Implementasi Sistem Kontrol Dan Pemantauan Daya Listrik Berbasis IoT Di Desa Tambolosu, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara

1st Aldy Putra Prasetyo
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
jawametal@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Budhi Irawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
budhiirawan@telkomuniversity.ac.id

3rd Faisal Candrasyah Hasibuan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
faicanhasfcb@telkomuniversity.ac.id

Abstrak—Listrik merupakan sebuah sumber energi yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Desa Tambolusu, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara memiliki keterbatasan dalam menghasilkan energi listrik. PLTA tersebut diletakkan pada daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh koneksi seluler dan WiFi. Dari hasil Penelitian ini dikembangkan sistem pemantauan daya yang menggunakan konsep IoT berbasis LoRa PLTA tersebut agar dapat dikontrol dan dimonitor dari jarak jauh. Sistem kontrol dan pemantauan tersebut menggunakan LoRa untuk mengirim dan menerima data dari panel sistem menuju raspberry server ataupun sebaliknya. Sistem tersebut juga dapat membatasi pemakaian listrik yang sedang digunakan. Dari hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh sistem kontrol dan pemantauan daya listrik tersebut di dapat rata-rata error pembacaan sensor tegangan sebesar 0,53 % dan rata-rata error pembacaan sensor arus sebesar 5,64%. Sistem tersebut dapat dikontrol dan dipantau dari jarak jauh menggunakan LoRa dengan jarak maksimal 300 Meter saat pengujian di Jl. Batununggal Indah VII. Sistem tersebut memiliki baterai yang berfungsi untuk menghidupkan mikrokontroler dan dapat bertahan hingga 821 menit. Pada sistem tersebut apabila mendeteksi pemakaian listrik berlebih maka sistem akan memutus aliran listrik yang sedang terhubung.

Kata kunci— lora, mikrokontroler, panel listrik, sistem kontrol, sistem pemantauan.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sebuah sumber energi yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam berbagai keperluan sehari-hari. Seiring dengan berkembangnya zaman serta kemajuan teknologi maka pemakaian energi listrik semakin meningkat[1]. Diperlukan sebuah pembangkit listrik yang mampu mensuplai akan kebutuhan listrik tersebut.

Listrik dihasilkan oleh berbagai jenis pembangkit listrik salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Dalam mengoperasikan PLTA diperlukan sistem pemantauan daya yang dapat memantau daya yang sedang digunakan dan daya dihasilkan. Hal tersebut dilakukan agar mencegah dari kerusakan dan penurunan kinerja komponen pada pembangkit listrik tersebut.

PLTA di Desa Tambolosu, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara, memiliki keterbatasan daya dalam menghasilkan listrik. Daya yang dihasilkan hanya mampu mencapai maksimal 5000 Watt[2] menurut spesifikasi pada generator yang dipakai pada pembangkit listrik tersebut. Ditambah lagi PLTA tersebut diletakkan pada daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh koneksi seluler atau WiFi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut pada penelitian Tugas Besar ini dikembangkan sistem pemantauan daya yang menggunakan konsep IoT berbasis LoRa agar PLTA tersebut dapat dikontrol dan dimonitor dari jarak jauh. Sistem monitoring ini diharapkan dapat mempermudah pemantauan daya dan menjaga pemakaian listrik untuk kantor desa dan gazebo.

II. KAJIAN TEORI

A. Sistem Kontrol

Sistem kontrol merupakan suatu komponen yang memiliki proses pengendalian untuk mengatur atau mengubah suatu sistem berdasarkan dengan masukan dan keluaran yang akan dihasilkan. Sistem kontrol terdiri dari 2 jenis yaitu sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup. Sistem kontrol loop terbuka merupakan sebuah proses pengendalian yang sinyal keluarannya tidak berpengaruh langsung terhadap proses pengendalian. Sistem kontrol loop tertutup merupakan sebuah sistem kontrol yang sinyal keluarannya berpengaruh langsung terhadap proses pengendalian, pada sistem kontrol loop tertutup memiliki umpan-balik yang berfungsi untuk memperkecil kesalahan dari sistem[3].

B. Internet of Things

Internet of things (IoT) merupakan sebuah konsep yang memiliki tujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus dan dapat menghubungkan mesin, peralatan dan benda fisik lainnya menggunakan sensor jaringan dan aktuator untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri, sehingga mesin dapat berkolaborasi dan bertindak dari informasi baru yang diperoleh secara independen[4].

C. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang berbentuk chip dan dikemas dalam satu chip IC (Integrated Circuit). Pada mikrokontroler sistem komputer memiliki satu atau beberapa tugas yang spesifik. Pada chip mikrokontroler didalamnya terdapat bagian seperti CPU (Central Processing Unit), RAM (Random Access Memory), Port Input Output atau I/O[5]

D. Arus Listrik

Arus listrik merupakan muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam tiap satuan waktu. Arus listrik dapat terjadi dikarenakan adanya elektron yang mengalir akibat beda pontensial antara dua titik yang terhubung. Arus listrik dilambangkan dengan huruf "I" yang memiliki arti intensity dan satuan arus listrik adalah Ampere disingkat dengan huruf "A" atau "Amp"[6]. Pada arus listrik dirumuskan sebagai berikut.

$$I = \frac{P}{V}$$

Pada rumus arus listrik I merupakan arus listrik dengan satuan Ampere(A), P merupakan daya listrik dengan satuan Watt(W), dan V merupakan tegangan atau beda potensial dengan satuan Volt.

E. Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Tegangan listrik dapat didefinisikan dengan simbol "V" dengan satuan Volt[6]. Pada tegangan listrik biasanya dirumuskan sebagai berikut.

$$V = \frac{P}{I}$$

Pada rumus tegangan listrik V merupakan tegangan atau beda potensial dengan satuan Volt(V), P merupakan daya listrik dengan satuan Watt(W), dan I merupakan arus listrik dengan satuan Ampere(A).

F. Daya Listrik

Daya listrik merupakan jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah rangkaian litrik. Sumber energi seperti tegangan listrik akan menghasilkan daya listrik sedangkan beban yang terhubung akan menyerap daya listrik tersebut. Daya listrik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = V.I$$

Pada rumus daya listrik P merupakan daya listrik dalam satuan Watt(W), V merupakan tegangan atau beda potensian dalam satuan Volt(V), dan I merupakan arus listrik dalam satuan Ampere(A)[7]

G. Validasi Pengukuran

Validasi pengukuran digunakan untuk membandingkan hasil pengukuran yang didapat oleh alat ukur. Perbandingan hasil pengukuran ditunjukkan dengan kesalahan atau error pengukuran. Validasi pengukuran dapat dirumuskan sebagai berikut[7].

$$error\ (\%) = \left|\frac{Vstandar - Vsensor}{Vstandar}\right| x\ 100\%$$

H. Arduino IDE

Arduino IDE merupakan sebuah software yang disediakan disitus arduino.cc yang ditujukan sebagai perangkat pengembangan sketch yang digunakan sebagai program di papan arduino[8]. Bahasa yang digunakan untuk memprogram arduino menggunakan bahasa C++ dan tersedianya *library*. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan akan teteapi merupakan kombinasi dari hardware, Bahasa pemograman dan IDE (Integrated Development Environment) yang canggih. Pada software arduino IDE terdiri dari tiga bagian seperti editor program yang digunakan untuk menusis atau mengedit program ke dalam bahasa processing, listing program pada Arduino disebut dengan sketch. Compiler pada arduino IDE merupakan modul yang memiliki fungsi untuk mengubah bahasa processing ke dalam kode biner dan kode biner tersebut dapat dipahami oleh mikrokontroler. Uploader pada arduino IDE berfungsi untuk memasukkan kode biner ke dalam memory mikrokontroler[9].

I. Komponen Penyusun

Komponen penyusun sistem kontrol dan pemantauan daya ini terdapat beberapa komponen yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan sebuah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif System merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ESP32 sudah teringtegrasi dengan WiFi dan bluetooth 4.0 low energy yang memungkinkan untuk diaplikasikan dengan internet of things[10]. Pada mikrokontroler ESP32 menggunakan mikroprosesor Xtensa LX6 dengan arsitektur 32-bit dual-core[11].

2. *Relay*

Relay merupakan sebuah saklar (switch) yang dioperasikan menggunakan listrik dan merupakan komponen elektromekanikal, pada relay terdapat dua bagian utama yaitu bagian elektromagnet (*coil*) dan bagian mekanikal yang berupa saklar/switch. Cara kerja relay yaitu menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar/switch sehingga dengan arus yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi[12].

3. *Solar Charger Controller*

Solar Charger Controller merupakan sebuah komponen dalam suatu pembangkit listrik, komponen tersebut mempunyai fungsi untuk mengatur pengisian baterai, pemutusan pengisian baterai, pemutusan ke beban jika baterai sudah mulai habis. *Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan teknologi yang menggunakan lebar dari *pulse on* dan *off* elektrikal yang menimbulkan suatu gelombang pulsa. *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) merupakan *Solar charge controller* berjenis MPPT lebih efisien dikarenakan pada teknologi ini dapat menyimpan kelebihan daya yang tidak digunakan oleh beban ke akan disimpan ke dalam baterai[13].

4. Baterai

Baterai merupakan sebuah sel atau elemen sekunder yang terdiri dari sumber arus litrik searah sehingga dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Baterai termasuk kedalam elemen elektro kimia yang dapat mempengaruhi zat pereaksinya sehingga disebut dengan elemen sekunder. Pada kutub positif baterai menggunakan lempeng oksida dan pada kutub negatif baterai menggunakan lempeng timbal dan untuk larutan elektrolitnya menggunakan larutan asam sulfat. Jika baterai dipakai akan terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan endapan anoda (reduksi) dan katoda (oksidasi) akibatnya dalam waktu tertentu tidak ada beda potensial antara anoda dan katoda sehingga baterai menjadi kosong. Baterai dapat digunakan kembali apabila diisi dengan cara mengalirkan arus listrik searah ke baterai

tersebut sehingga terjadi pengumpulan muatan listrik. Pengumpulan jumlah muatan listrik dinyatakan dalam ampere jam, dan energi yang tersimpan pada baterai tidak dapat digunakan seluruhnya dikarenakan mempunya rendemen atau efiensi[14].

5. LoRa

Long Range (LoRa) merupakan salah satu dari komunikasi LPWAN (*Low-Power Wide-Area Network*) sistem yang memiliki kemampuan komunikasi jarak jauh berdaya rendah. LoRa mempunyai kecepatan tranmisi antara 0,25 kbps hingga 50 kbps. LoRa dikembangkan oleh Semtech dan memiliki tiga pita frekuensi yang umum digunakan yaitu 433 MHz untuk Asia, 868 MHz untuk Eropa dan 915 MHz Amerika. Machine to Machine (M2M) dan Internet of Thing (IoT) menjadi target utama dari penerapan LoRa dikarenakan memiliki kemampuan jarak jauh dan berdaya rendah sehingga teknologi LoRa dapat membantu memaksimalkan masa pakai baterai[15].

6. Modul PZEM-004T

Modul PZEM-004T merupakan sebuah modul sensor yang mengukur beberapa parameter seperti arus, tegangan, daya, faktor daya, dan frekuensi. Pada modul sensor PZEM-004T dilengkapi dengan trafo arus yang berfungsi untuk mengubah efek medan magnet yang terdeteksi pada beban sistem beban listrik menjadi sinyal listrik yang akan diproses oleh sensor modul PZEM-004T sehingga dapat membaca arus dan daya yang sedang digunakan dalam rangkaian listrik. Pada modul PZEM-004T agar dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler dapat menggunakan komunikasi RX-TX antara modul sensor dengan mikrokontroler[16].

7. *Powersupply*

Powersupply merupakan suatu rangkaian elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik AC (*Alternating Current*) menjadi arus listrik searah DC (*Direct Current*). *Powersupply* merupakan bagian yang penting dalam elektronika yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik. Dalam menggunakan *powersupply* harus disesuaikan tegangan keluarannya dengan tegangan yang dibutuhkan oleh beban[17].

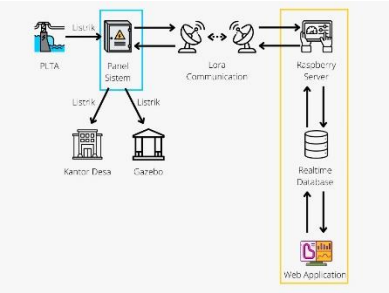
8. MCB

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) merupakan sebuah alat pengaman hubung singkat (konsleting) dan juga sebagai pengaman beban berlebih. MCB dapat digunakan sebagai pembatas arus dan juga sebagai pengaman dalam suatu instalasi listrik. MCB secara otomatis memutuskan arus apabila arus yang dilewati oleh MCB melebih dari arus nominal yang telah ditetapkan pada MCB tersebut[12].

III. METODE

A. Desain Sistem

Desain sistem secara umum yang akan digunakan dalam perancangan ini dapat digambarkan sebagai berikut.

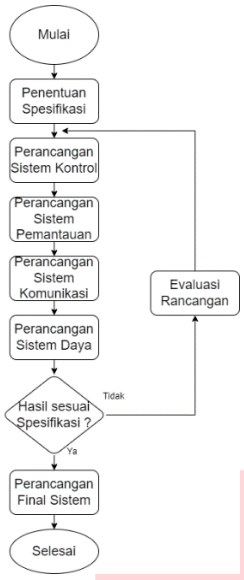


GAMBAR 1
DESAIN UMUM PERANCANGAN SISTEM

Terdapat beberapa urutan proses yang akan dilakukan secara seri kedalam sistem tersebut dan beberapa urutan proses sistem. Pada garis berwarna biru menunjukan bagian dari sistem kontrol dan pemantauan daya. Pada bagian tersebut listrik yang didapat dari *generator* akan diatur dan dipantau dayanya oleh sistem tersebut dan listrik yang telah diatur akan diteruskan ke kantor desa dan gazebo. Pada LoRa *communication* dari sisi panel sistem data yang telah didapat dari sensor akan diolah oleh mikrokontroler dan dikirim menuju *raspberry server* menggunakan LoRa, pada sisi *raspberry server* apabila mendapat perintah dari *user* maka perintah tersebut akan dikirimkan ke mikrokontroler menggunakan LoRa. Pada garis berwarna kuning menunjukan bagian dari raspberry server yang bertugas untuk memunculkan data hasil pengolahan mikrokontroler menuju website dan mengirim perintah.

B. Flowchart Perancangan Sistem Kontrol dan Pemantauan Daya

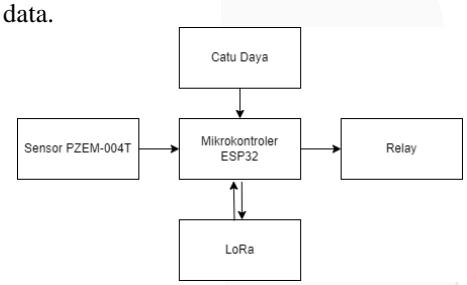
Flowchart perancangan sistem kontrol dan pemantauan daya dimulai dengan penentuan spesifikasi komponen. Selanjutnya melakukan perancangan sistem kontrol yang berfungsi untuk memutuskan dan menghubungkan aliran listrik ke beban. Setelah dilakukan perancangan sistem kontrol selanjutnya dilakukan perancangan sistem pemantauan yang berfungsi sebagai pembacaan pemakaian energi listrik. Setelah dilakukan perancangan sistem pemantauan selanjutnya dilakukan perancangan sistem komunikasi yang bertujuan untuk mengirim dan menerima data dari panel sistem ataupun dari *raspberry server*. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem daya yang bertujuan untuk memberi suplai daya ke mikrokontroler ESP32, apabila hasil sesuai dengan tujuan yang diinginkan maka dilanjutkan dengan perancangan final sistem, apabila hasil tidak sesuai dengan spesifikasi maka dilakukan evaluasi rancangan.



GAMBAR 2
FLOWCHART PERANCANGAN SISTEM KONTROL DAN PEMANTAUAN DAYA

C. Blok Diagram Panel Sistem

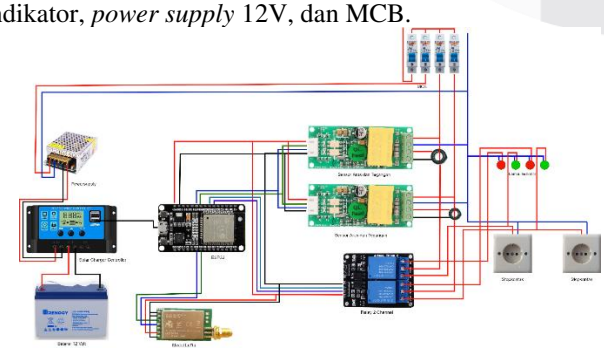
Blok diagram yang digunakan pada panel sistem terdapat beberapa bagian seperti catu daya sebagai pemberi suplai listrik untuk sistem, mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pengendali utama, sensor PZEM-004T sebagai pembaca tegangan dan arus, *relay* sebagai pemutus dan penghubung untuk beban, dan LoRa sebagai pengirim dan penerima data.



GAMBAR 3
BLOK DIAGRAM PANEL SISTEM

D. Desain Perangkat Keras

Desain perangkat keras pada sistem kontrol dan pemantauan daya berbasis IoT dibuat menggunakan aplikasi draw.io. Perangkat yang dibutuhkan pada perancangan skematik rangkaian diantaranya mikrokontroler ESP32, modul PZEM-004T, *relay*, *solar charger controller*, lampu indikator, *power supply* 12V, dan MCB.

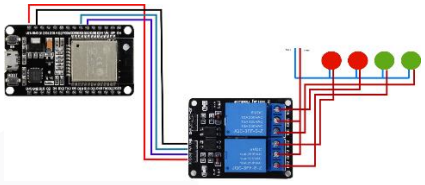


GAMBAR 4
DESAIN PERANCANGAN PERANGKAT KERAS PANEL SISTEM

Desain perangkat keras dari rangkaian sistem kontrol dan pemantauan daya berbasis IoT. Pada desain perangkat keras tersebut agar sistem dapat berjalan maka dibutuhkan suplai listrik yang berasal dari sistem daya yang terdiri dari beberapa komponen seperti *powersupply*, *solar charger controller* dan baterai. Agar mikrokontroler ESP32 dan komponen lainnya seperti LoRa, relay, dan modul PZEM-004T dapat beroperasi maka dibutuhkan suplai daya 5 Volt yang bersumber dari *solar charger controller*

E. Perancangan Sistem Kontrol

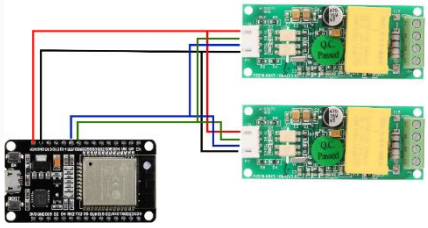
Perancangan rangkaian sistem kontrol digunakan untuk memutus atau menyambungkan listrik dari MCB (*Miniature Circuit Breaker*) menuju beban. *Relay* tersebut dikontrol menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk mengaktifkan atau mematikan *relay*. *Relay* akan hidup apabila mikrokontroler ESP32 memberikan sinyal *low* kepada *relay*, dan *relay* akan hidup jika ESP32 memberikan sinyal *high*. Perancangan modul *relay* agar dapat terhubung ke mikrokontroler ESP32 dengan cara menghubungkan kabel jumper ke beberapa pin di mikrokontroler ESP32 dan *relay*. Lampu indikator digunakan untuk mengetahui relay sedang dalam kondisi *Normally Open* (NO) atau *Normally Close*(NC).



GAMBAR 5
DESAIN RANGKAIAN SISTEM KONTROL

F. Perancangan Sistem Pemantauan

Perancangan sistem pemantauan digunakan untuk pembacaan beban pemakaian listrik. Modul PZEM-004T dapat bekerja jika modul tersebut terhubung dengan sumber tegangan AC (*Alternating Current*). Data yang akan dibaca oleh modul tersebut berupa tegangan, arus, dan daya aktif listrik. Perancangan modul PZEM-004T agar dapat terhubung dengan mikrokontroler ESP32 dengan cara menghubungkan kabel jumper pada pin mikrokontroler ESP32 dan PZEM-004T.

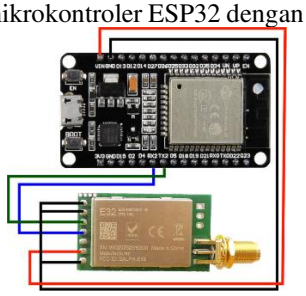


GAMBAR 6
DESAIN RANGKAIAN SISTEM PEMANTAUAN

G. Perancangan Sistem Komunikasi

Pada perancangan sistem komunikasi ini modul LoRa digunakan untuk mengirim dan menerima data. Data yang telah diproses oleh mikrokontroler ESP32 akan dikirim menggunakan modul LoRa menuju *raspberry server*, dan mikrokontroler ESP32 akan menerima data dari *raspberry server* melalui modul LoRa. Berikut rangkaian perancangan mikrokontroler ESP32 dengan modul LoRa. Pada perancangan modul LoRa agar dapat terhubung dengan

mikrokontroler ESP32 maka dihubungkan dengan kabel jumper pada pin mikrokontroler ESP32 dengan Modul LoRa.



GAMBAR 7
DESAIN RANGKAIAN SISTEM KOMUNIKASI

H. Perancangan Sistem Daya

Pada perancangan sistem daya ini perancangan tersebut berfungsi sebagai pemberi suplai daya. Pada rangkaian tersebut *output* tegangan yang dikeluarkan pada port USB (*Universal Serial Bus*) sebesar 5V yang akan digunakan untuk menghidupkan mikrokontroler ESP32. Pada rangkaian tersebut terdapat *powersupply alternating current* ke *direct current* 12V yang akan digunakan untuk mengisi baterai dan solar charger controller yang mengatur aliran daya menuju baterai dan aliran daya menuju mikrokontroler ESP32. Pada perancangan rangkaian tersebut kabel jumper digunakan untuk menghubungkan tiap komponen.

GAMBAR 8
DESAIN RANGKAIAN SISTEM DAYA

I. Perancangan Final Panel Sistem

Dari beberapa komponen yang telah dirancang dan dikonfigurasi pada setiap komponennya lalu komponen tersebut dapat terancang dan terangkai menjadi suatu sistem kontrol dan pemantauan daya. Pada sisi depan terdapat beberapa instrumen seperti lampu indikator yang terletak pada pintu panel, lampu indikator tersebut memiliki fungsi untuk memberi tanda kondisi dari *relay* 1 dan *relay* 2 apakah dalam keadaan mati tidak terhubung dengan beban ditandai dengan hidupnya lampu indikator berwarna merah atau kondisi hidup yang berarti sedang menyala dan terhubung dengan beban ditandai dengan menyalanya lampu indikator berwarna hijau.

GAMBAR 9
TAMPAK DEPAN PANEL SISTEM

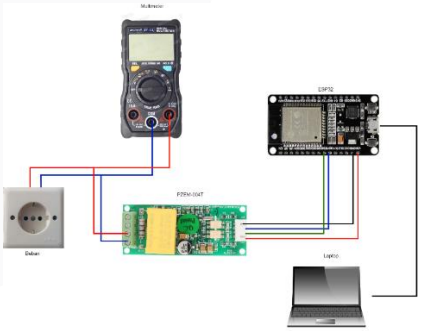
Pada bagian dalam dari sistem kontrol dan pemantauan daya, pada tampak bagian dalam tersebut terdapat beberapa rangkaian komponen digunakan terdiri dari mikrokontroler ESP32, LoRa, modul PZEM-004T, *solar charger controller*, *powersupply* dan *miniature circuit breaker* yang dipasang pada bagian dalam panel.

GAMBAR 10
BAGIAN DALAM PANEL SISTEM

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Tegangan PZEM-004T

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan cara memberikan input tegangan pada sensor sebesar 220V, selanjutnya data yang telah didapat dari sensor akan dibandingkan hasil pengukuran tegangan pada multimeter digital.



GAMBAR 11
RANGKAIAN PENGUJIAN SENSOR TEGANGAN

Sensor tegangan pada modul PZEM-004T dan multimeter digital terhubung secara paralel pada satu sumber untuk mengukur tegangan. Pada pengujian ini pengambilan data dilakukan sebanyak sepuluh data. Hasil pengujian tegangan modul sensor PZEM-004T dengan multimeter digital pada Tabel 1.

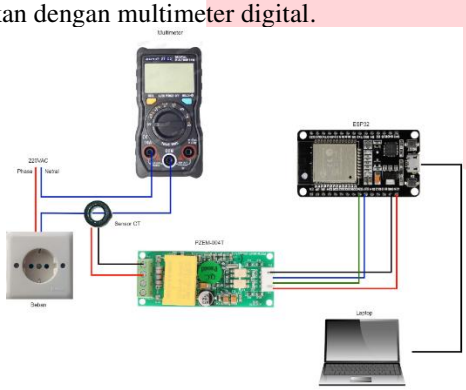
TABEL 1
HASIL PENGUJIAN ERROR SENSOR TEGANGAN

Pengujian	Voltage Sensor	Voltage Multimeter	*Error* (%)
Pengujian 1	209,3 V	210,7 V	0,67 %

Pengujian 2	209,2 V	210 V	0,38 %
Pengujian 3	208,5 V	209,5 V	0,48 %
Pengujian 4	211,2 V	212,6 V	0,66 %
Pengujian 5	213,3 V	214,2 V	0,42 %
Pengujian 6	211,3 V	213,1 V	0,85 %
Pengujian 7	211,7 V	212,8 V	0,52 %
Pengujian 8	211,9 V	213,1 V	0,57 %
Pengujian 9	210,7 V	211,5 V	0,38 %
Pengujian 10	212,5 V	213,2 V	0,33 %
Rata-rata *Error*(%)			0,53 %

B. Pengujian Sensor Arus PZEM-004T

Pengujian sensor arus pada sistem ini dilakukan dengan memberikan beban yang nilai dayanya mulai dari 16 Watt hingga 77 watt. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan nilai arus nillai arus dari 0,10 A hingga 0,35 A pada tegangan 220V. Hasil pengukuran sensor yang telah didapat akan dibandingkan dengan multimeter digital.



GAMBAR 12
RANGKAIAN PENGUJIAN SENSOR ARUS

Rangakain tersebut terpasang secara seri untuk sensor arus pada modul PZEM-004T dengan pengukuran arus multimeter, pada pengukuran teresebut akan diambil sebanyak sepuluh data dan hasil pengukuran sensor akan dibandingkan hasilnya dengan multimeter digital sehingga mendapat perbedaan pengukuran antara sensor arus PZEM-004T dengan multimeter digital. Hasil pengujiam dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL 2
HASIL PENGUJIAN ERROR SENSOR ARUS

Pengujian	Arus Sensor	Arus Multimeter	*Error*(%)
Pengujian 1	0,23 A	0,24 A	4 %
Pengujian 2	0,10 A	0,12 A	20 %
Pengujian 3	0,31 A	0,32 A	3 %
Pengujian 4	0,31 A	0,33 A	6,45 %
Pengujian 5	0,28 A	0,29 A	3,57 %
Pengujian 6	0,33 A	0,34 A	3,03 %
Pengujian 7	0,29 A	0,30 A	3,45 %
Pengujian 8	0,33 A	0,34 A	3,03 %
Pengujian 9	0,34 A	0,35 A	3 %
Pengujian 10	0,29 A	0,31 A	6,90 %
Rata-rata Error (%)			5,64 %

C. Pengujian Jarak dan Delay Sistem Komunikasi

Setelah dilakukan perancangan sistem komunikasi maka dilakukan pengujian pada sistem komunikasi tersebut. Pada sistem komunikasi yang menggunakan Modul LoRa sebagai pengirim dan penerima data akan diuji untuk memastikan bahwa modul LoRa dapat berfungsi dengan baik. Pengujian sistem komunikasi menggunakan 2 modul LoRa, modul LoRa 1 digunakan pada Panel Sistem sedangkan modul LoRa 2 digunakan pada *raspberry server*, selanjutnya dilakukan pengujian *delay* sistem komunikasi.

GAMBAR 13
PENGUJIAN JARAK MODUL LORA

Pengujian sistem komunikasi dilakukan dengan 6 titik bertempat di Jl. Batununggal Indah VII, Kota Bandung, Jawa Barat. Pada pengujian jarak sistem komunikasi untuk mengetahui jarak pengukuran menggunakan aplikasi *google maps* sehingga didapat jarak titik awal pengujian hingga titik akhir pengujian. Untuk setiap jarak dilkukan sebanyak sepuluh kali pengujian. Hasil pengujian jarak sistem komunikasi ditampilkan pada tabel 3.

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN JARAK DAN DELAY MODUL LORA

Pengujian Ke-	Lokasi	Jarak	Rata-rata delay
1	Titik 1	50 Meter	291 ms
2	Titik 2	100 Meter	329 ms
3	Titik 3	150 Meter	379 ms
4	Titik 4	200 Meter	318 ms
5	Titik 5	250 Meter	232 ms
6	Titik 6	300 Meter	300 ms

D. Pengujian Daya Tahan Baterai

Pada Pengujian daya tahan baterai bertujuan untuk mengetahui daya tahan baterai dalam memberi suplai listrik untuk mikrokontroler ESP32 apabila tidak tersambung dengan *powersupply*. Pengujian dilakukan menggunakan multimeter digital untuk mengetahui sisa tegangan pada baterai dan alat ukur *watt* meter digital yang diletakkan di jalur output USB pada *solar charger controller* untuk mengetahui total pemakaian daya dari mikrokontroler ESP32. Pengujian daya tahan baterai dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN DAYA TAHAN BATERAI

No	Sisa Tegangan Baterai	Konsumsi Arus Mikrokontroler ESP32	*Output* Tegangan USB	Total Pemakaian Daya Mikrokontroler ESP32	Waktu
1	12,58 V	0 A	0 V	0 mAh	0 Menit
2	12,38 V	0,17~0,29 A	5,08 V	0,245 mAh	60 Menit
3	12,32 V	0,19~0,29 A	5,08 V	0,482 mAh	120 Menit
4	12,30 V	0,19~0,29 A	5,08 V	0,720 mAh	180 Menit
5	12,27 V	0,19~0,29 A	5,08 V	0,958 mAh	240 Menit
6	12,24 V	0,19~0,29 A	5,08 V	1200 mAh	300 Menit
7	12,21 V	0,19~0,29 A	5,08 V	1440 mAh	360 Menit
8	12,19 V	0,19~0,29 A	5,08 V	1679 mAh	420 Menit
9	12,16 V	0,19~0,29 A	5,08 V	1917 mAh	480 Menit

No	Sisa Tegangan Baterai	Konsumsi Arus Mikrokontroler ESP32	*Output* Tegangan USB	Total Pemakaian Daya Mikrokontroler ESP32	Waktu
10	12,13 V	0,19~0,29 A	5,08 V	2157 mAh	540 Menit
11	12,10 V	0,19~0,29 A	5,08 V	2395 mAh	600 Menit
12	12,07 V	0,19~0,29 A	5,08 V	2639 mAh	660 Menit
13	12,04 V	0,19~0,29 A	5,08 V	2885 mAh	720 Menit
14	12,01 V	0,19~0,29 A	5,08 V	3120 mAh	780 Menit
15	12,00 V	0,19~0,29 A	5,08 V	3280 mAh	821 Menit

E. Pengujian Fungsionalitas

Pada pengujian fungsionalitas ini bertujuan untuk menguji sistem yang telah dirancang dan mengukur kemampuan alat. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam pengujian ini yaitu dengan menguji konektivitas antara mikrokontroler ESP32 dengan raspberry server yang berfungsi sebagai pengontrol dari sistem dan pemantauan daya berbasis IoT ini. Selain Pengujian konetivitas koneksi modul LoRa dengan *raspberry server* dilakukan juga pengujian fungsionalitas pada setiap komponen seperti modul relay dan lampu indikator. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN FUNGSIONALITAS KONEKSI MODUL LORA

Kondisi	Skenario Uji	Hasil yang diharapkan	Pengujian Ke-			
			1	2	3	4
Panel Sistem terhubung dengan *Raspberry Server*	Menghubungkan Panel Sistem dengan *Raspberry Server*	Panel Sistem terhubung dengan *Raspberry Server*	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Panel sistem dengan *raspberry server* tidak terhubung	Memutus koneksi panel sistem dengan *raspberry server*	Panel sistem tidak terhubung dengan *raspberry server*	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil

Pada Tabel 5 mengenai hasil pengujian fungsionalitas koneksi modul LoRa dengan *raspberry server* didapatkan hasil bahwa pada kondisi panel sistem terhubung dengan raspberry server dengan skenario uji menghubungkan panel sistem dengan raspberry server setelah dilakukan pengujian sebanyak 4 kali didapatkan hasil panel sistem dapat terhubung dengan *raspberry server*. Pada kondisi panel sistem tidak terhubung dengan *raspberry server* dengan skenario uji memutus koneksi antara panel sistem dengan raspberry server setelah dilakukan pengujian sebanyak 4 kali hasil yang diharapkan sesuai dengan hasil pengujian yaitu panel sistem tidak dapat terhubung dengan *raspberry server*. Dapat disimpulkan bahwa dengan melakukan pengujian fungsionalitas koneksi modul LoRa konektivitas antara panel sistem dengan *raspberry server* merupakan hal yang penting dalam pengoperasian panel sistem.

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN FUNGSIONALITAS RELAY

Kondisi	Skenario Uji	Hasil yang diharapkan	Pengujian Ke-			
			1	2	3	4
Sistem daya Tersambung	Mengoperasikan panel listrik menggunakan *Raspberry Server*	Relay dapat dihidupkan atau dimatikan	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Sistem daya terputus		Relay tidak dapat dihidupkan atau dimatikan	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil

Pada Tabel .6 mengenai hasil pengujian fungsionalitas relay didapatkan hasil bahwa saat kondisi sistem daya tersambung dengan skenario uji mengoperasikan panel listrik menggunakan *raspberry server*, saat dilakukan pengujian didapatkan hasil relay dapat dihidupkan atau dimatikan dan sesuai dengan hasil yang diharapkan. Pada saat kondisi sistem daya terputus dengan skenario uji mengoperasikan panel listrik menggunakan *raspberry server*, didapat hasil pengujian sebanyak 4 kali relay tidak dapat dihidupkan atau dimatikan dan hasil pengujian sesuai dengan hasil yang diharapkan. Dapat disimpulkan bahwa *relay* sangat penting dan berpengaruh dalam proses penghubung atau pemutus rangkaian untuk beban.

TABEL 7
HASIL PENGUJIAN FUNGSIONALITAS LAMPU INDIKATOR

Kondisi	Skenario Uji	Hasil yang diharapkan	Pengujian Ke-			
			1	2	3	4
Sistem Daya Tersambung	Mengoperasikan panel sistem menggunakan *raspberry server*	Lampu indikator menyala warna hijau atau merah	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Sistem Daya Terputus		Lampu indikator menyala warna merah	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil

Pada Tabel 7 mengenai hasil pengujian fungsionalitas lampu indikator didapatkan hasil bahwa saat kondisi sistem daya tersambung dengan skenario uji mengoperasikan panel sistem menggunakan *raspberry server*, pada saat dilakukan pengujian sebanyak 4 kali didapatkan hasil lampu indikator dapat menyala berwarna hijau ataupun merah dan hasil pengujian sesuai dengan hasil yang diharapkan. Pada saat kondisi sistem daya terputus dengan skenario uji mengoperasikan panel sistem menggunakan *raspberry server*, pada saat pengujian dilakukan sebanyak 4 kali didapatkan hasil lampu indikator menyala warna merah dan hasil pengujian sesuai dengan hasil yang diharapkan. Dapat disimpulkan bahwa lampu Indikator sangat penting dalam panel sistem untuk mengetahui jika sistem sedang memberikan suplai daya ke beban atau sedang memutus suplai daya ke beban.

TABEL 8
HASIL PENGUJIAN FUNGSIONALITAS SISTEM KONTROL PEMBATAS DAYA

Kondisi	Skenario Uji	Hasil yang diharapkan	Pengujian Ke-			
			1	2	3	4
Pemakaian daya listrik lebih dari 350 Watt	Memberikan beban listrik lebih dari 350 Watt	*Relay* memutus beban dan lampu indikator berwarna merah	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Pemakaian daya kurang listrik dari 350 Watt	Memberikan beban listrik kurang dari 350 Watt	*Relay* tersambung dengan beban dan lampu indikator berwarna hijau	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil

Pada Tabel 8 mengenai hasil pengujian fungsionalitas deteksi pemakaian berlebih didapatkan hasil bahwa saat kondisi pemakaian daya listrik lebih dari 350 Watt dengan skenario uji memberikan daya beban listrik lebih dari 350 Watt, pada saat dilakukan pengujian sebanyak 4 kali didapatkan hasil *relay* memutus beban listrik dan lampu indikator berubah warna menjadi warna merah, dari hasil pengujian sesuai dengan hasil yang diharapkan. Saat kondisi pemakaian daya kurang dari 350 Watt dengan skenario uji memberikan beban listrik kurang dari 350 Watt, pada saat pengujian sebanyak 4 kali didapatkan hasil *relay* tersambung dengan beban listrik dan lampu indikator berwarna hijau. Dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut dapat mendeteksi pemakaian listrik berlebih apabila beban listrik terdeteksi pemakainnya lebih dari 350 Watt maka sistem tersebut akan memutuskan beban listrik.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan bahwa LoRa sebagai komunikasi antara panel sistem dengan *raspberry* server dapat mengirim dan menerima data hingga jarak 300 Meter dengan *delay* 300 *millisecond.* Pada sistem kontrol dan pemantauan daya dapat melakukan pemantau dengan cara mengirimkan informasi tegangan, arus, status *relay*, daya aktif, dan melakukan kontrol daya listrik dengan cara membatasi pemakaian daya listrik maksimal 350 Watt pada setiap jalur listrik. Sehingga hal tersebut dapat mempermudah manajemen daya listrik pada Desa Tambolosu. Pada pengujian fungsionalitas komponen yang digunakan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan.

REFERENSI

[1] Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, *Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan*, 34th ed. 2021.

[2] Alan Rezky Dwiputra Nur, Devid Alfian, and Fathoni Waseso, "LAPORAN PROGRESS PERIODE KE – 3 (AKHIR) TAHAP IMPLEMENTASI TOP 120 SOCIAL PROJECT PROGRAM INNOVILLAGE 2021," 2021.

[3] A. Anggara, A. Rahman, and A. Mufti, "Rancang Bangun Sistem Pengatur Pengisian Air Galon Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega328P," vol. 3, no. 2, pp. 90–97, 2018.

[4] Y. Efendi, "INTERNET OF THINGS (IOT) SISTEM PENGENDALIAN LAMPU MENGGUNAKAN RASPBERRY PI BERBASIS MOBILE," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, 2018, [Online]. Available: http://ejournal.fikom-unasman.ac.id

[5] Eka Permana and Susi Herawati, "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING SUHU

RUANGAN BAGIAN PEMBUKUAN BERBASIS WEB MEGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3," pp. 18–33, Apr. 2018.

[6] Ulul Ilmi, "STUDI PERSAMAAN REGRESI LINEAR UNTUK PENYELESAIAN PERSOALAN DAYA LISTRIK," vol. 11, no. 1, pp. 2620–4770, 2019.

[7] F. Saraswati, H. Vidyaningtyas, and T. Yunita, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI WIRELESS SMART ENERGY METER DENGAN REAL TIME CLOCK."

[8] P. Widya Kumara, "ROBOT LINE FOLLOWER BERBASIS MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO ATMEGA328," *Jurnal Informanika*, vol. 5, no. 1, 2019.

[9] Jauhari Arifin, Leni Natalia Zulita, and Leni Natalia Zulita, "PERANCANGAN MUROTTAL OTOMATIS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER ARDUINO MEGA 2560," *Jurnal Media Infotama*, pp. 89–98, Feb. 2016.

[10] A. Imran and M. Rasul, "PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN ESP32," 2020.

[11] A. Wagyana and Rahmat, "Prototipe Modul Praktik untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT)," *Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press*, vol. 8, no. 2, pp. 238–247, 2019.

[12] M. Saleh and M. Haryanti, "RANCANG BANGUN SISTEM KEAMANAN RUMAH MENGGUNAKAN RELAY," *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana* , vol. 8, pp. 87–94, May 2017.

[13] A. Kris Barlianto, D. Haryadi Setiabudi, and R. Lim, "Sistem Monitoring Solar Charge Controller Menggunakan Raspberry Pi 3 Secara Mobile."

[14] D. Poniman Kosasih, "Pengaruh Variasi Larutan Elektrolite Pada Accumulator Terhadap Arus Dan Tegangan," 2018.

[15] A. Zourmand, C. Wai Hung, L. K. H. Lai Kun Hing, and M. AbdulRehman, *Internet of Things (IoT) using LoRa technology*. 2019.

[16] Muliadi, M. Y. Fahrezi, I. S. Areni, E. Palantei, and A. Achmad, "A Smart Home Energy Consumption Monitoring System Integrated with Internet Connection," in *2020 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite, Comnetsat 2020 - Proceedings*, Dec. 2020, pp. 75–80. doi: 10.1109/Comnetsat50391.2020.9328960.

[17] E. P. Sitohang, D. J. Mamahit, and N. S. Tulung, "Rancang Bangun Catu Daya DC Menggunakan Mikrokontroler ATmega 8535," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 7, no. 2, 2018.