

RANCANG BANGUN KWH METER PORTABEL DENGAN FITUR TAGIHAN SUSULAN DAN PEMUTUS OTOMATIS BERBASIS IOT

Arief Rahmadani, Alex Fernandes

Teknik Elektro, Institut Teknologi PLN

Jl. Lingkar Luar Barat Duri Kosambi, Cengkareng Jakarta Barat

arief.rahmadani@pln.co.id

ABSTRAK

Penyediaan energi listrik yang handal dan efisien menjadi salah satu prioritas utama PT. PLN (Persero) dalam memenuhi kebutuhan listrik. Namun, dalam praktiknya, mereka menghadapi berbagai tantangan, seperti gangguan jaringan dan transaksi energi yang berisiko menyebabkan pemadaman, termasuk kerusakan kWh meter. Gangguan pada kWh meter pelanggan dapat mengakibatkan energi listrik tidak tercatat dan meningkatkan losses bagi PLN. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan merancang kWh meter portabel berbasis *Internet of Things* yang mampu memantau konsumsi energi listrik secara real-time serta menghitung tagihan susulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring daya listrik yang dapat mencatat parameter listrik seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi listrik (kWh), serta memungkinkan pemutusan daya otomatis menggunakan relay. Metode yang digunakan mencakup perancangan perangkat keras berbasis ESP-32, PZEM-004T, SIM800L, dan Blynk, serta pengujian akurasi sensor dan integrasi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat memiliki rata-rata error 0,107% untuk tegangan, 0,961% untuk arus, 0,664% untuk daya, dan 0,877% untuk energi, masih dalam batas toleransi $\pm 1\%$ sesuai SPLN D3.009-1. Selain itu, sistem berhasil mencatat total konsumsi 3,14 kWh dalam 24 jam dengan total tagihan sebesar Rp1.303. Dengan fitur pemantauan jarak jauh melalui Blynk dan SMS, sistem ini dapat membantu PLN dalam mengoptimalkan pencatatan energi listrik, mengurangi losses, serta meningkatkan akurasi penagihan pelanggan.

Kata kunci : kWh Meter, Monitoring, Energi Listrik, Tagihan Susulan, Internet of Things, Blynk

1. PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) merupakan salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang ketenagalistrikan. Dalam operasionalnya, PLN bertanggung jawab dalam penyediaan serta penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju pelanggan. Namun, terdapat berbagai tantangan yang dihadapi, terutama dalam hal gangguan jaringan dan transaksi energi listrik yang dapat menyebabkan pemadaman listrik di sisi pelanggan. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah kerusakan pada alat ukur kWh meter, baik pada sistem Prabayar maupun Pascabayar [1].

Gangguan pada kWh meter meliputi elemen tegangan putus, terminal terbakar, keypad macet, serta layar LCD yang tidak berfungsi (blank). Saat terjadi gangguan, pelanggan umumnya akan melapor ke call center PLN 123 atau melalui aplikasi PLN Mobile untuk mendapatkan layanan perbaikan. Namun, dalam beberapa kasus, petugas lapangan yang menangani laporan gangguan sering kali melakukan sambung langsung (bypass) agar listrik pelanggan tetap menyala sementara waktu [2].

Sayangnya, metode ini dapat menyebabkan pelanggan mengalami kondisi Menyala Tanpa Meter (MTM) yang berdampak pada hilangnya akurasi pengukuran konsumsi listrik serta meningkatkan potensi losses energi listrik atau nilai kWh yang tidak terhitung oleh PLN. Sambung langsung yang idealnya hanya dilakukan dalam waktu tiga hari, terkadang berlangsung lebih lama karena tidak adanya monitoring lanjutan. Bahkan, di beberapa kantor unit

layanan pelanggan, ditemukan kasus di mana sambung langsung dilakukan dalam durasi yang jauh lebih lama dari seharusnya, yang berpotensi menyebabkan kerugian bagi PLN akibat energi yang tidak tercatat dan tidak tertagihkan [3].

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan solusi yang memungkinkan pemantauan konsumsi daya pelanggan secara *real-time* meskipun terjadi gangguan pada kWh meter utama. Salah satu alternatif yang telah diterapkan di beberapa kantor unit PLN adalah penggunaan kWh meter *dummy*, yang memungkinkan pelanggan tetap mendapatkan suplai listrik dengan konsumsi yang tetap terhitung secara akurat [4]. Dengan metode ini, PLN dapat memastikan bahwa energi listrik yang digunakan pelanggan tetap dapat ditagihkan, sekaligus mengurangi risiko kerugian akibat sambung langsung yang tidak terkontrol. Di sisi lain, teknologi monitoring energi listrik berbasis Internet of Things (IoT) semakin berkembang dan dapat menjadi solusi jangka panjang dalam meningkatkan keandalan pendistribusian listrik ke pelanggan. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa dengan penggunaan alat monitoring energi listrik, dapat mengoptimalkan pemantauan pemakaian listrik pelanggan secara akurat sesuai standar [5].

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dirancang sebuah kWh meter portabel untuk memonitoring pemakaian energi listrik dan tagihan susulan pada rumah pelanggan, disertai pemutus otomatis yang terpasang selama kWh meter utama pelanggan mengalami gangguan. Diharapkan inovasi ini dapat membantu mengurangi kasus sambung

langsung yang berkepanjangan serta meningkatkan akurasi pencatatan dan penagihan pemakaian energi listrik pelanggan oleh PT. PLN (Persero).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian ini, penulis mengacu pada berbagai literatur terkait sistem monitoring pemakaian daya dan tagihan listrik pelanggan. Beberapa penelitian utama yang menjadi referensi adalah sebagai berikut.

Pada tahun 2023 terdapat penelitian dengan judul “Alat Pendeteksi Kesalahan Pembacaan kWh Meter 1 Fasa dengan Notifikasi SMS disertai Lokasi” membahas tentang alat deteksi kesalahan pembacaan kWh meter 1 fasa berbasis notifikasi SMS. Pengujian menunjukkan deviasi 0,76% pada pengawatan standar dan 45,84% pada pengawatan yang tidak sesuai, membantu mengidentifikasi anomali konsumsi listrik secara lebih akurat [6].

Pada tahun 2019 terdapat penelitian dengan judul “Rancang Bangun Telemetry Arus Beban Peralatan Elektronik pada Ruang Penumpang Kapal Ferry Berbasis Long Range Wireless Communications (LORA)” membahas tentang perancangan sistem telemetry untuk memantau arus dan tegangan peralatan elektronik di kapal ferry menggunakan teknologi LoRa. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran arus 4,91%, tegangan 0,8%, dan daya 4,2%, yang masih dalam batas akseptabel untuk monitoring jarak jauh [7].

Pada tahun 2024 terdapat penelitian dengan judul “Telemetry System Design for Monitoring Electrical Energy in Residential Homes”. Membahas tentang pengembangan sistem telemetry pemantauan energi listrik rumah tinggal berbasis sensor arus dan tegangan, Arduino Uno, NodeMCU ESP8266, dan aplikasi Blynk. Pengujian menunjukkan tingkat kesalahan tertinggi 4,4%, yang masih di luar standar pengukuran kelas 1 kWh meter [8].

2.1. KWh Meter

Kilo Watt Hour meter atau kWh meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah konsumsi energi listrik oleh pelanggan dalam satuan kilowatt-jam (kWh). Satuan kilowatt hour (kWh) sendiri menunjukkan jumlah daya listrik (dalam kilowatt) yang dikonsumsi dalam satu jam. Dalam sistem kelistrikan, kWh meter berfungsi sebagai alat pencatat konsumsi energi listrik yang digunakan pelanggan, sehingga menjadi dasar dalam proses perhitungan tagihan listrik oleh PT. PLN (Persero). Bersamaan dengan Mini Circuit Breaker (MCB), kWh meter berperan sebagai Alat Pengukur dan Pembatas (APP) yang tidak hanya mencatat pemakaian energi listrik tetapi juga membatasi arus yang dapat digunakan pelanggan sesuai dengan daya yang terpasang [9].



Gambar 1. KWh meter

Oleh karena itu, kWh meter dan MCB merupakan komponen utama dalam sistem distribusi listrik untuk memastikan pengukuran yang akurat dan perlindungan terhadap gangguan listrik seperti kelebihan beban dan korsleting. Secara umum, kWh meter bekerja dengan menghitung hasil perkalian antara tegangan listrik, arus yang mengalir, faktor daya, dan waktu penggunaan listrik. Persamaan dasar untuk perhitungan energi listrik yang dikonsumsi adalah sebagai berikut:

$$E = \frac{V \times I \times \cos \theta \times t}{3600} \quad (1)$$

Dengan:

E = Energi listrik (watt-hour)

V = tegangan (volt)

$\cos \theta$ = faktor daya

t = waktu (detik)

2.2. Tagihan Susulan

Tagihan susulan dalam sistem kelistrikan adalah mekanisme penagihan yang dikenakan kepada pelanggan atas konsumsi energi listrik yang sebelumnya tidak tercatat atau tidak ditagihkan secara benar. Tagihan susulan dapat terjadi akibat berbagai faktor, seperti kesalahan pencatatan meter, penggunaan listrik yang tidak terukur akibat gangguan pada kWh meter, serta praktik sambung langsung (bypass)[10]. Adapun perhitungan tagihan susulan pemakaian pelanggan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$TS = E \times TDL \quad (2)$$

Dimana :

E = nilai energi listrik yang terukur (kWh)

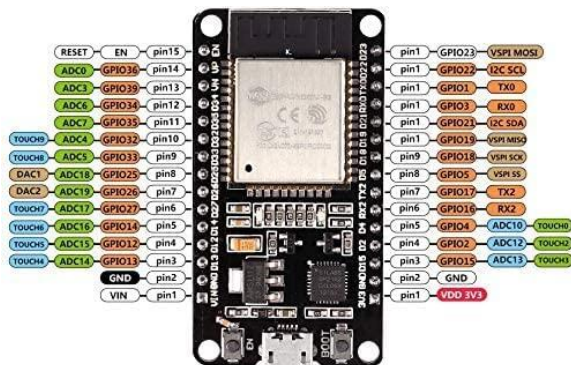
TS = tagihan susulan dalam rupiah (Rp)

TDL = tarif dasar listrik (Rp)

2.3. Modul ESP-32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, dirancang dengan arsitektur dual-core atau single-core Tensilica Xtensa LX6, serta dilengkapi dengan Wi-Fi dan Bluetooth bawaan. ESP32 banyak digunakan dalam berbagai aplikasi berbasis IoT (Internet of Things), sistem otomatisasi, dan perangkat pintar karena kemampuannya yang fleksibel, konsumsi daya yang rendah, serta dukungan berbagai protokol komunikasi.

Mikrokontroler ini memiliki CPU berkinerja tinggi dengan kecepatan hingga 240 MHz, RAM internal 520 KB, serta mendukung flash eksternal hingga 16 MB. Selain itu, ESP32 memiliki GPIO (General Purpose Input/Output) yang luas, yang dapat digunakan untuk mengontrol sensor, aktuator, serta berbagai perangkat elektronik lainnya. Modul ini juga mendukung berbagai antarmuka komunikasi, seperti I2C, SPI, UART, PWM, ADC, dan DAC, sehingga dapat dengan mudah diintegrasikan dengan berbagai sensor dan modul tambahan [11].



Gambar 2. Mikrokontroler ESP-32

2.4. Modul PZEM-004T

Modul PZEM-004T adalah sensor energy meter yang dirancang untuk mengukur berbagai parameter kelistrikan dalam sistem AC (Arus Bolak-Balik), seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi listrik (Wh). Modul ini banyak digunakan dalam aplikasi monitoring konsumsi daya listrik, baik untuk kebutuhan industri, rumah tangga, maupun sistem berbasis Internet of Things (IoT) [12].

Dengan konsumsi daya yang rendah, PZEM-004T sangat cocok untuk sistem monitoring daya listrik jangka panjang, termasuk dalam implementasi kWh meter dummy, guna memastikan pencatatan energi listrik yang lebih akurat serta mengurangi kemungkinan losses akibat sambung langsung atau kesalahan pencatatan.

Modul ini memiliki tegangan operasional antara 80V hingga 260V AC, yang membuatnya kompatibel dengan berbagai sistem listrik standar. Untuk pengukuran arus, PZEM-004T dapat mengukur hingga 100A, dengan tingkat akurasi $\pm 1\%$, sehingga memungkinkan pencatatan konsumsi listrik yang lebih presisi. Selain itu, modul ini mendukung komunikasi UART (TTL Serial), yang memudahkan integrasinya dengan mikrokontroler seperti ESP32, Arduino, dan Raspberry Pi untuk keperluan pengolahan data dan pemantauan jarak jauh.



Gambar 3. Modul PZEM-004T

2.5. Modul Relay

Modul relay adalah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai saklar listrik otomatis yang dikendalikan oleh sinyal tegangan rendah dari mikrokontroler, untuk mengontrol sirkuit tegangan tinggi. Relay bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana ketika kumparan (coil) pada relay diberikan arus listrik, medan magnet yang dihasilkan akan menarik atau melepaskan kontak saklar (*switching contact*), sehingga memungkinkan pemutusan atau penyambungan arus listrik dalam suatu rangkaian. Modul relay umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi otomasi listrik, seperti pengendalian beban listrik, sistem keamanan, otomasi rumah, serta proteksi rangkaian elektronik [13].

Dengan kemampuannya dalam mengontrol berbagai jenis beban listrik, modul relay banyak digunakan dalam sistem monitoring daya listrik, proteksi kWh meter, serta implementasi kWh meter dummy untuk mengaktifkan atau memutus daya secara otomatis saat terjadi gangguan.



Gambar 4. Modul relay

2.6. Modul SIM 800L

SIM800L adalah modul komunikasi berbasis GSM/GPRS yang digunakan untuk mengirim dan menerima data melalui jaringan seluler, seperti SMS, panggilan suara, dan koneksi internet GPRS. SIM800L memiliki antarmuka komunikasi UART (TTL Serial), yang memungkinkan integrasi mudah dengan mikrokontroler untuk aplikasi berbasis Internet of Things (IoT). Modul ini mendukung berbagai protokol komunikasi seperti HTTP, FTP, dan MQTT, yang membuatnya ideal untuk aplikasi pemantauan jarak jauh, sistem otomatisasi, dan kontrol perangkat berbasis GSM. Dengan dimensi yang kecil dan konsumsi daya rendah, SIM800L sering digunakan dalam sistem monitoring daya listrik untuk mengirimkan data pemakaian energi listrik ke server atau notifikasi otomatis melalui SMS [14].

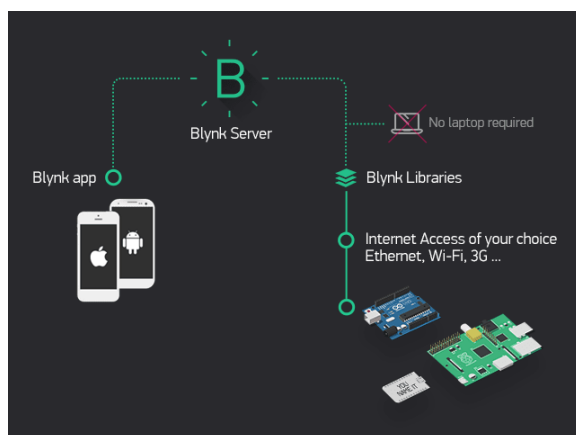


Gambar 5. Modul SIM800L

2.7. Blynk

Blynk adalah platform Internet of Things (IoT) berbasis cloud yang memungkinkan pengguna untuk mengontrol dan memantau perangkat keras dari jarak jauh melalui aplikasi smartphone. Blynk dirancang agar kompatibel dengan berbagai mikrokontroler, seperti ESP32, Arduino, Raspberry Pi, dan NodeMCU, serta mendukung berbagai protokol komunikasi, seperti Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth, dan GSM/GPRS [15]. Mekanisme kerja blynk ditunjukkan pada Gambar 6. Dalam sistemnya, Blynk terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

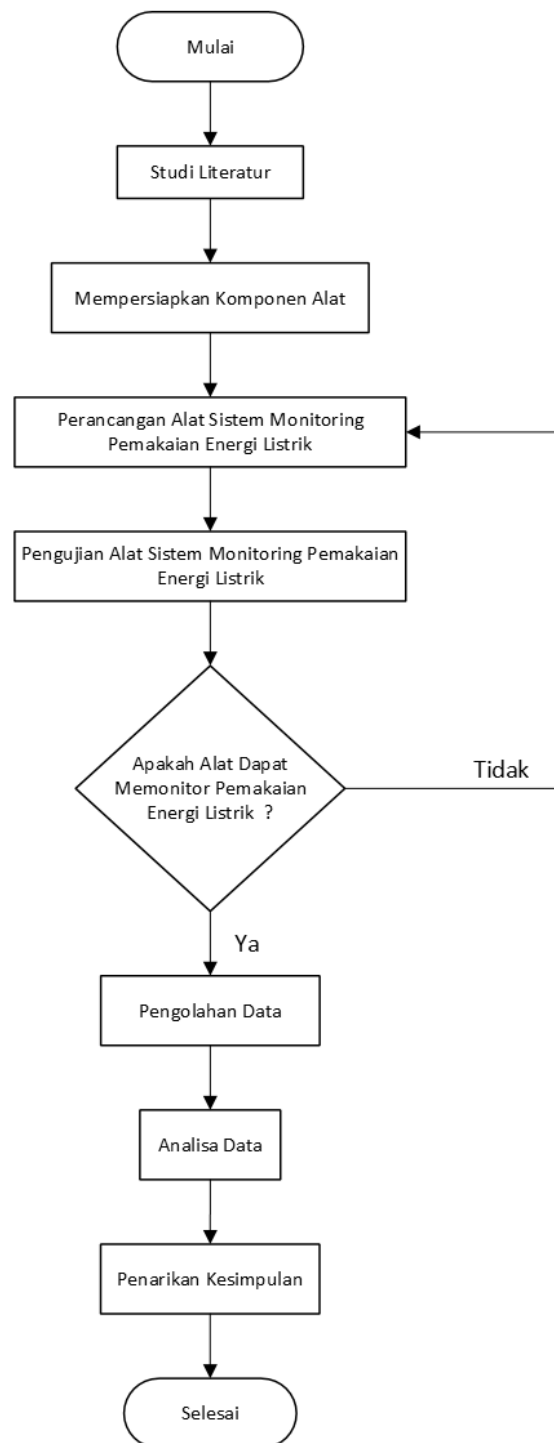
- Aplikasi Blynk – Berfungsi sebagai antarmuka pengguna (UI) yang dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan. Pengguna dapat menambahkan berbagai widget, seperti tombol, grafik, indikator status, dan slider untuk mengontrol serta memantau perangkat IoT secara real-time melalui smartphone.
- Server Blynk – Berperan sebagai penghubung antara aplikasi Blynk dan perangkat keras, yang memastikan komunikasi data tetap berjalan dengan lancar dan aman. Server ini dapat menggunakan server cloud resmi Blynk atau server lokal yang dikonfigurasi sendiri untuk meningkatkan fleksibilitas dan keamanan sistem.
- Library Blynk – Digunakan dalam pemrograman perangkat keras, memungkinkan mikrokontroler untuk berkomunikasi dengan server Blynk, menerima perintah dari aplikasi, serta mengirimkan data sensor ke aplikasi secara real-time.



Gambar 6. Mekanisme kerja blynk

3. METODE PENELITIAN

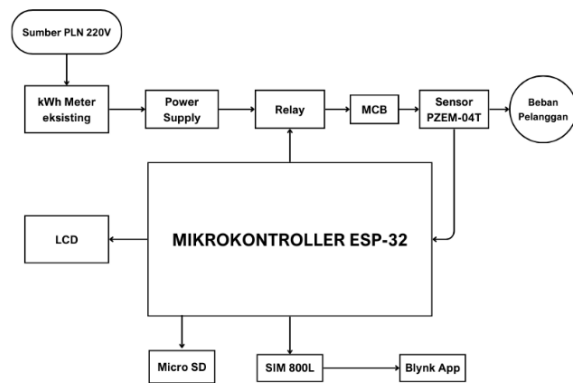
Desain penelitian ini dilakukan berdasarkan diagram alir (flowchart) pembuatan *hardware* serta *software* yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Flowchart penelitian

3.1. Diagram Blok Sistem

Dalam proses perancangan dan pembuatan alat, berikut ini merupakan gambaran umum sistem yang disajikan dalam diagram blok pada Gambar 8.

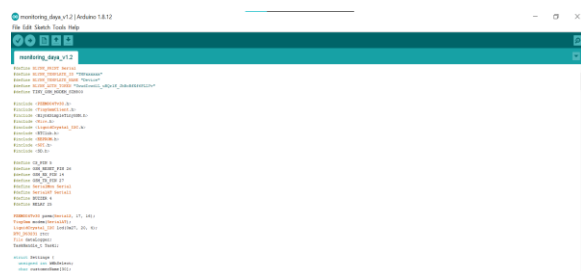


Gambar 8. Diagram blok sistem

Berdasarkan diagram blok yang ditampilkan, sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP-32 sebagai pusat kendali, yang berintegrasi dengan berbagai komponen pendukung. PZEM-004T digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik, relay berfungsi sebagai pemutus beban, LCD menampilkan informasi secara real-time, modul microSD menyimpan data pemakaian, serta SIM800L memungkinkan komunikasi melalui jaringan GSM. Selain itu, aplikasi Blynk digunakan sebagai data logger untuk pemantauan konsumsi daya listrik pelanggan satu fasa serta menghitung tagihan susulan jarak jauh. Sistem monitoring ini dirancang untuk pelanggan rumah tangga dengan kapasitas daya 450VA, 900VA, 1200VA, dan 2200VA. Alat ini dipasang setelah Sambungan Rumah (SR) menuju beban pelanggan. Setelah terhubung, sistem akan mengukur konsumsi energi listrik dan menghitung tagihan pelanggan berdasarkan tarif dasar listrik yang berlaku.

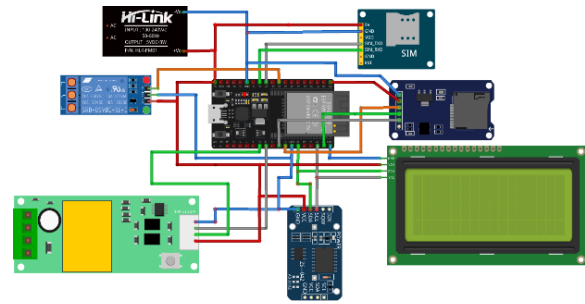
3.2. Perancangan *Hardware* dan *Software*

Pembuatan perangkat keras (hardware) dilakukan berdasarkan referensi dari literatur ilmiah yang telah dipelajari. Setelah perangkat keras selesai dirancang dan dibuat, dilakukan pengujian serta pengukuran untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan teori yang ada. Tahapan ini mencakup perancangan rangkaian sistem mikrokontroler, rangkaian catu daya, desain mekanik, serta pembuatan box panel sebagai wadah perangkat. Tampilan coding pada perangkat ESP-32 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan coding ESP-32

Sementara itu, pengembangan perangkat lunak (software) dilakukan dengan menyusun kode program menggunakan bahasa C melalui aplikasi Arduino IDE. Pemrograman ini bertujuan untuk mengolah data dari berbagai modul, seperti PZEM-004T untuk pengukuran energi listrik, relay untuk pemutus beban, serta integrasi komunikasi melalui Wi-Fi, GSM, dan platform Blynk ke dalam sistem mikrokontroler. Gambaran lengkap dan daftar komponen mengenai perencanaan rangkaian pengawatan perangkat keras ditampilkan pada Gambar 10 dan Tabel 1.



Gambar 10. Rangkaian pengawatan perangkat keras

Tabel 1. Daftar port komponen yang terhubung

Komponen	Port Komponen	Port ESP-32	Keterangan
Sensor PZEM-004T	RX TX VCC GND	16 17 5V GND	Monitoring daya listrik
Modul GSM SIM800L	RX TX RESET VCC GND	14 27 26 4.2V GND	Serial komunikasi GSM (sumber tegangan VCC menggunakan tegangan keluaran buck converter)
LCD I2C	SDA SCL VCC GND	21 22 5V GND	Tampilan data pemakaian listrik
RTC DS3231	SDA SCL VCC GND	21 22 5V GND	Menghitung waktu real-time
Modul Micro SD Card	CS MISO MOSI SCK VCC GND	5 19 23 18 5V GND	Penyimpanan data offline
Relay	IN VCC GND	25 5V GND	Pemutus pemakaian daya/beban pelanggan
Buzzer	+ - IN	5V GND 5	Alarm peringatan

3.3. Pengujian Sistem dan Integrasi

Tahap pengujian sistem bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah dirancang guna memastikan apakah hasilnya sesuai dengan perencanaan. Setiap komponen perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) diuji secara terpisah untuk memastikan bahwa masing-masing berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Setelah seluruh komponen terbukti beroperasi dengan baik, langkah berikutnya adalah mengintegrasikan semua bagian, sehingga sistem dapat bekerja secara optimal sesuai dengan rancangan yang diharapkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian dan analisis sistem yang telah dirancang untuk mengevaluasi kinerja perangkat keras dan perangkat lunak. Pengujian dilakukan guna memastikan sistem berfungsi sesuai perencanaan, dengan hasil sesuai standar yang ditentukan.

4.1. Pengujian Sensor PZEM-004T

Pada sistem monitoring yang dirancang, modul PZEM-004T digunakan untuk mengukur tegangan, arus, daya aktif, dan energi secara langsung dalam format digital. Pengujian sensor dilakukan dalam empat tahap sesuai dengan masing-masing parameter yang diukur yaitu tegangan (V), arus (A), daya (W) dan energi listrik (kWh). Tabel 2-5 menunjukkan pengujian pada masing-masing parameter sensor.

Tabel 2. Data pengujian pengukuran tegangan

Alat Ukur (V)	Sensor (V)	Error (%)
223,9	223,7	0,089
225,0	224,8	0,088
224,9	224,7	0,088
222,2	221,9	0,135
219,5	219,2	0,136
Rata-rata error (%)		0,107

Tabel 3. Data pengujian pengukuran arus

Alat Ukur (A)	Sensor (A)	Error (%)
0,82	0,81	1,220
0,95	0,96	1,053
1,11	1,10	0,901
1,18	1,19	0,840
1,25	1,26	0,794
Rata-rata error (%)		0,961

Tabel 4. Data pengujian pengukuran daya

Alat Ukur (W)	Sensor (W)	Error (%)
15,06	14,80	0,942
27,79	28,00	0,756
41,16	40,80	0,881
128,36	129,00	0,499
142,23	142,50	0,246
Rata-rata error (%)		0,664

Tabel 5. Data pengujian pengukuran energi listrik

Waktu (jam)	Beban (A)	Daya (W)	Alat Ukur (wH)	Sensor (wH)	Error (%)
1	0,52	113,90	110,55	110,00	0,917
1	0,53	112,70	110,93	110,00	1,088
1	0,73	157,40	158,66	160,00	0,845
1	1,08	229,30	240,87	240,00	0,955
1	1,85	405,70	481,81	480,00	0,582
Rata-rata error (%)					0,877

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor telah bekerja sesuai dengan perencanaan, dengan rata-rata error kurang dari 1%. Nilai error ini juga telah memenuhi standar PLN terkait pengukuran energi listrik melalui kWh meter, sebagaimana yang diatur dalam SPLN D3.009-1, yaitu dengan toleransi $\pm 1\%$ (untuk kelas 1).

4.2. Pengujian Relay

Pengujian relay dalam penelitian ini bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat tersebut berfungsi optimal sebagai saklar elektronik dalam sistem monitoring daya listrik dan tagihan susulan. Selain itu, pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi respons relay terhadap sinyal yang dikirimkan oleh ESP-32 melalui pin 25 menggunakan aplikasi Blynk. Gambar pengujian dan hasil data pengujian ditunjukkan pada Gambar 11 dan Tabel 6.



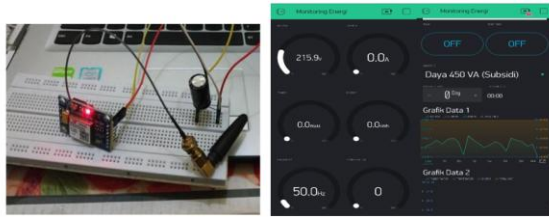
Gambar 11. Pengujian modul relay

Tabel 6. Data pengujian modul relay

Input		Output		Delay Blynk (s)
Relay	Tegangan (V)	Kondisi Relay	Kontak Relay	
LOW	0	Menyala	NC	1.1
HIGH	5	Tidak Menyala	NO	

4.3. Pengujian GSM SIM800L (Blynk)

Dalam penelitian ini, modul SIM800L digunakan sebagai komunikasi serial untuk mengirimkan data hasil pengukuran. Pengujian dilakukan menggunakan modul SIM800L dengan kartu Telkomsel, dengan tujuan memperoleh sinyal yang lebih stabil dan kuat. Tampilan hasil pengiriman data melalui aplikasi Blynk dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengujian modul GSM SIM800L

Pada Gambar diatas juga menunjukkan indikator modul ESP-32 dalam kondisi "online", yang menandakan bahwa perangkat telah berhasil terhubung dengan Blynk. Data pengukuran dummy dapat diakses secara real-time melalui jaringan GSM dari SIM800L

4.4. Pengujian Integrasi Sistem

Pada tahap ini, sistem diuji untuk mengevaluasi akurasi pembacaan parameter listrik, termasuk tegangan (V), arus (A), daya (W), energi (kWh), dan total biaya pemakaian listrik (Rp). Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk memastikan bahwa integrasi antara sensor PZEM-004T, ESP-32, relay, SIM800L, LCD, dan aplikasi Blynk dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi operasional selama 24 jam di rumah pelanggan.



Gambar 13. Pengujian integrasi keseluruhan sistem

Pada Gambar 13 merupakan tampilan sistem hardware yang telah dikembangkan. Adapun hasil pengujian monitoring energi listrik serta tagihan susulan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian integrasi keseluruhan sistem

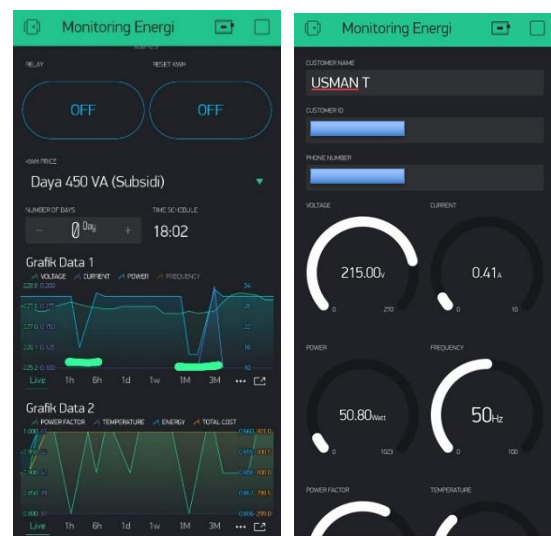
Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (kWh)	Tagihan (Rp)
01.00	221,70	0,40	70,90	0,07	29
02.00	220,00	0,35	70,80	0,15	62
03.00	219,20	0,39	69,20	0,22	91.3
04.00	221,50	0,34	61,00	0,29	120
05.00	224,40	0,56	114,30	0,40	166
06.00	217,10	0,65	121,30	0,53	219
07.00	221,50	0,63	121,40	0,66	273
08.00	220,10	0,63	122,00	0,79	327
09.00	216,90	0,67	116,30	0,92	381
10.00	217,90	0,68	114,10	1,03	427
11.00	218,80	0,56	96,0	1,14	473
12.00	217,10	0,64	116,70	1,27	527
13.00	218,70	0,65	113,70	1,39	576
14.00	218,80	0,62	120,70	1,51	626
15.00	218,70	0,58	104,00	1,62	672
16.00	219,40	0,89	166,00	1,80	747
17.00	221,90	0,93	183,60	1,99	825

Waktu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (kWh)	Tagihan (Rp)
18.00	220,30	0,90	170,50	2,17	900
19.00	221,80	0,89	159,90	2,34	971
20.00	219,20	1,00	192,90	2,55	1.058
21.00	221,40	0,93	168,80	2,73	1.132
22.00	219,40	0,77	136,80	2,88	1.195
23.00	219,50	0,89	166,00	3,06	1.269
00.00	215,80	0,47	81,10	3,14	1.303



Gambar 14. Grafik pengukuran beban harian pelanggan

Gambar 14 diatas merupakan grafik pengukuran beban serta energi listrik yang tercatat dari alat monitoring selama 24 jam. Pada akhir pengukuran, total energi listrik yang terakumulasi adalah 3,14 kWh, dengan total tagihan yang akan dibebankan kepada pelanggan sebesar Rp1.303. Berdasarkan hasil pengujian integrasi pada lima sampel pelanggan, alat monitoring energi listrik terbukti mampu mengukur tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi (kWh) secara real-time setiap jam dengan akurasi hingga dua angka di belakang koma, sehingga cukup andal dalam memantau konsumsi listrik pelanggan. Data yang diperoleh menunjukkan adanya fluktuasi pemakaian daya, yang mengindikasikan bahwa alat ini mampu mendeteksi perubahan konsumsi energi secara akurat dari waktu ke waktu. Pada Gambar 15 merupakan tampilan data logger monitoring melalui aplikasi Blynk.



Gambar 15. Tampilan blynk sebagai data logger monitoring

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem kWh meter portabel berbasis IoT yang dirancang mampu mengukur konsumsi energi listrik secara akurat dengan rata-rata error di bawah 1%, yang masih berada dalam batas toleransi $\pm 1\%$ sesuai standar SPLN D3.009-1 yang digunakan oleh PLN. Pengujian menunjukkan bahwa alat ini dapat mencatat parameter listrik seperti tegangan (V), arus (A), daya (W), dan energi (kWh) secara real-time, serta dapat menghitung tagihan susulan dengan integrasi ke dalam sistem berbasis Blynk dan GSM SIM800L untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian integrasi sistem menunjukkan bahwa dalam 24 jam, alat ini berhasil mencatat total konsumsi 3,14 kWh dengan total tagihan sebesar Rp1.303, membuktikan bahwa alat ini dapat mengukur dan mencatat pemakaian energi pelanggan secara tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Adekayanti, I. Adiasa, and I. Mashabai, "Analisis Gangguan Pada Kwh Meter Pelanggan Di Pt. Pln (Persero) Up3 Sumbawa Menggunakan Fishbone Dan Pdca (Plan, Do, Check, Action)," *J. Ind. dan Teknol. Samawa*, vol. 2, no. 1, pp. 22–31, 2021.
- [2] K. Y. Prawira, "Analisis Perubahan Response Time Dan Recovery Time Pada Penanganan Gangguan Kwh Meter Prabayar 1 Fasa Melalui Penerapan Virtual Command Center (VCC) di PT PLN (PERSERO) Unit Induk Wilayah NTB," *J. Profesi Ins. Indones.*, vol. 2, no. 6, 2024.
- [3] M. F. Ikanov and M. Haddin, "Perhitungan Susut Energi Pada Pemeliharaan APP Prabayar dan Pascabayar di PT PLN (Persero) ULP Anambas," *JUPITER (Jurnal Pendidik. Tek. Elektro)*, vol. 9, no. 2, pp. 56–63, 2024.
- [4] F. Surusa, Q. Aini, A. I. Pratiwi, and Y. Mohamad, "Analisis Susut Non Teknis Akibat Gangguan pada kWh Meter PT. PLN UP3 Gorontalo," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2024.
- [5] K. A. Yasa, I. M. Purbhawa, I. M. S. Yasa, I. W. Teresna, A. Nugroho, and S. Winardi, "IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers," *J. Comput. Sci. Technol. Stud.*, vol. 5, no. 4, pp. 62–68, 2023.
- [6] A. Sumanto, Y. C. Arif, and S. D. Nugraha, "Alat Pendeteksi Kesalahan Pembacaan kWh Meter 1 Fasa dengan Notifikasi SMS disertai Lokasi," *ENERGI & KELISTRIKAN*, vol. 15, no. 2, pp. 73–83, 2023.
- [7] A. D. Pamungkas, L. Subiyanto, A. Z. Arfianto, and H. A. Widodo, "Rancang Bangun Telemetri Arus Beban Peralatan Elektronik Pada Ruang Penumpang Kapal Ferry Berbasis Long Range Wireless Communications (LoRA)," *J. Teknol. Marit.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–30, 2019.
- [8] A. M. Adiaputri and S. Rosyadi, "Telemetry System Design for Monitoring Electrical Energy in Residential Homes," *J. Robot. Autom. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 1000–1111, 2024.
- [9] K. V. N. R. Ummah, S. Sutedjo, M. M. Rifadil, and L. S. Mahendra, "Alat Uji MCB 1 Fasa Instalasi Milik Pelanggan (IML)," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 141–147, 2022.
- [10] R. Sopiyan, "Implikasi Yuridis Dalam Pembayaran Tagihan Tenaga Listrik Yang Tidak Sesuai Pemakaian Akibat Kerusakan Alat Pengukur Dan Pembatas," *" Dharmasisya " J. Progr. Magister Huk. FHUI*, vol. 1, no. 2, p. 33, 2021.
- [11] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and implementation of ESP32-based IoT devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, 2023.
- [12] K. W. Kayohana, "PENGEMBANGAN APLIKASI VISUAL STUDIO DAN KONEKTIVITAS DENGAN ADAFRUIT," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 4, pp. 7837–7847, 2024.
- [13] A. Rahmadani, N. A. Windarko, and L. P. S. Raharja, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 2, p. 219, Dec. 2022, doi: 10.24843/MITE.2022.v21i02.P09.
- [14] F. N. A. Wijaya, S. Noertjahjono, and Y. A. Pranoto, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Pada Sepeda Motor Menggunakan Sms Gateway Berbasis Mikrokontroler," *Jati (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 4, no. 2, pp. 113–119, 2020.
- [15] D. M. Wirapraja, S. P. Nabilah, and S. Susilawati, "SMART AGRICULTURE UNTUK TANAMAN HIAS DENGAN IOT IMPLEMENTASI MONITORING BLYNK," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 1, pp. 320–325, 2025.