

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGATURAN PENGGUNAAN DAYA DI INDUSTRI PERUMAHAN PADA TEGANGAN 3 FASA BERBASIS IoT

1st Erwin De Kevin Malvin Pakpahan

Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya

Surabaya, Indonesia

erwinde@studen.telkomuniversity.ac.id

2nd Nilla Rachmaningrum

Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya

Surabaya, Indonesia

nrachmaningrum@telkomuniversity.ac.id

3rd Risdilah Mimma Untsa

Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya

Surabaya, Indonesia

risdillah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Konsumsi listrik di gedung sering kali tidak terkontrol, menyebabkan pemborosan energi dan potensi kelebihan beban yang dapat merusak peralatan. Untuk mengatasi permasalahan ini, dikembangkan sistem pemantauan daya berbasis Internet of Things (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi Android. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, dan daya listrik secara real-time pada tegangan tiga fasa (380–415V). Setiap fasa memiliki batas daya maksimum 300 watt, dan jika konsumsi daya melebihi batas tersebut, sistem secara otomatis memutus aliran listrik untuk mencegah kerusakan perangkat industri. Pengujian dilakukan sebanyak delapan kali dengan hasil daya total sebesar 356,409179 watt. Selain itu, pengujian konektivitas jaringan dilakukan dalam kondisi Line of Sight (LoS) dan Non-Line of Sight (NLoS). Pada LoS, dengan jarak 1–30 meter, delay rata-rata tercatat 130,9053711 ms dan packet loss 0,13%, sedangkan pada NLoS dengan jarak 1–15 meter, delay mencapai 131,9658247 ms dengan packet loss 0,062%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memantau dan mengontrol konsumsi daya secara efisien, meningkatkan efisiensi operasional, serta mengurangi risiko kerusakan perangkat akibat beban listrik berlebih. Dengan konektivitas melalui smartphone, sistem ini memberikan solusi inovatif untuk pengelolaan daya di sektor industri berbasis tegangan tiga fasa, memastikan stabilitas serta keandalan sistem kelistrikan.

Kata kunci— ESP32, PZEM-004T, IoT, ketidakseimbangan 3 fasa

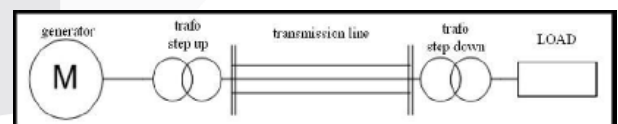
I. PENDAHULUAN

Kebutuhan daya listrik tiga fasa bervariasi sesuai dengan penggunaan industri, dengan kapasitas mulai dari 6.600 Watt hingga 630.000 Watt [1]. Sistem ini banyak digunakan karena stabilitasnya dalam memasok daya ke peralatan industri, tetapi teknisi sering mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi fasa yang bermasalah. Oleh karena itu, dikembangkan sistem pemantauan daya berbasis IoT yang dapat mendeteksi ketidakseimbangan beban dan gangguan tegangan pada fasa R, S, dan T [2]. Permasalahan utama yang dihadapi adalah belum adanya sistem pemantauan yang dapat mengontrol penggunaan daya secara real-time di kawasan industri perumahan, sehingga sering terjadi overload yang berisiko merusak peralatan. Sistem ini bertujuan untuk mengimplementasikan ESP32 sebagai penyimpanan dan pengendali data daya guna mencegah penggunaan daya berlebihan, menyediakan pemantauan real-time dengan deteksi anomali konsumsi listrik, serta menganalisis performa jaringan menggunakan Wireshark untuk memastikan konektivitas tetap stabil. Ruang lingkup

penelitian ini mencakup penggunaan ESP32 untuk pengolahan dan pemantauan data daya secara real-time melalui smartphone, sensor PZEM-004T untuk mengukur tegangan, arus, dan daya, serta pengujian konektivitas dengan smartphone Redmi NOTE10S sebagai sumber Wi-Fi. Selain itu, Wireshark digunakan untuk analisis kualitas jaringan yang terkoneksi dengan perangkat IoT. Manfaat dari penelitian ini adalah mencegah kerusakan akibat gangguan daya tiga fasa serta mengembangkan sistem proteksi peralatan industri berbasis IoT agar lebih aman dan efisien [3].

II. KAJIAN TEORI

Menyajikan Jaringan listrik yang disalurkan oleh PLN kepada konsumen merupakan bagian integral dari keseluruhan sistem tenaga listrik. Secara umum, sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pembangkit listrik (generator), saluran transmisi, dan beban. Energi listrik dihasilkan oleh generator yang digerakkan oleh prime mover, yang sumber energinya dapat berupa uap, diesel, air, panas bumi, angin, dan lainnya. Untuk meminimalkan kerugian daya selama proses transmisi, tegangan listrik dinaikkan menjadi tegangan tinggi atau ekstra tinggi menggunakan transformator step-up sebelum diteruskan melalui saluran transmisi. Pada sisi penerima, tegangan tersebut kemudian diturunkan kembali menjadi 220 atau 380 Volt sesuai kebutuhan pengguna. Sistem yang digunakan dalam distribusi daya listrik ini adalah sistem arus bolak-balik tiga fasa. Berikut ini merupakan ilustrasi skema sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit hingga ke beban.



GAMBAR 1
(SKEMA SISTEM TENAGA LISTRIK)

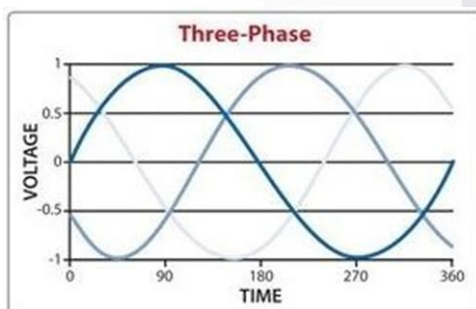
Ketidakeimbangan beban pada sistem 3 fasa, merupakan kondisi yang umum terjadi, terutama disebabkan oleh penggunaan beban pada salah satu fasa pada pelanggan dengan jaringan tegangan rendah. Ketidakeimbangan ini memunculkan arus pada kabel netral trafo, karena hal ini dapat menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya, rugi-rugi tersebut timbul akibat arus yang mengalir melalui penghantar netral trafo serta arus netral yang merambat menuju tanah. Sensor Pzem-004T merupakan sebuah sensor elektronik yang dirancang untuk mengukur berbagai macam parameter listrik, seperti tegangan, arus, daya, frekuensi, energi dan faktor

daya. Dengan fitur-fitur yang lengkap, sensor PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan dalam sebuah penelitian yang berkaitan dengan pemantauan konsumsi daya listrik di industri perumahan atau bangunan dengan sistem 3 fasa. Sensor PZEM-004T tersedia dalam dua varia, yakni 10 Ampere dan 100 Ampere, pada keluaran listrik bolak-balik (AC) tiga fasa dari generator, terdapat perbedaan sudut pada setiap fasa sebesar 120° [4].

A. Listrik 3 Fasa

Artikel ditulis dalam ukuran kertas A4, maksimal 5000 kata dan ditulis menggunakan spasi 1

Sistem kelistrikan tiga fasa adalah konfigurasi jaringan listrik yang menggunakan tiga kabel fasa (R, S, T) dan satu kabel netral (N) atau ground sebagai jalur pengembalian arus. Pada sistem ini, tiga kabel fasa membawa tegangan listrik, sementara kabel netral berfungsi menjaga kestabilan arus listrik dalam jaringan. Biasanya sistem tiga fasa memiliki tegangan sebesar 380 volt dan sering diaplikasikan dalam kebutuhan industri atau pabrik, sistem ini juga termasuk arus bolak-balik (AC) yang memiliki tiga penghantar dengan tegangan yang sama pada masing-masing fasa. Namun sudut pada tiap fasa berbeda sebesar 120° . Dalam sistem ini, terdapat dua jenis tegangan utama, yaitu tegangan antar fasa (Vpp: Voltage phase to phase atau Voltage line to line) dan tegangan fasa terhadap netral (Vpn: Voltage phase to netral atau Voltage line to neutral). Untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik yang lebih besar, dikembangkan sistem kelistrikan dari satu fasa menjadi tiga fasa. Sistem ini terdiri dari tiga gelombang sinusoidal yang memiliki perbedaan sudut fasa sebesar 120° satu dengan yang lain. Pada jaringan listrik yang disediakan oleh PLN, sistem tiga fasa biasanya memiliki tegangan sebesar 380V, namun beberapa perusahaan menggunakan genset dengan tegangan lain, seperti 400VAC, 480 VAC, atau 690 VAC. Sesuai kebutuhan operasional, sistem tiga fasa dirancang untuk mendukung distribusi daya yang lebih efisien, dengan kemampuan menghantarkan energi listrik yang lebih besar dibandingkan sistem satu fasa. Meskipun menggunakan konduktor dan arus listrik yang sama, oleh karena itu, sistem ini terus digunakan hingga saat ini karena keunggulannya yang signifikan.



GAMBAR 2
(GELOMBANG SINUSOIDAL 3 FASA [3])

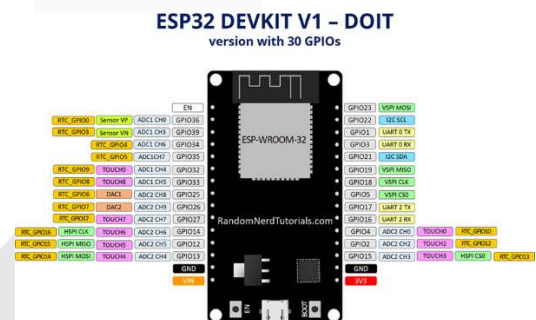
B. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep jaringan perangkat yang saling terhubung dan dapat berkomunikasi dengan cloud serta antarperangkat. Dengan kemajuan teknologi, chip komputer menjadi lebih kecil, cepat, dan efisien, memungkinkan berbagai perangkat seperti mobil, mesin industri, dan perangkat rumah tangga menggunakan sensor untuk mengumpulkan dan mengolah data secara otomatis.

Sejak 1990-an, teknologi IoT mulai berkembang dengan penggunaan RFID untuk pelacakan barang, meskipun saat itu masih terkendala ukuran chip yang besar. Saat ini, biaya integrasi teknologi komputasi ke perangkat kecil semakin rendah, memungkinkan fitur pintar seperti Google Voice Assistant bekerja pada perangkat berdaya rendah. IoT terus berkembang pesat, mendukung sistem otomatisasi di rumah, industri, dan lingkungan bisnis, serta memungkinkan perangkat untuk mengirim dan menerima data secara real-time guna meningkatkan efisiensi dan kenyamanan pengguna [5].

C. ESP32

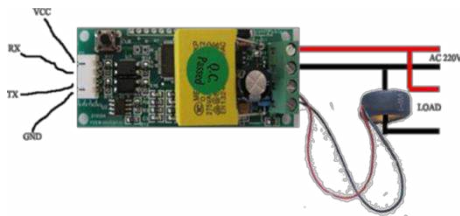
ESP32 adalah sebuah modul mikrokontroler yang terintegrasi dengan berbagai fitur canggih dan kinerja yang sangat baik. Modul ini merupakan pengembangan dari ESP8266, yang sebelumnya sudah dikenal sebagai modul WiFi yang banyak digunakan. Pada ESP32, terdapat dua prosesor yang masing-masing memiliki fungsi spesifik; satu prosesor menangani pengelolaan koneksi WiFi dan Bluetooth, sementara prosesor lainnya bertugas untuk menjalankan aplikasi. Modul ini dilengkapi dengan kapasitas memori RAM yang cukup besar untuk mendukung penyimpanan data. ESP32 juga dilengkapi dengan berbagai fitur penting, seperti dukungan untuk protokol jaringan TCP/IP, HTTP, dan FTP. Modul ini mendukung pemrosesan sinyal analog, integrasi dengan sensor, serta pengelolaan perangkat input/output (I/O) digital. Selain itu, ESP32 juga memiliki kemampuan untuk koneksi Bluetooth, yang memungkinkan pengguna untuk mengendalikan perangkat yang terhubung melalui konektivitas Bluetooth.



GAMBAR 3
(PIN OUT ESP32 [6])

D. Sensor Pzem-004T

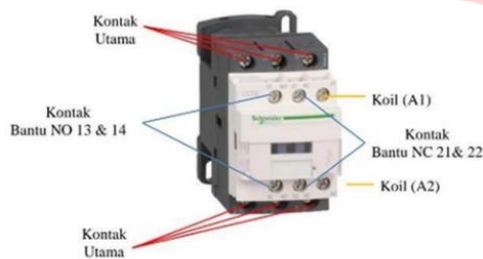
Sensor PZEM-004T dirancang untuk mengukur nilai tegangan, arus, daya aktif, dan total energi yang dikonsumsi. Sensor ini memperoleh pasokan daya 5 Volt DC yang berasal dari Arduino Mega2560. Sensor akan dihubungkan ke sumber tegangan yang berasal dari jaringan listrik PLN. Tegangan yang diterima dari PLN berupa tegangan AC, dan pada sensor ini terdapat koil yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC tersebut menjadi tegangan DC, sesuai dengan mekanisme kerjanya.



GAMBAR 4
(PZEM-004T [7])

E. Kontaktor

Kontaktor adalah perangkat elektromekanis yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus aliran listrik secara otomatis dalam sistem kelistrikan, terutama pada arus bolak-balik (AC). Menggunakan prinsip elektromagnetik, kontaktor mengaktifkan medan magnet saat kumparannya dialiri listrik, sehingga dapat membuka atau menutup sirkuit. Perangkat ini umum digunakan dalam sistem tiga fasa untuk mengendalikan motor listrik, memastikan operasi yang aman, serta melindungi peralatan dari gangguan daya. Selain itu, kontaktor berperan dalam sistem kontrol daya dan proteksi di berbagai aplikasi industri, komersial, dan rumah tangga.



GAMBAR 5
(KONTAKTOR [8])

F. LCD Interface

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah teknologi tampilan yang menggunakan kristal cair untuk menampilkan gambar dengan bantuan backlight sebagai sumber cahaya. LCD tidak memancarkan cahaya sendiri, melainkan mengontrol transparansi kristal cair untuk merefleksikan atau mentransmisikan cahaya. Teknologi ini umum digunakan pada perangkat elektronik seperti ponsel, laptop, televisi, dan alat ukur karena konsumsi dayanya yang rendah serta kualitas tampilan yang baik.



GAMBAR 6
(LCD INTERFACE [9])

G. Catu Daya (Power Supply)

Catu daya (power supply) merupakan perangkat yang memiliki peran untuk menyediakan pasokan energi listrik ke satu atau lebih perangkat atau beban listrik, agar perangkat tersebut dapat beroperasi dengan baik. Catu daya mengubah arus bolak-balik (AC) dari sumber utama (misal, stop kontak) menjadi arus searah (DC) tegangan 12 volt. Arus DC ini

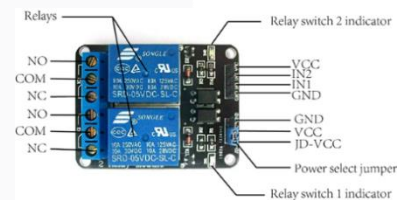
kemudian digunakan untuk memberi daya bagi berbagai perangkat elektronik yang membutuhkan tegangan 12V untuk beroperasi.



GAMBAR 7
(POWER SUPPLY [10])

H. Saklar atau Switch 2 Channel

Relay adalah komponen elektromekanik yang berfungsi sebagai saklar listrik yang dioperasikan secara otomatis menggunakan sinyal listrik. Komponen ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektromagnet (coil) dan kontak saklar (switch). Elektromagnet berfungsi untuk menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan bagian mekanikal dari relay. Sementara itu, kontak saklar terdiri dari dua jenis, yaitu Normally Open (NO) dan Normally Closed (NC). Pada kontak NO, posisi awalnya terbuka saat relay tidak aktif dan akan tertutup saat relay diaktifkan. Sebaliknya, pada kontak NC, posisi awalnya tertutup saat relay tidak aktif dan akan terbuka ketika relay diaktifkan. Relay digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik dan otomasi untuk mengendalikan arus listrik dan memungkinkan pengoperasian perangkat yang memerlukan switching.



GAMBAR 8
(RELAY 2 CHANNEL [11])

I. MCB (Miniature Circuit Breaker) 3 Fasa

MCB 3 fasa adalah perangkat pemutus listrik yang memiliki tiga kutub terhubung untuk mengontrol aliran listrik pada sistem tegangan tinggi. Digunakan pada instalasi industri, gedung, dan pusat perbelanjaan, MCB ini melindungi tiap fasa dari kelebihan beban dan korsleting, memastikan distribusi daya tetap aman dan stabil.

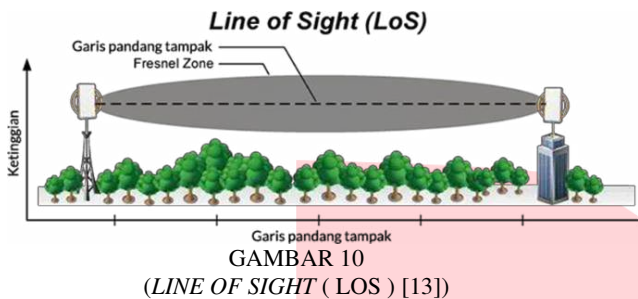


MCB - 3 pole

GAMBAR 9
(MCB 3 FASA [12])

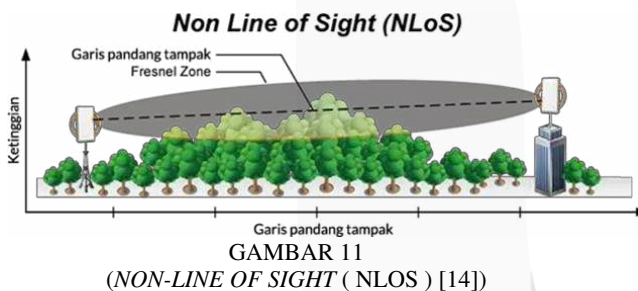
J. LoS (Line of Sight)

Line of Sight (LoS) adalah kondisi di mana perangkat pengirim dan penerima memiliki jalur komunikasi langsung tanpa hambatan. Dalam jaringan nirkabel, LoS memastikan sinyal dapat ditransmisikan tanpa gangguan, seperti pada koneksi radio microwave antar titik dengan ketinggian yang disesuaikan. Pengukuran dan simulasi diperlukan untuk menentukan ketinggian optimal guna menjaga koneksi tetap stabil.



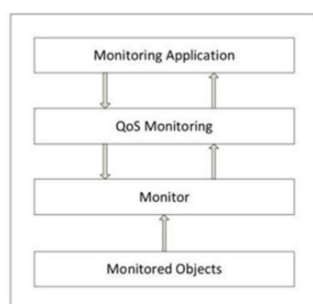
K. Non-Line of Sight (NLoS)

Non-Line of Sight (NLoS) mengacu pada situasi di mana jalur pandang langsung (Line of Sight) dan zona Fresnel terhalang sepenuhnya oleh suatu objek. Biasanya, kondisi ini menyebabkan koneksi terputus sepenuhnya. Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan penyesuaian ketinggian pada salah satu atau kedua titik perangkat agar jalur pandang langsung (LoS) dapat terwujud Kembali.



L. Parameter Uji QoS Pada Internet of Things

Quality of Service (QoS) adalah metode untuk mengukur dan menganalisis kinerja jaringan berdasarkan parameter tertentu. QoS mencakup pemantauan aplikasi yang mengumpulkan dan menganalisis data lalu lintas serta pemantauan real-time terhadap aliran paket. Informasi ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas layanan dan memastikan koneksi jaringan tetap optimal.



a. Paket Loss

Paket loss merujuk pada kondisi di mana sejumlah paket data tidak berhasil terkirim ke tujuan akhir karena gangguan dalam transmisi, yang dapat disebabkan oleh faktor seperti tabrakan (collision) pada media transmisi atau kemacetan (congestion) di jalur jaringan. Hal ini mengarah pada hilangnya informasi yang seharusnya diterima oleh penerima, memengaruhi kualitas komunikasi dan kinerja jaringan secara keseluruhan.

TABEL 1
(KATEGORI PAKET LOSS)

Categories of Degradation	Paket loss (%)
Very good	$0\% \leq 3\%$
Good	$3\% \leq 15\%$
Good Enough	$15\% \leq 25\%$
Ugly	$>25\%$

b. Delay (Latency)

Delay (Latency) merujuk pada waktu yang diperlukan bagi data untuk melakukan perjalanan dari sumber ke tujuan. Waktu delay ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jarak antara pengirim dan penerima, jenis media fisik yang digunakan, tingkat kemacetan jaringan, serta lama waktu pemrosesan data.

TABEL 2
(KUALITAS DELAY [15])

Kategori Latency	Besar Delay	Indek
Sangat Baik	<150 ms	4
Baik	150 s/d 300 ms	3
Cukup	300 s/d 450 ms	2
Buruk	>450 ms	1

M. MIT APP Inventor

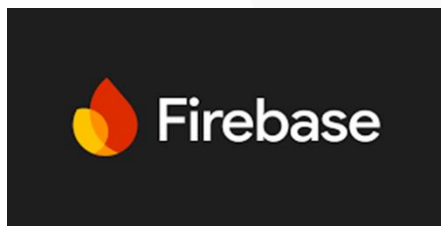
MIT App Inventor adalah platform berbasis web untuk membuat aplikasi Android tanpa perlu menulis kode secara manual. Dikembangkan oleh MIT, platform ini menggunakan pemrograman berbasis blok visual, memungkinkan pengguna merancang antarmuka dan logika aplikasi dengan mudah. Fitur seperti event-driven programming, akses sensor, dan integrasi GPS membuatnya ideal bagi pemula untuk mengembangkan aplikasi tanpa harus menguasai bahasa pemrograman kompleks.



GAMBAR 13
(MIT APP INVENTOR [16])

N. Firebase

Firebase merupakan layanan yang dikembangkan oleh Google untuk memudahkan para pengembang aplikasi dalam membangun dan mengelola aplikasi mereka. Firebase, yang juga dikenal dengan nama *Backend as a Service* (BaaS), adalah solusi yang ditawarkan untuk mempercepat proses pengembangan aplikasi dengan menyediakan berbagai fitur backend yang diperlukan oleh aplikasi mobile dan web. Produk pertama Firebase adalah Realtime Database, yang memungkinkan para pengembang untuk menyimpan dan menyinkronkan data secara real-time ke banyak pengguna. Seiring waktu, layanan ini berkembang dan menawarkan berbagai fitur tambahan untuk mendukung pengembangan aplikasi. Keunggulan utama dari Firebase adalah kemampuannya untuk menyimpan data secara real-time di perangkat pengguna dan pada database utama. Realtime Database dari Firebase sangat fleksibel, memungkinkan pengembang untuk mengatur bagaimana data disimpan, kapan data tersebut dapat diakses, dan bagaimana data dapat dimodifikasi. Ketika data disimpan di perangkat lokal pengguna, Firebase secara otomatis mengirimkan salinan data tersebut ke server cloud untuk memastikan konsistensi antara data lokal dan cloud. Fitur ini memungkinkan pengembang untuk berkomunikasi dengan aplikasi klien melalui server dengan menulis data langsung ke cloud Firebase.



GAMBAR 14
(FIREBASE [17])

O. Proteus

Proteus adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang PCB dan dilengkapi dengan simulasi PSpice pada tingkat skematik, yang memungkinkan pengguna untuk memastikan rangkaian PCB berfungsi dengan baik sebelum diubah menjadi PCB fisik. Program ini mengintegrasikan ISIS untuk merancang skematik rangkaian dengan ARES yang digunakan untuk membuat layout PCB berdasarkan skematik yang telah dibuat. ISIS dalam Proteus digunakan untuk perancangan dan pendidikan, sementara ARES (Advanced

Routing and Editing Software) berfungsi untuk membuat layout PCB. Proteus sangat bermanfaat dalam merancang rangkaian mikrokontroler serta untuk pembelajaran elektronika dasar hingga aplikasi mikrokontroler. Selain itu, Proteus menyediakan berbagai contoh desain yang membantu pengguna pemula dalam memahami dan belajar dari contoh yang tersedia.



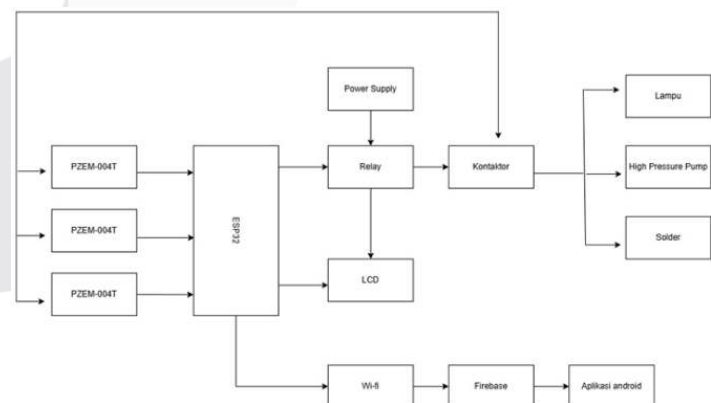
GAMBAR 15
(SOFTWARE PROTEUS [18])

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, di mana alat diuji langsung setelah perancangan. Pengujian dilakukan dengan menggabungkan variabel yang telah ditentukan untuk menghasilkan kesimpulan. Pengumpulan data meliputi studi literatur sebagai referensi teori, serta analisis kebutuhan dan perancangan sistem, mencakup perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam implementasi IoT.

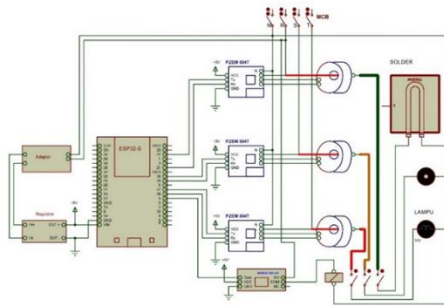
A. Perancangan Perangkat Keras

Proses ini melibatkan perencanan dan implementasi komponen fisik suatu sistem, termasuk perangkat keras elektronik dan mekanis. Dalam pengembangan alat pemantauan dan pengaturan penggunaan daya pada tegangan 3 fasa berbasis IoT, perancangan perangkat keras mencakup pemilihan dan integrasi komponen kunci seperti ESP32, sensor PZEM-004T, dan elemen lainnya yang mendukung dalam pembuatan alat.



GAMBAR 16
(DIAGRAM BLOK)

Berdasarkan diagram blok diatas sistem tersebut dapat dirangkai suatu sistem IoT pemantauan dan pengaturan penggunaan daya pada tegangan 3 fasa berbasis ESP32. Berikut ini merupakan rangkaian sistem dari diagram blok yang telah dibuat agar dapat dipahami pengertian dari sistem yang telah dibuat. Dengan menggunakan diagram blok, dapat dirancang sebuah sistem pemantauan dan pengaturan penggunaan daya pada tegangan 3 fasa.



GAMBAR 17

(DESAIN PROTEUS SISTEM 3 FASA)

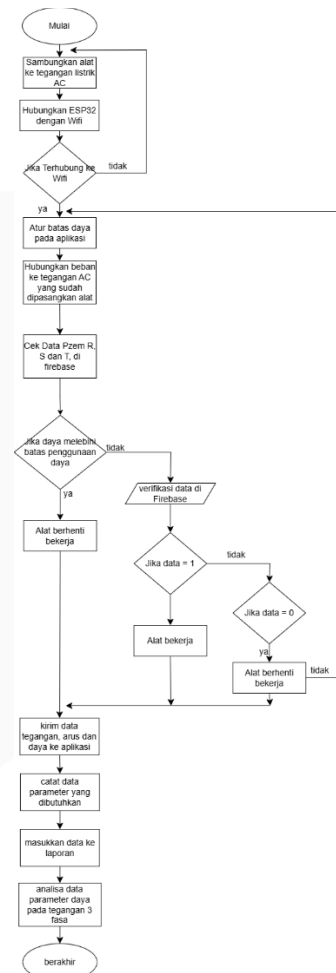
Pada rangkaian diatas merupakan rancangan controlling dan monitoring penggunaan daya pada tegangan 3 fasa yang didesain menggunakan aplikasi proteus untuk melihat apakah alat dapat bekerja secara normal atau terdapat kerusakan. Alat diberikan sumber tegangan ac agar beban dapat bekerja, karena beban yang dipakai menggunakan daya yang besar. Power supply digunakan untuk mensupply tegangan dc agar komponen yang dialat dapat bekerja dan berinteraksi satu sama lain. Sensor PZEM-004T mendeteksi tegangan yang masuk, di ESP32 di integrasikan sebuah program pengaturan dan pemantauan daya 3 fasa. Di program dimasukkan batas daya yang dapat digunakan agar alat dapat bekerja secara aman, ketika beban disambungkan dengan alat, ESP32 akan mendata daya yang telah terpakai dan dikirimkan ke ESP32 untuk dihitung berapa daya yang sudah terpakai. Ketika daya yang digunakan melebihi batas daya, maka kontaktor akan memutus aliran tegangan ac untuk mengamankan beban, kemudia relay akan memutus tegangan agar melindungi alat dan komponen. Pada tiap fasa juga akan diatur batas daya yang dapat digunakan agar dapat aman dari kerusakan dan ketika terjadi kerusakan, kerusakan dapat diliat dari aplikasi.

B. Perancangan Perangkat Lunak

Pada diagram perancangan sistem ini data daya, arus dan tegangan akan masuk melalui tegangan R, S dan T. Sensor PZEM-004T akan membaca dan mendeteksi tegangan yang akan masuk, kemudian data tersebut akan dikirim ke ESP32 untuk disimpan. Ketika beban dihidupkan, maka sensor PZEM-004T akan menghitung tiap data daya yang terpakai dan akan dihitung total penggunaan daya apakah melebihi kapasitas yang sudah ditentukan atau belum. Setelah disimpan di ESP32, kemudian data dikirimkan ke firebase untuk menampilkan data daya yang sudah dipakai pada tiap beban pada tegangan 3 fasa.

Setelah melakukan perancangan dan menyambungkan setiap komponen listrik, kemudian mengintegrasikan alat dengan program yang telah dibuat agar sistem dapat bekerja. Program yang sudah dibuat di upload ke ESP32 agar dapat melakukan proses sesuai fungsi dibuat di program, kemudian alat disambungkan ke sumber tegangan AC agar beban dengan daya tinggi dapat bekerja. Sensor pzem-004T mendeteksi tegangan, arus dan daya yang akan digunakan ketika disambungkan dengan beban pada tegangan 3 fasa, ESP32 disambungkan dengan sumber koneksi internet atau wifi agar dapat dikendalikan dengan aplikasi dari smartphone. Aplikasi yang dibuat disambungkan dengan firebase dengan memasukkan url dan token ke website MIT APP INVENTOR, kemudian mendesain waktu penggunaan dan mengatur di wesbite agar bisa mensetting batas limit

penggunaan. Pada website juga ditambahkan indkator agar aplikasi dapat hidup dan mati ketika dijalankan dengan koneksi internet dari smartphone, kemudian didesain teks agar data tegangan, arus dan daya dapat ditampilkan dari aplikasi. Pada aplikasi juga terdapat desain logo kampus yang di input dari website MIT APP INVENTOR, kemudian setelah desain aplikasi sudah selesai dan aplikasi dapat di build dari website dalam bentuk file apk agar dapat di install di perangkat smartphone. Kemudian dari aplikasi di atur batas penggunaan daya pada tiap fasa, karena dengan mengatur batas daya dapat melindungi mesin di pabrik dari kerusakan yang akan terjadi. Beban disambungkan dengan tegangan ac agar bekerja, kemudian dari aplikasi dihidupkan sistem yang telah dirancang dan batas daya dapat tersimpan di ESP32. Ketika beban bekerja sensor mendeteksi daya yang digunakan dan dikirim ke ESP32 untuk disimpan, kemudian ESP32 menghitung daya yang digunakan dan dibandingkan dengan batas daya yang sudah diatur. Ketika ESP32 membandingkan dan daya yang digunakan melebihi batas, kemudian relay memberikan sinyal ke ESP32 agar kontaktor memutus aliran listrik ac ke beban agar tidak terjadi kerusakan.

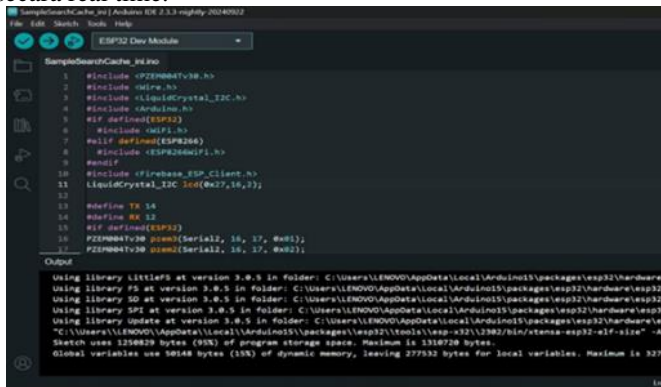


GAMBAR 18

(FLOWCHART SISTEM 3 FASA)

Pada perancangan perangkat lunak juga terdapat integrasi program menggunakan aplikasi Arduino ide, pada kali ini dilakukan pemrograman pada ESP32 untuk mengatur batas daya maksimal yang dapat digunakan pada tiap fasa agar tidak terjadi penggunaan daya secara berlebihan (overload), program ini dibuat dengan menambahkan

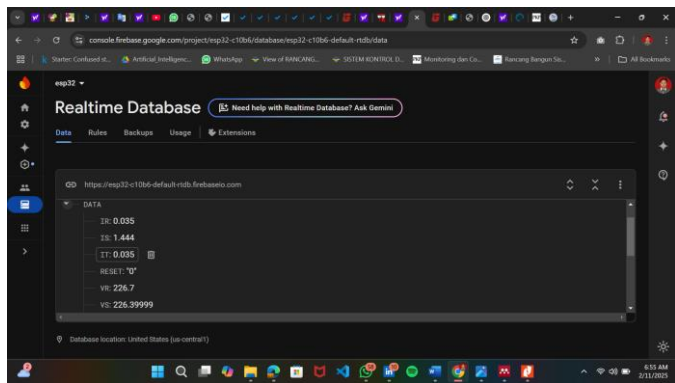
beberapa library komponen pada alat ke arduino ide agar alat dapat bekerja antar komponen dengan esp32. Data yang terbaca akan dikirimkan ke firebase untuk disimpan dan kemudian akan dikirimkan ke aplikasi untuk ditampilkan secara real time.



GAMBAR 19

(INTEGRASI PROGRAM 3 FASA PADA ARDUINO IDE)

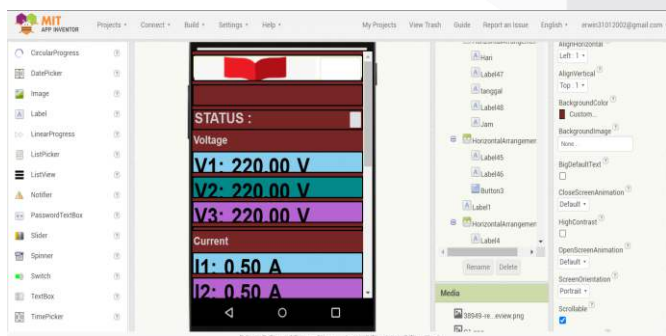
Pada perancangan lunak terdapat desain dan menginput data yang diperlukan pada firebase, data di input berupa data limit daya, indikator alat bekerja atau tidak dan data reset agar alat dapat bisa mati dengan sendiri.



GAMBAR 20

(DESAIN DATA APLIKASI PADA FIREBASE)

Pada perancangan lunak juga terdapat desain aplikasi menggunakan website MIT APP INVENTOR, pada website akan disambungkan dengan url dan token dari firebase. tujuan dengan menyambungkan website dengan firebase, agar pada aplikasi data parameter yang diperlukan dapat dipantau secara real time.



GAMBAR 21

(DESAIN APLIKASI PADA MIT APP INVENTOR)

C. Pengukuran Parameter Sistem 3 Fasa

Pada pengujian kali ini dilakukan pengukuran parameter tegangan menggunakan avometer untuk mengetahui berapa tegangan yang digunakan didalam alat ketika ketika beban dinyalakan, apakah sama dengan yang terukur menggunakan sensor PZEM-004T.

TABEL 3
(TABEL TEGANGAN 3 FASA)

Fasa	No	V avometer	V sensor	Error
R-N	1	181 V	181 V	0%
	2	191 V	190 V	0,0052%
	3	200 V	199 V	0,005%
	4	210 V	210 V	0%
	5	221 V	220 V	0,0045%
S-N	1	181 V	180 V	0,0055%
	2	188 V	187 V	0,0053%
	3	199 V	199 V	0%
	4	210 V	209 V	0,0047%
	5	221 V	220 V	0,0045%
T-N	1	180 V	180 V	0 %
	2	190 V	190 V	0 %
	3	202 V	202 V	0 %
	4	210 V	210 V	0 %
	5	221 V	220 V	0,0045 %
Rata – rata galat prototipe		= 0.0131%		

$$V \text{ Error total} = V \text{ avg 3 fasa} : 3 \times 100 \% \quad (1)$$

Pada pengujian kali ini dilakukan pengukuran menggunakan avometer dan aplikasi untuk mengetahui berapa arus yang digunakan didalam alat ketika beban dinyalakan, apakah sama dengan yang terukur menggunakan sensor PZEM-004T. perbandingan ini dilakukan untuk melihat kinerja dari sensor PZEM-004T.

TABEL 4
(PENGUKURAN ARUS 3 FASA)

Fasa	No	I avometer	I sensor	Error
R-N	1	0.83 A	0.85 A	0,024%
	2	0.86 A	0.87 A	0,012%
	3	0.89 A	0.91 A	0,022%
	4	0.92 A	0.94 A	0,022%
	5	0.95 A	0.98 A	0,031%
S-N	1	0.85 A	0.84 A	0,012%
	2	0.88 A	0.89 A	0,011%
	3	0.91 A	0.92 A	0,011%
	4	0.94 A	0.96 A	0,021%
	5	0.97 A	1 A	0,031%
T-N	1	0.77 A	0.84 A	0,1%
	2	0.80 A	0.87 A	0,1%
	3	0.83 A	0.92 A	0,11%
	4	0.86 A	0.95 A	0,10%
	5	0.89 A	0.98 A	0,10%
Rata – rata galat prototipe		= 0,24%		

$$I \text{ Error total} = I \text{ avg 3 fasa} : 3 \times 100 \% \quad (2)$$

$$V \text{ total} = V_r + V_s + V_t \quad (3)$$

$$I \text{ total} = I_r + I_s + I_t \quad (4)$$

$$P = V \times I \quad (5)$$

$$P = V \times I \times 1,732 \times \cos \phi \quad (6)$$

$$(5)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi tabel data dari pengukuran daya pada tiap fasa dan grafik hasil dari perhitungan daya pada tiap fasa dengan menghitung total tegangan dan arus pada tiap fasa, kemudian mencari daya tiap fasa. Daya pada tiap fasa didapat dengan mengkalikan tegangan dan arus pada fasa R, S dan T, agar mendapatkan total daya yang digunakan pada tegangan 3 fasa. Data pengujian QoS dilakukan untuk mengukur jarak konektivitas jaringan wifi yang disambungkan dengan perangkat IoT.

A. Pengukuran Daya Tiap Fasa Pada Tegangan 3 fasa

A. Pengukuran Daya Pada Tegangan 3 Fasa

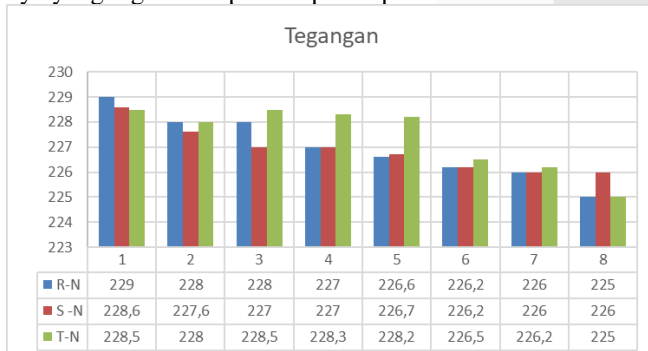
Pada kali ini dilakukan pengukuran dan perhitungan daya pada tiap fasa dengan mencatat data tegangan dan arus yang sudah dipakai, kemudian data disajikan dalam bentuk tabel.

TABEL 5

(PENGUKURAN DAYA PADA TEGANGAN 3 FASA)

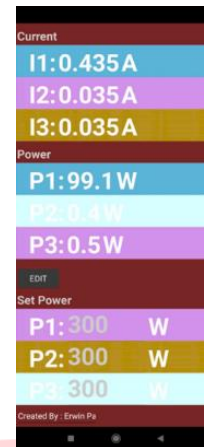
Fasa	Tegangan	Arus	Daya	PF	Kondisi
R-N	229V	0,2A	43,4 watt	0,98	Normal
	228V	0,3A	75,6 watt	1	Normal
	228V	0,58A	134,5 watt	1	Normal
	227 V	0,73A	165,4 watt	1	Normal
	226,6 V	0,91A	206,7 watt	1	Normal
	226,2 V	1,1A	250 watt	1	Normal
	226V	1,29A	291,5 watt	1	Normal
	225V	1,4A	310 watt	1	Trip/Overload
S -N	228,6 V	0,26A	60,3 watt	0,99	Normal
	227,6 V	0,59A	134 watt	1	Normal
	227 V	0,78 A	176,9 watt	1	Normal
	227 V	0,91A	207,4 watt	1	Normal
	226,7 V	1,10A	249,89 watt	1	Normal
	226,2 V	1,28A	290 watt	1	Normal
	226v	1,29A	291,5 watt	1	Normal
	226V	1,4A	310 watt	1	Trip/Overload
T-N	228,5 V	0,268A	60,5 watt	0,99	Normal
	228 V	0,59	135 watt	1	Normal
	228,5 V	0,73A	166,8 watt	1	Normal
	228,3 V	0,92A	210,7 watt	1	Normal
	228,2 V	1,11A	253,50 watt	1	Normal
	226,5 V	1,29A	291,90 watt	1	Normal
	226,2 V	1,32A	298,584 Watt	1	Normal
	225V	1,4A	310 watt	1	Trip/Overload

Pada gambar dibawah ini merupakan grafik perbandingan penggunaan daya pada tegangan 3 fasa, ketika penggunaan daya melebihi batas daya yang sudah diatur maka ESP32 akan memerintah kontaktor untuk memutuskan tegangan AC yang disambungkan ke alat. Perhitungan total penggunaan tegangan dan arus pada tiap fasa dapat menggunakan rumus 3 dan 4, kemudian setelah dapat total data tegangan dan arus 3 fasa, kemudian menggunakan rumus 5 untuk mencari data daya yang digunakan pada tiap fasa pada sistem.



GAMBAR 22

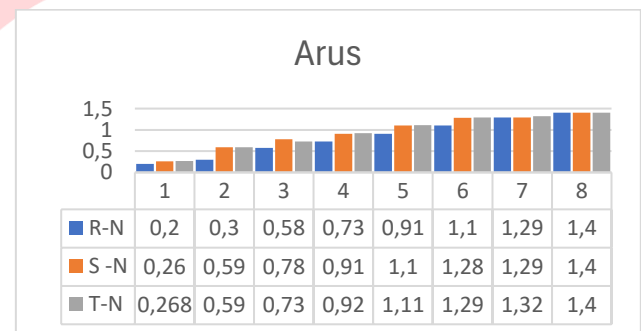
(GRAFIK PERBANDINGAN DAYA PADA 3 FASA)



GAMBAR 23

(PEMANTAUAN DATA DAYA SECARA *REAL - TIME*)

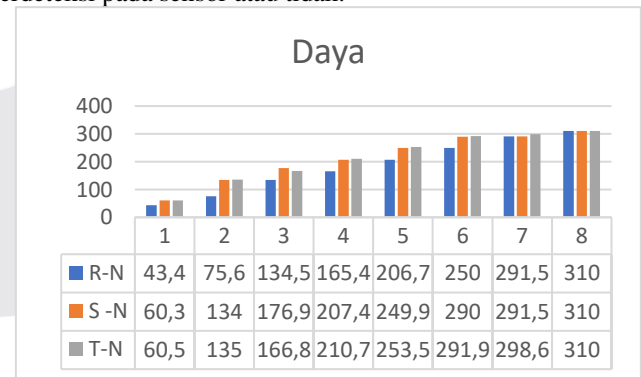
Pengukuran dilakukan dengan menghitung tegangan dan arus total pada tiap fasa agar didapat berapa total penggunaan daya pada tegangan 3 fasa. Didapat tegangan dan arus total pada tegangan 3 fasa sebesar 227,0875 V dan 0,906166 A



GAMBAR 24

(GRAFIK PERBANDINGAN ARUS PADA TEGANGAN 3 FASA)

Pengujian arus dilakukan untuk melihat apakah arus dapat terdeteksi pada sensor atau tidak.



GAMBAR 25

(GRAFIK PERBANDINGAN DAYA PADA TEGANGAN 3 FASA)

Pengukuran daya dilakukan untuk melihat apakah daya yang digunakan pada tiap fasa melebihi batas penggunaan yang sudah diatur atau tidak. Pada pengujian ini juga dicari total penggunaan daya 3 fasa dengan menggunakan rumus 6. Setelah perhitungan yang dilakukan didapat nilai daya 3 fasa yang sudah digunakan sebesar 356,409179 watt.

B. Pengujian QoS Pada LoS dan NLoS

Pengujian dilakukan untuk mengukur kualitas delay dan paket loss dari device yang digunakan sebagai sumber wifi dan dikoneksikan ke perangkat IoT. Data parameter dari QoS yang sudah di uji.

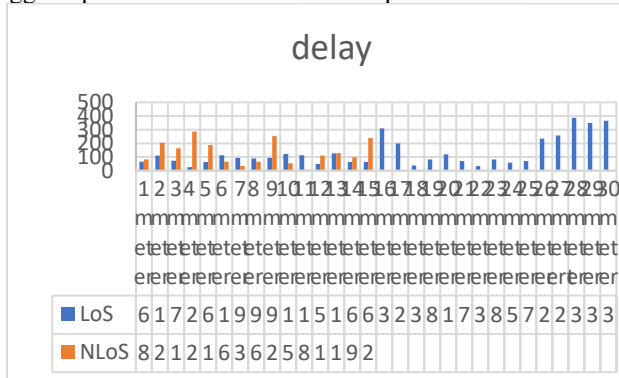
1) Pengujian Delay Pada LoS dan NLoS

Pada tabel dapat diketahui pada LoS masih dapat tersambung sejauh 29 meter, tapi pada jarak 30 meter koneksi wifi dari smartphone terputus dengan perangkat IoT. Pada LoS masih dapat tersambung dikarenakan tidak ada penghalang antara smartphone dengan perangkat IoT. Pada NLoS sinyal koneksi wifi terputus pada jarak 15 meter, karena pada NLoS pengujian dilakukan didalam ruangan yang terdapat perangkat komputer, dinding dan tv yang menyebabkan gangguan pada koneksi wifi.

TABEL 6
(UJI KONEKTIVITAS WIFI PADA LOS)

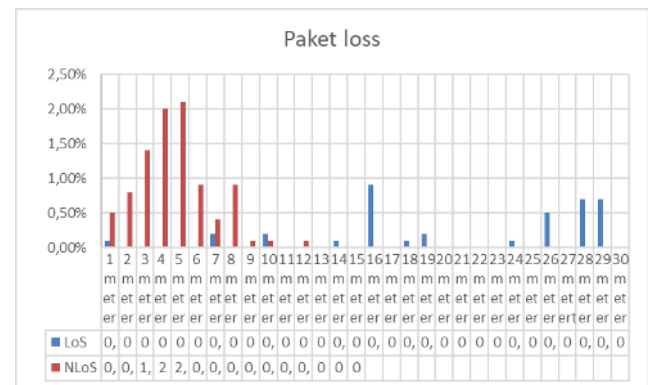
Jarak	Keterangan	Delay (ms)	Paket Loss
1 meter	Tersambung	65,2589441	0,1%
2 meter	Tersambung	109,722998	0%
3 meter	Tersambung	72,222625	0%
4 meter	Tersambung	26,3242876	0%
5 meter	Tersambung	62,5651159	0%
6 meter	Tersambung	112,9184508	0%
7 meter	Tersambung	94,4806208	0,2%
8 meter	Tersambung	90,01817593	0%
9 meter	Tersambung	95,79623426	0%
10 meter	Tersambung	132,6912663	0,2%
11 meter	Tersambung	113,7983847	0%
12 meter	Tersambung	50,18937906	0%
13 meter	Tersambung	127,4246556	0%
14 meter	Tersambung	62,56965789	0,1%
15 meter	Tersambung	64,28901318	0%
16 meter	Tersambung	309,2889476	0,9%
17 meter	Tersambung	200,3841453	0%
18 meter	Tersambung	37,27989876	0,1%
19 meter	Tersambung	83,3842288	0,2%
20 meter	Tersambung	118,7076297	0%
21 meter	Tersambung	71,8733319	0%
22 meter	Tersambung	32,29100609	0%
23 meter	Tersambung	81,11214876	0%
24 meter	Tersambung	57,74895074	0,1%
25 meter	Tersambung	70,84265706	0%
26 meter	Tersambung	235,3024299	0,5%
27 meter	Tersambung	258,7826113	0%
28 meter	Tersambung	385,5158911	0,7%
29 meter	Tersambung	350,0293557	0,7%
30 meter	Terputus	566,0873411	0%

Setelah melakukan pengujian delay pada LoS lebih baik daripada NLoS, karena pada NLoS terdapat gangguan berupa perangkat komputer dan dinding yang menyebabkan gangguan pada koneksi wifi dari smartphone.



GAMBAR 26
(GRAFIK PERBANDINGAN DELAY LOS DAN NLOS)

Dari grafik yang telah dibuat, dapat ditarik analisa bahwa paket loss pada saat tanpa ada halangan lebih bagus daripada ada halangan antar perangkat, pada kondisi NLoS lebih banyak kehilangan paket dibandingkan ketika tidak ada penghalang (LoS) yang masih dapat mengirimkan paket sejauh 29 meter.



GAMBAR 27
(GRAFIK PERBANDINGAN PAKET LOSS LOS DAN NLOS)

V. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T berfungsi dengan optimal dalam membaca parameter listrik. Pada sistem berbasis ESP32, batas daya maksimal tiap fasa ditetapkan sebesar 300 watt untuk melindungi perangkat elektronik. Setelah delapan kali pengujian pada sistem tiga fasa, daya yang terukur mencapai 356,41 watt. Akurasi sensor sangat baik dengan tingkat kesalahan pembacaan tegangan 0,0131% dan arus 0,24%. ESP32 berperan dalam mencatat data tegangan, arus, dan daya setiap fasa serta secara otomatis memutus aliran listrik melalui kontaktor dan relay jika terjadi overload. Aplikasi yang dikembangkan memungkinkan pengguna mengatur batas daya serta memantau parameter listrik secara real-time. Uji konektivitas jaringan dilakukan menggunakan Wireshark dalam dua skenario: LoS (tanpa hambatan, 1–30 meter) dan NLoS (dengan hambatan, 1–15 meter). Hasil menunjukkan bahwa kondisi LoS memiliki performa lebih baik dibandingkan NLoS, dengan rata-rata delay 130,91 ms dan packet loss 0,13%. Sementara pada NLoS, delay meningkat menjadi 131,97 ms dengan packet loss 0,062%.

REFERENSI

- [1] panellistrikindustri, "Pengertian dan Cara Menghitung Listrik 1 Phase dan Listrik 3 Phase," panellistrikindustri.com. Accessed: Jan. 13, 2025. [Online]. Available: <https://www.panellistrikindustri.com/2022/03/PengertianCaraMenghitungListrik1PhasedanListrik3Phase.html>
- [2] R. D. Wiguna, Suhanto, and W. Utomo, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Gagal Fasa Listrik 3 Phase Berbasis Iot," *Siminar Nas. Inov. Teknol. Penerbangan*, vol. 6, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/SNITP/article/view/1402>
- [3] S. Hariyadi, H. Hartono, R. I.S., S. Setiyo, and S. Julaihah, "Sistem Kontrol Dan Monitoring Aliran Daya Listrik Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Iot," *J. Penelit.*, vol. 8, no. 2, pp. 151–164, 2023, doi: 10.46491/jp.v8i2.1501.
- [4] W. Yuniarto, I. I, S. S, R. Man, M. Diponegoro, and

- E. E, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol Energi Listrik Pada Beban 3 Fasa Menggunakan Esp32 Berbasis Internet of Think (Iot)," *J. Poli-Teknologi*, vol. 22, no. 1, pp. 30–38, 2023, doi: 10.32722/pt.v22i1.5102.
- [5] R. A. Radouan Ait Mouha, "Internet of Things (IoT)," *J. Data Anal. Inf. Process.*, vol. 09, no. 02, pp. 77–101, 2021, doi: 10.4236/jdaip.2021.92006.
- [6] R. Ramadhan *et al.*, "Implementasi Esp32 Untuk Pengukuran Daya," vol. 3, no. 2, pp. 79–92, 2022.
- [7] S. Anwar, T. Artono, and J. Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang, "Pengukuran Energi Listrik Berbasis PZEM-004T," *Proceeding Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2019.
- [8] J. T. Mesin *et al.*, "Penggunaan Kontaktor pada Sistem Pengaman Motor Induksi 3 Fasa Universitas Sultan Ageng Tirtayasa , Indonesia Motor induksi 3 fasa dengan menggunakan trailer memiliki celah diantara medan listrik stator dan rotor . Dimana banyak digunakan dalam industri," vol. 3, 2024.
- [9] T. Armaliany, "Armaliany, T. (2022). Rancang Bangun Instrumentasi Konverter Buck dengan Graphical User Interface. In MSI Transaction on Education (Vol. 03).," *MSI Trans. Educ.*, vol. 03, no. 03, p. 2022, 2022.
- [10] R. Andari, "Sistem Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 29–36, 2021, doi: 10.33369/jamplifier.v11i1.15472.
- [11] P. Pada, S. Motor, B. Iot, E. Sulistyio, H. Santrila, and M. Z. Haikel, "Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur Rancang Bangun Sistem Cerdas Pengontrolan Keamanan Kunci," vol. 16, no. 01, 2024.
- [12] J. T. Mesin *et al.*, "Evaluasi Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa sebagai Mesin Bubut Program Studi Teknik Elektro Universitas PGRI Palembang , Indonesia proteksi yang handal agar motor tidak terjadi kerusakan atau gangguan pada saat pengoprasian ," vol. 3, no. 3, 2024.
- [13] A. I. Prasetyo, M. Arman, and S. Susilawati, "Sistem Monitoring Temperatur Dan Kelembaban Berbasis Arduino Dengan Menggunakan LoRa Pada Gedung Kuiah Politeknik Negeri Bandung," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, no. 1, pp. 494–500, 2023, doi: 10.35313/irwns.v14i1.5435.
- [14] F. Hidayat and M. Nizar, "Model Addie (Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation) Dalam Pembelajaran Pendidikan Agama Islam," *J. Inov. Pendidik. Agama Islam*, vol. 1, no. 1, pp. 28–38, 2021, doi: 10.15575/jipai.v1i1.11042.
- [15] Valia Yoga Pudya Ardhana and M. D. Mulyodiputro, "Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Internet Universitas Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket (HTB)," *J. Informatics Manag. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 70–76, 2023, doi: 10.47065/jimat.v3i2.257.
- [16] unisayogya, "unisayogya," psti.unisayogya.ac.id. Accessed: Jan. 14, 2025. [Online]. Available: <https://psti.unisayogya.ac.id/2020/01/06/apa-itu-mit-app-inventor-berikut-penjelasanannya/>
- [17] A. T. Gaikwad, "Firebase - Overview and usage," *Int. Res. J. Mod. Eng. Technol. Sci.*, vol. 3(12), no. August, pp. 1178–1183, 2022.
- [18] M. H. Anggriany *et al.*, "Pengaruh Penggunaan Media Pembelajaran Video Tutorial Dan Media Pembelajaran Software Simulasi Proteus Terhadap Hasil Belajar Mata Pelajaran Gambar Teknik Listrik," *J. Sajian Penelit. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2023.