

Smart Power Consumption Monitoring Menggunakan ESP32 dan Modul PZEM-004T

Bima Adinata Namara (2006574566), Muhammad Brian Na'iman Hadi (2006574534)

Kelompok 24

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia

Jawa Barat – 16424, Indonesia

namarabima03@gmail.com, muhammadbrian.nh@gmail.com

Abstrak – Revolusi industri 4.0 menjadikan perkembangan teknologi semakin pesat sehingga dapat membuat semua pengaksesan informasi menjadi sangat mudah dicapai secara instan. Salah satu pilar utama yang mendasari perkembangan teknologi hingga saat ini semuanya serba digital dan berbasis IoT. Pada proyek sistem benam kali ini dibuat dengan menggabungkan perangkat mikrokontroler ESP 32 dan sensor PZEM004T berbasis IoT. Proyek ini dirancang memiliki tujuan sebagai salah satu solusi alternatif bagi semua orang supaya dapat memonitoring berapa tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, dan energi yang terpakai pada beban – beban listrik di tingkat rumah secara realtime dan proses monitoring dapat dilakukan hanya dengan memerlukan internet dimanapun dan kapanpun pengguna berada.

Pada proyek sistem benam ini memanfaatkan aplikasi pemrograman Arduino IDE untuk memproses input pada tiap tiap komponen maupun aktuatornya agar menghasilkan suatu output sesuai dengan apa yang kita inginkan. Dalam cara kerjanya, mikrokontroler akan diberi sumber DC 5V untuk menyuplai arus pada sensor PZEM004T sehingga sensor ini akan melakukan deteksi besar arus, tegangan, daya listrik, dan energi listrik yang terkonsumsi pada suatu beban, kemudian akan mengirimkan sinyal hasil pengukuran tersebut ke mikrokontroler ESP 32 yang akan ditampilkan melalui LCD ketika RFID reader berhasil mendeteksi RFID tag yang digunakan. Selain itu, data parameter listrik juga akan dapat dilihat melalui web server sehingga pengguna atau user dapat melihat dan memonitoring seberapa besar penggunaan konsumsi listrik di rumah dengan jarak jauh. Pada sistem ini juga terdapat relay yang dapat digunakan sebagai pemutus arus otomatis apabila energi listrik pada beban yang digunakan sudah melebihi batas. Sistem ini juga memiliki fitur lain berupa sistem pengingat seperti alarm, dengan menggunakan buzzer, yang akan berbunyi ketika penggunaan energi listrik telah melebihi batas. Bahkan, sistem juga mengimplementasikan penggunaan LED dengan tujuan sebagai indikator konsumsi daya dan energi masih dalam rentang aman atau tidak.

Kata Kunci : Mikrokontroler ESP32, Sensor PZEM004T, RFID, Buzzer, Pengukuran Konsumsi Listrik, Sistem Automasi, ArduinoIDE

Tabel Spesifikasi Instrumen

Tabel 1. Spesifikasi Instrumen

Nama Instrumen	<i>SPOWCOM V1.0</i>
Fitur yang digunakan	<ol style="list-style-type: none">1. <i>External interfacing</i>2. <i>Multi-tasking</i>3. <i>Webserver</i>4. <i>Nonvolatile storage</i>5. <i>PWM signal</i>6. <i>WiFi (ESP Now Interaction without mobile application)</i>
Kontribusi anggota	<p>Bima Adinata Namara:</p> <ul style="list-style-type: none">• Membuat source code Arduino IDE• Membuat rangkaian skematik dan diagram alir• Membuat source code web server• Merangkai I/O instrument• Membuat laporan <p>Muhammad Brian Na'iman Hadi:</p> <ul style="list-style-type: none">• Membuat source code Arduino IDE• Membuat rangkaian skematik dan diagram alir• Membuat source code web server• Merangkai I/O instrument• Membuat laporan
Biaya Instrumen	Rp291.550
Link Video	https://youtu.be/Iy8lfA2kAAQ

1. Instrumen dalam Konteks

Instrumen proyek yang dibuat pada mata kuliah Sistem Benam 2 ini memanfaatkan mikrokontroler yang pada dasarnya hanya menggunakan ESP32 Devkit V1 yang disambungkan dengan perangkat sensor berupa PZEM004T sebagai sistem monitoring nilai tegangan, arus, faktor daya, daya aktif, dan energi yang kita pakai dalam kehidupan sehari-hari. Proyek ini juga dilengkapi LCD yang dapat memberikan keterangan berapa besar tegangan dan arus yang terbaca ketika ada beban yang dicolokkan secara langsung ke stopkontak.

Ada juga parameter yang dapat dijadikan sebagai pengingat yaitu LED dan buzzer sebagai output dari suatu sistem analog yang ada. Jika proyek ini dibandingkan pada berbagai *marketplace*, maka akan jauh lebih ekonomis daripada produk yang telah ada di pasaran. Akan tetapi, fitur fitur

yang dimiliki pastinya tidak selengkap yang ada di pasaran, akan ada fitur yang dikurangi. Keuntungannya dalam pembuatan proyek ini yaitu kita bisa menambah fitur apa saja sesuai dengan keinginan kita, bahkan bisa jadi fitur selengkap di pasaran dapat dikalahkan dengan melalui pembuatan proyek ini.

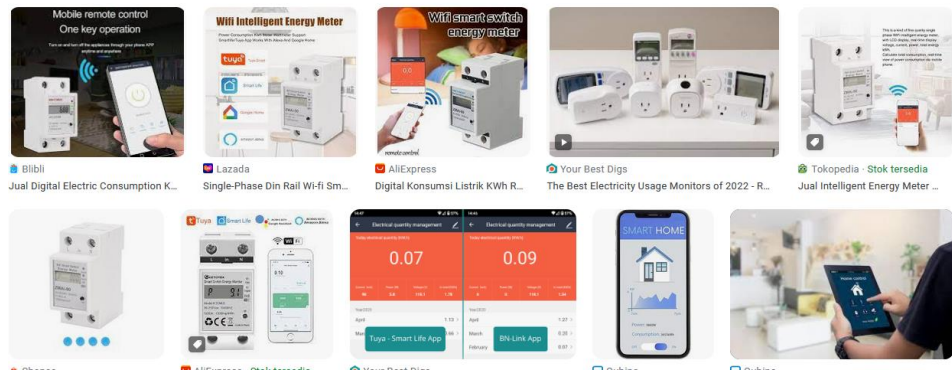
Pada umumnya, sistem monitoring serupa yang biasa kita lihat di rumah rumah akan menggunakan listrik yang berasal dari PLN. Sebenarnya, jika dilihat dari segi penggunaannya, proyek ini sudah sama dengan yang ada di pasaran secara *personal*. Ada banyak sekali produksi proyek ini yang mirip mirip mulai dari segi fisik hingga non fisiknya. Hanya saja, penambahan fitur yang berbeda dari segi pasaran akan lebih baik. Adapun barang yang menyerupai proyek ini yaitu *smart meter* dari PLN yang banyak tersedia di berbagai *e-commerce*. Berdasarkan data dari berbagai macam *marketplace* online yang sudah kita riset, harga yang serupa dengan proyek Sistem Benam 2 kita kurang lebih berkisar Rp900.000 hingga Rp1.500.000 yang dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 1. Harga Smart kWh Meter yang Tersebar di Berbagai Macam Marketplace [1]

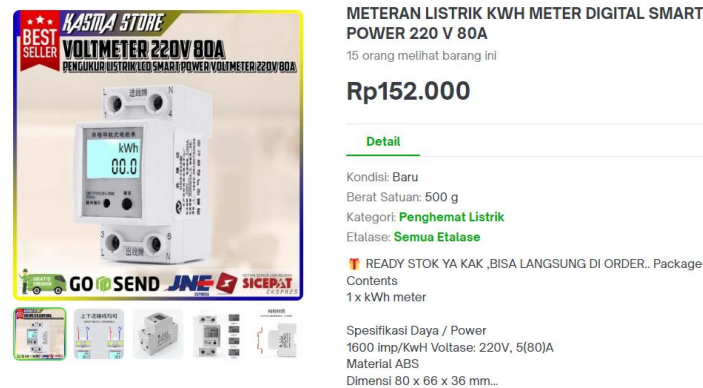
Dari data yang telah dihimpun di atas, harga tergolong relatif mahal, ditambah lagi ongkos kirim yang sejatinya akan cukup mahal apabila dikirim dari luar negeri. Dari segi penggunaannya sendiri pun tergolong cukup ribet dimana *user* diharuskan melakukan pemotongan kabel untuk mencari berapa nilai arus yang terukur dalam rumah kita sehingga hal ini dapat menjadikan instrumen serupa memiliki sifat invasif.

Selain itu, penggunaan instrumen di berbagai macam *marketplace* yang sudah dijelaskan di atas tidak menutup kemungkinan bahwa adanya keterbatasan fitur tertentu dan tidak dapat dilakukan modifikasi seperti *user* hanya dapat menggunakan instrumen untuk melihat seberapa banyak konsumsi daya secara realtime dengan menggunakan aplikasi yang telah disediakan oleh produsen.



Gambar 2. Smart Power Meter Consumption yang Tersebar di Pasaran

Keterangan tipe alarm dan fitur pengaksesan melalui internet (*Internet of Things*) pada instrumen ini juga tidak diberitahu sehingga akan sangat sulit bagi *user* ketika hendak menggunakannya padahal sistem ini dirancang untuk tetap dapat mengukur suatu energi, daya, arus, tegangan secara realtime yang outputnya tersedia di web server dan LCD.



Gambar 3. Smart Meter Tanpa Menggunakan Internet [2]

Adapun perangkat instrumen lain seperti pada gambar di atas dengan bentuk dan ciri khas kegunaan yang sama pada instrumen sebelumnya. Hanya saja kekurangan pada instrumen yang baru ini tidak dapat diaplikasikan menggunakan IoT (*non Internet of Things Device*) sehingga dari sinilah penampilan ataupun display hanyalah sebatas melalui LCD. Dalam melakukan penampilan seberapa besar arus yang digunakan, maka akan tetap dilakukan pemotongan kabel sehingga akan lebih invasif dalam pengukurannya.

2. Deskripsi Instrumen

Pada proyek akhir mata kuliah sistem benam-2 ini, kami membuat sebuah sistem bernama *SPOWCOM V1.0*. Pada dasarnya, instrumen ini dapat berfungsi sebagai alat pengukur parameter listrik pada beban – beban listrik di lingkungan rumah, seperti tegangan, arus, daya listrik, dan energi yang terpakai. Instrumen ini juga akan berfungsi sebagai alarm ketika pemakaian daya dan energi melebihi batas normal pemakaian listrik yang telah terpakai. Selain itu, pada kondisi tersebut, arus listrik juga akan terputus karena pengaruh komponen relay sehingga tidak ada arus yang dialirkan

menuju beban – beban listrik. Dengan kata lain, ketika terjadi *overload*, sistem akan melakukan *tripping* secara otomatis menggunakan relay yang telah terhubung. Instrumen ini disusun oleh beberapa komponen elektronika, yaitu ESP32 DevKit V1, sensor PZEM-004t, modul RFID, dan 3 aktuator yaitu LCD 16 X 2, Relay, buzzer, dan 3 LED (merah, kuning, dan hijau). Selain itu, kondisi – kondisi hasil pengukuran parameter listrik akan diukur secara *real time* dan dapat dipantau melalui web server.

Di dunia pasaran, telah terdapat alat yang memiliki fungsi seperti yang kami buat ini, Namun, pada umumnya, alat yang telah ada di pasaran menggunakan sensor arus ACS712 dan sensor DHT dan dilakukan pemantauan melalui aplikasi blynk [3]. Oleh sebab itu, pada proyek ini kami menggunakan sensor PZEM-004t karena *wiring*-nya lebih efisien sebab tidak perlu memotong kabel yang dipasang secara seri sehingga dinilai lebih baik dan lebih ramah terhadap kondisi *existing*. Selain itu, sensor PZEM-004t juga memiliki kelebihan yaitu mampu mengukur arus, tegangan, daya, dan energi secara *real time*. Kemudian, pada alat yang sering dibuat, pemantauan kondisi hasil pengukuran dilakukan menggunakan aplikasi Blynk. Aplikasi ini menjadikan penggunaan kurang fleksibel ketika kita ingin terhubung dengan jaringan lain. Oleh sebab itu, kami mengembangkan instrumen ini agar dapat dilakukan melalui web server. Pada web server yang kami rancang dapat menampilkan hasil penggunaan energi listrik yang terpakai di beban listrik dan grafik – grafik dari masing – masing parameter listrik, yaitu grafik arus, grafik tegangan, grafik daya, dan grafik energi. Dari grafik – grafik tersebut, kita dapat gunakan sebagai dasar pengontrolan dalam pemakaian alat listrik di lingkup rumah, seperti setrika, *rice cooker*, kipas angin, dll.

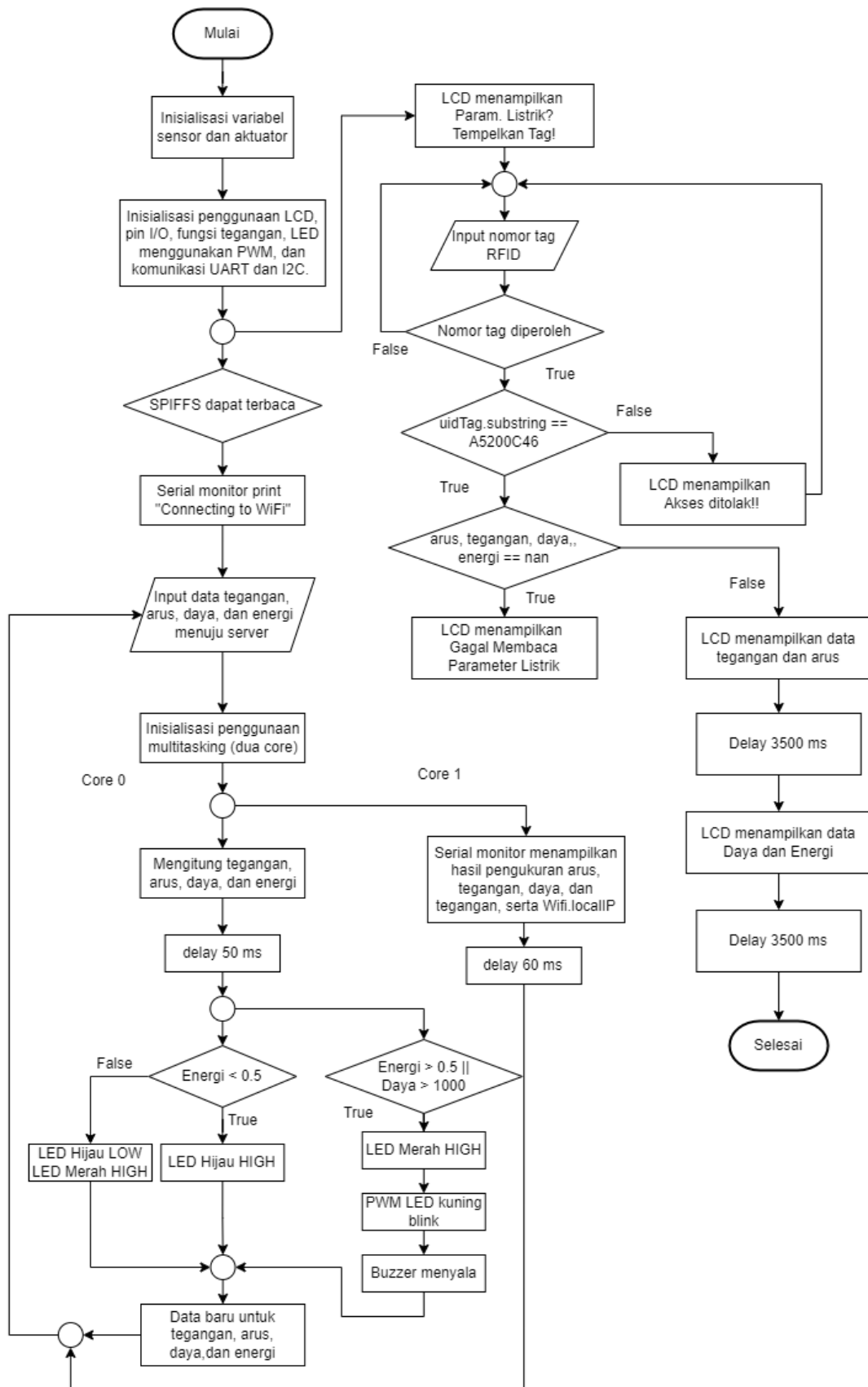
Dari berbagai macam produk yang ada di pasaran yang telah dijelaskan sebelumnya dan pada poin 1 (instrumen dalam konteks), kami menyimpulkan beberapa permasalahan, yaitu sebagian besar smart kWh meter memiliki harga yang cukup mahal (untuk kWh meter yang murah kurang memiliki fitur automasi dan tidak berbasis Iot), tidak ada smart kWh meter yang menggunakan web server dalam proses monitoringnya, tidak ada sistem automasi pemutus arus ketika terjadi *overload*, dan tidak ada sistem sekuritas guna menjaga privasi pemanfaatan listrik di tingkat rumah. Oleh sebab itu, instrumen yang kami ajukan ini akan menjadi solusi dari permasalahan tersebut. Instrumen yang kami buat, *SPOWCOM V1.0*, akan memiliki sistem berbasis IoT dengan harga yang relatif murah, yaitu Rp291.550. Selain itu, pada instrumen ini akan memiliki relay [4] yang dapat berfungsi sebagai pemutus aliran arus ketika penggunaan daya dan energi yang terpakai untuk penggerak beban melampaui batas, sekaligus dilengkapi dengan pengecekan RFID card ketika ingin melihat pada tampilan LCD sehingga hanyalah *user* (dalam hal ini pemilik rumah) yang hanya dapat melihat hasil pengukuran parameter listrik. Dengan begitu, ada beberapa manfaat yang dapat dirasakan user melalui penggunaan instrumen ini, yaitu :

- Mempermudah monitoring keadaan pemakaian listrik harian.
- Membantu manajemen *user* dalam pemakaian listrik agar kredit listrik dari PLN tidak cepat habis.

- Monitoring pemakaian listrik dapat dilakukan dimana saja dan kapan saja.
- Adanya automasi pemutusan arus listrik ketika overload sehingga dapat membantu proses penghematan.

Perangkat lunak yang dipakai untuk membantu proses desain dari instrumen ini yaitu Arduino IDE (untuk meng-*compile* dan meng-*upload* kode yang dirancang menuju mikrokontroler) dan Visual Studio Code untuk membantu membuat web server untuk membuat HTML, CSS, dan JavaScript.

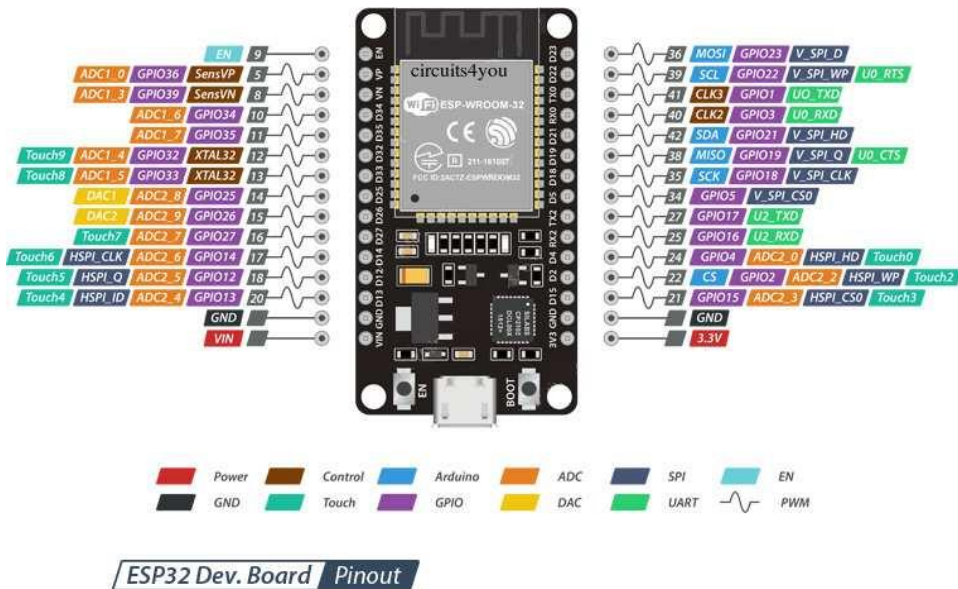
Berikut diagram alir dari cara kerja instrumen IOT-based Smart Power Consumption Monitoring System Using ESP32 and PZEM004T Sensor.



Gambar 4. Flowchart Cara Kerja Instrumen

Berikut ini merupakan penjelasan cara kerja dari masing – masing komponen yang digunakan sebagai penyusun instrumen ini

2.1. ESP32 DEVKit V1



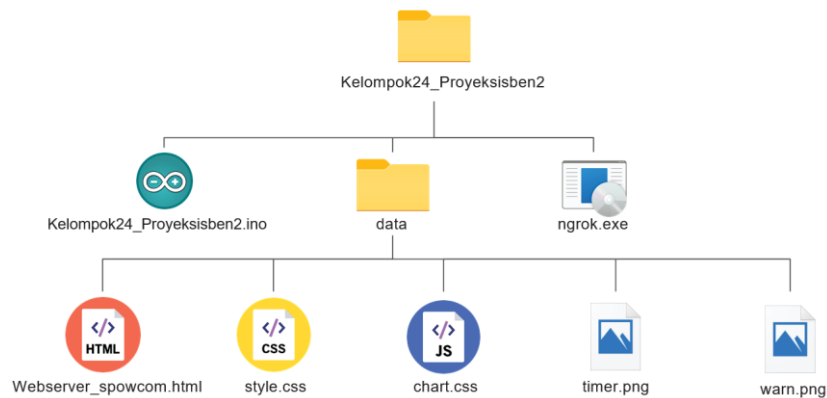
Gambar 5. Pinout ESP32 (dengan 30 GPIOs)

➤ Penjelasan Cara Kerja

ESP 32 pada instrumen ini akan berfungsi sebagai mikrokontroler dan bersifat open source. Perangkat ini akan menjadi otak pada instrumen dengan mengambil input dari sensor PZEM-004t dan RFID module. Kemudian, nilai dari input sensor tersebut akan dihubungkan menuju aktuator yang digunakan, seperti display LCD, buzzer dan LED 3 warna. Selain itu, pada instrumen ini, perangkat ESP32 akan dihubungkan dengan koneksi WiFi untuk keperluan web server [5][6]. Komunikasi I2C juga diimplementasikan untuk penghubungan actuator, yaitu dengan LCD 16 X 2. Komunikasi serial diimplementasikan ketika perolehan data dari sensor PZEM-004t sehingga dapat terlihat di *serial monitor* di Arduino IDE. Selain itu, ESP32 memiliki core yang jumlahnya lebih dari 1 [7]. Hal ini tersebut dijadikan pedoman sehingga pada instrumen yang kami buat dapat menerapkan metode multitasking. Pada instrumen ini akan menggunakan 2 core, core pertama berfungsi untuk proses perhitungan parameter listrik, seperti arus, tegangan, daya, dan energi listrik terpakai, lalu mengirimkan sinyal hasil pengukuran tersebut menuju actuator yang dijadikan indikator keadaan pengukuran beban listrik yang terukur, yaitu LED dan buzzer. Kemudian, core kedua berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran parameter listrik dan ip address local WiFi (ketika proses autentikasi RFID tidak berhasil) di serial monitor.

Penggunaan WiFi, pada ESP32 yang terhubung dengan web server akan melibatkan memori flash yang ada yaitu SPIFFS. Penyimpanan file ini digunakan untuk membaca,

menulis dan menghapus file dalam memori dengan komunikasi serial. Karena komunikasi serial pada ESP32 dapat lebih dari 1, sehingga hal ini dapat dilakukan. Selanjutnya kegunaan SPIFFS ini untuk menyimpan file yang akan dihosting kedalam web server menggunakan local WiFi yang ada. Oleh sebab itu, penggunaan library SPIFFS dan ESPAsyncWebServer [8] harus dimasukkan dalam source code di Arduino IDE. Penggunaan setiap file yang disimpan dalam SPIFFS juga harus berlokasi pada folder data di sketch ino yang ada. Selain itu, karena web server akan dilakukan tunneling dengan broker ngrok sehingga file exenya juga harus digabungkan pada folder bersamaan dengan file .ino. Berikut ilustrasi penempatan file untuk menjalankan instrumen ini.



Gambar 6. Penempatan File – File Source Code untuk Non-Volatile ESP32

2.2. Modul PZEM-004T



Gambar 7. Sensor PZEM-004t

➤ Penjelasan Cara Kerja

PZEM-004T merupakan modul sensor yang memiliki fungsi untuk mengukur faktor – faktor atau parameter listrik, misalnya arus, tegangan, daya terpakai, dan energi terkonsumsi [9]. Proses *wiring* dari modul PZEM-004T ini memiliki 2 macam, yaitu *wiring* terminal masukan tegangan dan arus, serta pengkabelan komunikasi serial. Dengan begitu, komunikasi serial tersebut dilakukan oleh UART yang diibaratkan sebagai hubungan komunikasi ESP32 ke sensor dengan melalui 2 kabel yaitu TS dan RX yang

terpasang secara terpisah [9][10]. Selain itu, kebutuhan tegangan input yang bernilai 5 Volt bisa didapatkan melalui pin Vin ESP32. Penggunaan modul ini disebabkan karena memiliki akurasi yang tinggi (persentase kesalahan 0.5% - 1%), pengukuran dapat digunakan untuk berbagai macam parameter, parameter terukur dapat di-*reset* dan di-*kalibrasi*, dan penggunaan kabel yang sedikit untuk penghubungan ke ESP32.

2.3. RFID Module



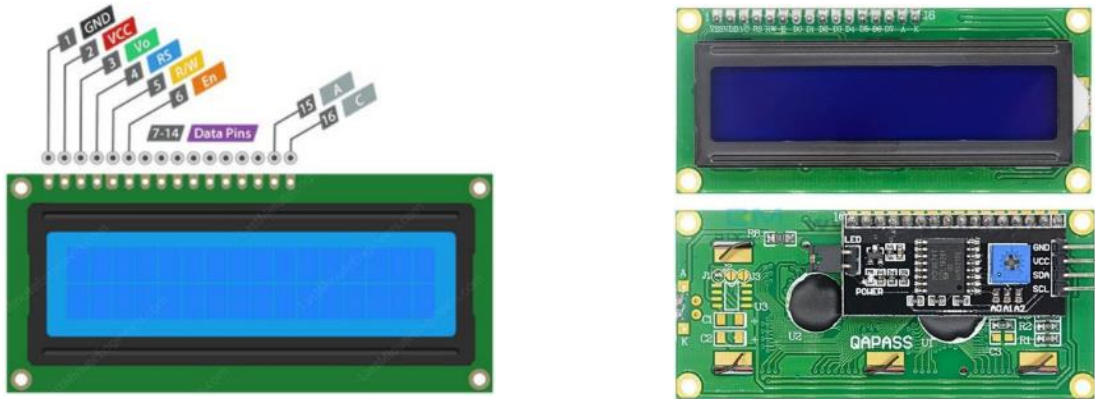
Gambar 8. RFID Module

➤ Penjelasan Cara Kerja

RFID (*radio-frequency identification*) merupakan metode untuk pembacaan data secara otomatis dengan penggunaan gelombang radio berdaya rendah [11]. Modul RFID akan meng-*encode*-kan seluruh informasi yang terdapat di dalam tag atau biasa disebut UID (*unique identifier*) [11]. Pengaplikasian modul RFID ini pada instrumen ini yaitu untuk sistem keamanan dan privasi agar hasil pengukuran parameter listrik hanya dapat dilihat pengguna (dalam hal ini yaitu pemilik rumah). Kemudian, instrumen sensor RFID pada instrumen ini menunjukkan hasil yang cukup baik dalam membaca dan mengirimkan data ke ESP32 (untuk keperluan validasi) dan juga memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan sensor sejenis lain yang ada di pasaran. Modul ini akan dapat mulai bekerja dengan tegangan input sebesar 3.3 volt. Dengan, begitu, pin terminal VCC RFID Reader akan dihubungkan menuju pin Vin dari ESP32. Pada instrumen ini, akan menggunakan RFID Card 1 (yang memiliki uidTag.substring bernilai A5200C46) ketika ingin melihat tampilan hasil pengukuran di LCD 16 X 2. Dengan begitu,

pengecekan hasil pengukuran di LCD yang menggunakan RFID Tag Card selain 1, maka tampilan di LCD menjadi “akses ditolak!!”.

2.4. LCD 16 X 2 dengan I2C Module



Gambar 9. LCD 16 x 2 dengan I2C Module

➤ Penjelasan Cara Kerja

Instrumen LCD atau Liquid Crystal Display memiliki terminal yang terlalu banyak, yaitu 16 terminal, maka digunakan bantuan module I2C untuk mengefisienkan proses *wiring*-nya. Dengan kata lain, penggunaan modul I2C bersama dengan LCD akan menyebabkan penggunaan kabel menjadi lebih ringkas dari 16 kabel menjadi 4 kabel (SCK, SDA, VCC, GND). Dengan begitu, ESP32 dengan LCD 16x2 menggunakan jenis komunikasi I2C untuk proses kerjanya.

Penggunaannya harus menambahkan modul I2C pada rangkaian dengan tujuan efisiensi *wiring* menuju mikrokontroler ESP32. Oleh sebab itu, dalam *source code* harus ditambahkan penambahan *library* I2C di Arduino IDE sehingga komponen ini dapat bekerja dengan baik. Interkoneksi dari 4 pin itu yaitu dilakukan dengan menghubungkan pin TX modul I2C menuju pin RX di ESP32, dan menghubungkan pin RX modul I2C menuju pin TX di ESP32. Selain itu, untuk terminal GND dihubungkan dengan jalur ground dan terminal VCC dihubungkan ke jalur sumber vcc.

Pada pengaplikasian dalam instrumen ini, LCD akan menampilkan parameter listrik yang terukur. Parameter listrik yang terukur yaitu arus, tegangan, daya, dan energi. Pada proses tampilannya, akan terbagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama akan menampilkan nilai arus dan tegangan yang terukur, kemudian tahap kedua

akan menampilkan nilai daya dan energi yang terukur. Proses transisi antar tahap tersebut akan dikendalikan oleh fungsi delay.

2.5. LED



Gambar 10. LED

➤ Penjelasan Cara Kerja

LED atau biasa disebut sebagai *Light Emitting Diode* adalah komponen elektronika yang mampu melakukan pemancaran cahaya monokromatik ketika komponen tersebut di-*forward bias* [12]. LED menjadi produk dari pengolahan bahan semikonduktor, yang berupa dioda. Oleh sebab itu, warna yang dipancarkan LED akan bergantung dari jenis bahan semikonduktor penyusunnya [12]. Pemakaian LED ini bertujuan untuk efisiensi ekonomi karena cara kerja dari LED tidak memerlukan pembakaran filamen sehingga tidak mudah menghasilkan panas ketika memancarkan cahaya (meminimalisasi penggantian lampu indikator).

Pada pengaplikasian dalam instrumen ini, LED yang digunakan berjumlah 3 warna, yaitu merah, kuning, dan hijau. Indikator LED hijau akan mengindikasikan bahwa hasil pengukuran parameter listrik di instrumen masih dalam keadaan aman (daya yang terpakai kurang dari 1000Watt dan energi terkonsumsi kurang dari 0.5 kWh). Indikator LED kuning akan mengindikasikan kondisi ketika daya yang terpakai melebihi 1000 Watt. LED kuning ini akan bekerja berdasarkan PWM dan akan beroperasi dengan kedip – kedip (*blink LED*). Kemudian, indikator LED merah akan mengindikasikan kondisi ketika energi yang terkonsumsi telah melebihi 0.5 kWh.

2.6. Relay Module 1 Channel



Gambar 11. Relay Module 1 Channel

➤ Penjelasan Cara Kerja

Relay merupakan sebuah perangkat elektromekanis yang beroperasi dengan menggunakan arus listrik untuk membuka atau menutup switch. Relay yang menjadi instrumen pada instrumen ini digunakan untuk menutup dan membuka arus yang akan mempengaruhi kerja dari solenoid. Keadaan on dan off pada solenoid dikontrol dengan relay dengan arus masukannya akan diperoleh dari ESP32. Hal tersebut menyebabkan kinerja pengukuran oleh solenoid dapat dikendalikan.

Interkoneksinya dilakukan dengan menggunakan pin *normally open*. Dengan begitu, ketika relay ini dihubungkan dengan sumber listrik, maka switch akan menutup sehingga aliran arus dapat melewati solenoid yang kemudian akan terhubung dengan beban yang terukur. Kemudian, akan terdapat 2 macam jalur untuk interkoneksi pengukuran parameter listriknya, jalur 1 akan langsung dihubungkan ke sumber listrik. Jalur 2 akan dilewatkan solenoid dari sensor PZEM-004t (untuk proses pengukuran beban) yang dihubungkan menuju stop kotak yang nantinya menjadi tempat untuk peghubungan masing – masing percobaan untuk uji coba.

2.7. Buzzer



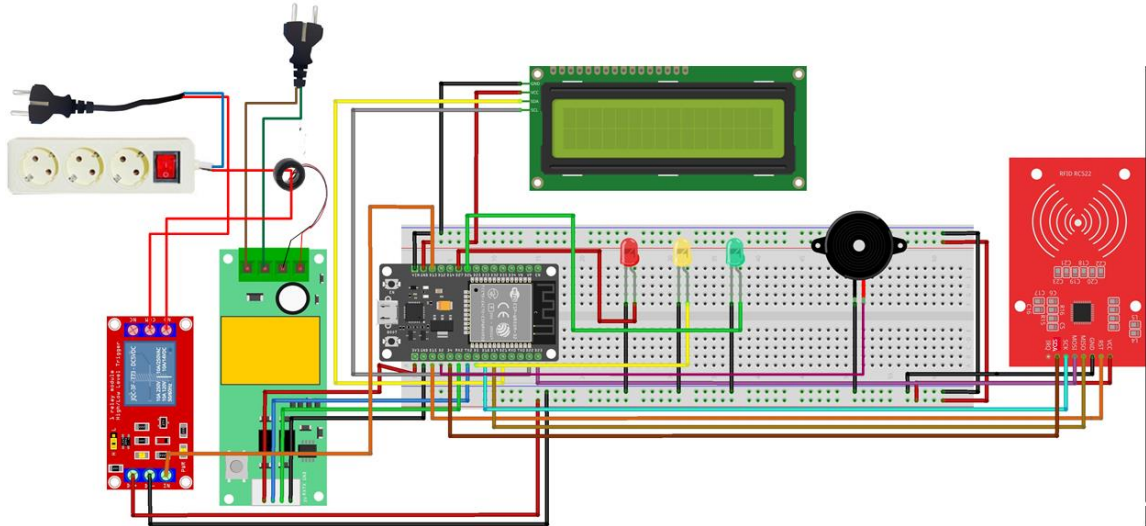
Gambar 12. Buzzer

➤ Penjelasan Cara Kerja

Buzzer merupakan komponen elektronika yang akan berfungsi menjadi aktuator bunyi. Buzzer yang digunakan adalah menggunakan input 5volt dari ESP32. Pada pengaplikasian dalam instrumen ini, buzzer akan menjadi indikator untuk faktor pemakaian energi. Output yang diberikan akan komponen ini pada instrumen yaitu akan menjadi alarm ketika energi

yang terpakai melebihi batas 0.5 kWh. Buzzer ini akan terus berbunyi hingga *user* melakukan reset pada sensor PZEM-004T.

2.8. Skematik Rangkaian



Gambar 13. Skematik Rangkaian SPOWCOM V1.0

2.9. Penjelasan Singkat Implementasi *Requirement Project* pada Kode dalam Arduino IDE

Untuk proses pembuatan pemrograman hardware atau instrumen yang kami buat, kami memanfaatkan perangkat lunak Arduino IDE. Aplikasi tersebut dapat digunakan untuk membuat kode dan membantu proses peng-*upload*-an kode yang telah dibuat ke perangkat keras mikrokontroler, dalam hal ini ESP32. Kemudian, aplikasi ini juga membantu untuk menghubungkan hardware menuju web server melalui koneksi local WiFi yang dipakai melalui penambahan *library* SPIFFS dan ESPAsyncWebServer.

Pada pemrograman ini, kami mengimplementasikan beberapa fitur utama sesuai dengan *project requirement* yang telah diberikan. Pada penghubungan hasil data dari ESP32 menuju web server, diperlukan upload file external guna memasukkan data web yang akan dihosting ESP32. Dengan begitu, instrumen ini memerlukan penggunaan SPIFFS yang akan menjadi memori *nonvolatile*. Pada instrumen ini, kami juga menerapkan pemanfaatan PWM. PWM ini kami implementasikan untuk membuat *blink LED* warna kuning. Sinyal PWM akan menentukan tingkat kecerahan LED secara bertahap sesuai input analog yang diberikan. *Blink LED* warna kuning ini akan menjadi indikator keadaan dari hasil pengukuran beban oleh instrumen ketika daya yang terpakai melebihi 1000 Watt. Kemudian, kami juga mengimplementasikan konsep *multitasking* agar perolehan data menjadi *real time*. Pada pemrograman ini, kami membuat multitasking dengan core sejumlah 2, yaitu core 0 dan core 1. Pada core 0 digunakan untuk perhitungan nilai hasil pengukuran modul PZEM-004t dan pengecekan kondisi hasil pengukuran tersebut. Dengan begitu, pada core ini juga akan

mempengaruhi kerja dari beberapa aktuator, yaitu LED dan Buzzer. Sementara itu, pada core 1 diimplementasikan untuk menampilkan hasil pengukuran parameter listrik di serial monitor.

2.10. Tuneling Web Server

Proses *tuneling* merupakan suatu proses untuk melewati data menuju lokasi lain. Dalam instrumen ini, diperlukan metode lain agar perangkat yang berbeda jaringan dapat mengakses web server yang telah disediakan oleh ESP32. Metode tersebut yaitu dengan menggunakan situs ngrok untuk membantu proses *tuneling*. Pemanfaatan ngrok ini cukup sederhana karena hanya melewati penggunaan web server pada ESP32 tanpa melakukan *port forwarding* pada lokal WiFi sehingga dapat dilakukan pengaksesan secara publik. Metode ini dapat dilakukan dengan menempatkan aplikasi ngrok bersamaan dengan lokasi file .ino dan folder penyusun web server.

3. File Desain

Nama file	Tipe file	Lokasi (direktori file)
Coding ESP32	.ino	https://drive.google.com/file/d/1ABOeIdtU-v1gZLDOKCnNegzOn8fug1qa/view?usp=sharing
Skematik Rangkaian	.jpg	https://drive.google.com/file/d/1M_oiaxsOxHsKeY9NJrrR0Jm4bKK1i86N/view?usp=sharing
Hasil Perancangan	.jpg	https://drive.google.com/file/d/1k5Kc8kheL59EKn5MOJ4hO3zbXBCODkIR/view?usp=sharing
ngrok	.exe	https://drive.google.com/file/d/1eiZgxqDbFX4Q1B7Bye8EoSfltjs3E6Z1/view?usp=sharing
<i>Pemrograman Web Server</i>		
Webserver_s powcom	.html	https://drive.google.com/file/d/1bJZVR9f_vJnwYfAR4WgwJDEaIGGEVFbE/view?usp=sharing
style	.css	https://drive.google.com/file/d/1HD6mNtPI6YUzONQMu_RGzE3OoJug_gJ0/view?usp=sharing
chart	.js	https://drive.google.com/file/d/1gLO5QQ70fV0McWOloiBFXGxoaDEf3oRN/view?usp=sharing
image	.png	https://drive.google.com/file/d/1RPX7fPv-WcARWY3Xmkkulz3xG35CIVQr/view?usp=sharing
timer	.png	https://drive.google.com/file/d/1pixOZ4yC8qYZhDB3iSFjaoNKrpg0TL2A/view?usp=sharing

4. Bill of Materials

<i>Designator</i>	Komponen	Jumlah	Biaya per unit	Total biaya	Sumber pembelian	Tipe material
ESP	ESP32	1	Rp70.000	Rp70.000	CNC Store Bandung	Mikrokontroler
PZEM	PZEM-004T	1	Rp105.000	Rp105.000	starlectric	Sensor
RFID	MRFC-522 RFID Module Card	1	Rp22.000	Rp22.000	CNC Store Bandung	Sensor
RELAY	Relay 1 Channel	1	Rp5.600	Rp5.600	CNC Store Bandung	Elektronik
LED	LED Red	1	Rp250	Rp250	rajacellbekasi	Semikonduktor
LED	LED Yellow	1	Rp250	Rp250	rajacellbekasi	Semikonduktor
LED	LED Green	1	Rp250	Rp250	raajcellbekasi	Semikonduktor
PIEZO	Buzzer Speaker Active	1	Rp1.400	Rp1.400	CNC Store Bandung	Aktuator
BREADBOARD	Breadboard 830 Tie Point	2	Rp11.900	Rp23.800	SNC Store Bandung	Project Board
LCD	LCD 1602 Char Blue Backlight with I2C Serial Interface Module	1	Rp32.900	Rp32.900	CNC Store Bandung	Aktuator
JUMPER	Jumper Kabel male to male	1 pack (40 pcs)	Rp11.400	Rp11.400	CNC Store Bandung	Metal
JUMPER	Jumper Kabel Male to Female	1 pack (10 buah)	Rp5.000	Rp5.000	CNC Store Bandung	Metal
BULB	Stop kontak 3 lubang	1	Rp13.588	Rp13.700	chinthomeelectronics	Elektronik

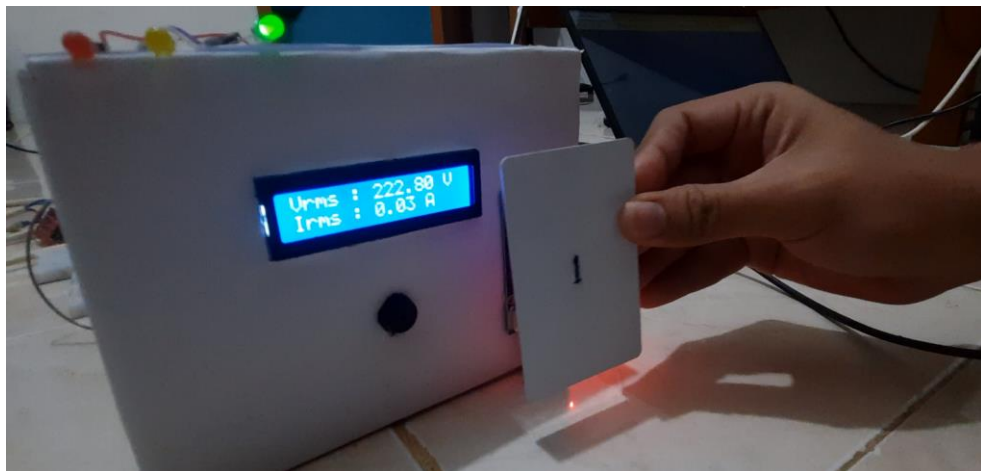
5. Validasi dan Karakterisasi

5.1. Validasi Kinerja Instrumen

➤ Validasi Kinerja RFID Module

Ketika *user* ingin mengetahui hasil pengukuran parameter listrik melalui LCD 16X2, *user* harus melakukan validasi tag RFID pribadi. Dalam instrumen ini, kami menggunakan RFID Card Tag 1 yang memiliki id A5200C46 untuk melakukan pembacaan data terukur di LCD 16X2. Maka dari itu, penempelan RFID Card lain aksesnya akan ditolak atau LCD 16X2 tidak menampilkan parameter listrik yang diukur. Berikut hasil validasi percobaan terkait RFID module.

1. Untuk RFID Tag Card 1



2. Untuk RFID Tag Card 2



3. Untuk RFID Tag Card 3



Untuk ketiga percobaan di atas, validasi untuk RFID Card Tag telah dinyatakan sesuai dengan apa yang telah diatur pembuat instrumen melalui source code di Arduino IDE.

➤ Validasi Hasil Parameter Listrik pada Beban Rice Cooker

a. Spesifikasi Beban Rice Cooker





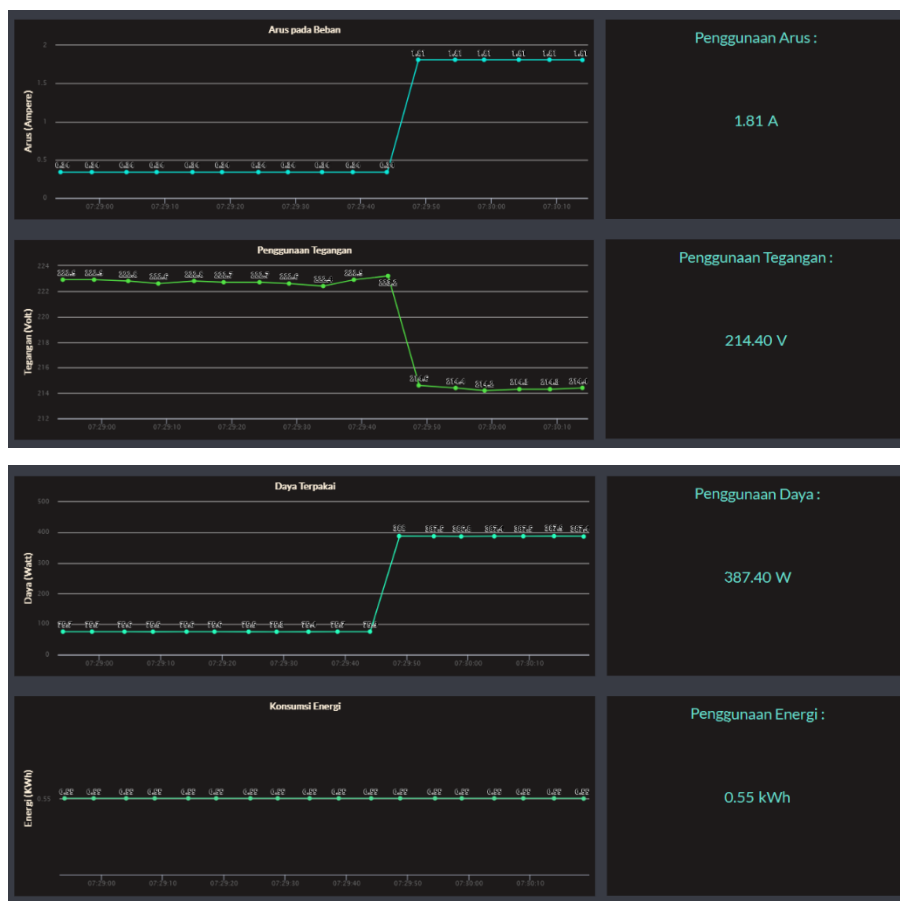
Hasil Pengukuran :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Beban Rice Cooker Kondisi Warmer

Parameter	LCD	Web Server
Arus	0.34 A	0.34 A
Tegangan	222.70 V	224.5 V
Daya	75.5 Watt	77 Watt
Energi	0.43 kWh	0.44 kWh

- Rice Cooker Kondisi Cooking (Penanak Nasi)





Catatan : pada hasil screenshot di atas, data yang hanya diperhatikan adalah daya listrik, tegangan, dan arus. Hal tersebut disebabkan karena pengambilan screenshot ini bukan merupakan pengambilan data pertama kali (bukan ketika demonstrasi rangkaian pada video) sehingga nilai energi dapat diabaikan.

Hasil Pengukuran :

Tabel 3. Hasil Pengukuran Beban Rice Cooker Kondisi Cooking

Parameter	LCD	Web Server
Arus	1.81 A	1.81 A
Tegangan	214.10 V	214.40 V
Daya	386.70 Watt	387.40 Watt
Energi	0.56 kWh	0.55 kWh

c. Analisis Validasi Pengukuran Beban Rice Cooker

Pada Beban Rice Cooker dalam Keadaan Warmer

Pada spesifikasi beban rice cooker yang digunakan, alat ini dapat bekerja ketika diberi tegangan 220 VAC dan ketika kondisi warmer (penghangat) memiliki daya 77 watt. Dari hasil pengukuran pada sensor PZEM-004T, didapatkan hasil yang akurat (dapat dilihat pada perolehan grafik puncak di web server) pada penggunaan daya ketika dalam kondisi *warmer*. Namun, terjadi ketidakstabilan penampilan daya yang ditampilkan oleh LCD. Jika dihitung persentase errornya, didapatkan aproksimasi error-nya sebesar (menggunakan data yang terukur dari web server yaitu daya = 77 watt):

$$\%Error = \left| \frac{\text{nilai pengukuran} - \text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai sebenarnya}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{77 - 77}{77} \right| \times 100\% = 0\%$$

Nilai error di atas masih dapat dikatakan bernilai kecil. Error tersebut mungkin muncul karena terdapat gangguan listrik dalam kabel yang terhubung dengan stop kontak pengukur beban dan kondisi beban rice cooker telah mengalami banyak pemakaian berulang – ulang sehingga dapat menyebabkan kondisi daya-nya menurun dibandingkan spesifikasi awal.

Apabila dikaitkan dengan dasar teori kelistrikan, *Hukum Ohm*, terdapat rumus untuk menentukan nilai daya dari beban yang sudah terpasang dengan persamaan matematis yaitu $P = V \times I$, maka hasil daya yang terukur dapat dibuktikan telah sesuai rumus tersebut yang dapat dibuktikan sebagai berikut:

$$P = V \times I = 224.5 \times 0.34 = 76.33 \approx 77\text{Watt}$$

Hasil perhitungan rumus di atas, hampir telah mendekati sebesar 0.87% dari pengukuran daya yang diukur menggunakan instrumen ini. Persentase tersebut merupakan representasi dari kesalahan perkalian tegangan dan arus yang terukur pada web server.

Pada Beban Rice Cooker dalam Keadaan Cooking

Pada spesifikasi beban rice cooker yang digunakan, alat ini dapat bekerja ketika diberi tegangan 220 VAC dan ketika kondisi *cooking* (penanak nasi) memiliki daya 395 watt. Dari hasil pengukuran pada sensor PZEM-004T, didapatkan hasil yang akurat (dapat dilihat pada perolehan grafik puncak di web server) pada penggunaan daya ketika dalam kondisi *cooking*. Namun, terjadi ketidakstabilan penampilan daya yang ditampilkan oleh LCD. Jika dihitung persentase errornya, didapatkan aproksimasi error-nya sebesar (menggunakan data yang terukur di web server, yaitu daya = 387.4 watt):

$$\%Error = \left| \frac{\text{nilai pengukuran} - \text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai sebenarnya}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{387.4 - 395}{395} \right| \times 100\% = 1.924\%$$

Nilai error di atas masih dapat dikatakan bernilai kecil. Error tersebut mungkin muncul karena terdapat gangguan listrik dalam kabel yang terhubung dengan stop kontak pengukur beban dan kondisi beban rice cooker telah mengalami banyak pemakaian sehingga kondisi daya-nya menurun dibandingkan spesifikasi awal.

Apabila dikaitkan dengan dasar teori kelistrikan, *Hukum Ohm*, terdapat rumus untuk menentukan nilai daya dari beban yang sudah terpasang dengan persamaan matematis yaitu $P = V \times I$, maka hasil daya yang terukur dapat dibuktikan telah sesuai rumus tersebut yang dapat dibuktikan sebagai berikut:

$$P = V \times I = 214.40 \times 1.81 = 388.04 \approx 387.40 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan rumus di atas, hampir telah mendekati sebesar 0.165% dari pengukuran daya yang diukur menggunakan instrumen ini. Persentase tersebut merupakan representasi dari kesalahan perkalian tegangan dan arus yang terukur pada web server.

d. Analisis Aktuator sebagai Indikator pada Beban Rice Cooker



Pada gambar di atas, LED hijau menyala karena instrumen masih dalam keadaan aman. LED merah menunjukkan bahwa energi yang terpakai belum melebihi 0.50 Watt dan LED Kuning tidak berkedip karena daya yang terpakai belum melebihi 1000 Watt. Selain itu, pada kondisi ini, buzzer juga tidak berbunyi. Oleh sebab itu, instrumen ini telah dapat dikatakan dapat mendeteksi keadaan secara valid untuk kondisi ini.

➤ **Validasi Hasil Parameter Listrik pada Beban Panci Listrik**

a. Spesifikasi Beban Panci Listrik



Model	EJP129WHT
Voltage	220-240V~
Frequency	50/60Hz
Power	600W
Capacity	1.5 L
CB	

b. Hasil Pengukuran Beban Panci Listrik

- Ketika panci listrik menggunakan Level 1 (tingkat panas sedang)





Catatan : pada hasil screenshot di atas, data yang hanya diperhatikan adalah daya listrik, tegangan, dan arus. Hal tersebut disebabkan karena pengambilan screenshot ini bukan merupakan pengambilan data pertama kali (bukan ketika demonstrasi rangkaian pada video) sehingga nilai energi dapat diabaikan.

Hasil Pengukuran :

Tabel 4. Hasil Pengukuran Beban Panci Listrik Level Panas 1

Parameter	LCD	Web Server
Arus	1.10 A	1.09 A
Tegangan	218.10 V	211.1 V
Daya	167.60 Watt	162.3 Watt
Energi	0.57 kWh	0.56 kWh

- Ketik panci listrik menggunakan level 2 (tingkat panas tinggi)





Catatan : pada hasil screenshot di atas, data yang hanya diperhatikan adalah daya listrik, tegangan, dan arus. Hal tersebut disebabkan karena pengambilan screenshot ini bukan merupakan pengambilan data pertama kali (bukan ketika demonstrasi rangkaian pada video) sehingga nilai energi dapat diabaikan.

Hasil Pengukuran :

Tabel 5. Hasil Pengukuran Beban Panci Listrik Level Panas 2

Parameter	LCD	Web Server
Arus	2.52 A	2.52 A
Tegangan	210.80 V	211.00 V
Daya	530.30 Watt	531.70 Watt
Energi	0.58 kWh	0.59 kWh

c. Analisis Validasi Pengukuran Beban Panci Listrik

Pada validasi pengukuran ini terdapat 2 kondisi. Kondisi pertama yaitu ketika panci listrik memakai level pemanasan 1 (tingkat panas sedang) dan kondisi kedua yaitu panci listrik memakai level pemanasan 2 (tingkat panas tinggi). Seperti yang diketahui, semakin tinggi level pemanasan yang digunakan, maka aliran arus listrik juga akan meningkat. Oleh sebab itu, daya yang digunakan pada alat pun juga akan meningkat. Selain itu, pada spesifikasi panci listrik ini memiliki daya 600 watt (diasumsikan daya

tersebut terjadi ketika panci listrik beroperasi menggunakan level pemanasan 2). Jika dihitung persentase error-nya, didapatkan aproksimasi error-nya sebesar (menggunakan data yang terukur di web server, yaitu daya = 531.70 watt):

$$\%Error = \left| \frac{\text{nilai pengukuran} - \text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai sebenarnya}} \right| \times 100\%$$

$$\%Error = \left| \frac{531.7 - 600}{600} \right| \times 100\% = 11.283\%$$

Nilai error dapat dikatakan cukup besar. Error tersebut mungkin muncul karena terdapat gangguan listrik dalam kabel yang terhubung dengan stop kontak pengukur beban dan kondisi beban panci listrik ini telah mengalami banyak pemakaian sehingga kondisi daya-nya menurun dibandingkan spesifikasi awal. Bahkan, ada kemungkinan kerusakan komponen elektronik di dalam panci listrik tersebut sehingga menyebabkan ketidakakuratan dalam pengukuran parameter.

✓ Panci listrik level pemanasan 1

Apabila dikaitkan dengan dasar teori kelistrikan, *Hukum Ohm*, terdapat rumus untuk menentukan nilai daya dari beban yang sudah terpasang dengan persamaan matematis yaitu $P = V \times I$, maka hasil daya yang terukur dapat dibuktikan telah sesuai rumus tersebut yang dapat dibuktikan sebagai berikut:

$$P = V \times I = 211.1 \times 1.09 = 230.09 \approx 162.3 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan rumus di atas, sebesar 41.77% dari pengukuran daya yang diukur menggunakan instrumen ini. Persentase tersebut merupakan representasi dari kesalahan perkalian tegangan dan arus yang terukur pada web server yang mana hasil menunjukkan bahwa nilai yang didapatkan terlalu besar. Hal ini mungkin saja terjadi karena adanya komponen elektronika pada panci listrik saat berada di level 1 yang mungkin saja mengalami kerusakan sehingga mengakibatkan daya yang terukur tidak akurat dari spesifikasinya.

✓ Panci listrik level pemanasan 2

Apabila dikaitkan dengan dasar teori kelistrikan, *Hukum Ohm*, terdapat rumus untuk menentukan nilai daya dari beban yang sudah terpasang dengan persamaan matematis yaitu $P = V \times I$, maka hasil daya yang terukur dapat dibuktikan telah sesuai rumus tersebut yang dapat dibuktikan sebagai berikut:

$$P = V \times I = 211.00 \times 2.52 = 531.72 \approx 531.7 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan rumus di atas, hampir telah mendekati sebesar 0.0037% dari pengukuran daya yang diukur menggunakan instrumen ini. Persentase

tersebut merupakan representasi dari kesalahan perkalian tegangan dan arus yang terukur pada web server.

d. Analisis Aktuator sebagai Indikator pada Beban Panci Listrik



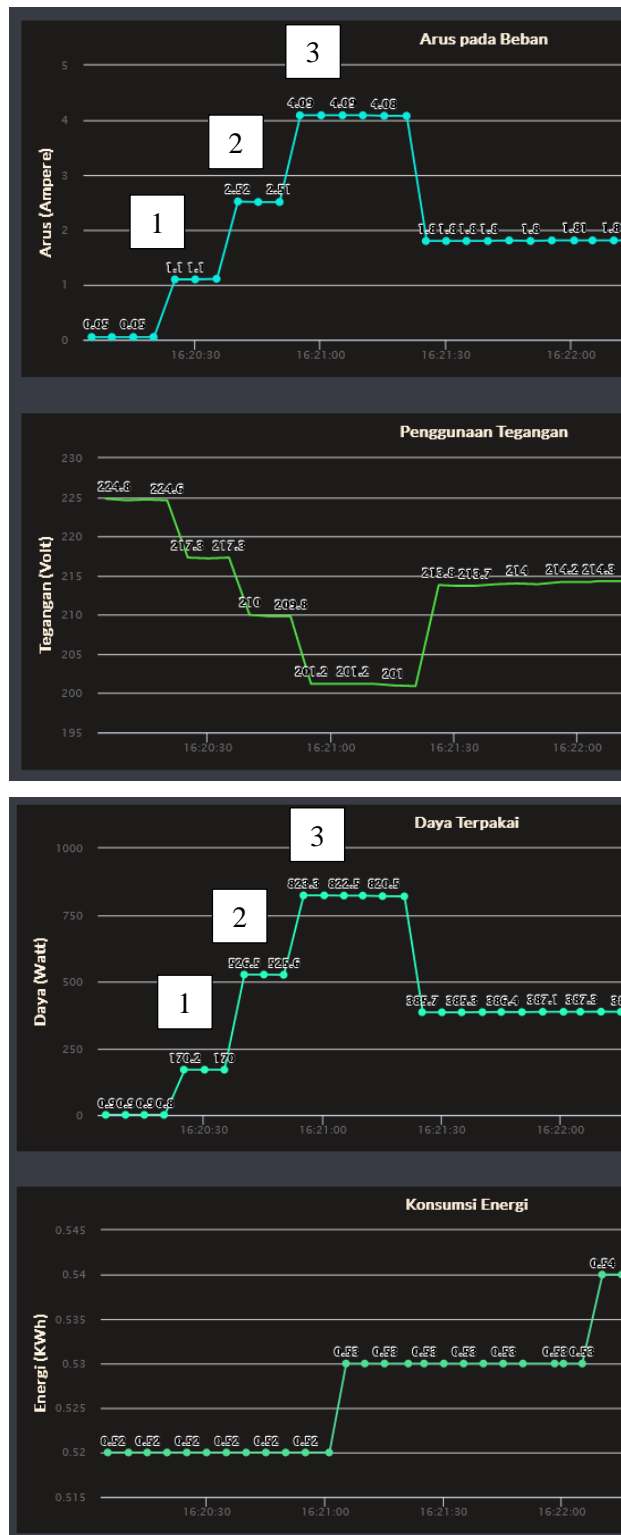
Pada gambar di atas, LED hijau menyala karena instrumen masih dalam keadaan aman. LED merah menunjukkan bahwa energi yang terpakai belum melebihi 0.50 Watt dan LED Kuning tidak berkedip karena daya yang terpakai belum melebihi 1000 Watt. Selain itu, pada kondisi ini, buzzer juga tidak berbunyi. Oleh sebab itu, instrumen ini telah dapat dikatakan dapat mendeteksi keadaan secara valid untuk kondisi ini.

➤ **Validasi Hasil Parameter Listrik pada Beban Gabungan (Rice Cooker dan Panci Listrik)**

a. Catatan Penting

Pada pengukuran ini, kami bertujuan untuk melakukan pengecekan kinerja dari aktuator apakah dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Oleh sebab itu, kami melakukan perubahan batasan parameter penggunaan daya dan energi yang terpakai. Oleh sebab itu, pada percobaan ini, kami mengubah batasan penggunaan daya sebesar 800Watt dan energi terkonsumsi sebesar 0.53 kWh (pada pengambilan data pertama kali bersamaan dengan demonstrasi alat pada video penjelasan). Pengaturan energi yang melebihi dari rencana awal yaitu 0.50 kWh karena agar kami tidak memerlukan reset data hasil pengukuran energi dari sensor PZEM-004t yang telah tersimpan dari awal waktu kami melakukan pemantauan beban pada beban listrik untuk uji coba rancangan instrumen ini.

b. Hasil Pengukuran Beban Gabungan (Rice Cooker dan Panci Listrik)



c. Analisis Validasi Pengukuran Beban Gabungan (Rice Cooker dan Panci Listrik)

Pada pengukuran percobaan ini, kami melakukan 3 tahapan percobaan (hasil pengukuran masing – masing tahapan dapat dilihat di grafik poin b). Tahap pertama merupakan hasil pengukuran beban panci listrik dengan level 1 (tingkat panas sedang)

dan beban rice cooker dengan kondisi *warm*. Tahap kedua merupakan hasil pengukuran beban panci listrik dengan level 2 (tingkat panas tinggi) dan beban rice cooker dengan kondisi *warm*. Tahap ketiga merupakan hasil pengukuran beban panci listrik dengan level 2 (tingkat panas tinggi) dan beban rice cooker dengan kondisi *cooking* (penanak nasi). Berikut hasil pengukuran dari percobaan ini:

Tabel 6. Hasil Pengukuran Beban Gabungan (Rice Cooker dan Panci Listrik)

Tahap	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)	Energi (kWh)
Tahap 1	1.1	217.30	170.20	0.52
Tahap 2	2.51	209.70	526.50	0.52
Tahap 3	4.09	201.20	823.30	0.53

Catatan: data di atas didapatkan ketika melakukan pengambilan data yang pertama kali. Oleh sebab itu, energi yang terukur berbeda juga nilainya dengan data energi pada poin – poin sebelumnya.

Pada hasil pengukuran tersebut telah menunjukkan peningkatan nilai daya tiap tahapnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi operasi kerja dari masing – masing beban listrik yang digunakan. Dengan demikian, alat ini telah mampu untuk mengukur parameter listrik dengan beban lebih dari satu.

- d. Analisis Aktuator sebagai Indikator pada Beban Gabungan (Rice Cooker dan Panci Listrik)



Pada gambar di atas, LED hijau mati karena instrumen berhasil mendeteksi overload. LED merah menyala karena menunjukkan bahwa energi telah melebihi 0.53 Watt dan LED Kuning mulai berkedip dengan prinsip PWM karena daya yang terpakai telah melebihi 800 Watt. Selain itu, pada kondisi ini, buzzer juga telah berbunyi. Pada kondisi ini, relay juga memutus aliran arus yang menuju beban. Oleh sebab itu, instrumen ini telah dapat dikatakan dapat mendeteksi keadaan secara valid untuk kondisi ini.

5.2. Karakteristik Instrumen

Kemampuan SPOWCOM V1.0

- Pemutus Arus Otomatis

Pada instrumen ini dapat melakukan pemutusan arus otomatis ketika overload. Pada pengaturan awal, relay diatur untuk berkondisi *normally open*. Hal tersebut disebabkan karena relay yang kami gunakan merupakan relay 1 channel, sehingga diperlukan pengaturan khusus menggunakan *normally open* (jika menggunakan kondisi awal *normally closed*, instrumen ini tidak akan berjalan). Oleh sebab itu, pada kondisi awal relay telah bisa langsung mengalirkan arus ketika steker stop kontak dihubungkan ke sumber listrik. Kemudian, aliran arus akan disalurkan menuju stop kontak pengujian beban listrik yang akan digunakan. Pada kabel stop kontak pengujian beban ini yang nantinya diberikan kumparan PZEM-004T agar dapat melakukan pengujian. Dengan begitu, ketika sensor PZEM-004T ini mendeteksi pemakaian energi yang berlebih (lebih dari 0.5 kWh), maka relay akan *normally closed*, sehingga arus dari sumber tidak disalurkan menuju stop kontak yang akan menjadi sumber dari beban – beban listrik.

- Terdapat Validasi RFID Card untuk Melihat Hasil Pengukuran

Pada instrumen ini, validasi RFID Card berfungsi sebagai sistem sekuritas dan mendukung privasi *user* agar parameter listrik yang telah digunakan dalam tingkat rumah hanya dapat dilihat oleh *user* tersebut sendiri, bukan orang lain.

- Menggunakan web server yang dapat mudah diakses dimana saja dan kapan saja

ESP32 yang menjadi mikrokontroler instrumen ini dapat terhubung dengan local WiFi sehingga data yang diperoleh dari pengukuran dapat tersimpan dan dapat ditampilkan melalui web server dengan ip local WiFi yang telah terhubung dengan ESP32. Selain itu, di web sever dapat menampilkan angka hasil pengukuran sekaligus grafik penggunaan tiap waktu secara *realtime* sehingga mudah dilihat dan dipahami oleh *user* sehingga proses monitoring berjalan lebih optimal. Pada web server juga telah kami atur sehingga tampilan hasil pengukuran dapat *responsive* jika dilihat melalui *smartphone* maupun alat komunikasi lain yang memiliki ukuran layar tertentu.

Batasan

- Pemantauan atau monitoring melalui web server hasil pengukuran parameter listrik tidak dapat dilakukan secara offline.
- Perubahan pengaturan batas pemakaian daya dan energi terkonsumsi hanya dapat dilakukan melalui Arduino IDE, dan harus meng-*upload* ulang jika ingin diperbarui.

- Tidak adanya kapabilitas untuk mengunduh hasil pengukuran parameter listrik melalui web server.

Referensi:

- [1] <https://www.tokopedia.com/outlet-1/digital-electric-consumption-kwh-din-rail-smart-energy-meter-wifi?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch&refined=true>
- [2] <https://www.tokopedia.com/shoprangga9/meteran-listrik-kwh-meter-digital-smart-power-220-v-80a>
- [3] A. Wagyuana, Zulhelman, and Rahmat, “Development of Multi-Sensor Smart Power Outlet to Optimize Building Electrical Automation System,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1364, p. 012033, Dec. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1364/1/012033.
- [4] C. Sunil Kumar, P. Chandra, M. Reddy, K. Krishna, and S. Khera, “IoT Based Smart Energy Meter Monitoring and Theft Detection,” *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, vol. 9, no. 4 April 2021, p. 3598, 2021.
- [5] Santos, Sara, “How to Set an ESP32 Access Point (AP) for Web Server,” *Random Nerd Tutorials*, Aug. 9, 2018. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-access-point-ap-web-server/> (accessed Dec. 16, 2022).
- [6] Santos, Sara, “ESP32 Useful Wi-Fi Library Functions (Arduino IDE),” *Random Nerd Tutorials*, Feb.12, 2021, [https://randomnerdtutorials.com/esp32-useful-wi-fi-functions-arduino/#:~:text=Get%20WiFi%20Connection%20Strength&text=Insert%20your%20network%20credentials%20and,\(received%20signal%20strength%20indicator\)](https://randomnerdtutorials.com/esp32-useful-wi-fi-functions-arduino/#:~:text=Get%20WiFi%20Connection%20Strength&text=Insert%20your%20network%20credentials%20and,(received%20signal%20strength%20indicator)) (accessed Dec. 17, 2022).
- [7] ShawnHymel, “Introduction to RTOS – Solution to Part 12 (Multicore Systems),” *MAKER.IO*, <https://www.digikey.com/en/maker/projects/introduction-to-rtos-solution-to-part-12-multicore-systems/369936f5671d4207a2c954c0637e7d50> (accessed Dec. 17, 2022).
- [8] R. Santos, “ESP32 Web Server using SPIFFS (SPI Flash File System) | Random Nerd Tutorials,” *Random Nerd Tutorials*, Oct. 19, 2018. <https://randomnerdtutorials.com/esp32-web-server-spiiffs-spi-flash-file-system/> (accessed Dec. 16, 2022).
- [9] Habibi, F. Nur, Setiawidayat S., Muhksim, Moh., “Alat Monitoring Pemakaian Energi Listrik Berbasis Android Menggunakan Modul PZEM-004T,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan 2017*, Vol.01, No.41, ISSN: 2581-0049.

- [10] Anwar, Salwin, dkk, "Pengukuran Energi Listrik Berbasis PZEM-004T", Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe, Vol.3 No.1 Oktober 201, ISSN: 2569-3954.
- [11] Aska, F. Zahro, dkk, (2013) "Impelementasi Radio Frequency Identification (RFID) sebagai Otomasi pada Smart Home, Padang: Universitas Andalas.
- [12] Augustyn, Adam, "LED Electronics," Britannica, <https://www.britannica.com/technology/LED> (accessed Dec.16, 2022)