



Implementasi TinyML untuk Monitoring Penggunaan Listrik pada Mesin Sablon Gelas Berbasis IoT di CV Tornado Printing

Tugas Akhir

**Oleh:
Muhammad Wahyu Nugraha (4212201009)**

**Program Studi Teknik Mekatronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Implementasi TinyML untuk Monitoring Penggunaan Listrik pada Mesin Sablon Gelas Berbasis IoT di CV Tornado Printing” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan**, dan **bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri**. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 21 Januari 2026



Muhammad Wahyu Nugraha
NIM: 4212201009

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Muhammad Wahyu Nugraha (4212201009)

Tanggal Sidang: 21 Januari, 2026

Disetujui oleh :



1. Daniel Sutopo Pamungkas, S.T., M.T., Ph.D
NIK: 100006

1. Adlian Jefiza, S.Pd., M.T.
NIK: 119220



2. Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng
NIK: 100002



2. Fadli Firdaus, S.Pd., M.Pd
NIK: 122271

[Implementasi TinyML untuk Monitoring Penggunaan Listrik pada Mesin Sablon Gelas Berbasis IoT di CV Tornado Printing]

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas manusia, termasuk pada sektor usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) yang sangat bergantung pada perangkat berbasis listrik. CV Tornado Printing sebagai UMKM sablon *cup* minuman di Kota Batam menghadapi tantangan dalam pengelolaan konsumsi energi akibat operasional mesin sablon yang berlangsung secara kontinu, sehingga penelitian ini mengimplementasikan sistem monitoring dan kontrol penggunaan listrik berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan Tiny Machine Learning (TinyML) menggunakan sensor PZEM-004T untuk pemantauan konsumsi energi listrik dan sensor proximity untuk perhitungan jumlah produksi *cup*. Implementasi TensorFlow Lite pada ESP32 DevKit-C memungkinkan proses klasifikasi efisiensi penggunaan listrik dilakukan langsung pada perangkat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata error sebesar 0,063% pada pengukuran tegangan, 8,29% pada pengukuran arus, 2,78% pada pengukuran faktor daya (power factor), serta 5% pada sensor proximity, sementara model TinyML mampu mengklasifikasikan status efisiensi penggunaan listrik dengan tingkat akurasi sebesar 97%. Sistem yang dibangun mampu melakukan monitoring dan klasifikasi efisiensi penggunaan listrik secara otomatis dan real-time, sehingga membantu pelaku UMKM dalam mengoptimalkan konsumsi energi listrik serta meningkatkan efisiensi dan keterukuran proses produksi.

Kata kunci: Energi listrik, Status penggunaan listrik, IoT, Monitoring daya, TinyML

[Implementation of TinyML for Monitoring Electricity Usage on IoT-Based Cup Screen Printing Machine at CV Tornado Printing]

Abstract

Electrical energy is a fundamental requirement for supporting human activities, including in the micro, small, and medium enterprise (MSME) sector, which is highly dependent on electrically powered devices. CV Tornado Printing, a beverage cup printing MSME in Batam City, faces challenges in managing energy consumption due to the continuous operation of printing machines. Therefore, this study implements an Internet of Things (IoT)-based electrical energy monitoring and control system integrated with Tiny Machine Learning (TinyML), using a PZEM-004T sensor for electrical energy consumption monitoring and a proximity sensor for counting cup production. The implementation of TensorFlow Lite on the ESP32 DevKit-C enables on-device inference for classifying electrical energy efficiency directly on the device. Experimental results show that the sensors exhibit good accuracy, with average errors of 0.063% for voltage, 8.29% for current, 2.78% for power factor, and 5% for the proximity sensor, while the TinyML model achieves an efficiency classification accuracy of 97%. The developed system is capable of performing real-time monitoring, efficiency classification, and automatic electrical energy control, thereby assisting MSME operators in optimizing electrical energy consumption and improving the efficiency and measurability of the production process.

Keywords: *Electric energy, Energy Efficiency, IoT, Power Monitoring, TinyML*

Kata Pengantar

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan jenjang Diploma IV Program Studi Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Batam.

Tugas Akhir ini membahas tentang Implementasi TinyML untuk Monitoring Penggunaan Listrik pada Mesin Sablon Gelas Berbasis IoT di CV Tornado Printing. Sistem ini dirancang untuk membantu proses pemantauan konsumsi energi listrik dan efisiensi produksi secara otomatis dan real-time. Sistem diharapkan dapat diterapkan pada lingkungan usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), khususnya pada industri sablon cup minuman, sehingga proses pengelolaan energi listrik dan kontrol produksi dapat dilakukan secara lebih efektif, efisien, dan terukur. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng, selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Diono, S.Tr. T., MSc selaku Kepala Program Studi Teknik Mekatronika.
3. Bapak Adlian Jefiza, S.Pd., M.T, selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses pengerjaan laporan ini.
4. Bapak Fadli Firdaus, S.Pd., M.Pd, selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama proses pengerjaan laporan ini.
5. Seluruh dosen Teknik Elektro, atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua dan keluarga, atas doa, dukungan, dan semangat yang tidak pernah berhenti.
7. Teman-teman atas kebersamaan, bantuan, dukungan, dan semangat yang diberikan selama proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Batam, 21 Januari 2026



Muhammad Wahyu Nugraha

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan Masalah	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	3
2.1. Penelitian Terkait	3
2.2. Internet of Things	7
2.3. TinyML	7
2.4. Artificial Neural Network (ANN)	8
2.5. K-Means	8
2.6. Firebase	9
2.7. Arduino IDE	9
2.8. Visual Studio Code	9
2.9. Mesin Sablon Cup	10
2.10. Energi Listrik	10
2.11. ESP32-DevKitC V4	10
2.12. Proximity Sensor(E18-D80NK)	11
2.13. Sensor PZEM-004T	11
2.14. LCD 1602	12
2.15. Relay 5V	12
2.16. Power Supply	13

Bab 3. Metodologi Penelitian	14
3.1. Alur Penelitian	14
3.1.1. Perancangan Sistem	15
3.1.2. Perancangan Mekanikal	16
3.1.3. Perancangan Elektrikal	18
3.1.4. Perancangan Program	20
3.2. Alat dan Bahan	22
3.3. Pengumpulan Data	22
3.4. Preprocessing Data	22
3.5. Perancangan Model ANN	23
3.5.1. Evaluasi Hasil	24
3.5.2. Konversi Model	24
3.5.3. Integrasi Model	25
3.6. Pengujian	25
3.6.1. Pengujian Sistem	25
3.6.2. Pengujian Elektrikal	25
3.6.3. Pengujian Sensor	25
3.6.4. Pengujian Interface	26
3.6.5. Pengujian Epoch dan Evaluasi Model	26
3.6.6. Pengujian Model	27
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	28
4.1. Hasil Pengujian Mekanikal	28
4.2. Hasil Pengujian Elektrikal	28
4.3. Implementasi Sistem	29
4.4. Pengujian Sensor	30
4.4.1. Sensor PZEM-004T	30
4.4.2. Sensor Proximity E18-D80NK	31
4.5. Pengujian Sistem IoT	32
4.6. Pengujian Interface	34
4.6.1. Pengujian Filter Waktu dan Export data	35
4.7. Hasil Dataset	36

4.7.1. Dataset Mentah.....	36
4.7.2. Dataset Cleaning.....	37
4.7.3. Hasil Pembuatan Label Dataset.....	38
4.8. Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model ANN.....	39
4.8.1. Hasil Pelatihan Model.....	39
4.8.2. Hasil Evaluasi Model.....	41
4.8.3. Konversi Model.....	43
4.8.4. Integrasi Model.....	43
4.9. Pengujian Model.....	44
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	46
5.1. Kesimpulan.....	46
5.2. Saran.....	46
Daftar Pustaka.....	47
Biodata.....	49
Lampiran.....	50

Daftar Gambar

Gambar 1. TinyML.....	8
Gambar 2. Model ANN.....	8
Gambar 3. Mesin Sablon Cup.....	10
Gambar 4. ESP32 DevKitC V4.....	11
Gambar 5. Proximity Sensor	11
Gambar 6. Sensor PZEM-004T.....	12
Gambar 7. Alur Penelitian	14
Gambar 8. Perancangan Sistem	15
Gambar 9. Perancangan Mekanikal.....	16
Gambar 10. Desain Box.....	17
Gambar 11. Desain dalam Box.....	17
Gambar 12. Perancangan Elektrikal.....	18
Gambar 13. Wiring Elektrikal.....	19
Gambar 14. Perancangan Program.....	20
Gambar 15. Tampilan Pada Web	21
Gambar 16. Pengujian Mekanikal.....	28
Gambar 17. Pengujian Elektrikal.....	29
Gambar 18. Pengujian Sistem IoT.....	33
Gambar 19. Pengujian Interface	34
Gambar 20. Filter Waktu dan Export data.....	36
Gambar 21. Hasil Clustering K-means	38
Gambar 22. Perbandingan Kategori Effisiensi	39
Gambar 23. Grafik Loss dan Accuracy	41
Gambar 24. Confusion Matrix	41
Gambar 25. Integrasi Model.....	43
Gambar 26. Hasil Evaluasi Model TinyML.....	45

Daftar Tabel

Tabel 1. Penelitian Terkait	3
Tabel 2. Pin Mapping	19
Tabel 3. Alat dan Bahan	22
Tabel 4. Data Penggunaan Mesin.....	22
Tabel 5. Input dan Output ANN.....	24
Tabel 6. Konsumsi penggunaan alat	29
Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T.....	30
Tabel 8. Hasil Pengujian Sensor Proximity.....	32
Tabel 9. Pengujian Sistem IoT	33
Tabel 10. Komponen Antarmuka	35
Tabel 11. Dataset Mentah	36
Tabel 12. Dataset Cleaning	37
Tabel 13. Pembuatan Label Dataset	38
Tabel 14. Hasil Pelatihan Model	40
Tabel 15. Hasil Evaluasi Model	42
Tabel 16. Hasil Pengujian Model	44

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan modern, tidak hanya di lingkungan rumah tangga, tetapi juga di sektor industri, termasuk usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM)[1]. Bagi beberapa UMKM, energi listrik sangat vital karena sebagian besar peralatan produksi telah beralih menggunakan sistem berbasis listrik[2]. Tornado Printing, merupakan UMKM di Kota Batam yang bergerak di bidang sablon cup minuman sangat bergantung pada mesin sablon cup sebagai komponen utama proses produksinya[3]. Namun, penggunaan mesin yang berulang dan terus menerus dapat menyebabkan konsumsi daya listrik yang tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan biaya operasional jika tidak dikelola dengan baik.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penerapan teknologi dapat menjadi solusi. *Internet of Things* (IoT) memungkinkan perangkat seperti sensor terhubung ke sistem monitoring secara *real-time*, sehingga memudahkan dalam mengamati konsumsi daya secara akurat dan berkelanjutan[4]. Integrasi *Tiny Machine Learning* (TinyML) dapat memperkuat sistem dengan kemampuan analisis langsung. TinyML memungkinkan pemrosesan data secara lokal dengan konsumsi daya rendah, sehingga sangat cocok untuk diaplikasikan ke perangkat mikrokontroler seperti ESP32 [5]. Salah satu metode yang umum digunakan dalam TinyML adalah *Artificial Neural Network* (ANN), yang mampu mempelajari pola dari data *input* dan memberikan prediksi atau klasifikasi.

Pada penelitian sebelumnya penggunaan *Artificial Neural Network* (AAN) berhasil menghasilkan akurasi tinggi dengan rata-rata *error* 1,64% dalam pengaplikasiannya[6]. Selanjutnya pada penelitian lainnya hasil pengujian pada pengukuran nilai daya menggunakan sensor PZEM-004T menunjukkan tingkat kesalahan dengan *error* rata-rata 6,6% dan pengukuran 7,8% pada pengukuran energi[7]. Selanjutnya Dari penelitian yang dilakukan dengan penggunaan TensorFlow Lite pada ESP32 menunjukkan bahwa TinyML dapat dijalankan secara efektif pada perangkat dengan sumber daya terbatas[8]. Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring yang tidak hanya mencatat penggunaan daya, tetapi juga jumlah cup yang dicetak, dengan menggunakan sensor PZEM-004T untuk pengukuran daya serta sensor proximity untuk menghitung hasil produksi.

Oleh karena itu, diperlukan sistem berbasis IoT dan TinyML yang mampu memantau penggunaan listrik secara cerdas dan efisien. Sistem ini memungkinkan pengambilan keputusan secara otomatis berdasarkan data aktual yang dikumpulkan dari perangkat. sehingga dapat membantu pelaku UMKM seperti CV Tornado Printing dalam mengoptimalkan konsumsi energi sekaligus menjaga produktivitas sesuai target yang diinginkan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, berikut merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana membangun sistem monitoring konsumsi listrik mesin sablon cup secara *real-time* berbasis IoT di CV Tornado Printing?
2. Bagaimana penerapan TinyML pada ESP32 dapat digunakan untuk menganalisis status penggunaan listrik mesin sablon cup?

1.3. Tujuan

Untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan sebelumnya, penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama yang hendak dicapai, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem monitoring konsumsi listrik mesin sablon cup secara *real-time* menggunakan teknologi IoT di CV Tornado Printing.
2. Menerapkan TinyML pada mikrokontroler ESP32 untuk menganalisis status penggunaan listrik mesin sablon cup secara efisien.

1.4. Manfaat

Pada bagian ini, dipaparkan kontribusi yang diharapkan dari penelitian, manfaat bagi pihak tertentu maupun peneliti sendiri.

1. Memberikan data yang akurat tentang jumlah produksi dan pemakaian konsumsi listrik pada mesin.
2. Meningkatkan efisiensi operasional dengan pemantauan konsumsi listrik secara *real-time*.

1.5. Batasan Masalah

Dalam pelaksanaannya, penelitian ini dibatasi oleh beberapa faktor tertentu guna memperjelas lingkup kajian serta memudahkan dalam proses analisis. Adapun batasan-batasan tersebut adalah:

1. Penelitian hanya berfokus pada monitoring konsumsi energi listrik pada mesin sablon cup di CV Tornado Printing.
2. Algoritma yang digunakan untuk klasifikasi penggunaan energi listrik terbatas menggunakan ANN.
3. Data yang diambil dan dianalisis hanya mencakup konsumsi daya listrik dan jumlah produksi *cup*.
4. Jumlah produksi *cup* sangat bergantung pada kinerja operator mesin, yang dapat menyebabkan variasi dalam data.
5. Penelitian ini tidak membahas aspek mekanik mesin maupun analisis biaya operasional.
6. Variabel waktu tidak termasuk dalam parameter pengambilan dan pengolahan data pada penelitian ini

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Terkait

Tabel 1. Penelitian Terkait

No	Tahun	Penulis	Jurnal	Metode	Kelemahan
1	2022	Arjun Pratiko Wahyu Hendrawan, Ni Putu Agustini	Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32	Simulasi	Sistem hanya menampilkan data dan tidak memanfaatkan metode kecerdasan buatan untuk prediksi atau pengambilan keputusan otomatis
2	2022	James William Jokanan, Arif Widodo, Nur Kholis, Lusiah Rahmawati	Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan <i>Firebase</i> Dan Aplikasi Android	Rancang Bangun	Sistem masih bergantung pada koneksi WiFi dan memiliki <i>error</i> pengukuran yang cukup tinggi untuk arus dan energi (6–7%) serta

					belum memiliki fitur prediksi konsumsi listrik
3	2022	Fikri Haykal, Ridho Rahman Hariadi, Khakim Ghozali	Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Forecasting Konsumsi Energi Listrik Menggunakan <i>Internet of Things</i> dan Algoritma Seasonal Time Series	Seasonal Time Series	Akurasi hingga 80,86%, tingkat akurasi masih dapat ditingkatkan dengan metode pembelajaran mesin yang lebih kompleks seperti LSTM atau ARIMA
4	2022	Ridyandhika Riza Ibrahim, Bekti Yulianti, ST. MT	Rancang Bangun Monitoring Pemakaian Arus Listrik PLN Berbasis IoT	Rancang Bangun	Tidak menggunakan LCD, jadi tidak bisa memonitoring jika tidak terhubung ke internet
5	2024	Faisal Faris Aziz, Rahmat Hidayat	Pendekatan <i>Internet of Things</i> Untuk Prediksi Biaya Penggunaan	<i>Internet of Things</i>	Sistem saat ini masih terbatas pada pengukuran

			Listrik Rumah Pada Aplikasi Android		parameter dasar dan prediksi biaya saja, tanpa fitur analisis
6	2021	Alfonsius Yohandrik Bi Dawe, Puput Dani Prasetyo Adi, Wahyu Dirgantara	Sistem Monitoring Untuk Penggunaan Daya Listrik Pada <i>Smarthome With Method Fuzzy Logic Berbasis IOT</i>	Fuzzy Logic	Uji pengambilan data dilakukan dalam skala kecil
7	2024	Lanto Kamil Amali, Yasin Mohamad, Ade Irawaty Talago, Nova Elysiantobuo , Amirudin Yunus Dako	Analisis Konsumsi Energi Listrik Menggunakan Metode Internsitas Konsumsi Energi	Analisis Pemakaian dan Efisiensi	Tidak ada analisis mendalam tentang faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi penggunaan energi
8	2022	Rosaria Putri Mahardika, Muhammad Ary Murti, Azam	Perangkat Pengendali Air Conditioner Untuk Menghemat Konsumsi Listrik	Fuzzy Mamdani	Pengujian Terbatas pada Rentang Waktu dan

		Zamhuri Fuadi	Menggunakan Algoritma Fuzzy		Kondisi Tertentu
9	2022	Nurfatima Selle, Novanto Yudistira, Candra Dewi	Perbandingan Prediksi Penggunaan Listrik Dengan Menggunakan Metode Long Short Term Memory (LSTM) dan Recurrent Neural Network (RNN)	Metode Long Short Term Memory (LSTM), Recurrent Neural Network (RNN)	Penelitian menyebutkan bahwa sering terjadi overfitting dan underfitting
10	2022	Nurul Salsabila Syam, Valian Yoga Pudya Ardhana, Eliyah A M Sampetodina, Muh. Sulthan Nazhim, A. Muhammad Risqullah, Muh. Gifari Sakawati, A. Muh. Yusril, M. Dermawan Mulyodiputo	Model Support Vector Machine untuk Prediksi pada Penggunaan Energi Listrik di Rumah Hemat Energi	Support Vector Machine dengan kernel radial	SVM sangat sensitif terhadap data noise dan pencilan (outlier), sehingga hasil prediksi sangat bergantung pada efektivitas preprocessing

Penelitian sebelumnya banyak membahas tentang monitoring penggunaan listrik berbasis IoT, namun umumnya hanya sebatas menampilkan data tanpa fitur analisis atau prediksi. Misalnya, penelitian oleh Arjun Pratikto hanya berupa simulasi tanpa penerapan kecerdasan buatan. Penelitian oleh James William Jokanan menggunakan *Firebase* dan aplikasi Android, tetapi masih tergantung pada koneksi internet dan belum bisa memprediksi atau mengklasifikasikan penggunaan listrik. Beberapa penelitian lain juga ada yang menggunakan metode prediksi seperti time series, namun belum diterapkan langsung pada mikrokontroler seperti ESP32.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kekurangan tersebut dengan menggabungkan IoT dan TinyML secara langsung di dalam mikrokontroler. Sistem ini tidak hanya memantau daya listrik, tetapi juga menganalisis status penggunaan listrik menggunakan model TinyML secara lokal. Selain itu, penelitian ini juga mencatat jumlah cup yang dicetak menggunakan sensor proximity, sehingga memberikan data produksi sekaligus konsumsi listrik. Dengan begitu, sistem ini bisa membantu UMKM seperti CV Tornado Printing dalam mengelola energi dan produksi secara efisien.

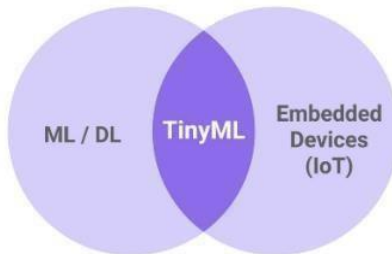
2.2. Internet of Things

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah ekosistem yang mengintegrasikan objek fisik, perangkat lunak, dan perangkat keras guna memungkinkan interaksi serta komunikasi antarperangkat secara jarak jauh. Pemanfaatan IoT memiliki potensi yang signifikan dalam mendukung kemudahan berbagai aspek kehidupan manusia, karena perangkat-perangkat yang terhubung mampu beroperasi secara cerdas dan efisien, baik dalam hal konsumsi energi maupun efisiensi biaya[9]. *Internet of Things* (IoT) berperan penting dalam proyek ini sebagai penghubung antara sensor, mikrokontroler, dan sistem monitoring jarak jauh. IoT memungkinkan pengumpulan data penggunaan listrik secara *real-time* sehingga meningkatkan status penggunaan listrik pada mesin sablon cup.

2.3. TinyML

Tiny Machine Learning (TinyML) adalah penempatan model pembelajaran mesin pada perangkat yang memiliki sumber daya terbatas. Konsep baru ini bertujuan untuk membantu sistem tertanam melakukan perhitungan rumit di lokasi tanpa harus terus-menerus terhubung ke server berkapasitas tinggi yang di-host di platform *cloud*. Ini fokus pada penggabungan pembelajaran mesin dengan sistem tertanam sehingga memungkinkan perangkat kecil dan ringan untuk memiliki kekuatan pemrosesan yang cerdas. Pengaplikasian TinyML dapat diterapkan di berbagai bidang termasuk perawatannya kesehatan, pemantauan lingkungan, otomasi industri, dan elektronik konsumen[10]. TensorFlow Lite Micro dan Eloquent TinyML adalah satu-satunya library yang diklaim dapat diakses

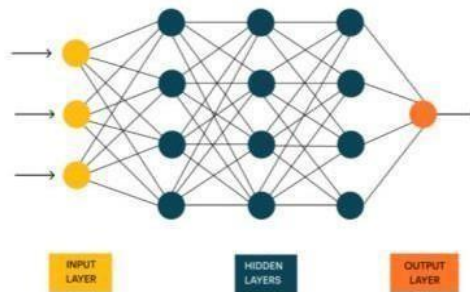
sebagai library Arduino dan di Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler Arduino dan ESP32



Gambar 1. TinyML

2.4. Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) adalah sistem komputasi yang terinspirasi oleh struktur dan cara kerja otak manusia. *Artificial Neural Network* (ANN) memiliki kemampuan luar biasa dalam mengekstrak informasi dari data yang kompleks atau tidak terstruktur.



Gambar 2. Model ANN

Artificial Neural Network (ANN) atau Jaringan Saraf Tiruan merupakan salah satu pemodelan kompleks yang dapat memprediksi bagaimana ekosistem merespon perubahan variabel lingkungan dengan terinspirasi oleh cara kerja sistem saraf biologis, khususnya pada sel otak manusia dalam memproses informasi. Algoritma yang paling populer digunakan oleh ANN adalah *supervised learning*. Namun, hal tersebut tidak menutup kemungkinan bahwa ANN dapat digunakan untuk algoritma *semi-supervised* dan *unsupervised learning*[11].

2.5. K-Means

K-Means Clustering adalah teknik pengelompokan data non-hirarki yang memisahkan data ke dalam cluster, mengelompokkan data dengan fitur yang sama bersama-sama dan mengelompokkan data dengan karakteristik yang berbeda ke

dalam kelompok yang berbeda. K-Means merupakan algoritma pengklasteran yang akan mengelompokkan data dengan melihat pada nilai pada centroid (titik pusat cluster). K-Means menggunakan fungsi jarak pada pengklasteran data terhadap centroid.

2.6. Firebase

Firebase adalah sebuah platform pengembangan aplikasi yang disediakan oleh Google untuk membantu developer membangun dan mengelola aplikasi web maupun mobile dengan lebih mudah dan efisien. *Firebase* menawarkan *Firebase Real-time Database* dimana layanan penyimpanan data berbasis *cloud* dari Google yang mendukung berbagai platform seperti Android, iOS, dan web. Data yang disimpan menggunakan format JSON (JavaScript Object Notation). Ketika aplikasi lintas platform yang memakai SDK Android, iOS, atau JavaScript terhubung ke *Firebase*, maka data akan diperbarui secara otomatis secara *real-time*. *Firebase* memungkinkan pengambilan, pengurutan, dan penyaringan data menggunakan query berbasis NoSQL. Dengan dukungan penuh dari infrastruktur Google, *Firebase* sangat cocok digunakan dalam proyek-proyek modern, termasuk aplikasi *Internet of Things* (IoT), sistem monitoring, dan aplikasi mobile yang membutuhkan respons waktu nyata dan skalabilitas tinggi.

2.7. Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan perangkat lunak resmi yang digunakan untuk menulis, menyusun, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino serta papan lain yang kompatibel seperti ESP32. Perangkat lunak ini dirancang dengan tampilan antarmuka yang sederhana dan mudah digunakan, sehingga sangat cocok bagi pemula maupun pengembang berpengalaman yang ingin membangun proyek berbasis mikrokontroler.

Melalui Arduino IDE, pengguna dapat membuat program menggunakan bahasa pemrograman berbasis C/C++[12]. Program tersebut kemudian dapat dikirim langsung ke papan mikrokontroler melalui kabel USB. Arduino IDE juga dilengkapi dengan berbagai library yang siap pakai untuk mempermudah integrasi dengan sensor, modul komunikasi, tampilan LCD, hingga koneksi WiFi. Selain itu, tersedia pula fitur *Serial Monitor* untuk menampilkan data secara langsung dari papan mikrokontroler dan Serial Plotter untuk melihat grafik data secara *real-time*.

2.8. Visual Studio Code

Visual Studio Code adalah kode editor sumber yang dikembangkan oleh Microsoft untuk Windows, Linux dan mac OS. Visual Code memudahkan dalam penulisan code yang mendukung beberapa jenis bahasa pemrograman yang digunakan dan memberi variasi warna sesuai dengan fungsi dalam rangkaian code tersebut. Selain itu, fitur lainnya adalah kemampuan untuk menambah ekstensi dimana para pengembang dapat menambah ekstensi untuk menambah fitur yang tidak ada di Visual Studio Code[13].

yang ada di kafe atau restoran. Mesin ini bekerja dengan cara menempelkan tinta pada permukaan cup menggunakan *screen* sablon yang berfungsi sebagai stensil untuk desain. Ada beberapa jenis mesin sablon *cup*, mulai dari manual hingga otomatis, yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan tergantung pada kebutuhan

2.9. Mesin Sablon Cup

Mesin sablon cup adalah alat yang digunakan untuk mencetak desain atau logo pada permukaan cup plastik, biasanya digunakan untuk produk minum produksi. Mesin sablon cup otomatis, misalnya, dapat meningkatkan efisiensi produksi dengan proses yang lebih cepat dan hasil yang konsisten, meskipun harganya lebih mahal dibandingkan mesin manual. Prinsip kerja mesin sablon cup semi otomatis pada dasarnya mirip dengan metode sablon manual, namun perbedaannya terletak pada komponen penyablonan yang telah digerakkan secara otomatis oleh motor. Proses otomatis ini tidak mencakup pemasangan dan pengambilan cup ke dalam moulding, yang masih dilakukan secara manual. Ketika tombol diaktifkan, screen akan bergerak secara horizontal dan moulding bergerak vertikal secara otomatis melalui mekanisme tuas yang digerakkan oleh motor penggerak[14].



Gambar 3. Mesin Sablon Cup

2.10. Energi Listrik

Energi menurut Eugene C. Lister yang diterjemahkan oleh Hanapi Gunawan (1993) bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja. Kegunaan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari merupakan penerangan, motor listrik dan lain-lain. Energi yang digunakan alat listrik merupakan laju penggunaan energi (daya) dikalikan dengan waktu selama pemakaian alat tersebut[15].

2.11. ESP32-DevKitC V4

ESP32-DevKitC V4 adalah papan pengembangan berbasis ESP32 berukuran kecil yang diproduksi oleh Espressif. Sebagian besar pin I/O dipecah menjadi header pin di kedua sisi untuk memudahkan interfacing. Board ini dilengkapi dengan prosesor dual-core Xtensa LX6 yang berjalan hingga 240 MHz, memberikan kekuatan pemrosesan

yang cukup untuk aplikasi yang membutuhkan multitasking. Memori internal 512 KB RAM dan 4 MB flash mendukung aplikasi lebih kompleks.

ESP32 DevKitC V4 dipilih sebagai mikrokontroler utama dalam proyek ini karena memiliki spesifikasi yang sesuai untuk mendukung sistem monitoring berbasis IoT dan TinyML. Mikrokontroler ini dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi yang memungkinkan pengiriman data secara *real-time* ke platform monitoring. Selain itu, prosesor dual-core pada ESP32 cukup andal untuk menjalankan model TinyML ringan secara lokal.



Gambar 4. ESP32 DevKitC V4

2.12. Proximity Sensor(E18-D80NK)

Sensor Proximity E18-D80NK adalah sensor inframerah yang dirancang untuk mendeteksi objek dalam rentang 10 hingga 80 cm. Sensor ini menggabungkan pemancar dan penerima inframerah dalam satu modul, menggunakan cahaya inframerah yang dimodulasi untuk mengurangi gangguan dari cahaya tampak seperti sinar matahari atau lampu biasa. Sensor *infrared* tipe E18-D80NK adalah sensor untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu objek. Sensor ini memiliki jarak deteksi yang jauh dan sensitif terhadap cahaya yang menghalanginya[16].



Gambar 5. Proximity Sensor

2.13. Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T merupakan modul pengukuran energi listrik yang digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), faktor daya (Pf), dan energi listrik (kWh). Sensor ini dirancang menggunakan chip pengukuran khusus yang mampu membaca sinyal tegangan dan arus listrik secara real-time.

Pengukuran tegangan dilakukan secara langsung dari jalur listrik AC, sedangkan pengukuran arus dilakukan menggunakan transformator arus (Current Transformer/CT) yang mendeteksi medan magnet di sekitar penghantar listrik tanpa harus memutus jalur kabel, sehingga metode pengukuran yang digunakan bersifat non-intrusif. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang terukur, sensor kemudian menghitung daya listrik menggunakan faktor daya untuk memperoleh nilai daya nyata. Daya ini merupakan daya nyata karena memperhitungkan faktor daya, sehingga menunjukkan energi listrik yang benar-benar dikonsumsi oleh beban. Energi listrik (kWh) dihitung dari akumulasi daya aktif terhadap waktu.

$$\text{Watt} = V \times A \times \text{Pf} \quad (1)$$

$$\text{kWh} = \int \text{Watt} \times dt \quad (2)$$

$$\text{Pf} = V \times I / P \quad (3)$$

Dibandingkan dengan sensor energi listrik lainnya, sensor PZEM-004T memiliki beberapa keunggulan, antara lain mendukung metode pengukuran non-intrusif, memiliki rentang pengukuran yang luas, output data digital yang mudah diakses oleh mikrokontroler, serta dapat dikalibrasi untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Dengan fitur-fitur tersebut, PZEM-004T sangat cocok digunakan dalam sistem pemantauan konsumsi listrik pada proyek-proyek berbasis mikrokontroler[17].



Gambar 6. Sensor PZEM-004T

2.14. LCD 1602

LCD 1602 adalah salah satu jenis layar tampilan karakter yang paling umum digunakan dalam berbagai proyek elektronika dan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32. Nama "1602" menunjukkan bahwa layar ini memiliki 16 kolom dan 2 baris, sehingga dapat menampilkan total 32 karakter (16 karakter per baris). Agar lebih praktis, LCD 1602 sering dipasangkan dengan modul I2C (Inter-Integrated Circuit), sehingga hanya membutuhkan dua pin data (SDA dan SCL) untuk komunikasi.

2.15. Relay 5V

Modul relay adalah salah satu piranti yang beroperasi berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk memindahkan posisi On ke Off atau sebaliknya dengan memanfaatkan energi listrik. Proses tertutup dan terbukanya kontraktor ini terjadi akibat adanya efek induksi magnet yang timbul dari kumparan induksi listrik.

Perbedaan yang paling mendasar antara relay dan sakelar adalah pada saat pemindahan dari posisi On ke Off[18].

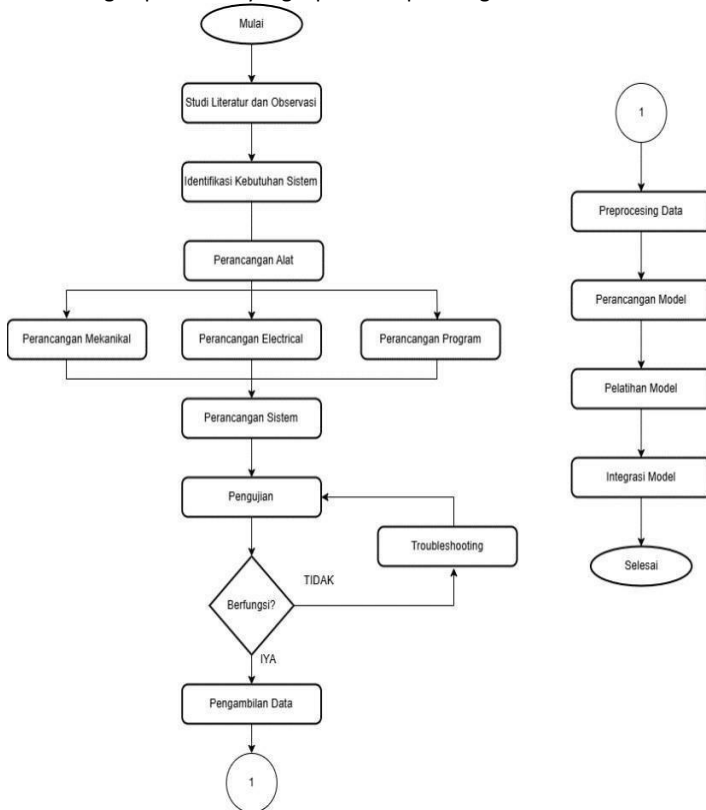
2.16. Power Supply

Power supply adalah perangkat yang berfungsi untuk menyediakan energi listrik bagi berbagai perangkat dan sistem. Fungsi utama dari power supply adalah mengubah sumber energi listrik dari satu bentuk ke bentuk lain agar sesuai dengan kebutuhan spesifik perangkat yang akan diberi daya. Perangkat ini sering digunakan untuk memberi daya pada berbagai alat elektronik, seperti mikrokontroler, sensor, dan modul lainnya yang memerlukan sumber daya yang stabil. Selain itu, power supply juga menjaga stabilitas tegangan output, memastikan bahwa perangkat yang terhubung mendapatkan daya yang konsisten dan aman.

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Alur Penelitian

Pada pengimplementasian sebuah alat diperlukan perancangan penelitian, berikut merupakan rancangan penelitian yang diperlukan pada tugas akhir ini:



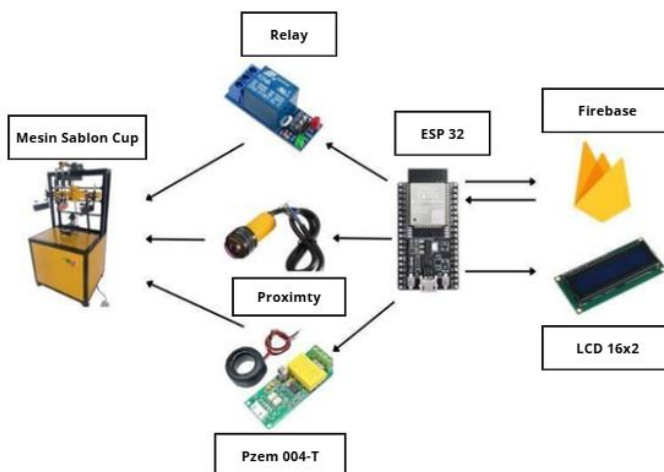
Gambar 7. Alur Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan studi literatur dan observasi untuk memperoleh referensi dan memahami kebutuhan lapangan. Berdasarkan hasil studi, dilakukan identifikasi kebutuhan sistem sebagai dasar dalam menyusun rancangan alat. Selanjutnya, proses berlanjut ke tahap perancangan alat yang mencakup tiga aspek utama, yaitu perancangan mekanikal, perancangan electrical, dan perancangan program. Setelah ketiga aspek tersebut dirancang, tahap berikutnya adalah

perancangan sistem secara keseluruhan dengan mengintegrasikan seluruh bagian. Sistem yang telah dirancang kemudian masuk ke tahap pengujian untuk memastikan fungsionalitasnya. Jika sistem tidak berfungsi, dilakukan proses *troubleshooting* hingga sistem berjalan dengan baik. Jika sistem sudah berfungsi, dilanjutkan ke tahap pengambilan data dan analisis data untuk mengevaluasi performa dan efektivitas sistem yang telah dikembangkan. Proses diakhiri pada tahap selesai, menandai bahwa seluruh rangkaian perancangan telah dilakukan secara lengkap dan menyeluruh.

3.1.1. Perancangan Sistem

Dalam penelitian ini saya melakukan perancangan sistem berupa diagram blok terhadap rangkaian alat monitoring penggunaan listrik pada mesin sablon cup.



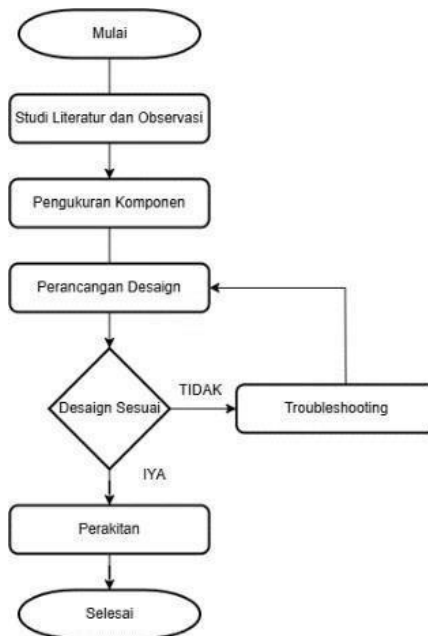
Gambar 8. Perancangan Sistem

Diagram blok di atas menggambarkan sistem monitoring penggunaan listrik pada mesin sablon cup semi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Mesin sablon menjadi objek utama yang dipantau dalam sistem ini. Beberapa sensor digunakan untuk mengumpulkan data penting, seperti sensor PZEM-004T yang berfungsi mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi yang digunakan oleh mesin. Dalam penerapannya, sensor PZEM dihubungkan langsung ke sumber listrik yang mengalir ke mesin sablon, di mana kabel fase dan netral disambungkan ke terminal input tegangan PZEM, sementara arus diukur menggunakan sensor CT yang melingkari kabel fase. Melalui prinsip pengukuran tegangan dan arus ini, sensor PZEM menghitung parameter penting seperti daya aktif (watt) dan energi (kWh) yang digunakan selama proses produksi sablon berlangsung. Selain itu, sensor proximity digunakan untuk menghitung jumlah cup yang telah dicetak.

Semua data yang diperoleh dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. ESP32 memproses data tersebut dan mengirimkannya ke *Firebase*, yaitu layanan *cloud* yang menyimpan dan menampilkan data secara *real-time*. Dengan *Firebase*, data dapat dimonitor dari jarak jauh melalui dashboard. Selain itu, ESP32 juga dapat menampilkan informasi penting ke layar LCD seperti status penggunaan listrik, jumlah produksi cup. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan status penggunaan listrik dengan memantau penggunaan listrik berdasarkan data aktual, sehingga dapat membantu pengguna mengelola konsumsi daya secara lebih efektif.

3.1.2. Perancangan Mekanikal

Berikut merupakan *flowchart* perancangan elektrikal yang disusun oleh peneliti guna memastikan proses pengerjaan berjalan secara lebih terstruktur. Beberapa tahapan beserta penjelasannya dijabarkan sebagai berikut:



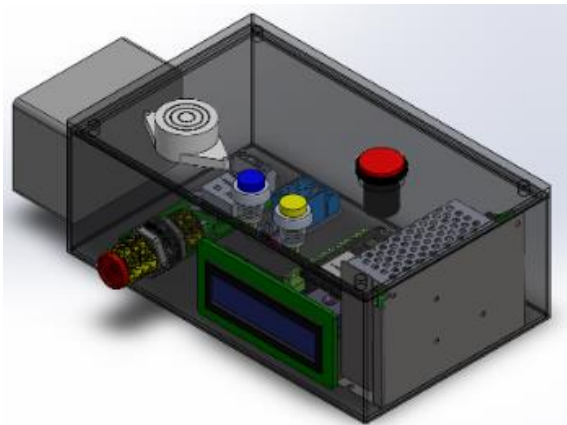
Gambar 9. Perancangan Mekanikal

Proses dimulai dari tahap Mulai, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur dan observasi untuk memahami permasalahan, kebutuhan sistem, serta solusi yang relevan berdasarkan referensi dan kondisi lapangan. Selanjutnya dilakukan pengukuran dan pemilihan komponen guna memastikan spesifikasi yang digunakan sesuai dengan kebutuhan perancangan dan ketersediaan perangkat.

Setelah itu, proses berlanjut ke tahap perancangan desain sistem, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Desain yang telah dibuat kemudian melalui tahap evaluasi dan pengujian awal untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Apabila hasil evaluasi menunjukkan desain belum sesuai, maka dilakukan troubleshooting, analisis kesalahan, serta revisi desain hingga diperoleh hasil yang optimal. Sebaliknya, jika desain telah memenuhi kriteria yang ditentukan, maka proses dilanjutkan ke tahap perakitan dan implementasi sistem.



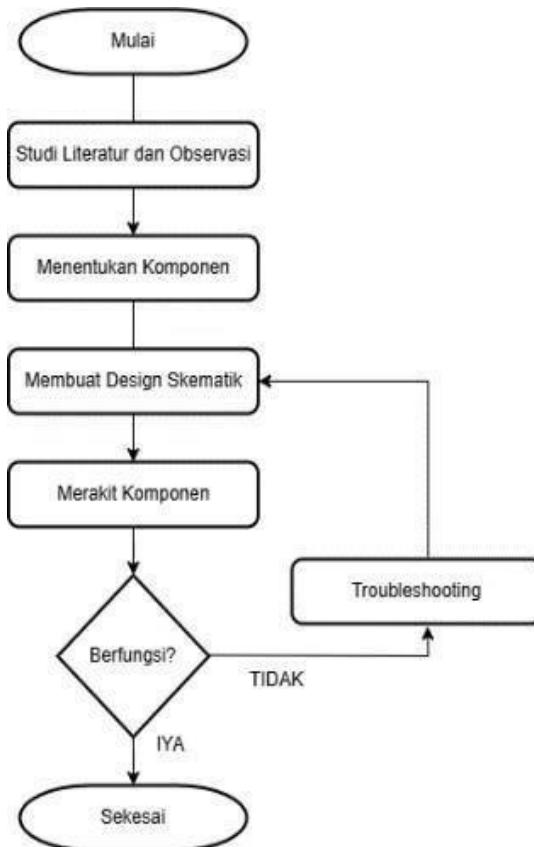
Gambar 10. Desain Box



Gambar 11. Desain dalam Box

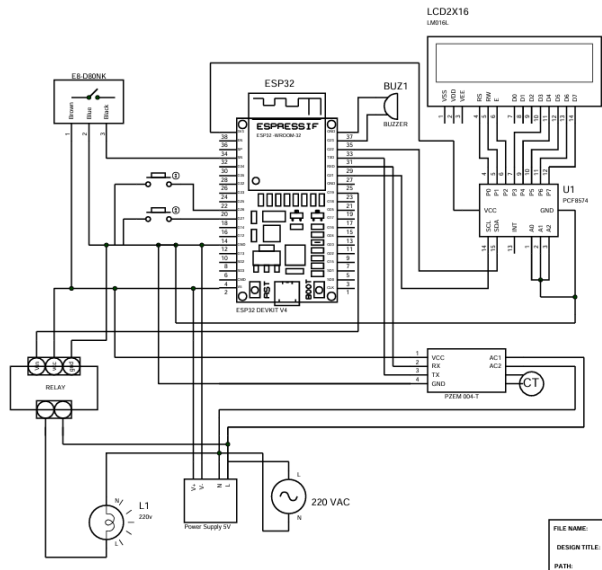
3.1.3. Perancangan Elektrikal

Berikut merupakan *flowchart* perancangan elektrikal yang disusun oleh peneliti guna memastikan proses pengerjaan berjalan secara lebih terstruktur. Beberapa tahapan beserta penjelasannya dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 12. Perancangan Elektrikal

Proses dimulai dari tahap Mulai, dilanjutkan dengan studi literatur dan observasi untuk memahami kebutuhan dan solusi. Setelah itu, ditentukan komponen yang dibutuhkan, lalu dibuat desain skematik dan dirakit sesuai rancangan. Sistem kemudian diuji jika berfungsi, proses selesai. Jika tidak, dilakukan *troubleshooting* dan perbaikan, lalu kembali ke desain atau perakitan hingga sistem bekerja dengan baik.



Gambar 13. Wiring Elektrikal

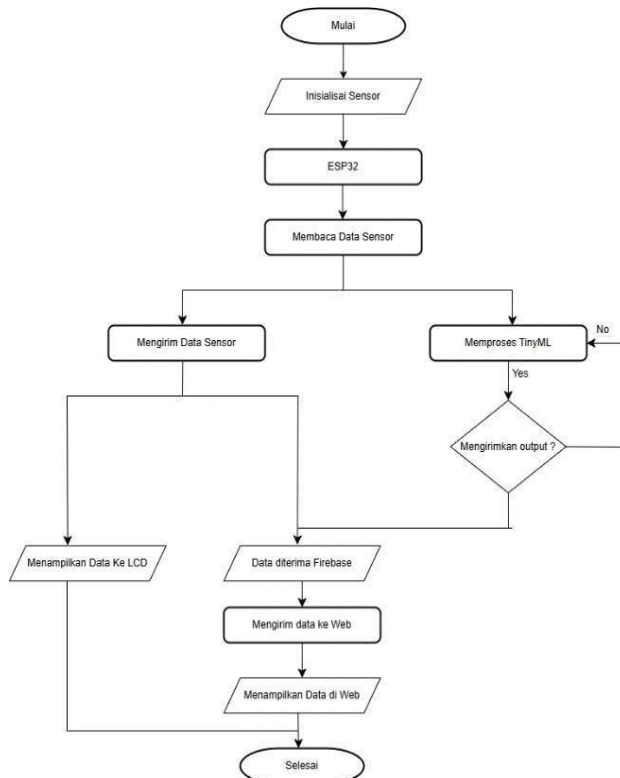
Tabel 2. Pin Mapping

1	Sensor PZEM-004T	ESP32
	VCC	5V
	RX	TX
	TX	RX
	GND	GND
2	LCD 16X02	ESP32
	VCC	3.3V
	SDA	21
	SCL	22
	GND	GND
3	Proximity	ESP32
	VCC	5V
	VIN	34
	GND	GND
4	Relay	ESP32
	VCC	5V
	IN	19
	GND	GND
5	Button +	ESP32

	VCC	27
	GND	GND
6	Button -	ESP32
	VCC	26
	GND	GND
7	Buzzer	ESP32
	VCC	23
	GND	GND

3.1.4. Perancangan Program

Berikut merupakan *flowchart* perancangan program yang disusun oleh peneliti guna memastikan proses pengerjaan berjalan secara lebih terstruktur. Beberapa tahapan beserta penjelasannya dijabarkan sebagai berikut:

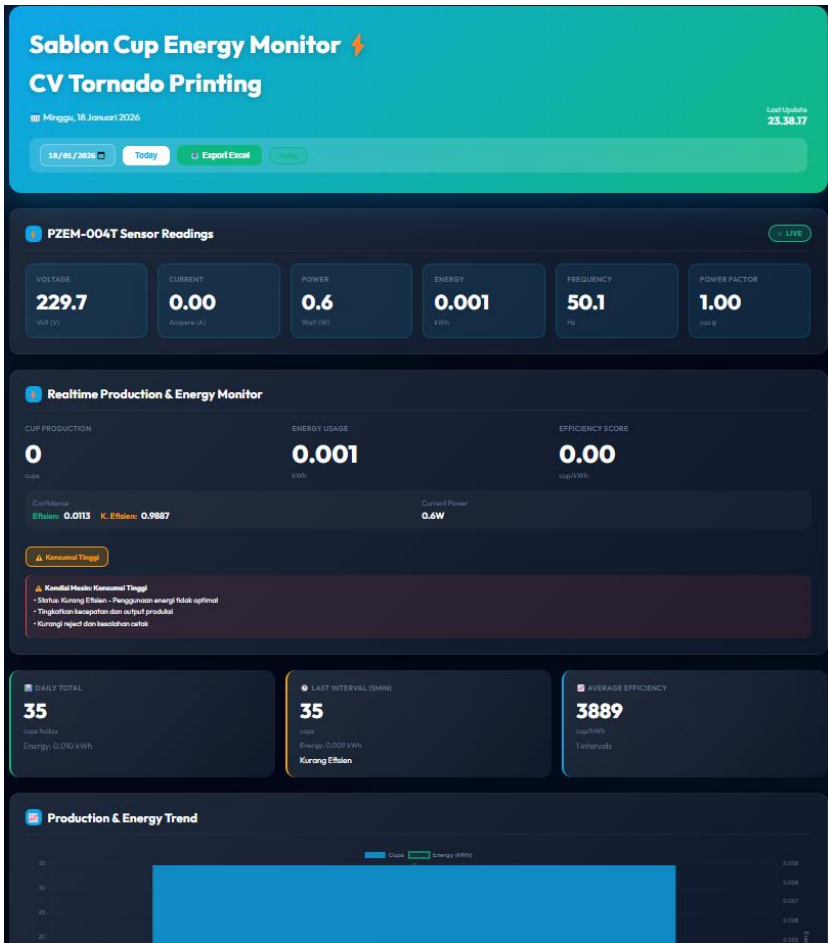


Gambar 14. Perancangan Program

Diagram alir ini menggambarkan sebuah sistem yang diawali dengan inisialisasi sensor. Mikrokontroler ESP32 kemudian membaca data dari sensor ini. Setelah akuisisi

data, proses terbagi menjadi dua jalur paralel dimana satu untuk mengirim data sensor dan satu lagi untuk memproses TinyML. Jika pemrosesan TinyML menentukan bahwa output harus dikirim, maka proses berlanjut jika tidak ia akan kembali berulang. Cabang mengirim data sensor mengarah ke dua sub-jalur yang menampilkan data ke LCD dan mengirim data ke *Firebase*. Setelah data diterima oleh *firebase*, data kemudian dikirim ke platform web dan selanjutnya ditampilkan di web. Seluruh proses berakhir setelah operasi ini selesai.

Gambar 15. Tampilan Pada Web



3.2. Alat dan Bahan

Tabel 3. Alat dan Bahan

No.	Alat/bahan	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah	Total (Rp.)	Keterangan
1	Esp32 DevkitC V4	73.000	1	73.000	Dana Pribadi
2	Sensor PZEM-004T	130.000	1	130.000	Dana Pribadi
3	Proximity Sensor	20.000	1	20.000	Dana Pribadi
4	PSU	36.000	1	36.000	Dana Pribadi
5	LCD 16x02	26.000	1	26.000	Dana Pribadi
6	Box	22.000	1	22.000	Dana Pribadi
7	Kabel	20.000	1	20.000	Dana Pribadi
8	Relay	16.000	1	16.000	Dana Pribadi
9	Buzzer	6.000	1	6.000	Dana Pribadi
10	Button	2.000	2	4.000	Dana Pribadi
Total				353.000	

3.3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini melakukan pencatatan data konsumsi listrik dan jumlah produksi selama beberapa waktu dalam rentang lima menit. Data ini digunakan sebagai dataset untuk pelatihan model. Pada tahap ini juga dilakukan pra- pemrosesan data agar sesuai dengan format yang dibutuhkan model. Data ini digunakan sebagai dataset untuk pelatihan model. Pada tahap ini juga dilakukan pra-pemrosesan data agar sesuai dengan format yang dibutuhkan model.

Tabel 4. Data Penggunaan Mesin

No.	Jumlah <i>Cup</i>	Penggunaan Listrik
1		

3.4. Preprocessing Data

Tahapan preprocessing data sangat penting dalam penelitian ini untuk memastikan bahwa data yang akan digunakan) memiliki kualitas yang baik dan siap untuk dianalisis. Tahap ini bertujuan untuk membersihkan, mengatur, dan mengubah data awal menjadi data yang lebih sesuai untuk proses pelatihan model. Proses preprocessing data melibatkan beberapa langkah:

- a. Pembersihan Data: Pada tahap ini dilakukan pembersihan data untuk menghilangkan data yang tidak valid dan tidak relevan dengan tujuan penelitian.

Data yang dieliminasi meliputi data dengan konsumsi energi listrik bernilai nol, baik pada kondisi jumlah produksi nol maupun lebih dari nol, karena tidak merepresentasikan proses produksi yang sebenarnya dan dapat menyebabkan nilai efisiensi yang ekstrem. Selain itu, data dengan jumlah produksi nol dan konsumsi energi listrik lebih dari nol juga tidak digunakan karena menunjukkan kondisi mesin menyala tetapi tidak melakukan proses produksi. Data yang digunakan dalam pelatihan dan evaluasi model hanya mencakup data dengan jumlah produksi dan konsumsi energi listrik yang bernilai lebih dari nol.

- b. Pembuatan Label: Pembuatan label merupakan proses penentuan kelas pada setiap data yang digunakan sebagai target dalam model klasifikasi. Pada penelitian ini, pelabelan data dilakukan menggunakan metode K-Means Clustering berdasarkan nilai efisiensi produksi. Nilai efisiensi dihitung sebagai rasio antara jumlah output terhadap konsumsi energi listrik, yaitu jumlah cup per kWh. Selanjutnya, data efisiensi dikelompokkan menjadi dua kluster menggunakan algoritma K-Means. Hasil pengelompokan kemudian dianalisis dengan membandingkan nilai rata-rata efisiensi pada masing-masing kluster, di mana kluster dengan nilai efisiensi lebih tinggi diberi label Efisien, sedangkan kluster dengan nilai efisiensi lebih rendah diberi label Kurang Efisien. Label yang dihasilkan dari proses klusterisasi ini digunakan sebagai data target dalam proses pelatihan model pembelajaran mesin untuk mengenali pola status penggunaan listrik dan melakukan prediksi pada data baru.

3.5. Perancangan Model ANN

K-Means digunakan sebagai metode clustering untuk mengelompokkan data konsumsi listrik berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik parameter pengukuran. Hasil proses clustering tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai label awal (pseudo-label) dalam pembentukan data latih. Artificial Neural Network (ANN) kemudian digunakan sebagai model klasifikasi karena memiliki kemampuan dalam mempelajari hubungan non-linear antar variabel input serta membentuk fungsi keputusan yang adaptif. Penggunaan ANN bertujuan untuk menghasilkan sistem klasifikasi efisiensi energi yang lebih robust dan fleksibel dibandingkan pendekatan rule-based statis, seperti metode threshold.

Perancangan model bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi penggunaan listrik pada mesin sablon cup berbasis IoT. Model ini dirancang menggunakan arsitektur *Artificial Neural Network* (ANN) dengan satu lapisan *input*, dua lapisan tersembunyi, dan satu lapisan *output*. Model ini dikembangkan untuk mengklasifikasikan status penggunaan listrik ke dalam dua kategori, yaitu efisien dan tidak efisien. *Input* model terdiri dari dua parameter utama, yaitu jumlah cup yang dicetak dan konsumsi daya listrik. Pemilihan parameter ini didasarkan pada relevansinya dalam mencerminkan efisiensi penggunaan energi listrik pada proses produksi, serta untuk mendukung pengambilan keputusan otomatis dalam sistem.

(4)

$$\text{Efisiensi Score} = \frac{\text{Jumlah Cup}}{\text{Energi (kWh)}}$$

Tabel 5. Input dan Output ANN

Layer	Jumlah Neuron	Aktivasi	Keterangan
Input	3	-	Kwh, Jumlah Cup, Effisiensi Score
Hidden	16	ReLu	
Output	2	Softmax	Effisien, Kurang Effisien

Pelatihan model TinyML menggunakan metode klasifikasi *Artificial Neural Network* (ANN). Model ini dilatih menggunakan data yang sudah diproses dan kemudian dikonversi ke dalam format TensorFlow Lite (TFLite) agar dapat dijalankan pada ESP32.

3.5.1. Evaluasi Hasil

Model dievaluasi menggunakan matrik *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Akurasi menunjukkan persentase prediksi yang benar dibandingkan dengan total prediksi. *Precision* dan *recall* memberikan analisis yang lebih mendalam untuk setiap kelas, *precision* mengukur proporsi prediksi benar dari seluruh prediksi untuk kelas tertentu, sementara *recall* mengukur proporsi benar dari seluruh data aktual dalam kelas tersebut. *F1-score*, yang merupakan rata-rata harmonik dari *precision* dan *recall*, digunakan untuk mengevaluasi performa keseluruhan model, terutama jika terdapat ketidak seimbangan antar kelas.

$$Accuracy = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (5)$$

$$Precision = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (6)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (7)$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)} \quad (8)$$

3.5.2. Konversi Model

Setelah model *Artificial Neural Network* (ANN) selesai dilatih, langkah berikutnya adalah mengonversi model tersebut ke dalam format TensorFlow Lite (TFLite). Proses konversi ini bertujuan untuk memungkinkan model berjalan pada perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti ESP32. TensorFlow Lite Converter digunakan untuk mengubah model yang awalnya disimpan dalam format H5 menjadi format TFLite.

3.5.3. Integrasi Model

Proses integrasi model dilakukan dengan menghubungkan model ANN berbasis TensorFlow Lite dengan perangkat IoT ESP32. Tahap ini bertujuan untuk memungkinkan prediksi penggunaan listrik dilakukan secara otomatis berdasarkan data masukan yang dikirimkan oleh perangkat ESP32.

3.6. Pengujian

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah alat tersebut berfungsi dengan baik, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan, dan dapat menghasilkan output yang diharapkan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

3.6.1. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dalam sistem monitoring dan kontrol penggunaan listrik pada mesin sablon cup berbasis IoT berfungsi dengan baik dan sesuai dengan rancangan. Pengujian ini menjadi tahapan krusial untuk mengevaluasi keandalan, ketepatan, dan integrasi antar bagian dalam sistem, mulai dari sensor, mikrokontroler, koneksi jaringan, hingga tampilan antarmuka.

3.6.2. Pengujian Elektrikal

Pengujian elektrikal dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem monitoring penggunaan listrik mesin bekerja dengan baik dan aman. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor proximity dan sensor PZEM-004T untuk membaca konsumsi daya listrik secara *real-time* melalui arus AC 220V, serta modul LCD I2C 16x2 untuk menampilkan informasi hasil pembacaan.

3.6.3. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh sensor yang digunakan dalam sistem monitoring konsumsi listrik pada mesin sablon cup dapat bekerja secara akurat, stabil, dan sesuai dengan fungsi yang dirancang. Pengujian ini bertujuan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan data serta memastikan keandalan sistem dalam pengambilan dan pengolahan data secara *real-time*.

Dua jenis sensor utama yang diuji dalam penelitian ini adalah sensor arus PZEM-004T dan sensor proximity tipe E18-D80NK. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur parameter penggunaan energi listrik, seperti tegangan, arus, daya, dan konsumsi energi listrik (kWh), yang menjadi dasar dalam analisis efisiensi konsumsi energi mesin. Sementara itu, sensor proximity tipe E18-D80NK digunakan untuk mendeteksi keberadaan dan menghitung jumlah cup yang telah dicetak oleh mesin sablon secara otomatis, sehingga data produksi dapat diperoleh secara akurat dan kontinu.

Hasil dari pengujian sensor ini diharapkan mampu menunjukkan tingkat akurasi dan konsistensi pembacaan sensor, sehingga sistem yang dikembangkan dapat diandalkan untuk mendukung proses monitoring, analisis status penggunaan listrik, serta pengambilan keputusan dalam operasional mesin sablon cup.

3.6.4. Pengujian Interface

Pengujian ini dilakukan guna memastikan bahwa data konsumsi listrik dan jumlah cup yang diperoleh dari masing-masing sensor dapat ditransmisikan dengan baik dari perangkat keras ke sistem pengolahan data, kemudian ditampilkan secara *real-time* pada dashboard monitoring. Proses pengujian mencakup pengamatan keterlambatan pengiriman data, kestabilan tampilan, serta kesesuaian nilai yang ditampilkan dengan kondisi aktual mesin sablon cup.

Dengan adanya tampilan data secara *real-time* pada dashboard, pengguna dapat memantau penggunaan energi listrik dan jumlah produksi cup secara langsung tanpa harus melakukan pengukuran manual. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengawasan operasional, memudahkan proses evaluasi efisiensi konsumsi energi, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam pengelolaan mesin sablon cup.

3.6.5. Pengujian Epoch dan Evaluasi Model

Pengujian epoch dilakukan untuk mengamati perkembangan performa model selama proses pelatihan. Model dilatih untuk mempelajari hubungan antara input, yaitu jumlah cup, konsumsi energi listrik (kWh), dan Efisiensi_Score, dengan output berupa kategori efisiensi, yaitu “Efisien” atau “Kurang Efisien”. Pada setiap epoch, bobot dan bias model diperbarui berdasarkan kesalahan prediksi yang terjadi, sehingga model secara bertahap meningkatkan akurasi prediksi. Pengujian dilakukan dengan jumlah epoch yang bervariasi, mulai dari 10 hingga 50, untuk mengevaluasi pengaruh jumlah iterasi terhadap kemampuan model dalam mengenali pola hubungan antara input dan output. Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan jumlah epoch yang optimal, di mana model mencapai keseimbangan antara akurasi prediksi yang tinggi dan waktu pelatihan yang efisien.

Selanjutnya, dilakukan evaluasi model untuk mengetahui sejauh mana model yang telah dibuat mampu memprediksi data secara akurat dan konsisten. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil prediksi model terhadap data aktual, sehingga dapat diketahui kemampuan generalisasi model terhadap data baru. Selain itu, melalui proses evaluasi, dapat diidentifikasi apakah model mengalami overfitting, yaitu model terlalu menyesuaikan diri dengan data pelatihan sehingga kurang akurat pada data baru, atau underfitting, yaitu model belum mampu menangkap pola yang ada pada data secara optimal. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk melakukan perbaikan atau penyetelan model agar mencapai performa prediksi yang lebih baik.

3.6.6. Pengujian Model

Pengujian model merupakan proses untuk mengevaluasi sejauh mana hasil prediksi model sesuai dengan data sebenarnya. Setelah model selesai dilatih, pengujian dilakukan dengan menggunakan data baru yang tidak termasuk dalam data pelatihan, sehingga kemampuan generalisasi model dapat diukur. Prediksi yang dihasilkan model kemudian dibandingkan dengan label asli atau nilai sebenarnya, sehingga dapat diketahui tingkat akurasi dan konsistensi model dalam memprediksi kategori efisiensi. Proses ini penting untuk menilai apakah model telah bekerja dengan baik, serta untuk mengidentifikasi adanya kemungkinan overfitting atau underfitting. Hasil dari pengujian ini menjadi dasar dalam menentukan keandalan model sebelum diterapkan secara nyata dalam sistem monitoring efisiensi produksi.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Mekanikal

Berdasarkan hasil pengujian mekanikal, perangkat menunjukkan kinerja yang stabil dan berfungsi sesuai dengan perancangan awal saat dioperasikan secara kontinu. Pengujian dilakukan dengan perangkat aktif selama 6 jam dan mesin sablon cup beroperasi dalam kondisi produksi normal dengan beban kerja. Selama periode pengujian tersebut, casing perangkat mampu melindungi seluruh komponen mekanik dan elektronik dengan baik serta memberikan struktur yang kokoh tanpa mengalami deformasi atau kerusakan.



Gambar 16. Pengujian Mekanikal

Penempatan tombol dan layar LCD bersifat ergonomis sehingga memudahkan pengguna dalam pengoperasian dan pemantauan data. Mekanisme input bekerja responsif tanpa hambatan mekanis dan tidak terpengaruh oleh getaran mesin selama proses produksi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem aman digunakan dalam jangka waktu operasional yang lama dan tidak menimbulkan gangguan terhadap mekanisme mesin. Dengan demikian, perangkat dinyatakan memenuhi aspek kekuatan, kestabilan, dan keamanan mekanikal, sehingga layak untuk dilanjutkan ke tahap pengujian fungsional dan pengujian sistem secara keseluruhan.

4.2. Hasil Pengujian Elektrikal

Pengujian elektrikal dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring konsumsi energi listrik pada mesin sablon cup dapat beroperasi secara aman, stabil, dan sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Pengujian ini meliputi pemeriksaan catu daya, kestabilan kerja mikrokontroler ESP32, fungsi relay, serta aspek keamanan instalasi listrik AC dan DC. Pengujian dilakukan pada sistem yang telah terpasang di dalam box panel kontrol seperti ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 17. Pengujian Elektrikal

Pada tahap awal dilakukan pengujian catu daya dan keamanan instalasi listrik untuk memastikan sistem bekerja secara stabil dan aman. Pengujian catu daya menunjukkan bahwa power supply mampu menyediakan tegangan DC yang stabil bagi seluruh komponen sistem tanpa penurunan tegangan yang signifikan, serta ESP32 dapat beroperasi normal tanpa reset meskipun mesin sablon cup dalam kondisi aktif. Keamanan instalasi diterapkan melalui pemisahan jalur AC 220 V dan DC di dalam box panel, serta penggunaan current transformer (CT) non-intrusif pada sensor PZEM-004T untuk menghindari kontak langsung dengan konduktor listrik.

Selain itu, dilakukan pengujian konsumsi daya pada alat monitoring yang dirancang dengan mengukur tegangan dan arus pada sisi catu daya DC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat bekerja pada daya yang relatif rendah. Konsumsi daya yang relatif rendah dan stabil ini menunjukkan bahwa penggunaan alat monitoring tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi listrik sistem utama.

No	Parameter	Nilai Pengujian
1	Tegangan	214.0
2	Arus	0.006
3	Daya	1.3

Tabel 6. Konsumsi penggunaan alat

Berdasarkan seluruh hasil pengujian elektrikal yang telah dilakukan, sistem monitoring konsumsi energi listrik pada mesin sablon cup dinyatakan telah memenuhi aspek keamanan dan kestabilan kerja. Sistem mampu beroperasi secara normal pada kondisi mesin aktif dan siap digunakan untuk tahap pengujian sensor, pengambilan data, serta pengujian sistem secara keseluruhan.

4.3. Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahap penggabungan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu kesatuan sistem yang bekerja

secara semi-otomatis. Sistem ini dirancang untuk memantau jumlah produksi cup, mengukur konsumsi energi listrik, serta memprediksi efisiensi produksi menggunakan model Artificial Neural Network (ANN). Komponen utama sistem meliputi sensor proximity, sensor PZEM, mikrokontroler ESP32, modul WiFi, LCD 16x2, dan integrasi Firebase Realtime Database sebagai platform IoT.

Sensor proximity berfungsi mendeteksi jumlah cup yang diproduksi, di mana operator menempatkan cup ke area sensor dan data dihitung otomatis oleh ESP32 serta ditampilkan secara real-time pada LCD. Sensor PZEM digunakan untuk mengukur parameter listrik mesin produksi, seperti tegangan, arus, daya, dan energi, yang kemudian diolah sebagai dasar analisis konsumsi energi dan input prediksi efisiensi.

Seluruh data sensor dikirim melalui WiFi ke Firebase untuk penyimpanan dan pemantauan jarak jauh. Selain ditampilkan pada LCD, data tersebut diproses oleh model ANN untuk menghasilkan prediksi efisiensi produksi, sehingga sistem dapat membantu operator dan manajemen dalam memantau kinerja serta mengoptimalkan proses produksi secara real-time.

4.4. Pengujian Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan bahwa sensor yang digunakan dalam sistem mampu bekerja dengan baik dan menghasilkan data yang akurat sesuai dengan kondisi operasional mesin sablon cup. Sensor yang diuji meliputi sensor arus dan tegangan PZEM-004T serta sensor proximity sebagai pencacah jumlah cup. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian hasil pembacaan sensor sebelum data digunakan pada tahap pengambilan dataset dan analisis status penggunaan listrik.

4.4.1. Sensor PZEM-004T

Pengujian sensor PZEM-004T dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan arus listrik sensor terhadap alat ukur pembanding berupa clamp meter. Pengujian dilakukan pada mesin sablon cup serta beberapa beban listrik lain sebagai variasi beban, dengan tujuan memverifikasi konsistensi dan keandalan pembacaan sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai arus yang dibaca oleh sensor PZEM-004T memiliki kecenderungan yang mendekati hasil pengukuran clamp meter, dengan selisih yang masih berada dalam batas toleransi pengukuran. Perbedaan pembacaan dipengaruhi oleh karakteristik beban dan resolusi pengukuran sensor non-intrusif.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor PZEM-004T

No	Beban	Tegangan		Error (%)	Arus		Error (%)	Power Factor		Error (%)
		Sensor	Clamp Meter		Sensor	Clamp Meter		Sensor	Pengukuran	
1	Kipas Angin	220,6	220,7	0,045	0,36	0,31	16,13	0,99	0,99	0
2	Monitor	221,0	221,2	0,090	0,08	0,09	11,11	0,45	0,40	12,5
3	Cas Handphone	221,2	221,4	0,090	0,14	0,14	0	0,55	0,55	0

4	Solder	220,4	220,5	0,045	0,07	0,08	12,50	0,96	0,96	0
5	Mesin Sablon Cup	227,7	227,8	0,040	1,16	1,18	1,69	0,73	0,72	1,39
Rata-rata error				0,063	Rata-rata error		8,29	Rata-rata error		2,78

Berdasarkan hasil pengujian, dilakukan perbandingan pembacaan sensor PZEM-004T dengan alat ukur pembanding berupa clamp meter pada beberapa jenis beban listrik, yaitu kipas angin, monitor, charger handphone, solder, dan mesin sablon cup. Parameter yang dibandingkan meliputi tegangan dan arus listrik, kemudian dihitung nilai error pengukuran untuk mengevaluasi kinerja sensor.

$$Error(\%) = \left| \frac{Nilai_{sensor} - Nilai_{acuan}}{Nilai_{acuan}} \right| \times 100\% \quad (9)$$

Berdasarkan hasil pengujian sensor PZEM-004T, pengukuran tegangan menunjukkan akurasi yang sangat baik dengan rata-rata error sebesar 0,063%, menandakan kesesuaian yang tinggi dengan hasil pengukuran clamp meter dan kestabilan sensor pada berbagai jenis beban.

Pengukuran arus listrik memiliki rata-rata error sebesar 8,29%, yang dipengaruhi oleh karakteristik beban dan perbedaan resolusi alat ukur. Beban dengan arus kecil menunjukkan persentase error lebih besar, sedangkan pada beban arus besar seperti mesin sablon cup, error relatif kecil 1,69%, sehingga sensor bekerja lebih stabil pada arus tinggi.

Pada parameter faktor daya, diperoleh rata-rata error sebesar 2,78%, dengan hasil pengukuran yang sesuai pada beban resistif maupun induktif. Beban resistif menunjukkan nilai faktor daya mendekati satu, sementara beban induktif memiliki faktor daya lebih rendah, sesuai dengan karakteristik beban listrik.

Perbedaan pengukuran arus dan faktor daya berpengaruh terhadap perhitungan daya dan energi listrik, namun pada mesin sablon cup error yang terjadi relatif kecil sehingga tidak memengaruhi nilai energi secara signifikan. Oleh karena itu, perhitungan efisiensi produksi tetap stabil dan sistem dinilai layak digunakan untuk analisis efisiensi produksi.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki performa yang baik dalam mengukur parameter kelistrikan, meliputi tegangan, arus, dan faktor daya, sehingga dapat digunakan secara andal untuk monitoring konsumsi energi listrik dan analisis efisiensi produksi pada mesin sablon.

4.4.2. Sensor Proximity E18-D80NK

Pengujian sensor proximity dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan dan jumlah cup yang melewati area deteksi selama proses produksi berlangsung. Pengujian dilakukan dengan melewati cup satu per satu pada jarak tertentu dari sensor proximity, kemudian hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan jumlah cup sebenarnya yang dihitung secara manual.

Tabel 8. Hasil Pengujian Sensor Proximity

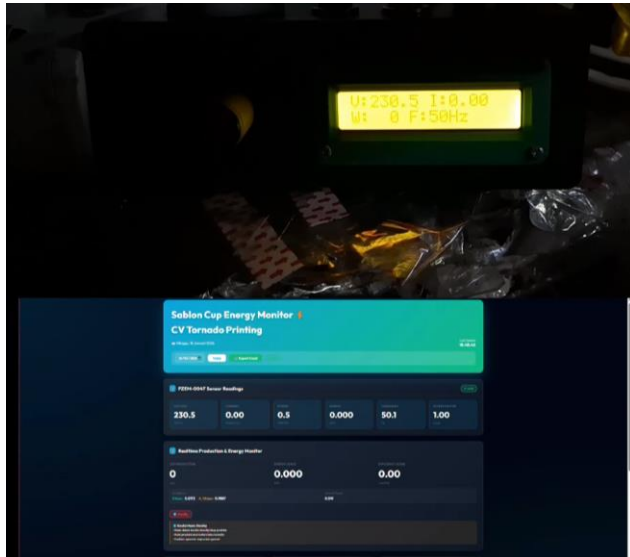
No.	Parameter	Nilai Sensor	Nilai Aktual	Error (%)
1	Percobaan 1	19	20	5
2	Percobaan 2	22	20	10
3	Percobaan 3	18	20	10
4	Percobaan 4	20	20	0
5	Percobaan 5	20	20	0
6	Percobaan 6	21	20	5
Rata-rata error				5

Berdasarkan hasil pengujian, sensor proximity memiliki rata-rata error sebesar 5%, dengan error tertinggi terjadi pada percobaan ke-2 dan ke-3 sebesar 10%, sedangkan pada percobaan ke-4 dan ke-5 tidak ditemukan error. Perbedaan pembacaan ini dipengaruhi oleh beberapa kondisi operasional, seperti jarak sensor yang dikalibrasi melalui pengaturan sensor proximity itu sendiri, posisi dan kecepatan cup saat melewati sensor, serta pantulan permukaan cup yang dapat memengaruhi respon sensor. Cup yang bergerak terlalu cepat atau berada pada posisi yang tidak konsisten berpotensi menyebabkan keterlambatan deteksi atau kesalahan hitung. Untuk meminimalkan error, dilakukan kalibrasi jarak sensor, pengaturan posisi dan sudut sensor, serta penambahan delay atau debounce pada program. Secara keseluruhan, sensor proximity masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima dan layak digunakan untuk menghitung jumlah produksi cup.

4.5. Pengujian Sistem IoT

Pengujian sistem IoT dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem IoT dalam mengirimkan data hasil pengukuran secara real-time ke server cloud serta mengevaluasi kecepatan respon dan kestabilan sistem selama proses pengolahan data berlangsung. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa data yang dikirimkan memiliki ketepatan waktu, keakuratan, dan konsistensi, serta sistem mampu bekerja dengan baik tanpa mengalami keterlambatan atau gangguan yang signifikan.

Pada pengujian ini, data yang dihasilkan oleh sensor meliputi nilai tegangan, arus, daya, energi listrik (kWh), jumlah produksi cup, serta hasil klasifikasi efisiensi dikirimkan ke Firebase secara berkala menggunakan koneksi WiFi. Parameter yang diamati meliputi waktu pengiriman data, keberhasilan penyimpanan data di Firebase, serta waktu respon sistem mulai dari pembacaan sensor hingga data berhasil ditampilkan pada LCD dan tersimpan di database.



Gambar 18. Pengujian Sistem IoT

Tabel 9. Pengujian Sistem IoT

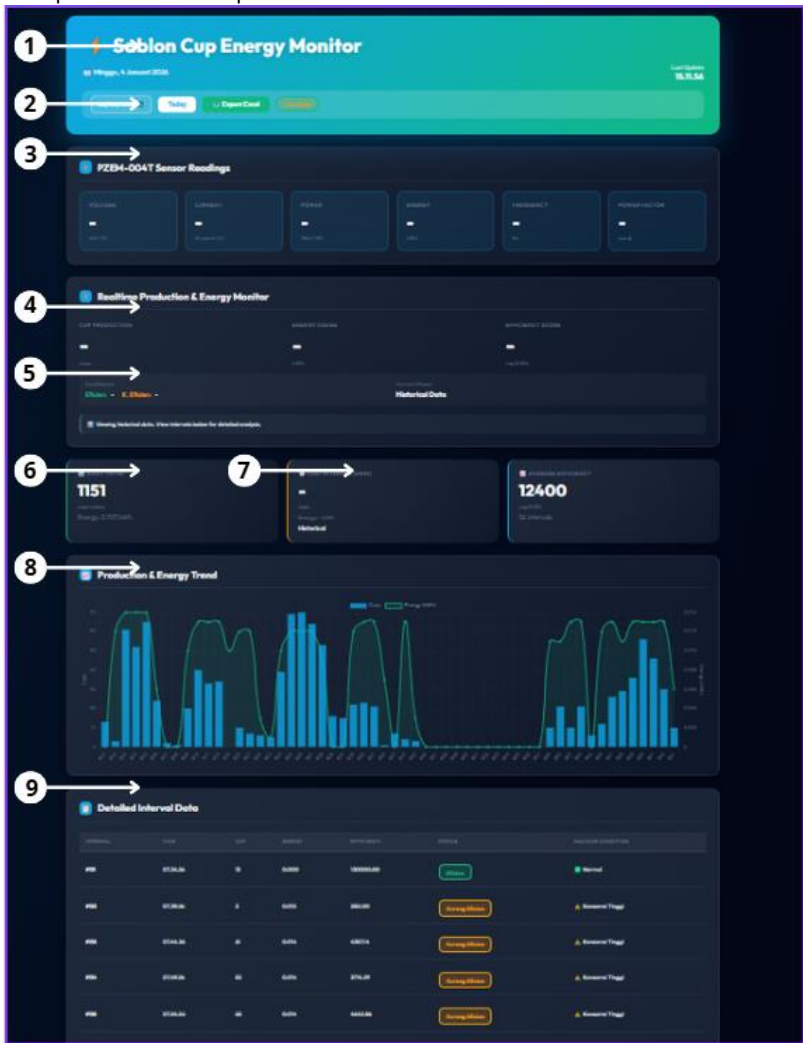
No.	Parameter	Nilai Sensor	Nilai di Web	Delay	Kesesuaian
1	Tegangan (V)	223,2	223,2	2s	Sesuai
2	Arus (A)	0,35	0,35	2s	Sesuai
3	Daya (W)	77,4	77,4	2s	Sesuai
4	Energi (kWh)	0,003	0,003	2s	Sesuai
5	Frequency (Hz)	50	50	2s	Sesuai
6	Jumlah Cup	5	5	2s	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 8, seluruh parameter yang diukur oleh sensor, yaitu tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan jumlah cup, memiliki nilai yang sama antara pembacaan sensor pada ESP32 dan data yang ditampilkan pada web. Hal ini menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penyimpanan data pada sistem IoT berjalan dengan baik tanpa terjadi perubahan nilai data.

Selain itu, hasil pengujian menunjukkan adanya delay pengiriman data sebesar rata-rata 2 detik untuk setiap parameter. Delay tersebut disebabkan oleh proses komunikasi jaringan dan pengiriman data ke platform web. Meskipun demikian, delay yang terjadi masih dapat diterima untuk aplikasi monitoring energi secara real-time, sehingga sistem IoT dinyatakan mampu bekerja dengan baik dan stabil.

4.6. Pengujian Interface

Antarmuka dashboard ini dirancang sebagai media visualisasi untuk menampilkan hasil pemantauan dan analisis sistem secara real-time, sehingga memudahkan pengguna dalam memantau produksi cup, konsumsi energi, serta tingkat efisiensi proses produksi secara cepat dan informatif.



Gambar 19. Pengujian Interface

Dashboard *Sablon Cup Energy Monitor* ini dirancang sebagai sistem pemantauan produksi dan konsumsi energi mesin sablon gelas secara *real-time*. Dashboard ini mengintegrasikan data sensor listrik, jumlah produksi, serta hasil analisis efisiensi energi untuk membantu pengguna memahami performa mesin, tingkat efisiensi penggunaan listrik, dan tren operasional dalam satu tampilan yang informatif. Selanjutnya, setiap bagian pada dashboard akan dijelaskan satu per satu untuk menunjukkan fungsi dan perannya dalam sistem monitoring ini.

Tabel 10. Komponen Antarmuka

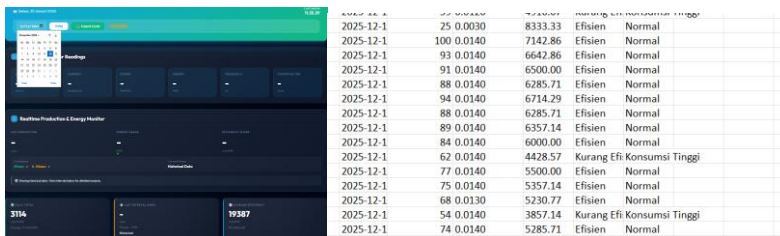
No	Komponen Antarmuka	Fungsi
1	Header Dashboard	Menampilkan identitas sistem dan informasi waktu pemantauan data.
2	Filter Waktu & Export Data	Mengatur rentang waktu pemantauan serta mengekspor data historis ke format Excel.
3	Panel Monitoring Parameter Listrik (PZEM-004T)	Menampilkan parameter listrik secara real-time meliputi tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, dan faktor daya.
4	Realtime Production Monitor	Menampilkan jumlah cup yang diproduksi secara real-time.
5	Realtime Energy & Efficiency Monitor	Menampilkan konsumsi energi dan nilai efisiensi produksi (cup/kWh).
6	Daily Total Production	Menampilkan total produksi cup dalam satu hari.
7	Last Interval Energy	Menampilkan konsumsi energi pada interval pengukuran terakhir.
8	Grafik Production & Energy Trend	Menampilkan tren produksi dan konsumsi energi terhadap waktu
9	Tabel Detailed Interval Data & Status Mesin	Menyajikan data interval, status efisiensi, dan kondisi operasional mesin

Antarmuka dashboard digunakan untuk memantau produksi cup dan konsumsi energi mesin secara real-time dan terintegrasi. Informasi yang ditampilkan meliputi jumlah cup, energi yang digunakan, *efficiency score*, serta rekap produksi harian. Selain itu, sistem menyediakan analisis otomatis pada setiap interval waktu yang mengelompokkan kondisi produksi menjadi efisien dan kurang efisien sehingga memudahkan operator dan manajemen dalam mengevaluasi kinerja mesin dan mengambil keputusan untuk meningkatkan efisiensi produksi.

4.6.1. Pengujian Filter Waktu dan Export data

pengujian pada menu monitoring yang mencakup kemampuan sistem dalam melakukan penyaringan data berdasarkan tanggal, pengelolaan data yang tersimpan pada database, serta proses rekapitulasi dan ekspor data ke dalam format Microsoft Excel. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa data monitoring konsumsi

listrik dan produksi dapat ditampilkan, dikelola, dan disimpan kembali secara akurat sesuai dengan kebutuhan pengguna. Adapun hasil yang diperoleh ditunjukkan sebagai berikut.



Gambar 20. Filter Waktu dan Export data

Sistem dilengkapi dengan fitur *filter tanggal* yang memungkinkan pengguna menampilkan data konsumsi listrik dan produksi mesin sablon cup berdasarkan rentang waktu tertentu. Dengan fitur ini, pengguna dapat melakukan analisis data secara lebih spesifik sesuai periode yang diinginkan, seperti harian, mingguan, atau bulanan. Selain itu, tersedia fitur *export data* yang berfungsi untuk menyimpan data hasil monitoring dalam bentuk file excel. Fitur ini memudahkan pengguna dalam melakukan dokumentasi, pengolahan lanjutan, serta pembuatan laporan evaluasi efisiensi energi mesin sablon cup.

4.7. Hasil Dataset

Pengambilan dataset dilakukan setelah seluruh sistem, mulai dari pengujian elektrikal, sensor, hingga sistem IoT, dinyatakan berfungsi dengan baik. Dataset dikumpulkan dari hasil monitoring konsumsi energi listrik dan jumlah produksi cup pada mesin sablon cup secara real-time. Data yang diambil meliputi jumlah cup yang diproduksi, konsumsi energi listrik (kWh), serta parameter pendukung lainnya yang diperoleh dari sensor PZEM-004T dan sensor proximity.

4.7.1. Dataset Mentah

Dataset mentah diperoleh dari hasil pembacaan sensor jumlah produksi cup dan konsumsi energi listrik selama proses pengambilan data berlangsung. Dataset ini masih mengandung data dengan nilai nol, baik pada jumlah produksi maupun konsumsi energi, yang menunjukkan kondisi mesin tidak memproduksi atau pembacaan sensor yang belum stabil. Dataset mentah ini digunakan sebagai data awal sebelum dilakukan tahap preprocessing.

Tabel 11. Dataset Mentah

No	Cup	Energy
1	109	0.014
2	104	0.014

3	89	0.013
4	90	0.014
5	85	0.012
6	88	0.013
7	49	0.006
8	5	0
9	11	0.001
309	26	0.013

Tabel 10 menunjukkan dataset mentah hasil pengambilan data sensor jumlah produksi cup dan konsumsi energi listrik yang dilakukan secara online melalui sistem monitoring berbasis web. Selama proses pengambilan data diperoleh sebanyak 309 data. Dataset ini masih mengandung data dengan nilai nol pada jumlah produksi maupun konsumsi energi, yang menunjukkan kondisi mesin tidak beroperasi atau pembacaan sensor yang belum stabil. Oleh karena itu, data pada tabel ini digunakan sebagai data awal sebelum dilakukan tahap preprocessing.

4.7.2. Dataset Cleaning

Setelah dilakukan tahap preprocessing data dengan menghilangkan data yang memiliki nilai nol pada jumlah produksi maupun konsumsi energi, diperoleh dataset yang lebih bersih dan valid. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan hanya merepresentasikan kondisi produksi aktual mesin sablon cup. Dataset hasil preprocessing yang selanjutnya digunakan untuk tahap analisis efisiensi dan pelabelan data.

Tabel 12. Dataset Cleaning

No	Cup	Energy
1	109	0.014
2	104	0.014
3	89	0.013
4	90	0.014
5	85	0.012
6	88	0.013
7	49	0.006
9	11	0.001
229	26	0.013

Berdasarkan hasil preprocessing data yang ditunjukkan pada Tabel 11, setelah dilakukan penghapusan data dengan nilai nol pada jumlah produksi maupun konsumsi energi, jumlah data yang semula tercatat mengalami pengurangan sehingga tersisa 229 data yang dinyatakan valid. Data yang dihapus merupakan data pada saat mesin tidak beroperasi atau terjadi pembacaan sensor yang tidak merepresentasikan kondisi

produksi aktual. Dengan demikian, 229 data yang tersisa telah memenuhi kriteria sebagai data operasional, sehingga layak digunakan pada tahap analisis efisiensi dan proses pelabelan data ke dalam kategori efisien dan kurang efisien.

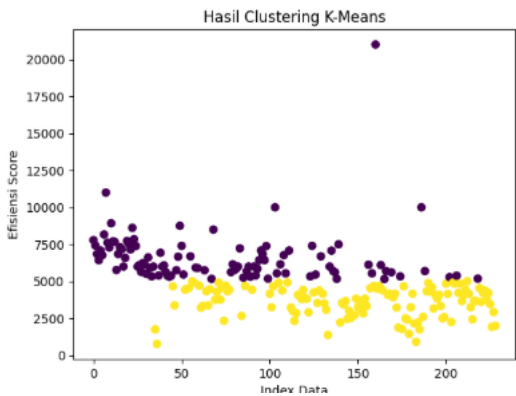
4.7.3. Hasil Pembuatan Label Dataset

Dataset hasil preprocessing yang telah bersih selanjutnya digunakan sebagai dataset akhir dalam penelitian ini. Dataset ini terdiri dari dua parameter utama, yaitu jumlah produksi cup dan konsumsi energi listrik, yang digunakan untuk perhitungan status penggunaan listrik dan proses pelabelan data menggunakan metode K-Means.

Tabel 13. Pembuatan Label Dataset

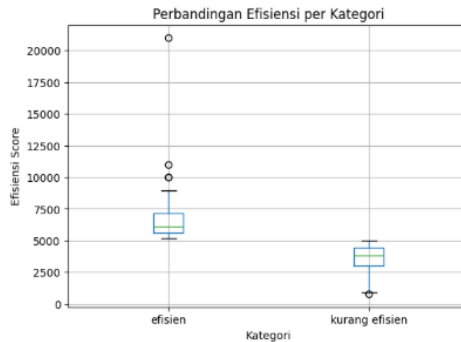
no	cup	energy	efisiensi_score	cluster	kategori
1	109	0.014	7785.714	0	efisien
2	104	0.014	7428.571	0	efisien
3	89	0.013	6846.154	0	efisien
4	90	0.014	6428.571	0	efisien
5	85	0.012	7083.333	0	efisien
6	88	0.013	6769.231	0	efisien
7	49	0.006	8166.667	0	efisien
9	11	0.001	11000	0	efisien
229	26	0.013	2000	1	Kurang efisien

Data di atas menunjukkan hasil perhitungan efisiensi produksi mesin sablon gelas berdasarkan jumlah cup yang dihasilkan dan energi listrik yang digunakan. Nilai efisiensi score diperoleh dari perbandingan jumlah cup terhadap konsumsi energi, di mana semakin besar nilainya maka semakin efisien proses produksi. Hasil pengelompokan (*cluster*) menunjukkan seluruh data berada pada cluster 0 dan diklasifikasikan sebagai efisien, yang menandakan penggunaan energi relatif optimal untuk jumlah produksi tersebut.



Gambar 21. Hasil Clustering K-means

Hasil dari K-Means Clustering berhasil membagi data efisiensi menjadi dua kelompok yang berbeda secara signifikan, dikategorikan sebagai "Efisien" (klaster ungu) dan "Kurang Efisien" (klaster kuning). Visualisasi *Box Plot* menguatkan temuan ini, menunjukkan pemisahan distribusi yang jelas antara kedua kategori. Kategori Efisien menunjukkan median skor efisiensi yang jauh lebih tinggi sekitar 6000 dibandingkan dengan kategori Kurang Efisien sekitar 5000.



Gambar 22. Perbandingan Kategori Efisiensi

Gambar tersebut menampilkan perbandingan distribusi skor efisiensi antara kategori efisien dan kurang efisien. Secara umum, kategori efisien memiliki nilai median efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan kategori kurang efisien, yang menunjukkan bahwa proses produksi pada kategori ini mampu menghasilkan jumlah output yang lebih besar dengan konsumsi energi yang relatif lebih rendah. Sebaran data pada kategori efisien juga terlihat lebih luas, yang menandakan adanya variasi efisiensi antar sampel, termasuk beberapa outlier dengan nilai efisiensi sangat tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi tertentu sistem dapat beroperasi dengan efisiensi yang sangat optimal.

Sebaliknya, kategori kurang efisien menunjukkan median efisiensi yang lebih rendah dengan rentang data yang lebih sempit, menandakan performa produksi yang relatif konsisten namun kurang optimal dalam pemanfaatan energi. Kehadiran beberapa nilai ekstrem pada kedua kategori menunjukkan adanya variasi kondisi operasional, seperti perbedaan beban mesin, durasi produksi, atau gangguan proses. Perbedaan distribusi yang cukup jelas antara kedua kategori ini mengindikasikan bahwa proses pelabelan data telah mampu membedakan tingkat efisiensi produksi dengan baik, sehingga layak digunakan sebagai dasar dalam pemodelan klasifikasi status penggunaan listrik.

4.8. Hasil Pelatihan dan Evaluasi Model ANN

4.8.1. Hasil Pelatihan Model

K-Means digunakan sebagai metode clustering untuk mengelompokkan data konsumsi listrik berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik parameter pengukuran.

Hasil proses clustering tersebut menghasilkan dua kelompok utama, yaitu kategori efisien dan kurang efisien, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai label awal dalam pembentukan data latih.

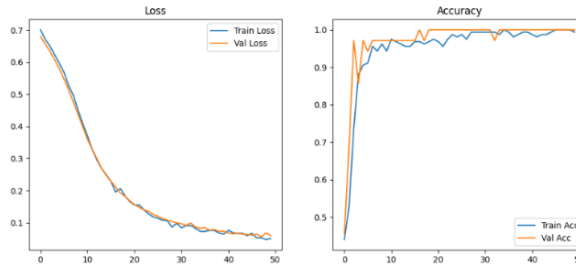
Artificial Neural Network (ANN) kemudian digunakan sebagai model klasifikasi karena memiliki kemampuan dalam mempelajari hubungan non-linear antar variabel input serta membentuk fungsi keputusan yang adaptif. Berbeda dengan K-Means yang hanya menghasilkan label kategorikal berbasis jarak, model ANN menghasilkan output prediksi berupa nilai probabilitas kelas yang merepresentasikan tingkat keyakinan model terhadap masing-masing kategori (efisien dan kurang efisien).

Pelatihan model dilatih menggunakan dataset hasil preprocessing dan pelabelan sebelumnya, kemudian dievaluasi untuk menilai kinerja model dalam melakukan klasifikasi status penggunaan listrik. Proses pelatihan dilakukan selama 50 epoch dengan menggunakan optimizer Adam, dan batch size 8. Untuk memberikan gambaran lebih jelas, berikut adalah ringkasan performa model pada beberapa epoch:

Tabel 14. Hasil Pelatihan Model

No	Epoch	Train Loss	Val Loss	Train Acc	Val Acc
1	1	0.7069	0.6798	0.4386	0.4571
2	10	0.4021	0.3979	0.9682	0.9714
3	20	0.1641	0.1683	0.9767	1.0000
4	30	0.1127	0.0996	0.9937	1.0000
5	40	0.0614	0.0731	0.9984	1.0000
6	50	0.0505	0.0594	0.9951	1.0000

Berdasarkan hasil pelatihan model Artificial Neural Network (ANN), diperoleh nilai loss pada data training dan validation yang mengalami penurunan secara konsisten seiring bertambahnya epoch, yang menunjukkan bahwa model mampu melakukan proses pembelajaran dengan baik. Pada epoch awal, nilai akurasi masih rendah karena model belum mengenali pola data, namun setelah beberapa epoch terjadi peningkatan akurasi yang signifikan hingga mencapai nilai di atas 97% pada data training dan 100% pada data validation. Selisih antara nilai training dan validation loss serta akurasi relatif kecil dan stabil, sehingga tidak menunjukkan adanya indikasi overfitting. Hal ini mengindikasikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data yang tidak digunakan dalam proses pelatihan. Tingginya performa model juga dipengaruhi oleh penggunaan fitur efisiensi score yang mampu merepresentasikan hubungan antara jumlah produksi dan konsumsi energi secara efektif.



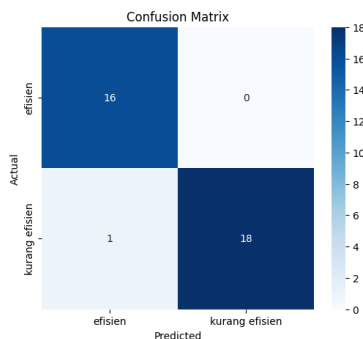
Gambar 23. Grafik Loss dan Accuracy

Berdasarkan grafik *loss*, terlihat bahwa nilai training loss dan validation loss mengalami penurunan yang signifikan sejak awal epoch dan terus menurun secara stabil hingga akhir pelatihan. Pola ini menunjukkan bahwa proses pembelajaran model berjalan dengan baik dan model mampu meminimalkan kesalahan prediksi secara konsisten. Selain itu, jarak antara training loss dan validation loss relatif kecil, yang menandakan tidak terjadi overfitting.

Pada grafik *accuracy*, baik training *accuracy* maupun validation *accuracy* mengalami peningkatan yang cepat dan mencapai nilai mendekati 100% pada epoch selanjutnya. Hal ini menunjukkan bahwa model ANN memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mempelajari pola data dan mampu melakukan generalisasi dengan baik terhadap data validasi. Secara keseluruhan, kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa model ANN telah terlatih secara optimal, memiliki konvergensi yang stabil, serta performa klasifikasi yang sangat baik.

4.8.2. Hasil Evaluasi Model

Evaluasi model ANN dilakukan untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan tingkat status penggunaan listrik berdasarkan data produksi dan konsumsi energi. Evaluasi dilakukan menggunakan confusion matrix dan classification report guna menilai tingkat akurasi, precision, recall, dan f1-score dari model yang telah dilatih.



Gambar 24. Confusion Matrix

Dari hasil *confusion matrix* yang diperoleh, model ANN menunjukkan kinerja klasifikasi yang sangat baik dalam membedakan kategori Efisien dan Kurang Efisien. Dari total 16 data aktual Efisien, seluruhnya berhasil diklasifikasikan dengan benar sebagai Efisien, sehingga tidak terdapat kesalahan klasifikasi pada kelas ini (*false negative* = 0). Hal ini menunjukkan kemampuan model yang sangat baik dalam mengenali kondisi efisiensi.

Pada kategori Kurang Efisien, dari 19 data aktual, sebanyak 18 data berhasil diprediksi dengan benar sebagai Kurang Efisien, sementara 1 data salah diklasifikasikan sebagai Efisien (*false positive*). Kesalahan ini tergolong kecil dan tidak signifikan terhadap performa keseluruhan model. Klasifikasi ini menunjukkan bahwa terdapat satu kondisi di mana karakteristik data berada dekat dengan batas pemisah antar kelas, sehingga model mengalami kesalahan prediksi. Namun demikian, jumlah kesalahan yang terjadi sangat kecil dibandingkan dengan total data uji, sehingga tidak memberikan dampak signifikan terhadap performa model secara keseluruhan.

Secara umum, *confusion matrix* ini menegaskan bahwa model ANN memiliki tingkat kesalahan yang rendah dan kemampuan klasifikasi yang stabil pada kedua kelas, sehingga model dinilai layak digunakan untuk prediksi status penggunaan listrik pada sistem ini.

Tabel 15. Hasil Evaluasi Model

Kategori	Precision	Recall	F1-score	Support
Efisien	0.94	1.00	0.97	16
Kurang Efisien	1.00	0.95	0.97	19
Akurasi Model			0.97	35

$$\text{PrecisionEfisien} = 16 / (16 + 1) = 0.94$$

$$\text{RecallEfisien} = 16 / (16 + 0) = 1.00$$

$$\text{F1-scoreEfisien} = 2 \times (0.94 \times 1.00) / (0.94 + 1.00) = 0.97$$

$$\text{Akurasi} = (16 + 18) / 35 = 0.97$$

Berdasarkan hasil *classification report*, model ANN menunjukkan performa yang sangat baik dalam mengklasifikasikan kategori Efisien dan Kurang Efisien. Pada kategori Efisien, nilai precision sebesar 0,94 menunjukkan bahwa sebagian besar data yang diprediksi sebagai efisien memang benar efisien, sementara nilai recall sebesar 1,00 menandakan bahwa seluruh data efisien berhasil terdeteksi oleh model tanpa kesalahan. Nilai F1-score sebesar 0,97 mengindikasikan keseimbangan yang baik antara precision dan recall.

Pada kategori Kurang Efisien, model memperoleh precision sebesar 1,00, yang berarti tidak terdapat kesalahan prediksi pada data yang diklasifikasikan sebagai kurang efisien. Nilai recall sebesar 0,95 menunjukkan bahwa sebagian besar data kurang efisien berhasil dikenali, meskipun masih terdapat sedikit data yang

terklasifikasi sebagai efisien. Nilai F1-score sebesar 0,97 menunjukkan performa klasifikasi yang konsisten pada kelas ini.

Secara keseluruhan, model mencapai akurasi sebesar 97% dengan nilai macro average dan weighted average precision, recall, serta F1-score yang sama-sama tinggi, yaitu 0,97. Hal ini menunjukkan bahwa model ANN mampu melakukan klasifikasi status penggunaan listrik secara akurat dan stabil, serta tidak mengalami ketimpangan kinerja antar kelas, sehingga layak digunakan dalam sistem prediksi status penggunaan listrik yang dikembangkan.

4.8.3. Konversi Model

Konversi model merupakan tahap setelah pelatihan dan evaluasi model Artificial Neural Network (ANN) selesai dilakukan, di mana model yang telah dilatih menggunakan TensorFlow dikonversi ke dalam format TensorFlow Lite (TFLite) agar dapat dijalankan pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32. Proses ini bertujuan untuk menyesuaikan ukuran dan kompleksitas model dengan keterbatasan memori dan kemampuan komputasi mikrokontroler sehingga model dapat dieksekusi secara efisien. Selanjutnya, file TFLite yang dihasilkan dikonversi ke dalam bentuk header file (model.h) agar dapat diintegrasikan langsung ke dalam program ESP32 sebagai bagian dari implementasi TinyML, sehingga proses prediksi efisiensi produksi dapat dilakukan secara lokal dan real-time tanpa ketergantungan pada koneksi internet.

4.8.4. Integrasi Model

Integrasi model dilakukan dengan memasukkan file model.h yang berisi hasil konversi model Artificial Neural Network (ANN) ke dalam program mikrokontroler ESP32. Model TinyML ini digunakan untuk melakukan proses inferensi secara lokal dengan memanfaatkan data sensor yang diperoleh secara real-time, yaitu jumlah cup dan konsumsi energi listrik. Data tersebut diproses sebagai input model untuk menghasilkan prediksi status efisiensi produksi secara langsung.

```
tinyepoch50.ino  data_cup_energy.h
11  #include "schema_tensorflowlite.h"
12  #include "data_cup_energy.h"
13  #include "tensorflow/lite/micro/all_ops_resolver.h"
14  #include "tensorflow/lite/micro/micro_interpreter.h"
15  #include "tensorflow/lite/schema/schema_generated.h"
```

Gambar 25. Integrasi Model

Integrasi model TinyML pada ESP32 ditunjukkan melalui pemanggilan file model hasil konversi dalam bentuk header file data_cup_energy.h ke dalam program utama mikrokontroler. File tersebut berisi model Artificial Neural Network (ANN) yang telah dikonversi ke format TensorFlow Lite dan direpresentasikan dalam bentuk array C agar dapat dimuat ke memori ESP32.

4.9. Pengujian Model

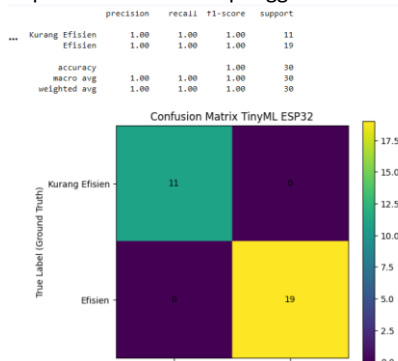
Pada bagian ini dilakukan analisis efisiensi produksi berdasarkan data baru yang diperoleh selama sistem berjalan secara real-time. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja proses produksi, khususnya dalam hal jumlah cup yang dihasilkan dibandingkan dengan energi listrik yang digunakan. Dengan menggunakan data baru, evaluasi dapat mencerminkan kondisi nyata di lapangan dan memberikan gambaran tentang efektivitas sistem dalam mendukung proses produksi yang efisien.

Tabel 16. Hasil Pengujian Model

No	Cup	Kwh	Efisiensi_Score	Status
1	44	0.009	4888.88916	Kurang Efisien
2	45	0.010	4500	Kurang Efisien
3	75	0.014	5357.14258	Efisien
4	94	0.014	6714.28564	Efisien
5	101	0.014	7214.28564	Efisien
6	65	0.014	4642.85693	Kurang Efisien
7	82	0.014	5857.14258	Efisien
8	59	0.012	4916.6665	Kurang Efisien
9	25	0.003	8333.33301	Efisien
10	100	0.014	7142.85693	Efisien
11	93	0.014	6642.85693	Efisien
12	91	0.014	6500	Efisien
13	88	0.014	6285.71387	Efisien
14	94	0.014	6714.28564	Efisien
15	88	0.014	6285.71387	Efisien
16	89	0.014	6357.14258	Efisien
17	84	0.014	6000	Efisien
18	62	0.014	4428.57129	Kurang Efisien
19	77	0.014	5500	Efisien
20	75	0.014	5357.14258	Efisien
21	68	0.013	5230.76904	Efisien
22	54	0.014	3857.14282	Kurang Efisien
23	74	0.014	5285.71436	Efisien
24	53	0.012	4416.67	Kurang Efisien
25	63	0.013	4846.15	Kurang Efisien
26	33	0.011	3000.00	Kurang Efisien

27	16	0.004	4000.00	Kurang Efisien
28	24	0.005	4800.00	Kurang Efisien
29	70	0.012	5833.33	Efisien
30	68	0.12	5666.67	Efisien

Berdasarkan data baru, sistem berhasil mendeteksi efisiensi produksi secara real-time, memberikan informasi yang berguna untuk evaluasi dan perbaikan proses produksi. Integrasi sensor proximity, sensor PZEM, ESP32, dan model ANN memungkinkan analisis efisiensi yang lebih akurat, meskipun input jumlah cup masih bergantung pada interaksi operator. Dengan demikian, sistem semi-otomatis ini dapat meningkatkan kualitas produksi dan status penggunaan listrik secara signifikan.



Gambar 26. Hasil Evaluasi Model TinyML

Berdasarkan hasil evaluasi model Tiny Machine Learning (TinyML) yang telah diintegrasikan pada perangkat ESP32, diperoleh performa klasifikasi yang sangat baik. Model mampu mengklasifikasikan dua kelas, yaitu Kurang Efisien dan Efisien, dengan tingkat akurasi sebesar 100% dari total 30 data uji. Hasil pengujian menunjukkan nilai precision, recall, dan F1-score masing-masing sebesar 1.00 (100%) pada kedua kelas. Pada kelas Kurang Efisien, seluruh 11 data berhasil diklasifikasikan dengan benar, sedangkan pada kelas Efisien, seluruh 19 data juga berhasil diklasifikasikan secara tepat tanpa kesalahan klasifikasi.

Confusion matrix menunjukkan bahwa tidak terdapat kesalahan prediksi (false positive maupun false negative), yang mengindikasikan bahwa model TinyML mampu melakukan inferensi secara konsisten dan akurat langsung pada perangkat ESP32 (on-device inference). Hal ini membuktikan bahwa proses konversi model ke format TensorFlow Lite dan integrasi ke dalam sistem embdeded tidak menurunkan performa model secara signifikan. Dengan demikian, model TinyML yang diimplementasikan pada ESP32 telah tervalidasi secara operasional dan layak digunakan dalam sistem monitoring dan klasifikasi efisiensi konsumsi energi listrik secara real-time pada lingkungan UMKM.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring konsumsi listrik mesin sablon cup berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dikembangkan dan mampu memantau penggunaan daya listrik secara real-time di CV Tornado Printing. Sistem ini dapat menampilkan informasi konsumsi energi secara berkelanjutan sehingga memudahkan proses pemantauan operasional mesin.

Selain itu, penerapan Tiny Machine Learning (TinyML) menggunakan algoritma Artificial Neural Network (ANN) pada mikrokontroler ESP32 berhasil diimplementasikan dengan baik. Model yang digunakan mampu menganalisis dan mengklasifikasikan status penggunaan listrik mesin sablon cup ke dalam kategori efisien dan kurang efisien berdasarkan data konsumsi daya dan jumlah produksi cup. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat memberikan informasi pendukung dalam pengambilan keputusan terkait efisiensi penggunaan energi listrik pada proses produksi.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan pemanfaatan sistem ke depannya. Pertama, sistem monitoring yang telah mampu memberikan data akurat mengenai jumlah produksi dan konsumsi listrik dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur pencatatan data historis jangka panjang, sehingga analisis tren penggunaan energi dapat dilakukan secara lebih mendalam.

Kedua, untuk meningkatkan efisiensi operasional, sistem pemantauan konsumsi listrik secara real-time dapat dilengkapi dengan fitur notifikasi atau peringatan otomatis ketika penggunaan energi berada pada kondisi kurang efisien. Dengan demikian, operator dapat segera melakukan penyesuaian proses produksi guna mengoptimalkan penggunaan energi listrik.

Daftar Pustaka

- [1] A. Y. B. Dawe, P. D. P. Adi, and W. Dirgantara, "Sistem Monitoring Untuk Penggunaan Daya Listrik Pada Smarthome With Method Fuzzy Logic Berbasis Iot," *SinarFe7*, vol. 4, no. 1, pp. 554–564, 2021.
- [2] S. Supriatno, "Analisis Penggunaan Energi pada Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM)," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 3, pp. 76–82, 2023.
- [3] B. Fermanda and E. P. Loyda Tarigan, "Perbaikan Proses Produksi Sablon Gelas Minuman pada UKM Tornado Printing," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 51–58, 2024.
- [4] Ramadhan Lubis, Putri Nabila, Nurul Ilmi Nasution, Lathifah Azzahra, Hasraful, and Fadillah Andina⁶, "Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran, Volume 7 Nomor 3, 2024," *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 7, no. 3, pp. 7899–7906, 2024.
- [5] A. History, "Jurnal FUSE – Teknik Elektro BERBASIS GSM DILENGKAPI MACHINE LEARNING UNTUK GSM-BASED DOOR LOCK SECURITY SYSTEM IMPROVEMENT EQUIPPED WITH MACHINE LEARNING," *Rachman Pandu Dewanata*¹, *Bambang Sugiarto*², *Sifa Nurpadillah*³ ¹, vol. 3, no. 1, pp. 20–29, 2023.
- [6] I. Auditia Akhinov, M. Ridwan Arif Cahyono, and P. Gajah Tunggal, "Pengembangan Smart Home System," *JSAI J. Sci. Appl. Informatics*, vol. 4, no. 01, pp. 1–10, 2021.
- [7] J. W. Jokanan, A. Widodo, N. Kholis, and L. Rakhmawati, "Rancang Bangun Alat Monitoring Daya Listrik Berbasis IoT Menggunakan Firebase dan Aplikasi," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 47–55, 2022.
- [8] M. Giri, W. Ngulandoro, S. Rizqika Akbar, and B. H. Prasetyo, "Analisis Performa TensorFlow Lite untuk IoT dengan ESP32 DEVKIT-C (Studi Kasus: Pengenalan Gambar Sampah di Sungai)," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 7, pp. 3342–3347, 2023.
- [9] Y. Suryandari, "Survei IoT Healthcare Device," *J. Sist. Cerdas*, vol. 3, no. 2, pp. 153–164, 2020.
- [10] A. Elhanashi, P. Dini, S. Saponara, and Q. Zheng, "Advancements in TinyML: Applications, Limitations, and Impact on IoT Devices," *Electron.*, vol. 13, no. 17, 2024.
- [11] R. M. Iqbal and A. S. Budi, "Mekanisme Penyediaan Layanan Pada Perangkat Smart Home Berbasis Esp32 Menggunakan Pendekatan Ann," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2017.
- [12] K. Kamal, U. M. Tyas, A. A. Buckhari, and P. Pattasang, "Implementasi Aplikasi Arduino Ide Pada Mata Kuliah Sistem Digital," *J. Pendidik. dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2023.

- [13] N. Wilyanto, J. Firnando, B. Franko, S. P. Tanzil, H. C. Tan, and E. Hartati, "Pembuatan Website Menggunakan Visual Studio Code di SMA Xaverius 3 Palembang," *Fordicate*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2023.
- [14] S. D. Handono, M. Mafruddin, A. D. Prasetyo, B. Iswadi, and R. Purnomo, "Rancang bangun mesin sablon cup semi otomatis," *ARMATUR Artik. Tek. Mesin Manufaktur*, vol. 3, no. 2, pp. 79–87, 2022.
- [15] L. M. K. Amali, Y. Mohamad, A. I. Tolago, N. Elysiantobuo, and A. Y. Dako, "Analisis Konsumsi Energi Listrik Menggunakan Metode Internsitas Konsumsi Energi," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 103–107, 2024.
- [16] I. R. Putra, Alamsyah, M. S, A. Amir, and T. Suryani S, "Rancang Bangun Sistem Informasi Penghitung Jumlah Orang pada Ruangan Tertutup berbasis Internet of Things (IoT)," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform. 2022 – Teknik Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 180–184, 2022.
- [17] I. W. A. Suteja *et al.*, "Household Electricity Voltage , Current , Power , Energy , and Cost Monitoring System With Thingspeak Application," vol. 6, no. 2, pp. 139–148, 2022.
- [18] A. ArjunPratikto, "Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32," *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, 2022.

Biodata



Nama : Muhammad Wahyu Nugraha
TTL : 27 April 2003
Agama : Islam
Alamat : Taman Batu Aji Indah III / AS no 04

Email : muhamadwahyu1608@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMK : SMKN 5 Batam
SMP : SMPN 44 Batam

Lampiran

https://drive.google.com/drive/folders/1cgiRdHJ4chHhMnhS4SLRx2_Cax4aeKw6