

Sistem Pemantauan dan Kontrol Energi Listrik Menggunakan Platform Node-RED, Influxdb dan Grafana melalui Jaringan WiFi dan Lora

Mada Jimmy Fonda Arifianto¹, Lin Prasetyani²

¹ Program Studi Mekatronika, Politeknik Astra, ² Program Studi Mekatronika, Politeknik Astra

Corresponding Author: Mada Jimmy Fonda Arifianto

Abstract — Electrical energy monitoring for home and industrial equipment plays important role to prepare the concept of green energy in the future. Usually, only one or a few energy meters are provided in each building for monitoring the energy use of the entire installation. Topic of this research is developing an energy measuring instrument that is applied to every electrical equipment. Knowing the information of energy usage of each equipment in real-time is the first step in saving electricity. This help for decisions making in term of efficient utilization, for example managing the schedule of production system and preventive maintenance. The energy monitoring and controlling system proposed in this paper includes hardware development using microcontroller ESP32, LoRa module and energy sensor PZEM-004T. In addition, software development to support the system includes Node-RED as dashboard and back-end development, InfluxDB as database management and Grafana as data visualization. The prototype has been successfully made and has features according to the research objective, which is to display the electrical quantity of each tool individually and monitor it for a certain period.

Keyword — energy monitoring, ESP32, LoRa, Node-RED

Abstrak -- Pemantauan energi listrik untuk peralatan rumah tangga dan industri berperan penting untuk menyiapkan konsep energi hijau di masa depan. Instalasi listrik pada Gedung biasanya hanya tersedia satu pengukur energi untuk memantau penggunaan beban pada keseluruhan instalasi tersebut. Topik penelitian ini adalah pengembangan alat ukur energi yang diaplikasikan pada setiap peralatan listrik. Tersedianya informasi penggunaan energi pada setiap peralatan merupakan langkah awal dalam usaha penghematan listrik. Hal ini akan membantu pengambilan keputusan dalam hal pemanfaatan energi yang efisien, misalnya mengatur jadwal sistem produksi dan pemeliharaan preventif. Sistem pemantauan dan pengendalian energi yang diusulkan dalam makalah ini meliputi pengembangan perangkat keras menggunakan mikrokontroler ESP32, modul LoRa dan sensor energi PZEM-004T. Selain itu, pengembangan perangkat lunak untuk mendukung sistem tersebut antara lain Node-RED sebagai dashbor dan pengembangan *back-end*, InfluxDB sebagai manajemen basisdata dan Grafana sebagai visualisasi data. Prototipe telah berhasil dibuat dan memiliki fitur sesuai tujuan penelitian, yaitu menampilkan besaran listrik masing-masing alat secara individual dan memonitornya dalam periode waktu tertentu.

Kata kunci — pemantauan energi, ESP32, LoRa, Node-RED

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu energi yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Energi listrik diperoleh dari berbagai macam sumber energi baik yang tidak terbarukan maupun yang terbarukan, oleh karena itu perlu dilakukan pemanfaatannya sebaik-baiknya. Seiring dengan kebutuhan masyarakat, maka banyak usaha-usaha manusia untuk melakukan penghematan dengan cara-cara yang efisien.

Pemantauan penggunaan energi listrik merupakan tahap awal dari usaha manusia untuk melakukan penghematan listrik. Informasi yang akurat dan cepat terhadap pemakaian energi tersebut dapat digunakan untuk memudahkan pengambilan keputusan dalam pengelolaan efisiensi energi pada suatu jaringan listrik pada sebuah gedung atau rumah. Selain untuk penghematan daya, sistem pemantauan juga dapat digunakan dalam kegiatan perawatan mesin-mesin listrik misalnya menentukan kapan sebuah motor listrik perlu diganti berdasarkan jam pemakaian energi dan pengamatan arus yang mengalir secara abnormal pada sebuah alat yang performanya sudah menurun. Analisis terhadap data lampau yang tersimpan pada basis data dapat digunakan untuk mengetahui fluktuasi energi yang digunakan, misalnya kapan terjadi puncak pemakaian daya dan sebaliknya. Contoh lain: informasi energi pada sebuah mesin produksi secara spesifik, cepat dan akurat dapat membantu perusahaan dalam menentukan biaya sehingga harga produk dapat bersaing.

Berdasarkan latar belakang yang sudah disampaikan, maka masalah dapat dirumuskan:

1. Bagaimana mengembangkan peralatan untuk mengukur energi listrik pada setiap beban dan mengendalikan secara *on-off*.
2. Bagaimana mengembangkan peralatan untuk mengirimkan/menerima data ke/dari server melalui jaringan nir kabel.
3. Bagaimana mengembangkan sistem pemantauan energi listrik dan mengendalikan beban secara *on-off* dengan aplikasi berbasis web.

II. STUDI LITERATUR

2.1. Sistem pemantauan energi

Seiring dengan kebutuhan energi listrik yang meningkat, sementara sumber energi terbatas, maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk mengendalikan penggunaan energi listrik secara efisien. Hal ini bisa dilihat menurut data BPS tentang konsumsi energi listrik per kapita di Indonesia pada tahun 2018, 2019 dan 2020, yaitu berturut-turut sebesar 1,06 MWH, 1,08 MWH dan 1,09 MWH. [1]. Pemantauan konsumsi energi yang akurat dan cepat merupakan hal yang penting untuk diterapkan di industri modern untuk membantu mengurangi pemborosan energi yang tidak diperlukan dalam jangka waktu tertentu. Alat-alat listrik atau mesin-mesin modern di era saat ini banyak yang sudah memiliki status daya yang beragam, tidak hanya *on-off*, melainkan bisa dalam kondisi di antaranya, misalnya kondisi istirahat (*sleep*), siap (*stand-by*), daya penuh (*full power*) atau *proportional* terhadap fungsi-fungsinya. Hal ini tentunya dapat meningkatkan efisiensi energi terutama pada proses produksi.

Sistem pengelolaan energi telah dirancang dengan menerapkan pengukuran cerdas (*smart metering*) pada instalasi gedung untuk memonitor penggunaan listrik, sehingga dihasilkan data yang presisi[2]. Sebuah platform berbasis IoT digunakan untuk memonitor data tersebut secara jarak jauh dan ditampilkan secara waktu nyata (*realtime*) pada halaman web, sehingga apabila ada kenjanggalan dapat segera diteliti.

Pada prinsipnya sistem ini terdiri dari sensor energi, pengendali dan sistem komunikasi yang dikemas pada sebuah alat (perangkat keras). Alat ini diletakkan pada sebuah titik setelah sumber listrik dan sebelum beban atau instalasi pada jaringan listrik yang hendak diukur. Sensor pada alat ini bertugas membaca arus, tegangan dan besaran listrik lain, yang selanjutnya diproses oleh pengendali (mikrokontroler) dan dikirim menuju server melalui sistem komunikasi yang digunakan.

Ada beberapa pilihan teknologi komunikasi nirkabel agar sistem memiliki konektivitas dengan jaringan yang sesuai dengan kebutuhan. Tabel 1 adalah perbandingan kualitatif beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang sudah menjadi standar tergantung dari penggunaan dan lingkungan.

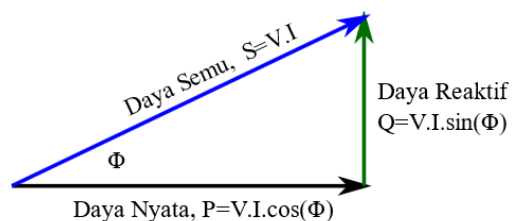
Masing-masing teknologi nirkabel memiliki kekurangan dan kelebihan. Pada aplikasi sistem manajemen energi listrik yang difokuskan di sini, gabungan penggunaan teknologi WiFi dan LoRa dinilai cocok karena beberapa alasan yaitu:

1. biaya operasi rendah (tidak perlu langganan),
2. harga modul relatif murah dan mudah diintegrasikan dengan pengendali berbasis mikrokontroler.
3. jaringan WiFi sudah banyak dipakai untuk konektivitas ke jaringan local dan internet.
4. jaringan LoRa memiliki jangkauan yang jauh dan hemat energi sehingga cocok untuk pemakaian di industri. Hal ini dikarenakan data yang terkirim ukurannya kecil yang tidak memerlukan bandwidth besar.
5. protokol komunikasi LoRa dapat dikembangkan sesuai topologi dan tingkat keamanan sesuai yang dibutuhkan.

2.2. Besaran Listrik

Arus listrik merupakan aliran partikel bermuatan seperti elektron dan ion yang bergerak melewati sebuah konduktor. Besarnya arus listrik ditentukan berapa banyak muatan listrik (satuan: Coulomb) yang mengalir setiap satuan waktu pada sebuah penghantar misalnya kabel. Satuan arus menurut basis SI adalah Ampere (A) yang berarti aliran muatan listrik sebesar satu coulomb per detik. Pembahasan di bagian ini difokuskan pada arus listrik bolak-balik (AC) yang terdapat pada jaringan listrik PLN di rumah dan perkantoran dengan tegangan 220volt. Arus AC tersebut memiliki arah yang berubah secara bolak balik yang berbentuk gelombang sinusoida yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk peralatan listrik.

Hal yang perlu dipertimbangkan pada pengukuran energi adalah faktor daya ($\cos \Phi$), yang merupakan rasio antara daya aktif dan daya nyata seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Besarnya faktor daya akan mempengaruhi pengukuran daya yang sebenarnya, yang tergantung dari jenis-jenis beban listrik yaitu resistif, induktif dan kapasitif.



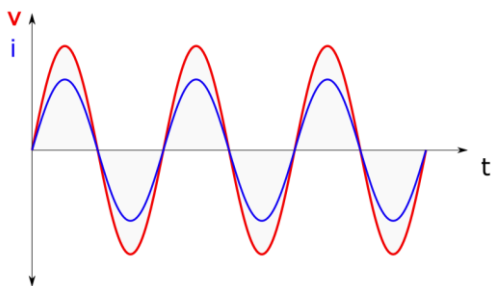
Gambar 1 Faktor daya

TABEL I
PERBANDINGAN TEKNOLOGI NIRKABEL

Standar \ Teknologi	Bluetooth , BLE	ZigBee	WiFi	LoRa	Nb-IoT
Frekuensi	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz	433MHz 915MHz	Berdasarkan operator
Jangkauan	10m	10-100m	200-300m	3km, 10 km	15km
Biaya operasional	rendah	rendah	rendah	rendah	tinggi
Daya	rendah	rendah	tinggi	Sangat rendah	tinggi
Latensi	rendah	rendah	Sangat rendah	tinggi	rendah

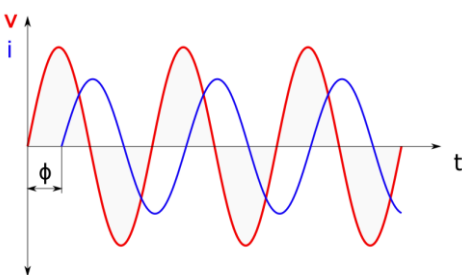
Beban resistif pada rangkaian listrik AC hanya membutuhkan daya aktif sehingga gelombang tegangan dan arus tidak mengalami pergeseran fasa atau faktor dayanya sebesar satu. Beban ini bekerja seperti resistor yang menghambat arus lalu menghasilkan panas. Contoh alat listrik yang memiliki beban reaktif yaitu: solder, setrika, lampu pijar dan sebagainya.

Hal yang perlu dipertimbangkan pada pengukuran energi adalah faktor daya ($\cos \Phi$), yang merupakan rasio antara daya aktif dan daya nyata seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Besarnya faktor daya akan mempengaruhi pengukuran daya yang sebenarnya, yang tergantung dari jenis-jenis beban listrik yaitu resistif, induktif dan kapasitif.



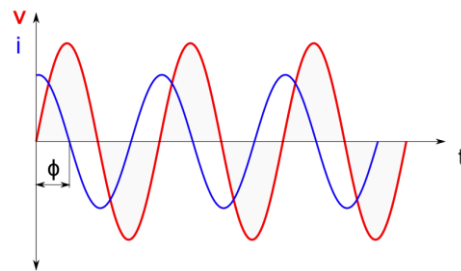
Gambar 2 Beban resistif

Beban resistif pada rangkaian listrik AC hanya membutuhkan daya aktif sehingga gelombang tegangan dan arus tidak mengalami pergeseran fasa atau faktor dayanya sebesar satu. (Gambar 2) Beban ini bekerja seperti resistor yang menghambat arus lalu menghasilkan panas. Contoh alat listrik yang memiliki beban reaktif yaitu: solder, setrika, lampu pijar dan sebagainya.



Gambar 3 Beban induktif

Beban induktif pada rangkaian listrik AC membutuhkan daya aktif dan daya reaktif. Daya reaktif di sini merupakan kerugian-kerugian daya yang terjadi akibat pergeseran fasa yang terjadi pada gelombang sinusoida arus dan tegangan. Beban induktif bersifat seperti kumparan yang menyebabkan tertinggalnya gelombang arus dari gelombang tegangan. Contoh-contoh peralatan listrik dengan beban induktif yaitu: motor listrik, solenoid, induktor, transformer dan lain-lain.



Gambar 4 Beban kapasitif

Beban kapasitif bersifat seperti kapasitor yaitu menyimpan arus dalam waktu tertentu sehingga terjadi teterlambatan tegangan dibanding arus.

2.3. Akuisisi data dan komunikasi data

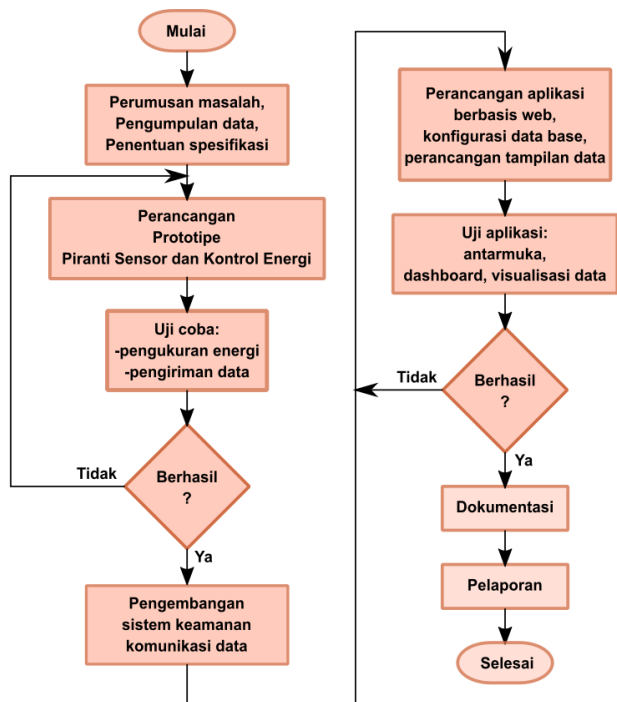
Besaran fisik yang dikonversikan oleh sensor menghasilkan data yang dapat diakuisisi atau dikumpulkan untuk selanjutnya ditransmisikan ke server pengolah data. Menurut kebutuhan frekuensi sampel data, pengambilan data dilakukan secara periodik secara konstan misalnya tiap satu detik, satu menit, 10 menit dan sebagainya. Selain secara periodik, sampel data dapat juga diambil jika ada perubahan nilai dari sensor dengan batas ambang (*threshold*) tertentu. Pengambilan data dengan menggabungkan kedua metode tersebut juga bisa dilakukan, agar nilai sensor dapat terpantau setiap saat, namun juga akan memberikan informasi jika ada perubahan mendadak.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan agar pelaksanaan penelitian dapat dilakukan secara terstruktur dengan hasil sesuai yang diharapkan. Alur metodologi dapat dilihat di Gambar 5. Hal awal yang dilakukan adalah analisis kondisi yang terdiri dari perumusan masalah, pengumpulan data dan penentuan spesifikasi sesuai kebutuhan sistem.

Pada tahap ini analisis kebutuhan penelitian dilakukan berdasar latar belakang permasalahan dan kondisi umum yang terdapat pada sebuah gedung terkait instalasi listrik dan penempatan peralatan listrik. Tahap awal ini juga mengidentifikasi permasalahan berkaitan dengan penelitian sebelumnya sehingga menghasilkan permodelan dan spesifikasi teknis yang hendak dikaji. Metode yang digunakan adalah observasi lapangan, wawancara, studi literatur terkait pemilihan teknologi. Selanjutnya spesifikasi teknis digunakan sebagai acuan perancangan piranti berupa prototipe mulai dari merancang rangkaian, pembuatan PCB, perakitan komponen, pemrograman mikrokontroler dan pembuatan kemasan yang direncanakan menggunakan 3d printer.

Tahap berikutnya adalah pengujian pengukuran energi dengan mengambil data dari sensor arus dan tegangan oleh mikrokontroler.



Gambar 5 Alur metodologi penelitian

Pengujian juga termasuk fungsi-fungsi pengiriman data. Jika belum berhasil maka perlu diperiksa rancangan alatnya, jika berhasil, maka dilanjutkan dengan pengembangan sistem pengiriman data agar aman dan terkirim dengan baik.

Setelah bagian prototipe piranti sensor dan kontrol energi selesai dibangun, berikutnya perancangan aplikasi berbasis web, konfigurasi basis data, dan perancangan tampilan data.

Pengujian aplikasi dilakukan dengan cara menjalankan antarmuka pengguna dengan kriteria sesuai yang sudah ditentukan sebelumnya. Pada intinya pengujian ini untuk mengetahui apakah semua sensor yang terhubung dapat terdeteksi, mengirimkan data dan menerima data.

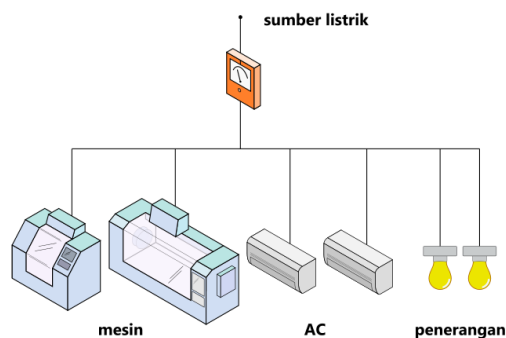
Bagian terakhir adalah dokumentasi dan pelaporan yang dapat digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.

IV. PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN SISTEM

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan pada bab sebelumnya, maka perlu dibuatkan konsep penyelesaian masalah dari yang sudah dirumuskan pada bab sebelumnya. Setelah mendapatkan konsep yang paling optimal, maka perlu disusun spesifikasi sistem yang dibutuhkan, kemudian dibuatkan rancangan sistem baik dari sisi perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) menggunakan teknologi yang relevan.

4.1. Analisis kondisi

Instalasi listrik di gedung atau di industri saat ini terdapat satu alat pengukur energi yang ditempatkan secara terpusat, sehingga penggunaan energi yang terbaca adalah secara keseluruhan (Gambar 6). Hal ini tidak dapat terukurnya penggunaan energi pada peralatan secara individu, sehingga tentunya pola-pola aktivitas yang terjadi tidak dapat diukur dengan rinci. Selain itu, masih banyak sistem pengukuran konvensional seperti ini yang belum menerapkan sistem pemantauan secara terintegrasi dengan teknologi IT, sehingga laporan-laporan yang dihasilkan tidak dapat terpantau secara cepat.

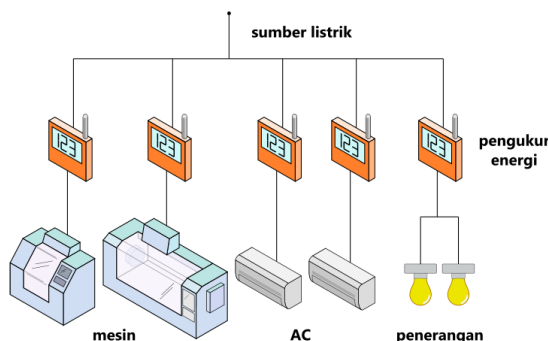


Gambar 6 Sistem pengukuran energi secara konvensional

Ada beberapa jenis mesin atau peralatan modern yang memiliki fitur pemantauan energi sendiri termasuk sistem penghematan energi (*energy saving*), yang tentunya dapat membantu menganalisis penggunaan energi. Namun demikian, populasi mesin atau peralatan listrik generasi lama yang tidak memiliki fitur ini masih sangat banyak.

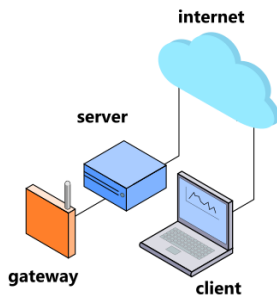
4.2. Konsep sistem

Sistem pemantauan dan pengendalian energi listrik terdiri dari sejumlah pengukur energi, *gateway*, server dan perangkat lunak pendukung. Pengukur energi dipasang pada *outlet* listrik sebelum masing-masing peralatan/mesin yang akan diukur (Gambar 7). Arus, tegangan dan besaran listrik lainnya yang terukur di tiap mesin akan dikirim ke *gateway* yang terhubung ke jaringan lokal/internet. Sebuah server digunakan untuk menyimpan dan mengelola data serta menampilkannya ke sebuah dasbor yang dapat diakses melalui komputer klien yang terhubung pada jaringan yang sama (Gambar 8).



Gambar 7 Sistem pemantauan energi secara individu

Setiap alat pengukur energi juga terdapat *relay* yang digunakan sebagai kendali *on-off* peralatan/ mesin. Pengendalian *relay* ini dapat dilakukan pada sebuah dasbor di komputer klien secara manual, berdasarkan fungsi pewaktuan, atau berdasarkan kondisi tertentu sesuai logika yang diberikan.



Gambar 8 Sistem IoT untuk mendukung sistem pemantauan

4.3. Spesifikasi kebutuhan

Sebelum melakukan perancangan sistem, maka perlu mendefinisikan kebutuhan secara spesifik dan terukur baik pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Pada perangkat keras kebutuhan tersebut adalah:

1. Setiap alat memiliki alat ukur energi listrik AC untuk mengukur arus, tegangan, energi, daya, faktor daya dan frekuensi listrik.
2. Setiap alat memiliki mikrokontroler yang terintegrasi dengan komunikasi WiFi.
3. Mikrokontroler juga dihubungkan dengan modul LoRa.
4. Data besaran listrik dikirim ke gateway dapat dikirim melalui jaringan LoRa atau WiFi.
5. Setiap alat memiliki nomor identitas yang unik.
6. Alat ini dapat mengendalikan beban secara on-off, dengan asumsi dalam keadaan normal peralatan yang dikendalikan dalam keadaan *on* (melalui kontak NC dari relai).

Kebutuhan untuk perancangan perangkat lunak yaitu:

1. Perangkat lunak pendukung yang dikembangkan berupa aplikasi berbasis web yang dapat diakses melalui web browser pada komputer, laptop atau perangkat bergerak (*smartphone, tablet computer*)
2. Pemrograman dilakukan melalui halaman administrator yang diakses di web browser agar sistem dapat diprogram secara fleksibel.
3. Adanya *user level authentication* pada halaman dasbor dan halaman administrator untuk menjamin keamanan akses data.
4. Visualisasi data yang ditampilkan berupa grafik, indikator dan teks yang berkaitan dengan besaran listrik yang terbaca pada tiap beban berdasarkan nomor identitas mesin/peralatan.

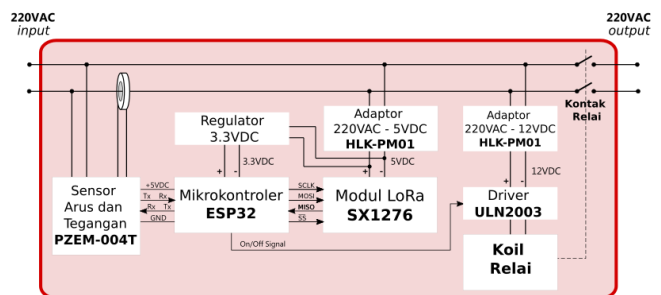
5. Pesan dari/ke alat ukur energi menggunakan protokol MQTT

V. PEMBUATAN SISTEM DAN PENGUJIAN

5.1. Pembuatan Papan Rangkaian Elektronika

Berdasarkan konsep yang sudah didefinisikan pada bab sebelumnya, selanjutnya konsep alat dituangkan dalam bentuk gambar rangkaian elektronika yang secara teknis dilakukan untuk memenuhi spesifikasi. Tujuan pembuatan gambar rangkaian yaitu untuk mempersiapkan rancangan PCB yang nantinya akan digunakan untuk pembuatan modul elektronika. Rangkaian digambar dengan menggunakan perangkat lunak KiCAD dengan alasan banyaknya komponen yang dapat diperoleh di pustaka (*library*) serta dapat digunakan secara gratis dan memiliki banyak komunitas. KiCad juga dapat memodelkan tampilan tiga dimensi sehingga model PCB dan komponen dapat digunakan untuk pembuatan rancangan kemasan menggunakan CAD software lain. Setelah rancangan PCB selesai, selanjutnya proses pemesanan PCB dilakukan secara online melalui penyedia jasa pembuatan PCB dengan mengirimkan / mengunggah file.

Rancangan alat pengukuran terdiri dari beberapa fungsi utama yang dituangkan pada diagram blok di Gambar 5. Alat ini memiliki masukan dan keluaran listrik AC 220V, masukan berasal dari sumber listrik, sedangkan keluaran dihubungkan ke beban. Bagian kiri pada gambar tersebut terdapat sensor arus dan tegangan yang digunakan untuk mengukur tegangan AC dan arus AC melalui CT (*current transformer*). Sensor yang digunakan adalah PZEM-004T, dengan alasan sensor ini memiliki pengukuran besaran listrik yang cukup lengkap yaitu mampu membaca arus, tegangan, daya, faktor daya, frekuensi serta energi. Sensor dilengkapi dengan komunikasi serial sehingga dapat dibaca oleh mikrokontroler.



Gambar 9 Diagram blok peralatan pengukur energi

Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 yang dilengkapi dengan fitur komunikasi WiFi sehingga apa yang dibaca dari sensor arus melalui komunikasi serial dapat diteruskan melalui jaringan WiFi yang tersedia.

Mikrokontroler ESP32 juga dihubungkan ke modul LoRa melewati jalur komunikasi SPI. Dengan dipasangnya modul

LoRa ini, maka alat ini nantinya memiliki tambahan opsi komunikasi data yang dapat dikirimkan lebih jauh tanpa jaringan WiFi.

Alat yang dikembangkan ini juga dilengkapi dengan pengendalian piranti elektronik secara *on-off* menggunakan relay yang sinyalnya dikeluarkan oleh mikrokontroler ESP32 ke driver ULN2003 sebagai penguat arus ke koil relay. Untuk penyederhanaan diagram blok, *relay* yang tergambar hanya ada satu. Tetapi pada prototipe yang akan dibuat, *relay* yang akan terpasang sebanyak dua buah, masing-masing dihubungkan ke stop kontak 220V, sehingga alat ini dapat kompatibel dengan kebanyakan peralatan listrik.

Diagram blok yang dijelaskan di atas selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk rangkaian elektronika yang dikembangkan menggunakan software KiCad yang pada akhirnya berguna untuk membuat rancangan PCB yang siap untuk diproduksi. Proses berikutnya adalah merakit komponen elektronika ke PCB tersebut, melakukan pemrograman mikrokontroler ESP32 dan dilanjutkan ujicoba rangkaian.

5.2. Pemrograman mikrokontroler dan gateway

Mikrokontroler dikonfigurasi dengan konsep OTA (*over the air*) sehingga dapat dilakukan pemrograman dan upload secara nirkabel menggunakan WiFi. Pemrograman LoRa dilakukan dengan bantuan pustaka dari RadioHead dengan memasukkan fitur enkripsi untuk mencegah diaksesnya data pihak yang sengaja maupun tidak sengaja masuk ke jaringan LoRa.

Gateway merupakan penghubung jaringan LoRa dan WiFi pada sistem pemantauan ini. *Gateway* yang digunakan adalah papan mikrokontroler TTGO-LoRa32 V2.1 yang di dalamnya terdapat mikrokontroler ESP32, modul LoRa dan modul OLED. Papan mikrokontroler ini bertugas menerima data energi dari alat pengukur melalui jaringan LoRa dengan format data JSON. Contoh data yang dikirim yaitu:

```
{ "i": "0.170", "v": "233.0", "p": "30", "e": "45.6", "pf": "0.2", "f": "50", "ID": "43797" }
```

Data yang diterima oleh *gateway* ini lalu dikirim server dengan protokol pengiriman data MQTT.

5.3. Instalasi dan konfigurasi software

Server yang digunakan pada sistem ini yaitu Raspberry Pi dengan pertimbangan spesifikasi teknisnya mencukupi (prosesor, media penyimpanan, memori, dan konektivitas jaringan). Selain itu pertimbangan lain yaitu ukurannya yang cukup kecil, daya listrik yang digunakan cukup rendah, serta memiliki dukungan komunitas yang luas, sehingga ketersediaan *software*, *library* serta *troubleshooting* bisa didapatkan dengan mudah.

Software yang diinstal pada Raspberry Pi yaitu:

- Ubuntu sebagai sistem operasi,

- Node-RED sebagai platform pengembangan aplikasi,
- Mosquitto sebagai MQTT broker,
- InfluxDB sebagai aplikasi basis data dan
- Grafana sebagai visualisasi data.

5.3. Pengujian Sistem

Pengujian yang dilakukan meliputi bekerjanya alat pengukur, pengiriman data energi, tampilan dasbor dan sistem pengendalian melalui web browser. Sistem yang diuji terdiri dari dua perangkat pengukur energi, sebuah *gateway*, sebuah server, beberapa *client* (menggunakan ponsel cerdas dan laptop). Uji coba dilakukan gedung (*indoor*) kampus yang terdiri dari banyak ruangan.

5.3.1. Pengujian Alat Pengukur Energi

Alat pengukur energi diuji dengan cara memasangnya pada instalasi listrik dengan beban sesuai batasan sensor dan batasan arus pada MCB pada instalasi tersebut. Butir-butir yang diuji pada alat ini meliputi:

- Pengukuran tegangan AC keluaran, tegangan DC pada catu daya 12V, 5V dan 3,3V.
- Fungsi unduh program dari komputer ke mikrokontroler
- Pengamatan indikator sensor energi secara visual
- Pengamatan mikrokontroler dan modul secara visual serta pengamatan temperatur komponen-komponen

5.3.2. Pengujian Komunikasi Data

Cara pengujian komunikasi data dilakukan dengan mengirim data dari alat pengukur energi menuju ke LoRa/WiFi gateway. Data yang dikirim secara periodik setiap 10 detik sekali. Daya pancar radio LoRa pada perangkat pengukur sebesar 1W sedangkan pada gateway sebesar 0.1W. Butir-butir yang diuji pada tahap ini yaitu:

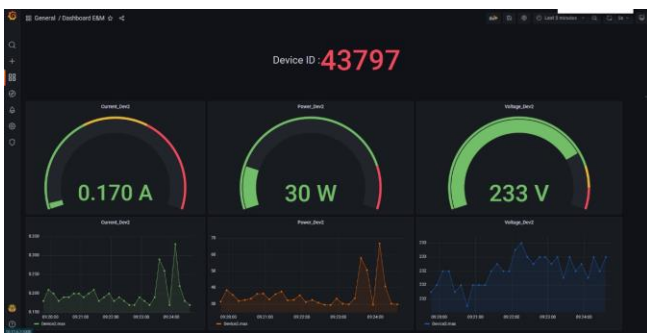
- Pengiriman data dari alat menuju ke LoRa gateway dan sebaliknya yang dilihat hasilnya melalui komunikasi serial masing-masing pengirim/penerima
- Pengiriman data dari alat menuju server melalui jaringan WiFi

5.4. Hasil Pengujian

Pengujian yang sudah berhasil dilakukan yaitu:

- PCB dan perakitan komponen elektronika telah berfungsi dengan baik yang ditunjukkan dengan pengukuran-pengukuran pada keluaran-keluaran regulator, pengecekan jalur-jalur PCB, serta pengujian pemrograman telah berhasil.
- Pembacaan sensor PZEM-004T telah berhasil dilakukan dengan menunjukkan data energi terdiri dari (arus, tegangan, daya, energi, factor daya, frekuensi). Tegangan dan arus yang terbaca telah dibandingkan dengan alat ukur dan memberikan nilai sama.
- Pengiriman data dari perangkat pengukur ke gateway melalui jaringan LoRa telah berhasil

- dilakukan pada jarak jangkauan kurang kurang lebih 300meter
4. Gateway telah berhasil mengirimkan ke server melalui jaringan WiFi dengan protocol MQTT
 5. Tampilan dashboard Node-RED menunjukkan indikator sesuai dengan data
 6. Data histori berhasil disimpan pada sebuah database InfluxDB dan ditampilkan menggunakan Grafana. Visualisasi data menggunakan indikator dan grafik
 7. Pengendalian relay pada perangkat pengukur melalui dasbor Node-RED telah berhasil dilakukan.
 8. Autentifikasi penggunaan halaman web dikonfigurasi untuk satu admin pada dan satu klien pada pemrograman Node-RED.



Gambar 10 Visualisasi data menggunakan Grafana



Gambar 11 Dasbor pengendalian relay pada komputer klien

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari kegiatan penelitian dan analisis hasil penelitian yaitu:

1. Sistem pemantauan energi dan pengendalian alat listrik dapat dilakukan dengan perangkat berbasis mikrokontroler yang terhubung ke sebuah gateway dan server. Komputer klien yang terhubung ke jaringan yang sama dapat memantau energi dan mengendalikan perangkat listrik.
2. Komunikasi sistem pemantauan menerapkan teknologi LoRa untuk pengiriman data dari perangkat pengukur ke gateway dengan menerapkan enkripsi. Jarak

jangkauan di dalam gedung sekitar 300m. Komunikasi yang digunakan untuk komunikasi gateway dengan server menggunakan jaringan WiFi

3. Sistem informasi yang digunakan untuk mendukung penelitian ini terdiri dari server (Raspberry Pi) dan infrastruktur jaringan WiFi. Pada server diinstal software pendukung yaitu: Ubuntu sebagai operating system, Node-RED untuk pengembangan dasbor dan komunikasi (menggunakan MQTT), InfluxDB untuk pengelolaan basis data serta Grafana untuk visualisasi data.

Saran yang dapat disampaikan oleh penulis untuk keberlanjutan penelitian ke depan yaitu:

1. Peningkatan daya pancar radio modul LoRa pada gateway menjadi 1W agar memiliki jarak jangkauan yang luas.
2. Pemanfaatan LoRaWAN pada sistem pemantauan agar dapat diterapkan secara luas.
3. Penerapan kecerdasan buatan untuk analisis hasil pemantauan agar dapat digunakan secara informatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) dan Lembaga Pengembangan Produk dan Penerapan Teknologi (LP3T) Politeknik Astra, yang telah memberikan kesempatan maupun bantuan hibah penelitian, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR ACUAN

- [1] Badan Pusat Statistik, *Konsumsi Listrik per Kapita*. Available: https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data/0000/data/1156/sdgs_7/1
- [2] S. G. Priyadharshini, C. Subramani, J. Preetha Roselyn, 2019, "An IOT based smart metering development for energy management system", *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 9, No. 4, August 2019, pp. 3041~3050
- [3] Taoufik Bouguera, Jean-François Diouris, Jean-Jacques Chaillout, Randa Jaouadi, Guillaume Andrieux. Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN. *Sensors*, MDPI, 2018, 18 (7), pp.2104-10.3390/s18072104. hal-01828769
- [4] Mike McCauley, Airspace, RadioHead Packet Radio library for embedded microprocessors, Available: <https://www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/>