



Alat Bantu Pengisian Token Listrik pada kWh Meter Prabayar Menggunakan ESP32 dan Solenoid

Achmad Aris Ardani¹, Aditya Chandra Hermawan², Reza Rahmadian³, Widi Aribowo⁴, Lilik Anifah⁵
^{1,2,3,4,5}Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima xx Bulan 20xx
Direvisi xx Bulan 20xx
Diterbitkan xx Bulan 20xx

Keywords:

ESP32
IoT
Solenoid
Telegram
kWh Meter Prabayar

ABSTRAK

Pengisian token listrik pada kWh meter prabayar umumnya masih dilakukan secara manual melalui *keypad* meteran, sedangkan pemantauan sisa energi listrik sulit dilakukan ketika pengguna berada di luar lokasi pemasangan. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun alat bantu pengisian token listrik berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dan solenoid yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram. Sistem dilengkapi dengan sensor suara LM567 untuk mendeteksi alarm token habis dan ESP32-CAM untuk memantau tampilan kWh meter secara jarak jauh. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian komponen dan fitur utama sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul ESP32-CAM memiliki tingkat keberhasilan 100% dalam pengambilan dan pengiriman gambar. Sensor suara LM567 mampu mendeteksi alarm token listrik pada rentang frekuensi tengah 3,59–3,86 kHz. Pengujian solenoid memperoleh tingkat keberhasilan 80% pada pola angka berurutan dan 100% pada pola angka acak. Pengujian fitur /isitoken menghasilkan tingkat keberhasilan 100% dengan rata-rata waktu respons 22,8 detik, sedangkan fitur /ceksisakwh memperoleh tingkat keberhasilan 100% dengan rata-rata waktu respons 9,21 detik. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu melakukan monitoring sisa energi listrik dan pengisian token listrik secara otomatis melalui Telegram dengan baik.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Achmad Aris Ardani,
Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: achmadaris.21043@mhs.unesa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik pada sektor rumah tangga terus mengalami peningkatan seiring dengan Penggunaan energi listrik pada sektor rumah tangga terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan teknologi, dan meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap perangkat elektronik [1]. PT PLN (Persero) mencatat realisasi penjualan listrik sebesar 149,11 TWh pada semester pertama tahun 2024, meningkat 7,54% dibandingkan periode yang sama pada tahun sebelumnya [1]. Pada sektor rumah tangga, penjualan listrik mencapai 64,42 TWh atau tumbuh sebesar 8,87% dibandingkan tahun 2023 [1]. Peningkatan konsumsi energi listrik tersebut menunjukkan pentingnya pengembangan teknologi monitoring yang mampu membantu pengguna dalam mengelola penggunaan energi secara lebih efektif dan efisien [16]. Sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) juga mampu menyediakan informasi penggunaan energi secara real-time sehingga mendukung upaya konservasi energi dan penghematan biaya listrik [17]. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik, PT PLN menerapkan sistem kWh meter prabayar yang mengharuskan pelanggan melakukan pembelian token listrik sebelum menggunakan energi listrik [3]. Sistem ini memberikan kemudahan bagi pelanggan dalam mengontrol penggunaan energi dan biaya listrik yang

dikeluarkan [2]. Namun demikian, pengguna masih harus memasukkan 20 digit kode token secara manual melalui *keypad* pada kWh meter [5]. Proses tersebut dinilai kurang praktis terutama bagi pengguna yang memiliki mobilitas tinggi maupun keterbatasan untuk mengakses kWh meter secara langsung [6]. Selain itu, pengguna sering mengalami kesulitan dalam memantau sisa energi listrik ketika berada di luar lokasi pemasangan kWh meter [7].

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan berbagai perangkat elektronik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga proses monitoring dan pengendalian dapat dilakukan secara jarak jauh [4]. Perkembangan teknologi sensor dan komunikasi nirkabel juga memungkinkan proses akuisisi data berlangsung secara kontinu dengan konsumsi daya yang relatif rendah [18]. Pemanfaatan IoT pada sistem kelistrikan rumah tangga telah banyak dikembangkan, salah satunya untuk monitoring dan pengisian token listrik secara otomatis [3]. Penelitian Ridho menggunakan komunikasi GSM untuk monitoring token listrik, namun sistem masih bergantung pada ketersediaan pulsa seluler agar dapat beroperasi [5]. Penelitian Novriandry telah mengembangkan sistem monitoring dan pengisian token listrik berbasis *website*, namun implementasi masih terbatas pada bentuk prototipe [2]. Berbagai penelitian internasional juga menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan sistem monitoring energi mampu meningkatkan keandalan komunikasi data serta mendukung implementasi *smart energy management* pada lingkungan rumah [19].

Beberapa penelitian lain juga telah mengembangkan mekanisme pengisian token listrik otomatis menggunakan aktuator. Nursalim menggunakan motor servo sebagai penekan *keypad* kWh meter dengan komunikasi Bluetooth dan aplikasi Android sebagai antarmuka pengguna [6]. Anwari mengembangkan alat bantu pengisian token listrik menggunakan solenoid sebagai penekan *keypad* serta ESP32-CAM untuk dokumentasi visual berbasis *website* [7]. Penggunaan solenoid sebagai aktuator memberikan mekanisme gerak linier yang sederhana sehingga sesuai digunakan untuk menekan tombol *keypad* secara otomatis [12]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan aktuator mampu membantu proses pengisian token listrik secara otomatis, namun belum dilengkapi dengan sistem peringatan dini ketika token listrik hampir habis maupun monitoring kondisi kWh meter melalui aplikasi pesan instan yang mudah diakses pengguna.

ESP32 merupakan mikrokontroler yang memiliki konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi sehingga banyak digunakan pada berbagai aplikasi IoT karena memiliki kemampuan komunikasi data yang baik [8]. ESP32 juga mendukung komunikasi nirkabel yang stabil sehingga sesuai diterapkan pada sistem monitoring dan pengendalian perangkat berbasis internet secara real-time [20]. Selain itu, ESP32-CAM dapat dimanfaatkan untuk pengambilan gambar secara jarak jauh sehingga kondisi kWh meter dapat dipantau tanpa harus berada di lokasi pemasangan [9]. Sensor suara LM567 merupakan *tone decoder* yang mampu mendeteksi frekuensi tertentu sehingga dapat digunakan sebagai pendeteksi alarm token listrik habis [13]. Relay berfungsi sebagai sakelar elektronik yang menghubungkan dan memutus aliran listrik berdasarkan perintah dari mikrokontroler [11].

Kombinasi ESP32, ESP32-CAM, sensor suara LM567, relay, dan solenoid memungkinkan terbentuknya sistem monitoring dan pengisian token listrik yang lebih terintegrasi [7]. Perkembangan teknologi IoT tidak hanya meningkatkan kemampuan monitoring, tetapi juga memungkinkan integrasi antara perangkat keras, sensor, aktuator, dan aplikasi berbasis internet dalam satu sistem yang saling terhubung [18]. Integrasi tersebut mampu meningkatkan keandalan pengiriman data, mempercepat proses pengambilan keputusan, serta memberikan kemudahan bagi pengguna dalam melakukan pengendalian perangkat listrik dari jarak jauh [17]. Oleh karena itu, penerapan ESP32 sebagai pengendali utama dipandang sesuai karena memiliki kemampuan komunikasi nirkabel, konsumsi daya yang rendah, serta kompatibel dengan berbagai platform IoT [20].

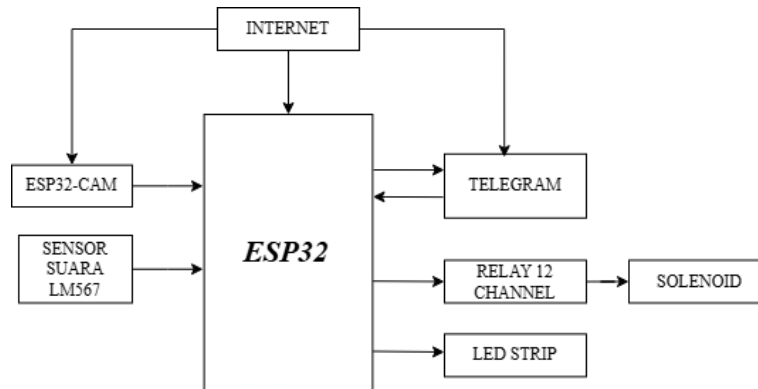
Berdasarkan permasalahan dan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan alat bantu pengisian token listrik pada kWh meter Prabayar menggunakan ESP32 dan solenoid yang terintegrasi dengan aplikasi Telegram. Sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan fitur monitoring sisa energi listrik melalui ESP32-CAM, deteksi alarm token habis menggunakan sensor suara LM567, serta pengisian token listrik secara otomatis melalui perintah Telegram. Diharapkan sistem yang dirancang dapat membantu pengguna dalam melakukan monitoring dan pengisian token listrik secara jarak jauh dengan tingkat keberhasilan yang tinggi.

2. METODA

2.1 Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun untuk mengembangkan alat bantu pengisian token listrik berbasis ESP32 serta Solenoid dengan modul sensor suara berbasis IC LM567 dan modul kamera ESP32-CAM, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam pemantauan sisa token listrik pada kWh meter prabayar secara jarak jauh, serta kontrol solenoid untuk memasukkan token listrik melalui aplikasi Telegram dengan fitur *chat* bot. Desain penelitian ini mencakup beberapa tahapan, yaitu studi literatur, identifikasi masalah, tujuan perancangan, perancangan alat secara *software dan hardware*, konfigurasi alat, pengujian alat, pengambilan data secara akurat pada alat bantu pengisian token listrik.

2.1.1 Blok Diagram Sistem

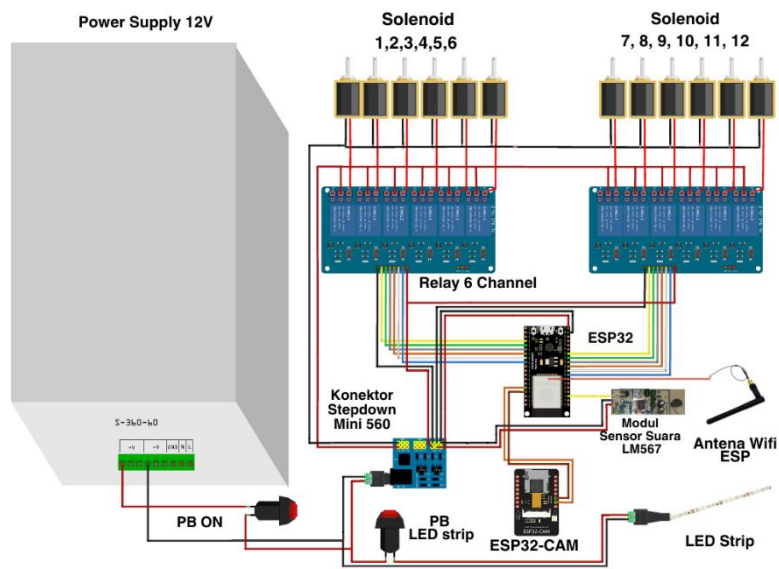


Gambar 1 Blok Diagram Sistem

Gambar 1 menunjukkan blok diagram sistem yang menggambarkan hubungan antar komponen pada alat yang dirancang. Sistem menerima masukan dari modul ESP32-CAM yang digunakan untuk mengambil gambar tampilan sisa energi pada kWh meter serta sensor suara LM567 yang berfungsi mendeteksi bunyi alarm indikator token listrik habis. Seluruh data masukan diproses oleh mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Selanjutnya, ESP32 mengirimkan sinyal kendali ke modul relay untuk mengaktifkan solenoid yang digunakan menekan tombol pada *keypad* kWh meter. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan Telegram melalui jaringan internet untuk menerima perintah pengguna dan mengirimkan informasi hasil pemantauan sistem.

2.1.2 Skema Perancangan Sistem

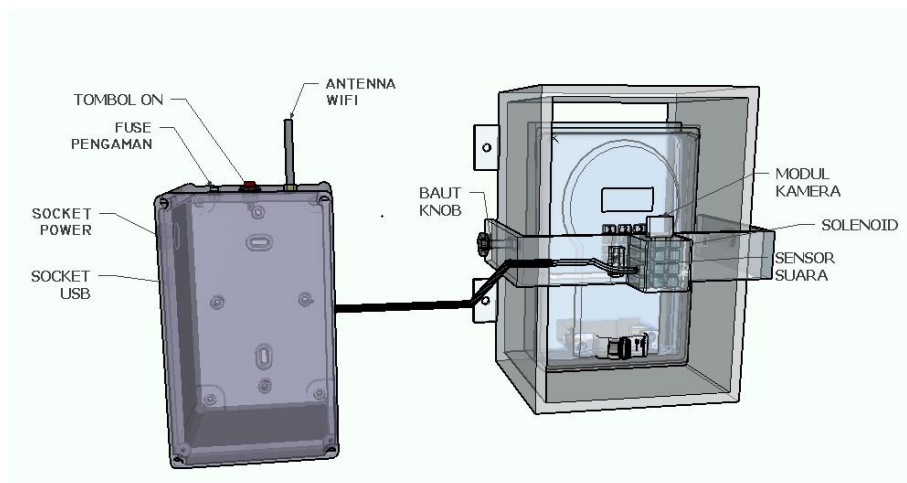
Pada Gambar 2 merupakan skema perancangan sistem pada alat bantu. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang terhubung dengan sensor suara LM567, modul relay, dan ESP32-CAM. Sensor LM567 digunakan untuk mendeteksi suara alarm token habis, sedangkan ESP32-CAM digunakan untuk mengambil gambar tampilan kWh meter. Modul relay digunakan untuk mengendalikan 12 solenoid sebagai penekan tombol *keypad* kWh meter sesuai perintah yang dikirim melalui bot Telegram. Sistem menggunakan catu daya 12VDC dengan bantuan modul *step-down* untuk menyesuaikan kebutuhan tegangan pada beberapa komponen. Selain itu, LED strip digunakan sebagai pencahayaan tambahan saat proses pengambilan gambar.



Gambar 2 Skema Perancangan Sistem

2.1.3 Desain Keseluruhan Alat

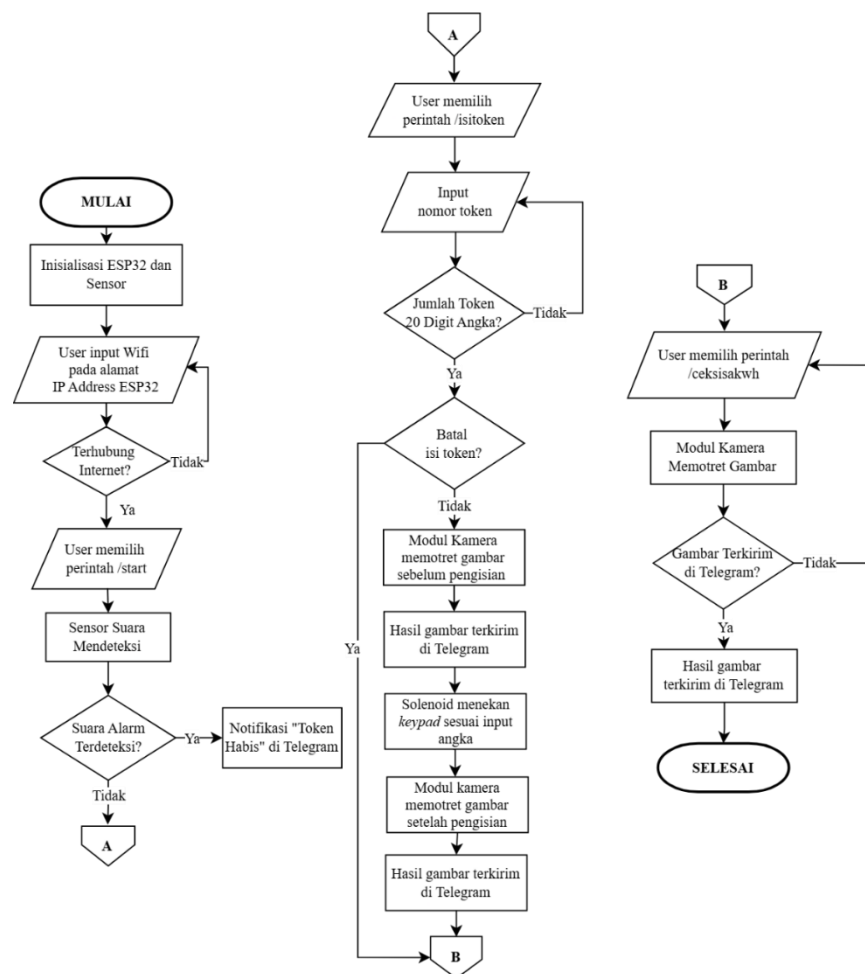
Berikut di bawah ini merupakan tampilan keseluruhan alat bantu pengisian token pada kWh Prabayar dengan ESP32 dan Solenoid. Terdiri dari *box* kontrol dan dudukan Solenoid pada KWH secara langsung.



Gambar 3 Desain 3D Keseluruhan Alat

2.3 Prosedur Operasional Alat Bantu Pengisian Token Listrik

Prosedur operasional jalannya sistem dari alat bantu pengisian token listrik pada kWh prabayar menggunakan ESP32 dan Solenoid terdapat pada Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4 Flowchart Cara Kerja Alat

Berdasarkan Gambar 3, proses kerja sistem diawali dengan menyalakan alat sehingga ESP32, sensor suara LM567, dan modul kamera melakukan proses inisialisasi. Setelah proses inisialisasi selesai, pengguna menghubungkan perangkat ke *access point* yang dibuat oleh ESP32 melalui halaman konfigurasi Wi-Fi *Manager* untuk memasukkan SSID dan kata sandi jaringan internet. Apabila ESP32 berhasil terhubung ke internet, pengguna dapat mengakses bot Telegram dan menjalankan perintah */start*. Selanjutnya sistem berada pada kondisi *standby* sambil memantau suara alarm dari kWh meter menggunakan sensor LM567. Jika alarm token habis terdeteksi, ESP32 akan mengirimkan notifikasi ke Telegram. Pengguna kemudian dapat memilih perintah */isitoken* untuk melakukan pengisian token listrik atau */ceksisakwh* untuk melihat sisa energi listrik pada kWh meter. Pada perintah */isitoken*, pengguna memasukkan 20 digit nomor token yang akan divalidasi terlebih dahulu. Jika data yang dimasukkan sesuai, modul kamera akan mengambil gambar sebelum proses pengisian, kemudian relay mengaktifkan solenoid untuk menekan *keypad* sesuai nomor token yang dimasukkan. Setelah proses pengisian selesai, modul kamera kembali mengambil gambar dan hasilnya dikirim ke Telegram. Pada perintah */ceksisakwh*, ESP32 akan memicu modul kamera untuk mengambil gambar tampilan kWh meter.

2.4 Metode Pengujian dan Pengambilan Data

Metode pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat bantu pengisian token listrik pada kWh meter Prabayar yang telah dirancang. Pengujian dilakukan secara bertahap meliputi pengujian komponen, pengujian fitur utama alat, dan pengujian keandalan sistem. Data yang diperoleh berupa tingkat keberhasilan fungsi, waktu respons sistem, serta kestabilan alat selama periode pengujian. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk menganalisis performa sistem dalam menjalankan fungsi monitoring dan pengisian token listrik berbasis *Internet of Things* (IoT).

2.4.1 Pengujian Komponen

a. ESP32-CAM

Pengujian ESP32-CAM dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul kamera dalam mengambil gambar berdasarkan waktu. Parameter yang diamati meliputi tingkat keberhasilan pengiriman gambar dalam rentang waktu tertentu 08.00 WIB – 23.00 WIB.

$$\text{Presentase keberhasilan (\%)}: \frac{\text{Jumlah berhasil}}{\text{Jumlah percobaan}} \quad (1)$$

b. Solenoid

Pengujian solenoid dilakukan menggunakan pola penekanan angka secara acak dan berurutan untuk mengetahui kesesuaian gerakan solenoid terhadap tombol yang dituju. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung persentase keberhasilan penekanan tombol pada Persamaan (1).

c. Sensor Suara LM567

Pengujian sensor suara LM567 dilakukan dengan mengubah nilai resistor variabel untuk memperoleh frekuensi tengah yang sesuai dengan karakteristik alarm token listrik habis. Nilai frekuensi tengah dihitung menggunakan persamaan berdasarkan *datasheet* LM567 [13].

$$f_0 = \frac{1}{1.1 \times R \times C} \quad (2)$$

F_0 : Frekuensi tengah

R: Resistor penentu waktu (*timing*)

C: Kapasitor penentu waktu (*timing*)

2.4.2 Pengujian Fitur Utama Alat

a. Fitur Perintah /isitoken

Pengujian fitur perintah /isitoken dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan pengisian token listrik melalui bot Telegram. Parameter yang diamati meliputi waktu respons sistem, keberhasilan proses pengisian token, serta keberhasilan pengambilan dan pengiriman gambar sebelum dan sesudah proses pengisian. Persentase keberhasilan dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan waktu respon sistem dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$\text{Rata – rata waktu (detik)}: \frac{\text{Total waktu respon}}{\text{Jumlah percobaan}} \quad (3)$$

b. Fitur Perintah /ceksisakwh

Pengujian fitur perintah /ceksisakwh dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul kamera dalam mengambil dan mengirimkan gambar tampilan sisa energi listrik pada kWh meter melalui Telegram. Parameter yang diamati meliputi waktu respons sistem dan tingkat keberhasilan pengiriman gambar. Persentase keberhasilan dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan waktu respons sistem dihitung menggunakan Persamaan (3).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

Gambar 5 di bawah ini menunjukkan tampilan keseluruhan alat saat terpasang pada kWh meter Prabayar. Sistem terdiri dari dua bagian utama, yaitu box kontrol dan wadah akrilik untuk solenoid. Box kontrol berfungsi sebagai pusat pengendalian sistem yang berisi mikrokontroler ESP32, modul relay, catu daya, dan komponen pendukung lainnya. Pada sisi kiri box kontrol terdapat port USB yang digunakan untuk proses pemrograman dan pembaruan perangkat lunak, serta tombol untuk mengaktifkan dan menonaktifkan LED strip sebagai sumber pencahayaan tambahan. Bagian atas box dilengkapi dengan *fuse* sebagai pengaman rangkaian, tombol ON/OFF untuk menyalakan sistem, antena Wi-Fi untuk meningkatkan kualitas koneksi jaringan, dan LED indikator sebagai penanda status alat. Sementara itu, pada sisi kanan box kontrol terdapat keluaran kabel yang menghubungkan sistem dengan modul solenoid, ESP32-CAM, sensor suara LM567, serta komponen pendukung lainnya. Adapun modul solenoid dipasang pada *keypad* kWh meter dan digunakan untuk menekan tombol sesuai perintah yang dikirim melalui bot Telegram.



Gambar 5 Keseluruhan Alat

3.2 Hasil Pengujian Komponen

3.2.1 Modul Kamera ESP-32CAM

Pengujian modul kamera dilakukan untuk mengetahui kinerja ESP32-CAM dalam mengambil dan mengirimkan gambar tampilan kWh meter pada waktu yang berbeda. Pengujian dilaksanakan pada pagi, siang, dan malam hari untuk mengevaluasi konsistensi kinerja kamera terhadap perubahan kondisi pencahayaan. Berdasarkan perhitungan persentase keberhasilan menggunakan Persamaan (1), seluruh percobaan berhasil dilakukan dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%, dalam pengambilan gambar dan pengiriman gambar.

Tabel 1 Pengujian ESP32-CAM berdasarkan Waktu

Pengujian	Waktu	Hasil	Keterangan
1	08.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 15.77
2	09.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 15.61
3	10.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 15.45
4	11.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 14.95
5	12.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 14.69
6	13.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 14.39
7	14.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 14.12
8	15.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 13.74
9	16.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 13.74
10	17.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 13.32
11	19.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 18.99
12	20.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 18.93
13	21.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 18.55
14	22.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 18.45
15	23.00	Berhasil	Terbaca sisa kWh 18.19

3.2.1 Sensor Suara LM567

Pengujian sensor suara LM567 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi suara alarm token listrik habis pada kWh meter Prabayar. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai resistor *timing* untuk memperoleh frekuensi tengah yang sesuai dengan karakteristik suara alarm. Hasil pengujian digunakan untuk menentukan konfigurasi LM567 yang mampu memberikan respons deteksi paling optimal.

Tabel 2 Hasil Pengujian Variasi Nilai Resistor pada Konfigurasi Sensor LM567

Pengujian	Nilai Resistor (Ohm)	Nilai Kapasitor (F)	Nilai Frekuensi Tengah (Hz)	Hasil Deteksi
1	4k	22 nF	4.75 kHz	Tidak terdeteksi
2	4,5k	22 nF	4.49 kHz	Tidak terdeteksi
3	5k	22 nF	4.26 kHz	Tidak terdeteksi
4	5,5k	22 nF	4.05 kHz	Tidak terdeteksi
5	6k	22 nF	3.86 kHz	Terdeteksi
6	6,5k	22 nF	3.68 kHz	Terdeteksi
7	6,8k	22 nF	3.59 kHz	Terdeteksi
8	7k	22 nF	3.52 kHz	Tidak terdeteksi
9	8k	22 nF	3.24 kHz	Tidak terdeteksi
10	9k	22 nF	3.04 kHz	Tidak terdeteksi

Di bawah ini merupakan contoh perhitungan salah satu pengujian pada tabel 2 yang menggunakan Persamaan (2):

$$f_0 = \frac{1}{1.1 \times R \times C} = \frac{1}{1.1 \times (6k\Omega + 4k7) \times 22 \times 10^{-9}} = 3.86 \text{ kHz}$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 2, sensor LM567 mulai mendeteksi suara alarm token listrik pada percobaan ke-5 hingga ke-7 dengan frekuensi tengah berturut-turut sebesar 3,86 kHz, 3,68 kHz, dan 3,59 kHz. Pada rangkaian yang digunakan, kapasitor *timing* bernilai 22 nF, sedangkan resistor *timing* diperoleh dari kombinasi resistor tetap 4,7 kΩ dan potensiometer 10 kΩ yang berfungsi sebagai resistor variabel. Dengan mengubah nilai potensiometer, nilai resistor total akan berubah sehingga frekuensi tengah LM567 dapat disesuaikan menggunakan Persamaan (2). LM567 bekerja menggunakan prinsip *Phase Locked Loop* (PLL), yaitu mencocokkan frekuensi sinyal masukan dengan frekuensi tengah yang telah ditentukan oleh komponen eksternal [14]. Ketika frekuensi alarm berada di dalam rentang deteksi, rangkaian akan berada pada kondisi *lock* sehingga keluaran LM567 menjadi aktif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa suara alarm token listrik berada pada kisaran frekuensi sekitar 3,59–3,86 kHz sehingga dapat dideteksi dengan baik oleh sensor. Selain itu, deteksi yang terjadi pada beberapa nilai resistor menunjukkan bahwa LM567 tidak hanya merespons satu frekuensi tertentu, melainkan memiliki *bandwidth* atau rentang deteksi di sekitar frekuensi tengah yang telah diatur.

Karakteristik ini sejalan dengan sistem berbasis *Phase Locked Loop* (PLL) yang memiliki *lock range* atau *capture range*, yaitu rentang frekuensi tertentu dimana sistem masih mampu mencapai kondisi *lock* terhadap sinyal masukan [15]. Farai, menjelaskan bahwa LM567 memanfaatkan rangkaian PLL yang akan menyesuaikan frekuensi VCO hingga mencapai kondisi *phase-locking* ketika frekuensi sinyal masukan sesuai dengan frekuensi referensi yang ditentukan [15]. Karakteristik ini sesuai dengan prinsip kerja *Tone Decoder* berbasis PLL yang memiliki daerah tangkap frekuensi (*capture range*) sehingga masih dapat mendeteksi sinyal dengan frekuensi yang mendekati frekuensi tengah. Oleh karena itu, LM567 cukup efektif digunakan sebagai pendeteksi alarm token listrik karena mampu mentoleransi variasi frekuensi kecil yang mungkin terjadi pada sumber suara.

3.2.1 Solenoid

Pengujian solenoid dilakukan untuk mengetahui kesesuaian penekanan tombol keypad terhadap input yang diberikan serta mengevaluasi presisi masing-masing solenoid. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, diperoleh tingkat keberhasilan sebesar 80% berdasarkan Persamaan (1), sedangkan hasil pengujian pada Tabel 4 menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh solenoid mampu menerima perintah yang dikirim oleh ESP32, namun pada pengujian pola angka berurutan masih ditemukan kegagalan pada penekanan tombol angka 9 dan 0. Secara keseluruhan, mekanisme solenoid telah bekerja dengan baik dan mampu melakukan proses penekanan *keypad* sesuai dengan input yang diberikan.

Kegagalan pada pengujian pola angka berurutan tidak disebabkan oleh kegagalan komunikasi antara ESP32, relay, maupun solenoid dalam menerima perintah, melainkan dipengaruhi oleh aspek mekanik aktuator. Pada pengujian tersebut, setiap solenoid bekerja secara berulang untuk menekan tombol sebanyak 20 digit dalam satu rangkaian pengujian. Setelah lebih dari 10 kali penekanan, inti besi (*plunger*) pada solenoid mengalami sedikit pergeseran dari posisi awal akibat getaran balik (*rebound*) yang terjadi saat ujung inti besi

membentur permukaan akrilik setelah proses penekanan. Pergeseran tersebut menyebabkan posisi inti besi menjadi sedikit miring sehingga lintasan gerakannya tidak lagi sejajar dengan tombol *keypad*. Akibatnya, pada solenoid yang bertugas menekan tombol angka 9 dan 0, gaya tekan yang dihasilkan tidak mampu menekan tombol secara penuh sehingga terjadi kegagalan penekanan. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan berasal dari desain mekanik dudukan solenoid, bukan dari sistem kendali maupun aktuator itu sendiri.

Untuk meningkatkan tingkat keberhasilan sistem, diperlukan penyempurnaan pada desain mekanik, khususnya pada dudukan atau rangka akrilik agar posisi setiap solenoid lebih presisi sehingga pergerakan tambahan inti besi (*plunger extension*) tetap sejajar dan tegak lurus terhadap permukaan *keypad*. Selain itu, penggunaan solenoid dengan dimensi yang lebih kecil dapat menjadi alternatif karena memungkinkan aktuator dipasang lebih dekat dengan *keypad* sehingga tidak memerlukan tambahan inti besi sebagai perpanjangan. Namun demikian, pemilihan solenoid perlu mempertimbangkan besarnya gaya dorong (*push force*), mengingat solenoid berukuran kecil umumnya menghasilkan gaya tekan yang lebih rendah. Oleh karena itu, diperlukan solenoid berukuran lebih kecil tetapi tetap memiliki gaya dorong yang cukup untuk menekan tombol *keypad* secara optimal. Dengan perbaikan tersebut, mekanisme penekanan tombol diharapkan menjadi lebih stabil dan konsisten sehingga tingkat keberhasilan pengisian token listrik dapat meningkat, terutama pada pengoperasian secara berulang.

Tabel 3 Hasil Pengujian Solenoid pada Angka Urut

Pengujian	Token Listrik (20 angka)	Hasil Berhasil/Gagal
1	1111-1111-1111-1111-1111	Berhasil
2	2222-2222-2222-2222-2222	Berhasil
3	3333-3333-3333-3333-3333	Berhasil
4	4444-4444-4444-4444-4444	Berhasil
5	5555-5555-5555-5555-5555	Berhasil
6	6666-6666-6666-6666-6666	Berhasil
7	7777-7777-7777-7777-7777	Berhasil
8	8888-8888-8888-8888-8888	Berhasil
9	9999-9999-9999-9999-9999	Gagal
10	0000-0000-0000-0000-0000	Gagal

Tabel 4 Hasil Pengujian Solenoid pada Angka Acak

Pengujian	Token Listrik (20 angka)	Hasil Berhasil/Gagal
1	8391-4726-5604-9183-2745	Berhasil
2	1049-6827-3951-7406-2283	Berhasil
3	7562-0194-8837-2645-5910	Berhasil
4	4928-7301-6659-1842-9076	Berhasil
5	6813-9450-2374-5089-1267	Berhasil
6	9207-3641-8592-0476-1385	Berhasil
7	3574-8162-9045-2389-6710	Berhasil
8	4627-5316-4725-3164-7820	Berhasil
9	7352-4617-3524-6173-5269	Berhasil
10	4261-7352-4617-3524-6018	Berhasil

3.3 Hasil Pengujian Fitur Utama Sistem

3.3.1 Hasil Pengujian Perintah /isitoken

Berdasarkan hasil pengujian fitur /isitoken, diperoleh rata-rata waktu respons sebesar 22,8 detik berdasarkan Persamaan (3). Perbedaan waktu pada setiap percobaan dipengaruhi oleh kualitas koneksi internet antara bot Telegram dan ESP32. Selain itu, berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan (1), fitur /isitoken memperoleh tingkat keberhasilan sebesar 100% dari 10 kali percobaan dengan token listrik yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengisian token listrik secara otomatis serta mengirimkan gambar sebelum dan sesudah proses pengisian melalui Telegram. Pada salah satu percobaan, hasil pengisian token sebesar Rp20.000 berhasil menambah energi listrik sebesar 13,5 kWh pada kWh meter.

Tabel 5 Hasil Pengujian Perintah /isitoken

No	Token listrik (20 angka)	Waktu Respon (detik)	Hasil
1	5456-9834-5131-2872-7069	22,8	Berhasil
2	6556-0174-2654-0006-2438	22,8	Berhasil
3	4306-8343-5211-0901-5782	22,8	Berhasil
4	3219-1894-0909-7623-2244	22,9	Berhasil
5	2370-8689-5677-9992-8717	22,9	Berhasil
6	3564-9733-8172-3232-1654	22,9	Berhasil
7	3421-5987-7196-5954-2760	22,8	Berhasil
8	4966-5278-9756-2181-9812	22,8	Berhasil
9	0090-7016-9032-5554-2476	22,7	Berhasil
10	1602-7284-8724-5945-4175	22,6	Berhasil

3.3.2 Hasil Pengujian Perintah /ceksisakwh

Berdasarkan hasil pengujian fitur /ceksisakwh pada ESP32-CAM, diperoleh rata-rata waktu respon sebesar 9,21 detik berdasarkan Persamaan (3). Sementara itu, perhitungan menggunakan Persamaan (1) menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100% dari 10 kali percobaan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengambil dan mengirimkan gambar tampilan sisa energi listrik pada kWh meter secara konsisten melalui Telegram. Meskipun pada percobaan pertama hingga ketiga kualitas gambar terlihat sedikit lebih gelap akibat salah satu sisi LED strip terlepas, informasi sisa kWh masih dapat terbaca dengan baik sehingga tidak mempengaruhi keberhasilan proses monitoring.

Tabel 6 Hasil Pengujian Perintah /ceksisakwh

No	Pukul (WIB)	Waktu Respon (detik)	Hasil	Keterangan
1	08.00	9,6	Berhasil	Terbaca sisa kWh 15.77
2	09.00	10	Berhasil	Terbaca sisa kWh 15.61
3	10.00	10	Berhasil	Terbaca sisa kWh 15.45
4	12.00	8.5	Berhasil	Terbaca sisa kWh 14.69
5	14.00	8.4	Berhasil	Terbaca sisa kWh 14.12
6	16.00	11.6	Berhasil	Terbaca sisa kWh 13.28
7	18.00	8.8	Berhasil.	Terbaca sisa kWh 13.01
8	20.00	9.8	Berhasil	Terbaca sisa kWh 12.60
9	22.00	8	Berhasil	Terbaca sisa kWh 12.03
10	00.00	9.4	Berhasil	Terbaca sisa kWh 11.49

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun alat bantu pengisian token listrik pada kWh meter Prabayar menggunakan ESP32 dan solenoid yang terintegrasi dengan Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul ESP32-CAM mampu melakukan pengambilan dan pengiriman gambar dengan tingkat keberhasilan 100%, sedangkan sensor suara LM567 berhasil mendeteksi alarm token listrik pada rentang frekuensi tengah 3,59–3,86 kHz. Pengujian solenoid memperoleh tingkat keberhasilan sebesar 80% pada pola angka berurutan dan 100% pada pola angka acak. Pada pengujian fitur utama, perintah /isitoken memiliki tingkat keberhasilan 100% dengan rata-rata waktu respons 22,8 detik, sedangkan perintah /ceksisakwh memiliki tingkat keberhasilan 100% dengan rata-rata waktu respons 9,21 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dapat digunakan untuk membantu proses monitoring sisa energi listrik dan pengisian token listrik secara jarak jauh melalui Telegram dengan baik.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada aspek mekanik, khususnya pada mekanisme penekanan solenoid yang mengalami penurunan presisi saat bekerja secara berulang sehingga pada pengujian pola angka berurutan diperoleh tingkat keberhasilan sebesar 80%. Selain itu, desain mekanik yang dikembangkan masih disesuaikan dengan dimensi dan tata letak *keypad* pada dua jenis kWh meter Prabayar, yaitu ITRON ACE9000 IBS DS dan SMI-810 V2, sehingga kompatibilitas terhadap merek atau tipe kWh meter

lainnya belum dievaluasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menyempurnakan desain mekanikudukan solenoid agar lebih presisi, menggunakan solenoid dengan dimensi yang lebih kecil namun tetap memiliki gaya dorong (*push force*) yang memadai, serta mengembangkan mekanisme dudukan yang dapat diatur (*adjustable*) atau digeser posisinya sehingga mampu menyesuaikan letak *keypad* pada berbagai merek dan tipe kWh meter Prabayar. Dengan pengembangan tersebut, sistem diharapkan memiliki fleksibilitas dan kompatibilitas yang lebih tinggi untuk diterapkan pada berbagai jenis kWh meter yang digunakan oleh pelanggan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi D4 Teknik Listrik Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas dan sarana yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] G. Adi Trianto, "PLN Sukses Kerek Penjualan Listrik Semester I 2024, Tumbuh 7,54 Persen!," PT PLN (Persero). Accessed: Nov. 19, 2024. [Online]. Available: <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2024/08/pln-sukses-kerek-penjualan-listrik-semester-2024-tumbuh-754-persen>
- [2] Y. Novriandry, D. Triyanto, and Suhardi, "PROTOTYPE SISTEM MONITORING DAN PENGISIAN TOKEN LISTRIK PRABAYAR MENGGUNAKAN ARDUINO UNO BERBASIS WEBSITE," *Coding : Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 8, no. 3, pp. 61–72, 2020.
- [3] D. Kurnianto, A. Wijaya, and M. A. Amanaf, "Sistem Pengisian Token Listrik Jarak Jauh Berbasis IoT pada Alat Ukur Listrik Rumah," *TELKA*, vol. 8, no. 1, pp. 14–23, 2022.
- [4] R. N. Kurniawan, R. Munadi, and I. H. Santoso, "SISTEM MONITORING KWH METER DENGAN MEDIA KOMUNIKASI INSTAN MESSAGING WHATSAPP BERBASIS INTERNET OF THINGS," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 5, pp. 5505–5511, Oct. 21AD, [Online]. Available: <https://data-flair.training/blogs/iot-applications-in-healthcare/>
- [5] Ridho, A. Devi, and Lestari. Sri, "RANCANG BANGUN ALAT PENGISI PULSA OTOMATIS PADA KWH METER DIGITAL PRABAYAR SATU FASA MENGGUNAKAN ANDROID BERBASIS MIKROKONTROLER," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP) Tahun*, vol. 1, pp. 1–4, Sep. 2018.
- [6] N. Nursalim, W. F. Galla, S. Syam, S. Kurniati, and V. A. E. Rondak, "PERANCANGAN SISTEM PENGISI TOKEN LISTRIK BERUMPAK BALIK PADA kWh METER PRABAYAR BERBASIS ARDUINO," *Jurnal Media Elektro*, pp. 120–127, Oct. 2023, doi: 10.35508/jme.v1i2i2.12694.
- [7] A. Anwari, L. Hari Santoso, and M. Rozak, "Rancang Bangun Alat Bantu Pengisian Token Listrik dengan Pengendali Utama Mikrokontroler Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Infotex*, vol. 3, no. 1, pp. 73–87, Oct. 2024.
- [8] A. Sanaris and I. Suharjo, "Prototype Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan NodeMCU ESP32 Dan Telegram Bot Berbasis Internet of Things (IOT) Prototype Automatic Drying Tool Using NodeMCU ESP32 and Telegram Bot Based on Internet of Things (IOT)," *Journal of Information System and Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, Nov. 2020.
- [9] R. Wahyudi and Edidas, "PERANCANG DAN PEMBUATAN SISTEM KEAMANAN RUMAH BER," *Jurnal Pendidikan Tambusa*, vol. 6, no. 1, pp. 1135–1141, 2022, doi: <https://doi.org/10.31004/jptam.v6i1.3045>.
- [10] M. S. Ulum, F. Asumarau, M. D. T. Musa, E. Sesa, L. Mahmudin, and Badaruddin, "A Microcontroller-Based Sonometer," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1434/1/012018.
- [11] Y. Triawan, J. Sardi, and J. Hamka Air Tawar, "Perancangan Sistem Otomatisasi pada Aquascape Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 76–83, 2020, doi: <https://doi.org/10.24036/jtein.v1i1.8>.
- [12] V. Pradana and H. L. Wiharto, "Rancang Bangun Smart Locker Menggunakan Rfid Berbasis Arduino Uno," *Jurnal EL Sains*, vol. 2, no. 1, pp. 2527–6336, 2020.
- [13] T. INSTRUMENTS, "LM567x Tone Decoder," Jan. 2022. Accessed: Jun. 17, 2026. [Online]. Available: https://www.ti.com/lit/ds/snosbq4f/snosbq4f.pdf?ts=1776852998950&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
- [14] E. S. Sehsah, A. Al-Dakhil, R. Ibrahim, and R. Mossad, "A SOLAR-POWERED ULTRASONIC DEVICE FOR SUSTAINABLE CONTROL OF STORED-PRODUCT INSECTS: DESIGN AND LABORATORY EVALUATION," *Appl. Ecol. Environ. Res.*, vol. 23, no. 6, pp. 11189–11200, Nov. 2025, doi: 10.15666/aecr/2306_1118911200.
- [15] O. Farai, N. Metje, C. Anthony, A. Sadeghioon, and D. Chapman, "Novel communication system for buried water pipe monitoring using acoustic signal propagation along the pipe," *International Journal of Pervasive Computing and Communications*, vol. 20, no. 2, pp. 262–284, Mar. 2024, doi: 10.1108/IJPC-05-2022-0179.
- [16] F. Franco, E. Crisostomi, F. Leccese, A. Mugnani, and S. Suin, "Energy Savings in University Buildings: The Potential Role of Smart Monitoring and IoT Technologies," *Sustainability*, vol. 17, no. 1, Art. no. 111, 2025, doi: 10.3390/su17010111.
- [17] M. O. Qays, M. A. Al-Tae, A. H. Ali, and M. T. Alreshedi, "Monitoring of Renewable Energy Systems by IoT-Aided SCADA System," *Energy Science & Engineering*, vol. 10, no. 6, pp. 1874–1885, 2022, doi: 10.1002/ese3.1118.
- [18] F. Z. Fan, C. Pang, and H. Tang, "Sensors on Internet of Things Systems for the Sustainable Development of Smart Cities: A Systematic Literature Review," *Sensors*, vol. 24, no. 7, Art. no. 2074, 2024, doi: 10.3390/s240702074.
- [19] A. Rekeraho, D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, E. Tuyishime, T. Bălan, and R. Acheampong, "Enhancing Security for IoT-Based Smart Renewable Energy Remote Monitoring Systems," *Electronics*, vol. 13, no. 4, Art. no. 756, 2024, doi: 10.3390/electronics13040756.
- [20] M. Kumar, A. Sharma, S. Kumar, and A. Sharma, "Healthcare Internet of Things (H-IoT): Current Trends, Future Prospects, Applications, Challenges, and Security Issues," *Electronics*, vol. 12, no. 9, Art. no. 2050, 2023, doi: 10.3390/electronics12092050.