

## Pengembangan Media Pembelajaran Kontrol Peralatan Elektronik Berbasis ESP32 dengan HMI Display dan Energy Meter

Dian Ariyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Indonesia

<sup>1</sup>[125202501@uii.ac.id](mailto:125202501@uii.ac.id)



### Histori Artikel:

Diajukan: 27 July 2026

Disetujui: 5 Agustus 2026

Dipublikasi: 5 Agustus 2026

### Kata Kunci:

ESP32; HMI Display;

Energy meter; ZMPT101B;

Media Pembelajaran.

### Digital Transformation

*Technology (Digitech) is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).*

### Abstrak

Perkembangan teknologi berbasis mikrokontroler dan *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk menghadirkan media pembelajaran yang lebih interaktif pada bidang teknik elektro. Namun, proses pembelajaran kelistrikan masih didominasi oleh penyampaian teori sehingga mahasiswa dan siswa mengalami keterbatasan dalam melakukan pengamatan langsung terhadap parameter listrik dan sistem kendali. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran kontrol peralatan elektronik berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan HMI Display dan energy meter untuk mendukung kegiatan praktikum. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, perancangan alat, pembuatan alat, serta pengujian sistem. Perangkat yang dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor ZMPT101B untuk pengukuran tegangan, sensor SCT-013 untuk pengukuran arus, modul relay sebagai aktuator, dan HMI DWIN Display sebagai antarmuka pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan tiga beban listrik melalui layar sentuh HMI dengan tingkat keberhasilan 100%. Sistem juga mampu menampilkan parameter tegangan, arus, dan daya secara real-time pada berbagai kombinasi beban. Nilai tegangan yang terukur relatif stabil pada 221,2 V, sedangkan nilai arus dan daya meningkat sesuai dengan penambahan beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan dapat digunakan sebagai sarana praktikum yang interaktif dan aplikatif untuk meningkatkan pemahaman konsep pengukuran serta pengendalian peralatan listrik.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era industri 4.0 menuntut dunia pendidikan, khusus nya di bidang teknik elektro untuk berinovasi dalam menyampaikan materi secara praktik dan aplikatif. Pemahaman terhadap konsep dasar kelistrikan seperti arus, tegangan dan daya, serta cara pengendalian merupakan hal yang harus dipahami oleh siswa disekolah maupun mahasiswa di perguruan tinggi (Febrianti et al., 2021). Namun dalam proses pemahaman konsep-konsep seringkali terhambat oleh keterbatasan fasilitas praktikum. Salah satu permasalahan yang sering dijumpai dilingkungan pendidikan adalah kurangnya media pembelajaran interaktif dan mutakhir yang dapat digunakan untuk menunjang kegiatan praktikum.

Media pembelajaran adalah segala bentuk alat atau bahan yang digunakan dalam proses pembelajaran. Media pembelajaran yang banyak digunakan dalam pembelajaran saat ini didominasi oleh penyampaian materi secara teoritis atau menggunakan alat peraga gambar, video, bahkan berupa media buku yang fiturnya terbatas. Siswa dan mahasiswa seringkali hanya menghitung nilai kelistrikan di atas kertas tanpa memiliki kesempatan untuk melakukan pengamatan secara real-time terhadap perilaku beban listrik di dunia nyata. Hal ini mengakibatkan kesenjangan antara teori yang dipelajari dengan realita di lapangan, sehingga tingkat pemahaman analitis siswa terhadap karakteristik peralatan elektronik menjadi kurang optimal. (Asih Indartiwi1, Julia Wulandari2, 2020)

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sebuah inovasi berupa pengembangan media pembelajaran yang interaktif, aplikatif, dan representatif terhadap teknologi industri saat ini. Salah satu solusi yang relevan adalah merancang media pembelajaran kontrol peralatan elektronik berbasis mikrokontroler ESP32 (Jasman et al., 2025) yang dikombinasikan dengan modul energy meter dan *antarmuka Human Machine Interface* (HMI) (Yuli Prasetyo, 2024) berbasis layar sentuh (*touch screen*). penggunaan ESP32 sangat ideal karena kemampuannya dalam memproses data kelistrikan secara cepat dan mendukung ekosistem *Internet of Things* (IoT) (Prasetya, 2025) yang saat ini menjadi standar industri.

Media pembelajaran ini dikonsepsikan untuk tidak hanya menjadi alat kendali, tetapi juga instrumen analitik. Melalui layar HMI, pengguna dapat melakukan interaksi langsung berupa menghidupkan dan mematikan beban elektronik seperti lampu atau kipas angin dengan hanya dengan menekan layar (*touch screen*

switch). Di saat yang bersamaan, layar HMI akan menampilkan pembacaan parameter listrik secara real-time dari modul energy meter, meliputi nilai arus, tegangan, dan daya aktif beban yang sedang beroperasi.

Lebih jauh lagi, integrasi instrumen pembacaan pada media ini akan memberikan pengalaman belajar berbasis pembuktian empiris. Sebagai contoh, saat melakukan praktikum, mahasiswa dapat menyambungkan beban berupa lampu dengan spesifikasi pabrik sebesar 10 watt. Melalui media ini, mereka dapat membandingkan langsung apakah spesifikasi daya yang tertera pada kemasan beban tersebut benar-benar murni 10 watt, atau terdapat deviasi nilai arus dan tegangan akibat faktor efisiensi daya maupun rugi-rugi daya (power loss). Pembelajaran observasional semacam ini akan sangat efektif untuk melatih daya kritis siswa dan memberikan gambaran nyata mengenai perbedaan antara nilai nominal teoretis dan nilai ukur aktual suatu beban elektronik.

Berdasarkan paparan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran kontrol peralatan elektronik berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan HMI display dan energy meter sebagai sarana praktikum pada pembelajaran instalasi dan kontrol peralatan elektronik. Media yang dikembangkan mengintegrasikan fungsi pengendalian beban, pemantauan parameter kelistrikan secara real-time, serta visualisasi data melalui antarmuka HMI sehingga mendukung pelaksanaan pembelajaran yang lebih aplikatif. Kontribusi penelitian ini meliputi penyediaan media pembelajaran berbasis Internet of Things (IoT) yang menggabungkan aspek kontrol, monitoring, dan visualisasi dalam satu sistem terintegrasi, serta menghasilkan perangkat pembelajaran yang dapat digunakan untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa dalam memahami konsep pengendalian peralatan elektronik, pengukuran energi listrik, dan implementasi sistem monitoring berbasis mikrokontroler.

## STUDI LITERATUR

### ESP 32

Modul ESP 32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif Sistem dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Mikrokontroler ini memiliki modul wifi dan *bluetooth* sehingga mendukung jika digunakan untuk aplikasi *Internet of Thing* (IoT). Perbedaan ESP 32 dengan ESP8266 terdapat pada prosesor yang digunakan, pada ESP 8266 menggunakan *single core* 32 bit sedangkan pada ESP 32 sudah menggunakan *Dual-core* 32 Bit sehingga kecepatan ESP 32 lebih tinggi. (Satria, 2021)(Fiqih & Yangindrajat, 2025)

### HMI Display

*Human Machine Interface* (HMI) display merupakan antarmuka visual yang menghubungkan manusia (operator) dengan mesin atau sistem otomasi industri, seperti PLC (*Programmable Logic Controller*)(Mukhaiyar, 2024)(Amri & Rozak, 2025). HMI umumnya berupa layar, sering kali berbasis touchscreen, yang digunakan untuk menampilkan data secara real-time serta memungkinkan pengguna melakukan kontrol terhadap sistem. Fungsi utama HMI meliputi monitoring kinerja mesin, pengendalian proses, penampilan alarm atau peringatan, serta perekaman data (*data logging*). Dalam strukturnya, HMI terdiri dari layar display (LCD/TFT), prosesor, dan perangkat lunak grafis yang menyajikan informasi dalam bentuk visual seperti grafik, angka, maupun simbol.

DWIN merupakan produsen modul *Human Machine Interface* (HMI) touchscreen yang kompatibel dengan berbagai mikrokontroler, seperti Arduino, ESP32, STM32, PIC, dan keluarga 8051, serta menggunakan perangkat lunak DGUS untuk merancang antarmuka pengguna (UI) yang interaktif. Salah satu produk yang banyak digunakan adalah DWIN seri DMG80480C070, yaitu layar TFT LCD 7 inci dengan resolusi 800×480 piksel, mampu menampilkan hingga 262 ribu warna, berbasis chip T5L0, dan menjalankan sistem DGUS II. Modul ini tersedia dalam pilihan layar tanpa sentuh, sentuh resistif, dan sentuh kapasitif, sehingga fleksibel untuk berbagai kebutuhan aplikasi. Dengan kemudahan integrasi, desain antarmuka yang fleksibel, serta kemampuan menampilkan data secara real-time, HMI DWIN banyak dimanfaatkan dalam sistem kontrol dan monitoring berbasis mikrokontroler.

### Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan sistem monitoring dan kontrol berbasis Internet of Things (IoT) telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Penelitian oleh Jasman Wanfaber Parningotan Saragih berjudul *Penerapan Media Pembelajaran Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32* mengembangkan media pembelajaran berbasis ESP32 yang berfokus pada pemantauan parameter listrik secara daring. (Jasman et al., 2025) Sementara itu, penelitian lain oleh Resa Pramudita dan Neris Peri Ardiansyah berjudul *Rancang Bangun Alat Monitoring Daya dengan HMI Berbasis Arduino Uno sebagai OPC* mengembangkan sistem monitoring daya dengan antarmuka Human Machine Interface (HMI) berbasis Arduino Uno yang memudahkan visualisasi data kelistrikan, tetapi belum mengintegrasikan fungsi kontrol perangkat. (Pramudita & Ardiansyah, 2021)

Berdasarkan kajian tersebut, sebagian besar penelitian masih berfokus pada salah satu aspek, yaitu monitoring atau kontrol, serta belum secara khusus dirancang sebagai media pembelajaran yang mengintegrasikan kedua fungsi tersebut dalam satu sistem. Selain itu, penggunaan mikrokontroler dan fitur

analisis data masih terbatas pada fungsi dasar. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan media pembelajaran kontrol peralatan elektronik berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan HMI display dan energy meter sehingga mampu menggabungkan fungsi kontrol beban dan monitoring parameter kelistrikan secara real-time dalam satu platform pembelajaran. Integrasi tersebut memberikan kontribusi berupa media pembelajaran yang mendukung visualisasi data tegangan, arus, daya, energi, dan faktor daya melalui HMI touchscreen, sehingga peserta didik dapat mempelajari konsep pengendalian, pengukuran, dan analisis sistem kelistrikan secara terpadu melalui kegiatan praktikum.

### METODE

Dalam penelitian ini metode yang digunakan ada beberapa tahapan yaitu:

1. Studi literatur
2. Perancangan Alat
3. Pembuatan Alat
4. Pengujian alat



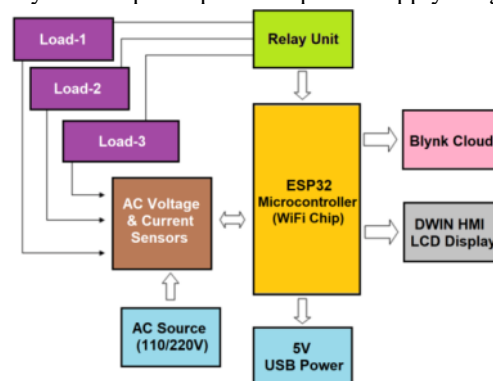
Gambar 1. Metode penelitian

### Studi Literatur

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur untuk memperoleh landasan teoritis dan teknis yang kuat. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari cara bekerja dari esp 32, cara pemrograman, perangkaian sensor-sensor, pemrograman HMI display serta menelaah penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan perancangan media pembelajaran sebagai acuan dan pembanding. Komponen utama dalam penelitian ini meliputi ESP32, HMI display sensor tegangan AC dan Arus, dan Relay unit.

### Perancangan Alat

Tahapan Kedua adalah perancangan media pembelajaran dimulai dengan pembuatan blok diagram sistem seperti pada gambar 2. Pusat dari sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali yang terhubung dengan sensor arus dan tegangan AC untuk membaca arus dan tegangan yang terhubung dengan 3 buah beban. Tiga beban terdiri dari 2 buah lampu yang dapat diganti-ganti dan satu stop kontak AC. Untuk mengontrol nyala dan mati beban digunakan modul relay unit yang juga terhubung dengan ESP32. Untuk menampilkan pembacaan arus, tegangan dan daya dari sensor maka digunakan HMI LCD display dengan ukuran 7" dari DWIN. HMI display akan digunakan untuk menampilkan arus, tegangan, daya dan power factor dari ketiga beban. Untuk sumber daya dari esp32 diperlukan power supply dengan tegangan 5 Volt.

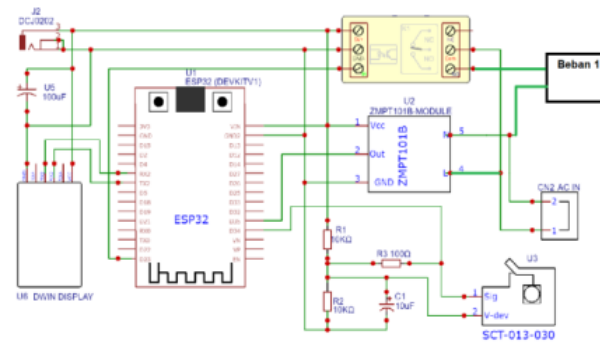


Gambar 2. Blok diagram sistem

### Pembuatan Alat

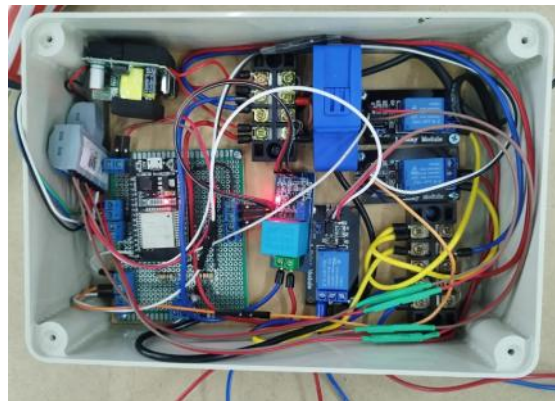
Tahapan pembuatan alat Media Pembelajaran Kontrol Peralatan Elektronik Berbasis ESP32 dengan HMI Display dan Energy Meter menggunakan ESP32 sebagai pusat dari sistem. Pada gambar 3 merupakan skematik dari sistem yang terdiri dari ESP32 sensor tegangan ZMPT101B, sensor arus, modul relay dan HMI DWIN display. Nilai tegangan dan arus yang mengalir akan diukur oleh sensor dan sensor yang terkoneksi dengan ESP32. Data pembacaan tegangan dan arus akan ditampilkan menggunakan HMI Dwin Display. Pengaturan nyala dan mati beban akan menggunakan HMI Dwin display yang mampu digunakan untuk layar sentuh. Kontrol beban menggunakan Modul relay yang terhubung dengan ESP32 dan dikontrol oleh layar sentuh dari

HMI Dwin display. Untuk daya dari sistem menggunakan power supply DC 5 volt dengan arus maksimal 3 A yang digunakan untuk mensuplai ESP 32, HMI display, modul relay, sensor tegangan dan sensor arus.



Gambar 3. Skematik rangkaian

Gambar 4 merupakan tampilan dari kotak control sistem yang terdiri dari ESP32, sensor tegangan, sensor arus, tiga buah modul relay, power supply 5 volt DC dan terminal 220 yang terhubung dengan beban 1, beban 2 dan beban 3.



Gambar 4. ESP32 dan sensor-sensor

Tabel 1. Konfigurasi pin ESP32 dengan sensor ZMPT101B

| Esp 32 | Sensor ZMPT101B pin |
|--------|---------------------|
| D35    | Out                 |
| 5V     | VCC                 |
| Gnd    | Gnd                 |

Konfigurasi pin yang digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan sensor ZMPT101B ditunjukkan pada Tabel 1. Output sensor ZMPT101B dihubungkan ke pin GPIO35 pada ESP32. Pin GPIO 35 merupakan pin input analog (ADC/*Analog-to-Digital Converter*)(Firdaus et al., 2026) yang berfungsi untuk membaca sinyal analog dari sensor. Melalui pin ini, sinyal tegangan AC yang telah dikondisikan oleh sensor ZMPT101B dapat dikonversi menjadi data digital dan selanjutnya diproses oleh mikrokontroler ESP32. Sementara itu, pin VCC pada sensor ZMPT101B dihubungkan ke sumber tegangan 5V ESP32 untuk memberikan catu daya pada sensor, dan pin GND dihubungkan ke ground ESP32 sebagai referensi tegangan. Dengan konfigurasi tersebut, ESP32 dapat melakukan pembacaan dan pemantauan nilai tegangan listrik secara real-time melalui sensor ZMPT101B.

Tabel 2. Konfigurasi pin ESP32 dengan sensor SCT-013

| Esp 32 | Sensor SCT-012 |
|--------|----------------|
| D34    | Signal         |
| 5V     | VCC            |
| Gnd    | Gnd            |

Konfigurasi pin ESP32 dengan sensor arus SCT-013 dilakukan dengan menghubungkan pin Signal sensor ke GPIO34 ESP32, pin VCC ke 5V, dan pin GND ke GND. Pin GPIO 34 digunakan karena merupakan pin input analog (ADC) yang dapat membaca sinyal analog keluaran sensor arus. Sensor SCT-013 berfungsi mendeteksi arus listrik yang mengalir pada penghantar dan menghasilkan sinyal analog yang proporsional terhadap besar arus tersebut. Sinyal ini kemudian dikonversi oleh ADC internal ESP32 menjadi data digital untuk diproses lebih lanjut sehingga diperoleh nilai arus yang dapat digunakan dalam sistem monitoring energi listrik secara real-time.(Pratama, 2022)

Tabel 3. Konfigurasi pin ESP32 dengan Modul Relay

| Esp 32        | Relay |
|---------------|-------|
| Relay 1 Input | D4    |
| Relay 2 Input | D5    |
| Relay 3 Input | D18   |
| 5V            | VCC   |
| Gnd           | Gnd   |

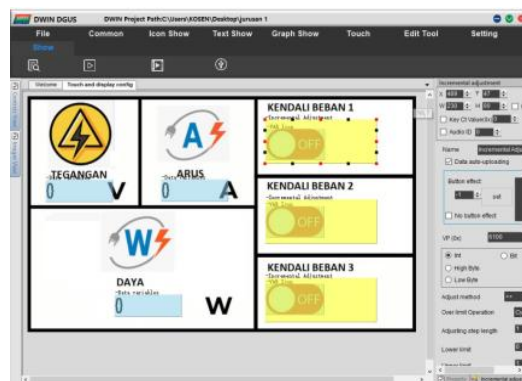
Konfigurasi pin ESP32 dengan modul relay 3 channel dilakukan dengan menghubungkan pin kontrol relay ke beberapa pin digital ESP32, yaitu Relay 1 ke GPIO4, Relay 2 ke GPIO5, dan Relay 3 ke GPIO18. Selain itu, pin VCC modul relay dihubungkan ke sumber tegangan 5V dan pin GND dihubungkan ke GND ESP32. Pin-pin digital tersebut berfungsi sebagai keluaran (output) yang digunakan untuk mengendalikan kondisi relay, baik dalam keadaan aktif (ON) maupun tidak aktif (OFF). Dengan menggunakan 3 buah relay ini ESP32 mampu mengatur 3 beban yang terhubung dengan sistem.

Tabel 4. Konfigurasi pin ESP32 dengan HMI DWIN Display

| Esp 32 | Dwin<br>Display | HMI |
|--------|-----------------|-----|
| RX2    | TX2             |     |
| TX2    | RX2             |     |
| 5V     | VCC             |     |
| Gnd    | Gnd             |     |

Konfigurasi pin ESP32 dengan HMI DWIN Display dilakukan menggunakan komunikasi serial UART(Adila et al., 2025), yaitu dengan menghubungkan pin RX2 ESP32 ke pin TX2 DWIN Display dan pin TX2 ESP32 ke pin RX2 DWIN Display. Selain itu, pin VCC DWIN Display dihubungkan ke sumber tegangan 5V dan pin GND dihubungkan ke GND ESP32. Konfigurasi ini memungkinkan terjadinya pertukaran data dua arah antara ESP32 dan HMI DWIN Display, sehingga informasi seperti nilai tegangan, arus, daya, energi, serta status relay dapat ditampilkan pada layar HMI, sementara perintah dari antarmuka pengguna dapat dikirim kembali ke ESP32 untuk mengendalikan sistem monitoring dan kontrol instalasi listrik berbasis *Internet of Things* (IoT).

Tahapan berikutnya adalah pembuatan tampilan antarmuka dari HMI Dwin display membutuhkan software Dwin Dgus yang merupakan software bawaan dari DWin Display. Pada software ini kita dapat merancang berbagai tampilan dengan ketentuan seperti yang kita inginkan. Pada software ini kita harus mendesain suatu tampilan dengan ukuran 800x480 pixel serta menempatkan data variabel untuk menampilkan tegangan , arus dan daya serta fungsi touch screen untuk mengatur tombol on-off dari Kendal beban 1 sampai 3.



Gambar 5. Pembuatan antar muka DWIN HMI display

Pada tampilan HMI DWIN terdapat settingan VP yang harus di isikan. VP adalah singkatan dari Variable Pointer. Ini adalah alamat memori (misalnya, 0x1000, 0x5000) yang digunakan untuk membaca atau menulis

data. Alamat VP menunjuk ke ruang RAM tempat nilai numerik, string, dan status sistem disimpan, memungkinkan mikrokontroler untuk berkomunikasi dengan layar dengan mudah. (S et al., 2025) Berikut adalah konfigurasi dari alamat VP untuk mengontrol HMI dwiwin display. Alamat Vp akan dimasukan pada code program ESP32 yang dibuat menggunakan arduino IDE sehingga nantinya ESP32 dapat terkoneksi dengan HMI display.

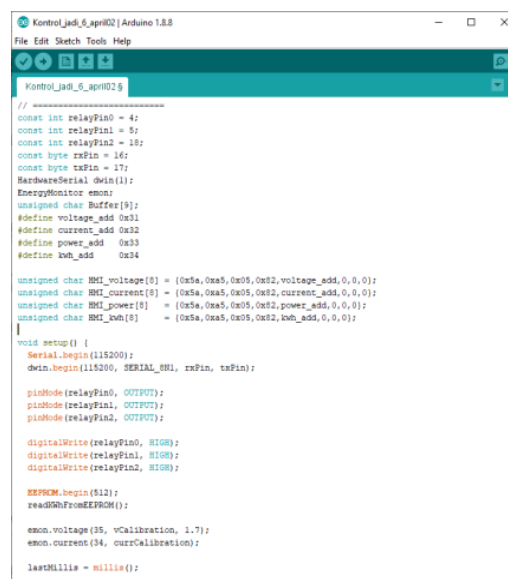
Tabel 5. Konfigurasi alamat VP

| Variable Display | Alamat Vp |
|------------------|-----------|
| Tegangan         | 3100      |
| Arus             | 3200      |
| Daya             | 3300      |
| Gnd              | Gnd       |
| on/off beban 1   | 6100      |
| on/off beban 2   | 6200      |
| on/off beban 3   | 6300      |

Dengan konfigurasi tersebut, nilai tegangan, arus, dan daya yang diperoleh dari sensor dapat ditampilkan pada layar HMI secara real-time, sedangkan status ON/OFF beban dapat dikendalikan langsung melalui layar sentuh DWIN Display dan diteruskan ke ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan relay yang terhubung pada masing-masing beban.

Setelah proses pemasangan sensor tegangan ZMPT101B, sensor arus SCT-012, HMI DWIN Display, dan modul relay selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah pembuatan program untuk mengendalikan sistem menggunakan mikrokontroler ESP32. Program yang dibuat bertujuan untuk membaca data tegangan dan arus dari sensor, mengolah data hasil pengukuran, serta menampilkan informasi tersebut pada HMI DWIN Display secara real-time. Selain itu, program juga berfungsi untuk menerima perintah dari HMI DWIN Display melalui fitur touch screen guna mengendalikan kondisi ON/OFF beban listrik yang terhubung melalui modul relay.

Pembuatan program ESP32 dilakukan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++ (Waluyo et al., 2024). Program dirancang untuk mengintegrasikan seluruh komponen sistem, meliputi pembacaan data sensor melalui pin ADC ESP32, perhitungan parameter kelistrikan menggunakan pustaka EmonLib, komunikasi serial dengan HMI DWIN Display menggunakan antarmuka UART (Kusumah et al., 2019), serta pengendalian modul relay melalui pin digital ESP32.



Gambar 6. Pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE

## HASIL

### Tampilan layar HMI Dwin Display

Gambar 7 menunjukkan tampilan antarmuka HMI DWIN Display yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran parameter kelistrikan berupa tegangan (V), arus (A), dan daya (W) secara real-time. Selain berfungsi sebagai media monitoring, tampilan HMI juga dilengkapi dengan tiga buah tombol kontrol beban yang digunakan untuk mengendalikan beban listrik melalui modul relay. Pengoperasian tombol dilakukan menggunakan fitur layar sentuh (*touch screen*) yang tersedia pada DWIN Display. Ketika tombol kontrol

disentuh, status beban yang semula bertuliskan OFF dengan indikator berwarna merah akan berubah menjadi ON dengan indikator berwarna hijau, menandakan bahwa relay telah aktif dan beban dalam kondisi menyala. Sebaliknya, ketika tombol disentuh kembali, status akan berubah dari ON menjadi OFF, yang menunjukkan bahwa relay tidak aktif dan beban dalam kondisi mati.



Gambar 7. Tampilan layar HMI display

### Kalibrasi sensor tegangan

Proses kalibrasi sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor ZMPT101B yang diproses oleh ESP32 dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur standar, yaitu **voltmeter digital**. Tujuan kalibrasi ini adalah untuk memperoleh faktor kalibrasi yang mampu menghasilkan nilai pengukuran tegangan yang lebih akurat. Pada pengujian awal, program dijalankan dengan nilai **faktor kalibrasi (Vcal)** sebesar **83,3**. Hasil pembacaan yang ditampilkan pada Serial Monitor menunjukkan nilai tegangan sebesar **205 Volt**, sedangkan hasil pengukuran menggunakan voltmeter menunjukkan nilai tegangan sebesar **221 Volt**. Karena terdapat selisih pengukuran, maka faktor kalibrasi perlu dihitung kembali menggunakan persamaan:

$$Vcal\ baru = Vcal\ lama \times \frac{V_{ref}}{V_{sensor}}$$

- Vcal baru = Nilai kalibrasi baru
- Vcal lama = nilai kalibrasi lama
- Vref = teg. pengukuran voltmeter
- V sensor = Teg. Pembacaan sensor

$$Vcal\ baru = 83.3 \times \frac{221}{205}$$

$$Vcal\ baru = 89.80$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai faktor kalibrasi baru sebesar **89,80** yang kemudian digunakan pada program ESP32 untuk meningkatkan akurasi pembacaan tegangan. Setelah nilai kalibrasi diperbarui, dilakukan pengujian ulang hingga hasil pembacaan sensor mendekati nilai yang ditunjukkan oleh voltmeter sebagai alat ukur referensi.

### Kalibrasi Sensor Arus

Selain sensor tegangan, proses kalibrasi juga dilakukan pada **sensor arus SCT-012** untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat. Pada pengujian awal, nilai faktor kalibrasi (**Ical**) yang digunakan dalam program adalah **0,15**. Dengan nilai tersebut, sensor menghasilkan pembacaan arus sebesar **0,15 A**. Selanjutnya, hasil pengukuran sensor dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan **amperemeter** sebagai alat ukur referensi. Berdasarkan hasil pengukuran, ampere meter menunjukkan nilai arus sebesar **0,245 A**. Karena terdapat selisih antara hasil pembacaan sensor dan alat ukur referensi, maka perlu dilakukan perhitungan ulang faktor kalibrasi menggunakan persamaan berikut:

$$Ical\ baru = Ical\ lama \times \frac{I_{ref}}{I_{sensor}}$$

- Ical baru = Nilai kalibrasi baru
- Ical lama = nilai kalibrasi lama

- Iref = Arus pengukuran voltmeter
- I sensor = Arus Pembacaan sensor

$$I_{cal\ baru} = 0.15 \times \frac{0.245}{0.15}$$

$$I_{cal\ baru} = 0.245$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai faktor kalibrasi baru sebesar **0,245**. Nilai ini kemudian digunakan pada program ESP32 untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor arus SCT-012. Setelah faktor kalibrasi diperbarui, dilakukan pengujian ulang untuk memastikan bahwa nilai arus yang ditampilkan oleh sistem telah mendekati hasil pengukuran amperemeter sebagai alat ukur referensi.

### Pengujian Beban

Pengujian beban dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dalam mengendalikan beban listrik melalui HMI DWIN Display dan modul relay serta untuk mengamati perubahan parameter kelistrikan yang terukur oleh sistem. Pada pengujian ini digunakan tiga kanal relay yang masing-masing terhubung dengan beban listrik yang berbeda. Pengendalian beban dilakukan melalui tombol ON/OFF pada HMI DWIN Display, kemudian diamati apakah relay dan beban yang terhubung dapat bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan.



Gambar 8. Pengujian Media pembelajaran menggunakan beban

## PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan setiap beban secara individual maupun secara bersamaan. Ketika tombol ON pada HMI diaktifkan, relay yang bersesuaian akan aktif sehingga beban menyala. Sebaliknya, ketika tombol OFF dipilih, relay akan nonaktif dan beban akan mati. Hasil pengujian kendali beban ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pengujian tombol on/off

| Kendali beban 1 | Kendali beban 2 | Kendali beban 3 | Beban 1 | Beban 2 | Beban 3 |
|-----------------|-----------------|-----------------|---------|---------|---------|
| On              | Off             | Off             | Menyala | Mati    | Mati    |
| Off             | On              | Off             | Mati    | Menyala | Mati    |
| Off             | Off             | On              | Mati    | Mati    | Menyala |
| On              | On              | Off             | Menyala | Menyala | Mati    |
| Off             | On              | On              | Mati    | Menyala | Menyala |
| On              | On              | On              | Menyala | Menyala | Menyala |
| Off             | Off             | Off             | Mati    | Mati    | Mati    |

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, seluruh relay dapat merespons perintah yang diberikan melalui HMI DWIN Display dengan baik. Tidak ditemukan kondisi kesalahan kendali selama proses pengujian, sehingga sistem dinyatakan mampu menjalankan fungsi kontrol beban sesuai dengan rancangan.

Selain pengujian fungsi kendali, dilakukan juga pengujian terhadap perubahan nilai tegangan, arus, dan daya pada beberapa kombinasi beban. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memonitor parameter kelistrikan saat terjadi perubahan beban yang terhubung pada instalasi. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian secara keseluruhan

| Beban 1       | Beban 2       | Beban 3 | Tegangan (Volt) | Arus (A) | Daya (Watt) |
|---------------|---------------|---------|-----------------|----------|-------------|
| Lampu 10 watt | -             | -       | 221.2           | 0.100    | 22,12       |
| -             | Lampu 19 watt | -       | 221.2           | 0.165    | 36,498      |
| Lampu 10 watt | Lampu 19 watt | -       | 221.2           | 0,245    | 54,194      |
| -             | -             | Setika  | 221.2           | 1,693    | 374,4916    |
| -             | -             | Solder  | 221.2           | 0,193    | 42,6916     |
| Lampu 10 watt | Lampu 19 watt | Setika  | 221.2           | 1,832    | 405,2384    |
| Lampu 10 watt | Lampu 19 watt | Solder  | 221.2           | 0,354    | 78,3048     |

Beban yang digunakan dalam pengujian terdiri dari lampu LED 10 watt, lampu LED 19 watt, solder 45 watt, dan setrika listrik. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai tegangan yang terbaca relatif stabil pada angka 221,2 volt untuk seluruh variasi beban. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan beban yang diberikan tidak menyebabkan perubahan tegangan yang signifikan pada sumber listrik.

Pada saat lampu 10 watt dinyalakan, sistem membaca arus sebesar 0,100 A dengan daya sebesar 22,12 watt. Ketika lampu 19 watt digunakan, arus yang terukur sebesar 0,165 A dan daya sebesar 36,50 watt. Sementara itu, pada beban solder 45 watt diperoleh nilai arus sebesar 0,193 A dengan daya sebesar 42,69 watt. Untuk beban setrika listrik, sistem mencatat arus sebesar 1,693 A dan daya sebesar 374,49 watt, yang merupakan nilai terbesar dibandingkan beban tunggal lainnya.

Ketika beberapa beban dioperasikan secara bersamaan, nilai arus dan daya yang terukur mengalami peningkatan sesuai dengan penambahan beban. Kombinasi lampu 10 watt dan lampu 19 watt menghasilkan arus sebesar 0,245 A dan daya sebesar 54,19 watt. Adapun kombinasi lampu 10 watt, lampu 19 watt, dan solder menghasilkan arus sebesar 0,354 A dengan daya sebesar 78,30 watt.

Nilai arus dan daya tertinggi diperoleh pada saat lampu 10 watt, lampu 19 watt, dan setrika listrik dinyalakan secara bersamaan, yaitu arus sebesar 1,832 A dan daya sebesar 405,24 watt. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu mendeteksi perubahan parameter kelistrikan secara real-time sesuai dengan variasi dan jumlah beban yang terhubung. Semakin besar beban yang digunakan, maka semakin besar pula arus dan daya yang terukur, sedangkan nilai tegangan cenderung tetap stabil. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat digunakan untuk memantau konsumsi energi listrik pada instalasi rumah tangga secara efektif dan akurat.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, media pembelajaran kontrol peralatan elektronik berbasis ESP32 dengan HMI Display dan energy meter berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan rancangan. Sistem mampu mengendalikan tiga beban listrik melalui antarmuka layar sentuh pada HMI DWIN Display serta menampilkan parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, dan daya secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh relay dapat merespons perintah ON/OFF dengan baik tanpa terjadi kesalahan kendali. Selain itu, sistem monitoring mampu mendeteksi perubahan nilai arus dan daya pada berbagai kombinasi beban yang digunakan. Nilai tegangan yang terukur relatif stabil pada 221,2 volt, sedangkan nilai arus dan daya meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang terhubung. Nilai arus dan daya terbesar diperoleh pada kombinasi lampu 10 watt, lampu 19 watt, dan setrika listrik, yaitu sebesar 1,832 A dan 405,24 watt. Dengan demikian, media pembelajaran yang dikembangkan dapat digunakan sebagai sarana praktikum yang interaktif untuk membantu siswa dan mahasiswa memahami konsep pengukuran serta pengendalian peralatan listrik secara langsung. Integrasi ESP32, HMI Display, dan sensor pengukuran listrik memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih aplikatif, sehingga dapat meningkatkan pemahaman terhadap konsep kelistrikan dan sistem kontrol modern.

### REFERENSI

- Adila, A. F., Faizin, S., Absi, A., & Fahmi, M. A. (2025). SNTE-FORTEI IoT Based Real-Time Monitoring Kubikel Tegangan Menengah di Terminal Peti Kemas. *SNTE-FORTEI*, 272–281.
- Amri, C. C., & Rozak, O. A. (2025). *Penerapan Desain Monitoring Hasil Produksi Menggunakan Hmi Dan Plc Omron Cpl Pada*. 13(1).
- Asih Indartiwi1, Julia Wulandari2, T. N. (2020). PERAN MEDIA INTERAKTIF DALAM PEMBELAJARAN DI ERA REVOLUSI INDUSTRI 4.0. *Prosiding Konferensi Pendidikan Nasional "Strategi Dan Implementasi Pendidikan Karakter Pada Era Revolusi Industri 4.0"* ISSN:, 28–31.
- Febrianti, V. P., Permata, T. A., Humairoh, M., & Putri, O. M. (2021). Analisis Pengaruh Perkembangan Teknologi Pertanian Di Era Revolusi Industri 4 . 0 Terhadap Hasil Produksi Padi Analyze The Impact Of Technological Development In The Industrial Revolution 4 . 0 On Rice Production. *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(2), 54–60.

- Fiqih, H. I., & Yangindrajat, D. (2025). Pembuatan Media Pembelajaran Smart Building Control Berbasis IoT dengan KKA Menggunakan ESP32. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Nasional Widyaaiswara*, 335–351.
- Firdaus, M. H., Pratama, F. G., Al-azhari, A. H., Semarang, U. N., & Semarang, K. (2026). SMART ENERGY MONITORING & LOAD CONTROL BERBASIS IOT DAN FUZZY LOGIC. *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, 14(1), 1607–1627.
- Jasman, Saragih, P., Sholeha, D., Ulina, S., Sinaga, J., & Tarigan, K. (2025). Penerapan Media Pembelajaran Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan ESP32. *Impression: Jurnal Teknologi Dan Informas*, 4(3), 297–306.
- Kusumah, H., Pradana, R. A., Studi, P., Komputer, S., & Raharja, U. (2019). Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler Dan Internet Of Things Berbasis Esp32 Pada Mata Kuliah Interfacing. *Cerita*, 5(2), 120–134.
- Mukhaiyar, R. (2024). Implementation of Outseal PLC for Monitoring kWh Meters Digital in the Commercial Sector Using Android-Based HMI. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 5(2), 431–442.
- Pramudita, R., & Ardiansyah, N. P. (2021). RANCANG BANGUN ALAT MONITORING DAYA DENGAN HMI BERBASIS ARDUINO UNO SEBAGAI OPC. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, 7(2), 120–127.
- Prasetya, A. K. (2025). RANCANG BANGUN KEAMANAN SEPEDA MOTOR IOT DENGAN BIOMETRIK, GPS, DAN KENDALI KUNCI STANG VIA SMARTPHONE. *JITET (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, 13(3), 241–254.
- Pratama, R. P. (2022). Rancang Bangun Alat Pengukur Data Kelistrikan dengan Aplikasi Android MQTT Dash. *Elektriese: Jurnal Sains Dan Teknologi Elektro*, 12(01), 63–72.
- S, J. K. D., A, M. N. I. R., & Prebianto, N. F. (2025). ESP32-Based Smart Storage System with Fingerprint and HMI Integration for Workspaces. *Journal Of Applied Electrical Engineering*, 9(1), 20–27.
- Satria, F. (2021). Pengembangan Trainer Self Balancing Robot Berbasis Esp 32 Sebagai Media Pembelajaran Pada Mata Pelajaran Pengendali Sistem Robotik Di Smkn 1 Tambelangan. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 10(03), 1–9.
- Waluyo, B. D., S, M. A. R., Sinaga, N., Lubis, A. A., Verina, S., & Tarigan, B. (2024). Sistem Monitoring Plts Berbasis Iot Sebagai Media Pembelajaran. *Jurnal TIK Dalam Pendidikan*, 11(1), 21–26.
- Yuli Prasetyo, B. T. (2024). Desain Human Machine Interface (HMI) Pada Sistem Pencetak Genteng Otomatis. *Jurnal JEETech Journal Of Electrical Engineering And Technology*, 5(1), 70–78.