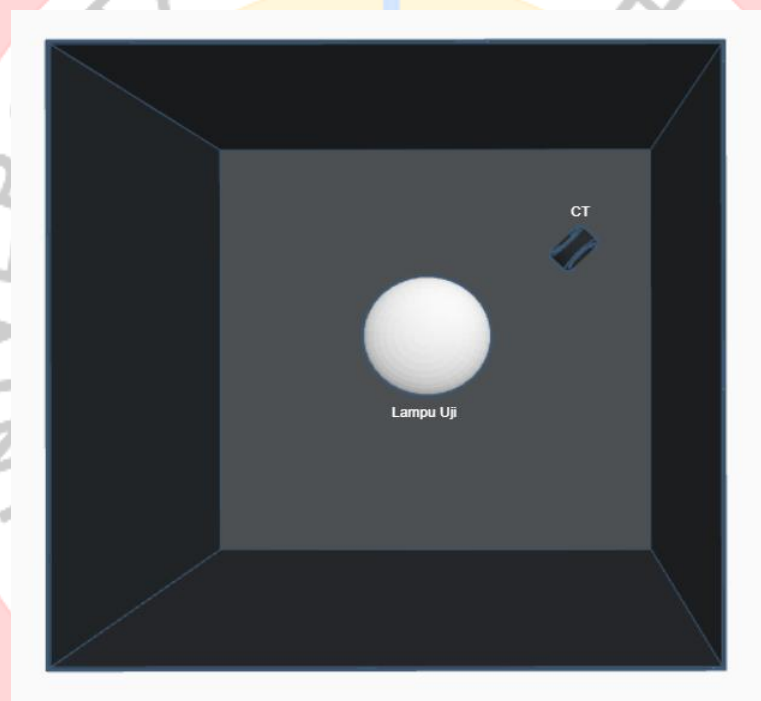


Gambar 3.9 Sequence Diagram Membatalkan Pengujian

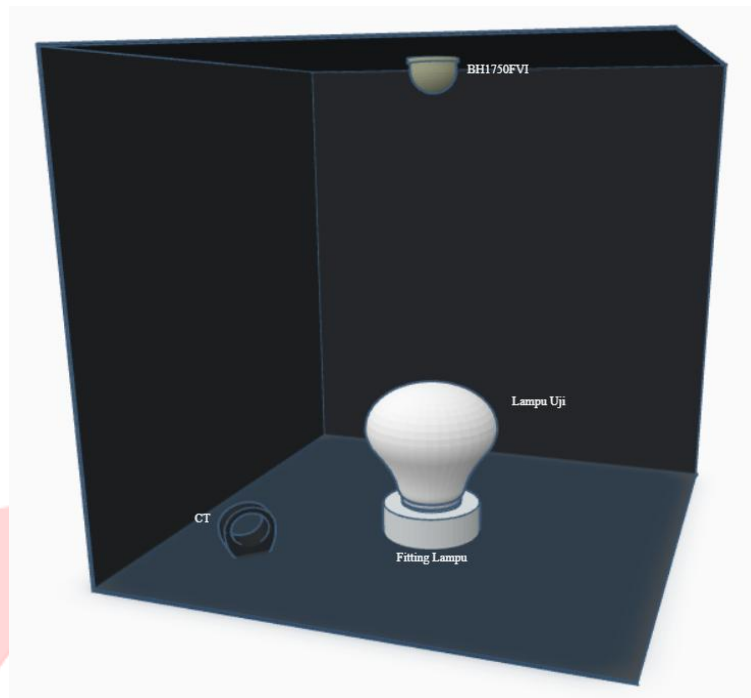
3.7 Desain Prototype Alat

3.7.1 Desain Ruang Uji

Ruang uji pada sistem ini dirancang tertutup untuk mencapai kondisi 0 lux, ruang uji ini bertujuan mencegah masuknya cahaya dari luar yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran intensitas cahaya. Di dalam ruang uji, terdapat CT (*Current Transformer*) yang berfungsi untuk mengukur daya/watt lampu selama pengujian berlangsung,udukan/fitting lampu, dan sensor lux untuk mengukur intensitas cahaya lampu.

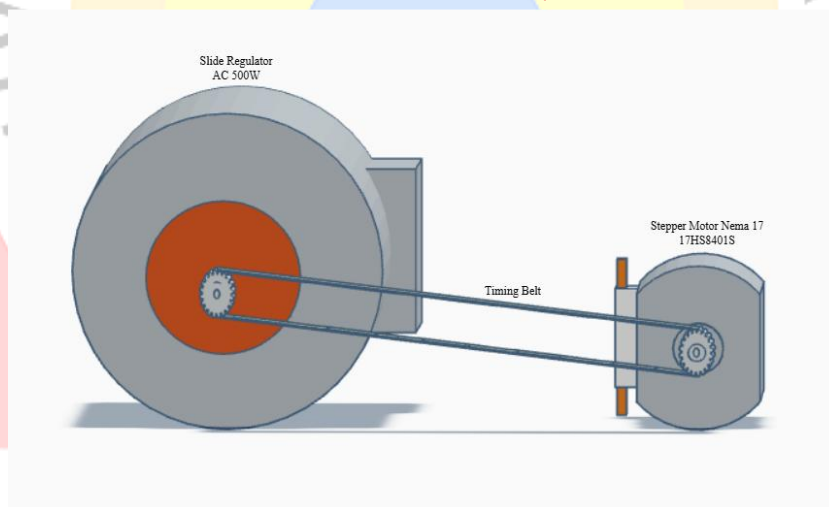


Gambar 3.10 Desain Ruang Uji (1)



Gambar 3.11 Desain Ruang Uji (2)

3.7.2 Desain Otomatisasi *Slide Regulator*

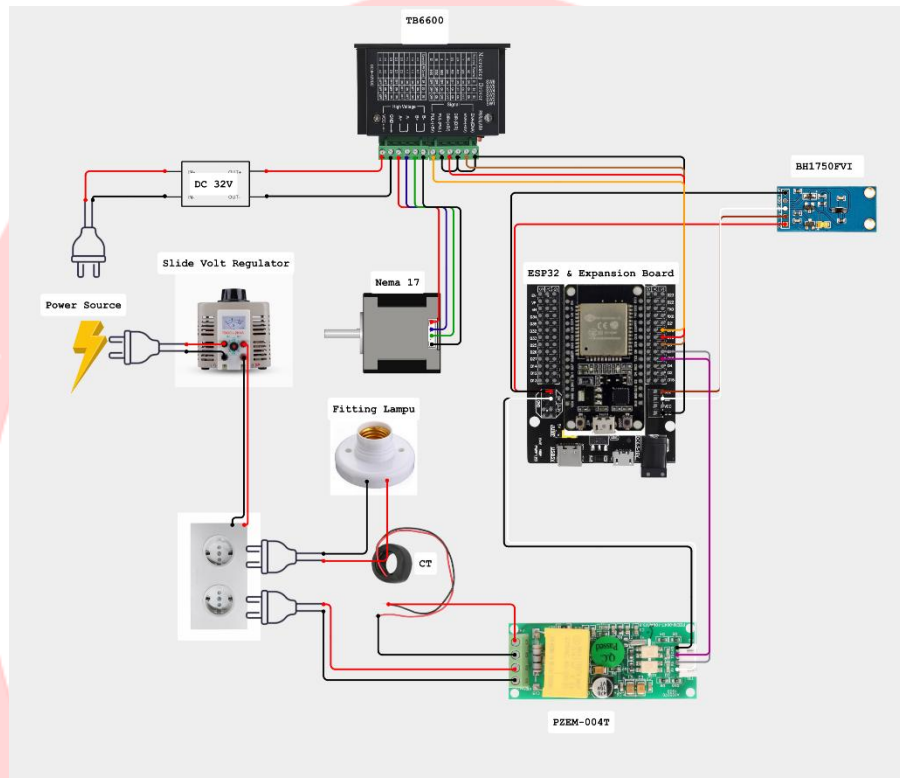


Gambar 3.12 Desain Otomatisasi *Slide Regulator*

Desain ini memperlihatkan mekanisme pengaturan tegangan otomatis yang menggunakan *motor stepper* untuk menggerakkan *knob* pada *slide regulator*. *Motor stepper* dikendalikan melalui *driver TB6600* yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Sistem ini memungkinkan perubahan tegangan

secara bertahap dan terkontrol selama proses pengujian lampu berlangsung. Dengan konfigurasi ini, pengujian dapat dilakukan secara konsisten tanpa perlu intervensi manual, sehingga meningkatkan akurasi dan efisiensi klasifikasi lampu berdasarkan respon terhadap variasi tegangan.

3.7.3 Desain Rangkaian Alat

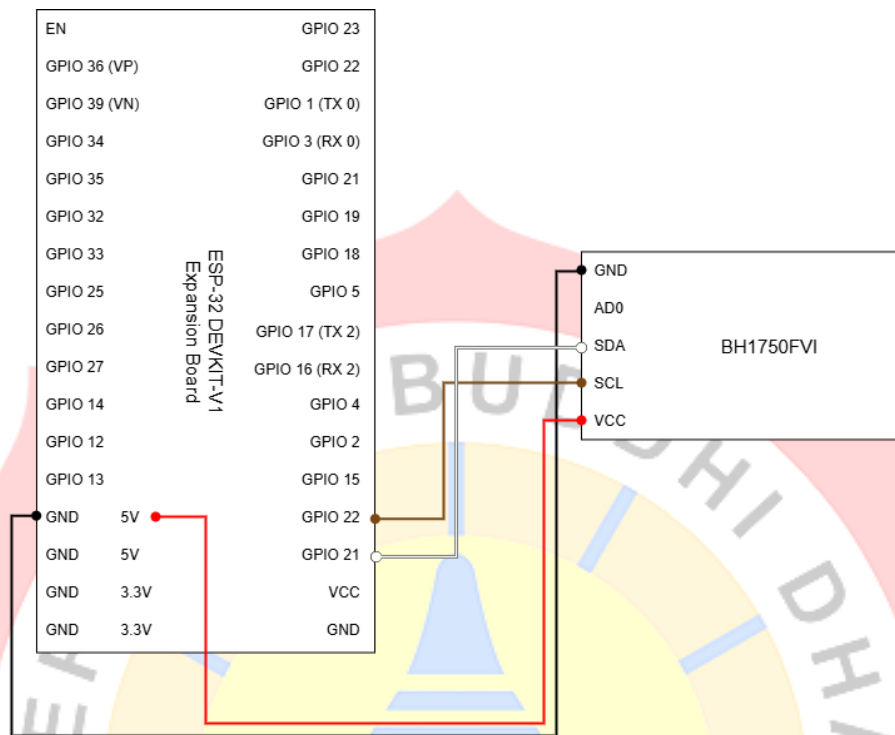


Gambar 3.13 Desain Rangkaian Alat

Desain ini menggambarkan seluruh rangkaian yang digunakan dalam sistem klasifikasi lampu. Rangkaian terdiri dari berbagai sensor dan komponen elektronik yang saling terhubung dan dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32.

3.7.4 Pinout Diagram Sistem

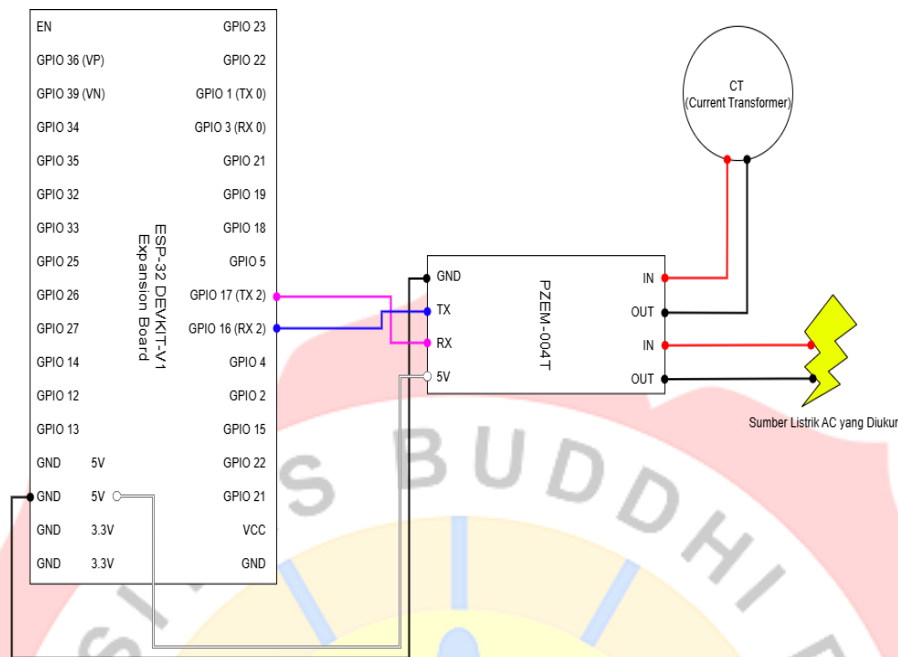
A. Pinout Diagram BH1750FVI



Gambar 3.14 Pinout Diagram BH1750FVI

Diagram ini menggambarkan hubungan pin dari sensor BH1750FVI ke mikrokontroler. Sensor ini menggunakan protokol I2C (*Inter-Integrated Circuit*) memungkinkan komunikasi dua arah antara mikrokontroler dan sensor dengan hanya dua jalur, sehingga hanya membutuhkan dua jalur komunikasi utama, yaitu SDA (data) dan SCL (*clock*). Pin SDA dihubungkan ke pin GPIO21 pada ESP32, dan pin SCL dihubungkan ke GPIO22. Kedua pin ini merupakan port I2C *default* pada ESP32. Pin VCC dihubungkan ke pin 5V karena BH1750 FVI yang digunakan sudah dibuat untuk kompatibel dengan tegangan 5V. Pin GND terhubung ke *ground* ESP32.

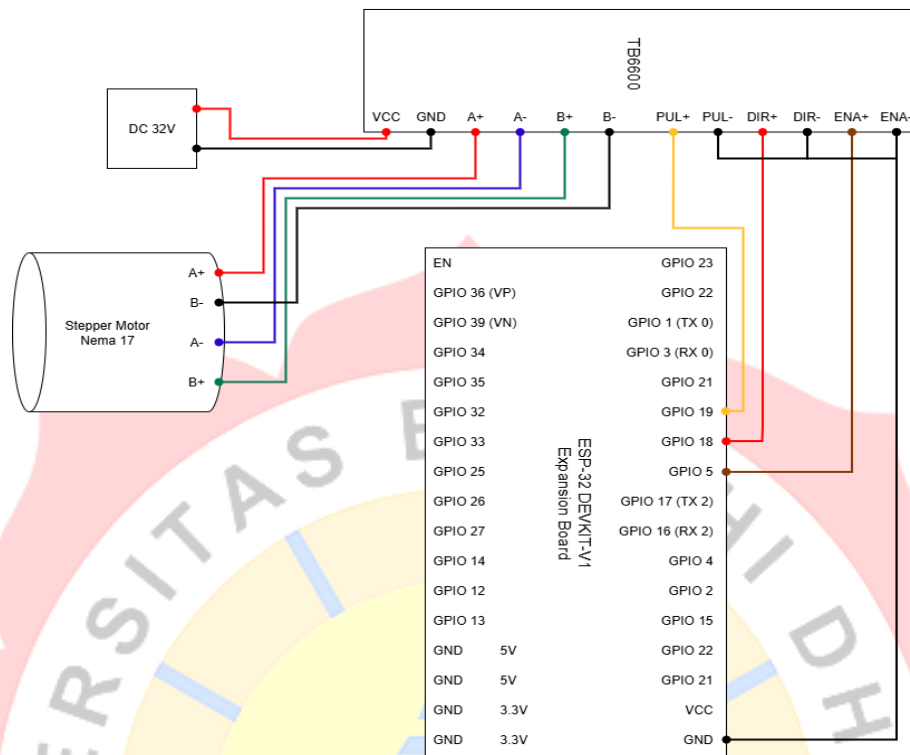
B. Pinout Diagram PZEM-004T



Gambar 3.15 Pinout Diagram PZEM-004T

Diagram ini menunjukkan hubungan pin pada sensor PZEM-004T yang digunakan untuk mengukur tegangan dan daya listrik. Sensor ini menggunakan komunikasi UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), yaitu antarmuka komunikasi serial dua arah. Pin TX pada sensor dihubungkan ke pin RX (GPIO16) pada ESP32, dan pin RX pada sensor dihubungkan ke pin TX (GPIO17) pada ESP32 secara silang. Pin VCC dihubungkan ke pin 5V pada ESP32, dan GND dihubungkan ke pin *ground*. Konfigurasi ini memastikan sensor dapat bertukar data secara langsung dengan mikrokontroler tanpa gangguan, serta memberikan informasi pengukuran secara *real-time*.

C. Pinout Diagram TB6600



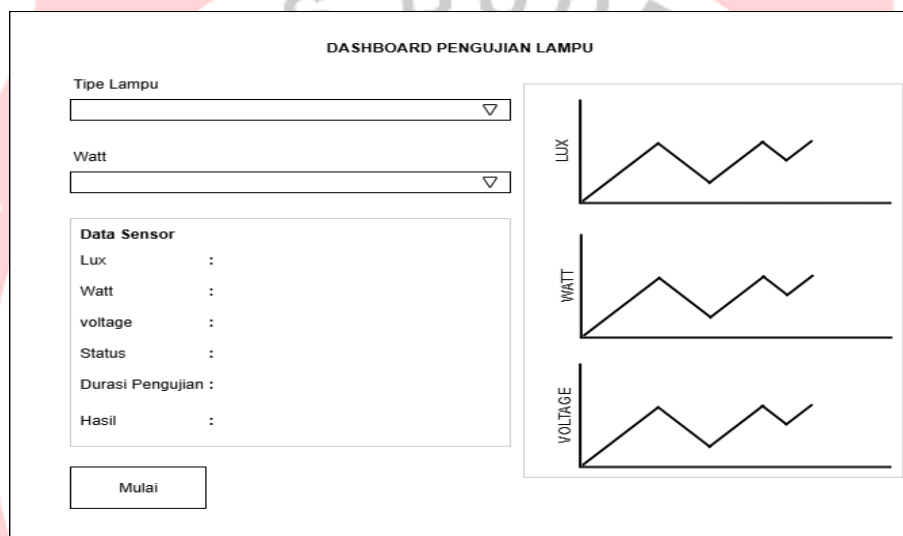
Gambar 3.16 Pinout Diagram TB6600

Diagram ini menjelaskan koneksi pin pada driver motor TB6600 yang digunakan untuk mengendalikan *motor stepper* tipe NEMA 17. Pin *input* PUL dihubungkan ke pin GPIO19 pada ESP32, DIR ke GPIO18, dan ENA ke GPIO5. Pin PUL digunakan untuk memberikan sinyal langkah, DIR untuk menentukan arah putaran, dan ENA untuk mengaktifkan atau menonaktifkan motor. *Output* ke motor disalurkan melalui pin A+, A-, B+, dan B-. Tegangan *input* ke *driver* berasal dari adaptor DC 32V. Konfigurasi ini memungkinkan kontrol pergerakan motor yang presisi dalam proses pengaturan tegangan secara otomatis.

3.8 Perancangan Layar, Menu, *Database*

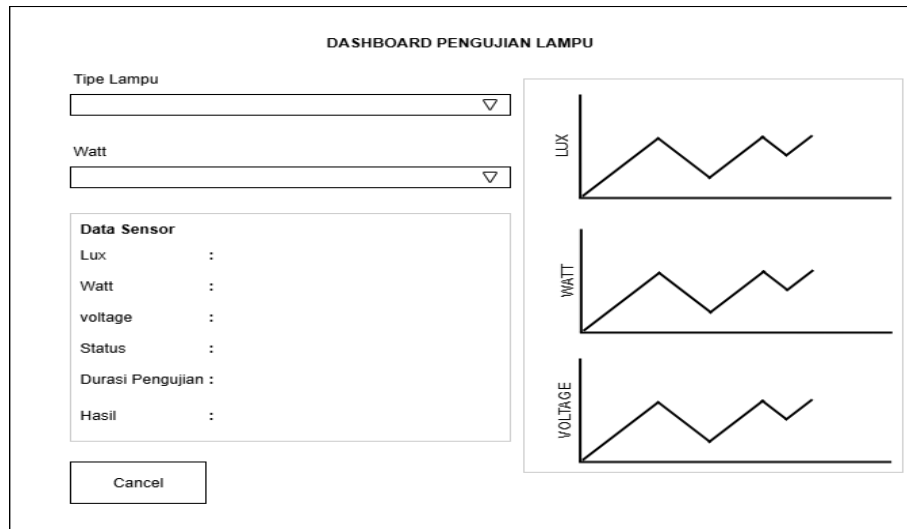
3.8.1 *Dashboard*

Pada halaman *dashboard*, pengguna diminta memilih jenis dan daya lampu melalui dua kotak pilihan (*dropdown*). Ketika diklik, masing-masing kotak akan menampilkan daftar tipe dan watt lampu yang tersedia. Meskipun sistem mendukung berbagai pilihan, dalam penelitian ini hanya digunakan satu jenis lampu, yaitu tipe X dengan daya 18 watt.



Gambar 3.17 Halaman *Dashboard* (1)

Antarmuka dirancang agar tetap sederhana dan mudah digunakan. Setelah pengguna memilih dan menekan tombol “Mulai”, proses pengujian akan dimulai. Sistem akan menampilkan data sensor seperti lux, voltase, daya, dan waktu pengujian yang terus diperbarui secara otomatis setiap detik. Tombol “Mulai” juga akan berubah menjadi “*Cancel*” untuk memberi kontrol selama pengujian berlangsung. Desain ini memudahkan pengguna untuk memantau proses pengujian.



Gambar 3.18 Halaman *Dashboard* (2)

3.8.2 Rancangan *Database*

Pada bagian ini, dilakukan perancangan struktur *database* yang digunakan untuk menyimpan data-data penting dalam sistem. *Database* dirancang untuk menampung hasil pembacaan sensor, data klasifikasi kualitas lampu, serta informasi tambahan yang dibutuhkan oleh sistem. Berikut merupakan struktur *database* yang digunakan dalam pengembangan sistem:

Tabel 3.7 Struktur Tabel pengujian

Atribut	Tipe Data	<i>Null</i>	Deskripsi
id	INT (<i>Primary Key, Auto Increment</i>)	<i>No</i>	ID unik data lampu
<i>session_id</i>	VARCHAR(50)	<i>No</i>	Token unik untuk membedakan sesi pengujian
<i>lamp_type</i>	VARCHAR(10)	<i>No</i>	

			Jenis atau tipe lampu
<i>lamp_wattage</i>	INT	<i>No</i>	Watt lampu sesuai klaim
lux	FLOAT	<i>No</i>	Data intensitas cahaya (Lux)
<i>power</i>	FLOAT	<i>No</i>	Data daya listrik lampu
voltage	FLOAT	<i>No</i>	Tegangan (Voltage)
hasil_klasifikasi	VARCHAR(50), DEFAULT 'none'	<i>No</i>	Hasil klasifikasi kondisi lampu
<i>timestamp</i>	DATETIME	<i>No</i>	Waktu data lampu direkam

3.9 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian disusun untuk memastikan setiap tahapan kegiatan dapat berjalan secara terarah dan sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Kegiatan dimulai dari observasi dan studi lapangan hingga pengujian sistem, dengan pembagian waktu berdasarkan minggu ke-1 hingga ke-4 setiap bulannya, dari Februari hingga Juni 2025. Jadwal kegiatan penelitian ditampilkan dalam gambar di bawah ini:

Kegiatan	Jadwal																			
	Feb				Mar				Apr				Mei				Jun			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Observasi dan Studi Lapangan																				
Analisis Kebutuhan Sistem																				
Perancangan Sistem																				
Pengembangan Alat IoT																				
Pengembangan Aplikasi Web																				
Pengumpulan Data																				
Pengembangan Model Klasifikasi																				
Integrasi Sistem																				
Pengujian Sistem																				

Gambar 3.19 Jadwal Penelitian

