

PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* ENERGI BERBASIS *INTERNET OF THINGS* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO

Jenko Antofa Gast^{1*}, Kholid Yovanda², Isac Ilham Habib³, Guntur Yanuar Astono⁴

^{1,2,3}Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9 Jatimulyo, Lowokwaru, Malang, 65141, Telp. (0341) 404424 - 404425, Fax (0341) 404420

Keywords:

Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH), *Internet of Things* (IoT), Monitoring Energi.

Correspondent Email:

jenkoantofagasta@gmail.com

Abstrak. Kesadaran global tentang pengurangan emisi karbon dan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan mendorong penggunaan energi terbarukan, termasuk Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem monitoring energi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH). *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk mengumpulkan data *real-time* tentang kondisi operasional, termasuk tegangan, arus, daya, frekuensi, dan faktor daya. Tegangan AC dari generator dihubungkan ke input PZEM-017 dan PZEM-004T. Modul *Wi-Fi* ESP8266 mengirimkan data ke server web picohidro. elektroloss. id. Pengujian sensor PZEM-017 menunjukkan rata-rata *error* 0,52% pada tegangan dan 0,69% pada arus, sedangkan PZEM-004T menunjukkan rata-rata *error* 0,39% untuk tegangan dan 0,61% untuk arus. Berdasarkan hasil pengujian sensor PZEM-017 dan PZEM-004T dapat disimpulkan sensor bekerja dengan baik karena memiliki nilai *error* dibawah 1%. Halaman *website* dapat menampilkan hasil pengukuran sensor dari jarak jauh secara *real-time* dengan baik.



Copyright © **JITET** (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. Global awareness of carbon emission reduction and sustainable use of natural resources encourages the use of renewable energy, including PicoHydro Power Plants (PLTPH). This study aims to develop an *Internet of Things* (IoT) based energy monitoring system at PicoHydro Power Plants (PLTPH). *Internet of Things* (IoT) is used to collect *real-time* data on operational conditions, including Voltage, current, power, frequency, and power factor. AC Voltage from the generator is connected to the input of PZEM-017 and PZEM-004T. The ESP8266 *Wi-Fi* module sends data to the picohidro. elektroloss. id Web Server. Testing of the PZEM-017 sensor shows an average error of 0.52% for Voltage and 0.69% for current, while the PZEM-004T shows an average error of 0.39% for Voltage and 0.61% for current. Based on the test results of the PZEM-017 and PZEM-004T sensors, it can be concluded that the sensors are working well, with error values below 1%. The website displays the sensor measurement results remotely in *real time*.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kesadaran global tentang pentingnya pengurangan emisi karbon dan pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan, energi terbarukan menjadi pilihan untuk menggantikan sumber energi fosil.

Salah satu energi terbarukan yang berkembang adalah Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH), yang menggunakan aliran air sungai kecil untuk menghasilkan listrik dalam skala kecil. Keuntungan dari PikoHidro adalah kemampuannya untuk menyediakan pasokan

listrik secara terus-menerus[1]. Meski menawarkan banyak keuntungan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH) memiliki tantangan tersendiri. Salah satu tantangannya adalah memastikan bahwa pembangkit beroperasi dalam kondisi optimal tanpa gangguan yang bisa mengurangi efisiensi atau merusak komponen. Pembangkit PikoHidro meskipun berukuran kecil memerlukan pemantauan berkala terhadap parameter operasional seperti tegangan, arus, dan pembebanan dan proses pemantauan sering memakan waktu dan memerlukan kehadiran operator di lokasi yang menjadi kurang efisien[2].

Teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat memainkan peran penting. *Internet of Things* (IoT), memungkinkan sistem pemantauan dan kontrol jarak jauh yang lebih efisien dengan memanfaatkan sensor yang terhubung ke internet, dalam konteks ini *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk mengumpulkan data secara *real-time* mengenai kondisi operasional pembangkit dan memberikan peringatan dini jika terjadi masalah. Penerapan *Internet of Things* (IoT) operator dapat mengakses data operasional dari pembangkit melalui *Web Server*. Sensor yang digunakan adalah sensor PZEM 004T, sebuah modul sensor multifungsi untuk mengukur daya, tegangan, arus, dan energi yang terdapat pada sebuah aliran listrik. Sistem ini membutuhkan mikrokontroler seperti Arduino yang memiliki kemampuan pemrosesan data. Node MCU merupakan board mikrokontroler yang dilengkapi dengan *Wi-Fi* ESP8266[3].

Pemantauan sistem secara *real-time*, data dari sensor akan dikirim ke *Web Server* menggunakan komunikasi nirkabel. Modul komunikasi yang digunakan untuk mentransmisikan data dari sensor ke *Web Server* adalah *Wi-Fi*. Sistem memungkinkan operator untuk mengontrol beban secara *real-time*. *Web Server* berguna untuk memonitor data secara *real-time*, memberi notifikasi atau peringatan jika terjadi masalah pada pembangkit, dan memungkinkan kontrol jarak jauh terhadap beban atau pembangkit[4]. Penelitian lebih lanjut dapat mengarah pada integrasi sistem monitoring yang lebih menyeluruh untuk mencakup kondisi operasional secara keseluruhan. Salah satu permasalahan bagi pembangkit listrik dengan

bersumber pada tenaga air yang berasal dari sungai adalah perubahan musim fluktuasi dalam pola curah hujan dan perubahan debit sungai secara langsung memengaruhi kinerja pembangkit listrik tersebut. Sebaliknya, musim hujan membawa risiko banjir yang dapat mengganggu proses kerja dari pembangkit listrik dengan adanya peningkatan tiba-tiba dalam debit aliran sungai[5]. Berdasarkan permasalahan diatas, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem monitoring energi berbasis *Internet of Things* (IoT) pada Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH), yang menggunakan sensor listrik AC dan sensor listrik DC yang terintegrasi dengan Mikrokontroler dan Modul *Wi-Fi*. Sistem ini mampu mendeteksi tegangan, arus, daya, frekuensi, power faktor, dan energi di saat Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro bekerja. Dalam pengembangan sistem ini, digunakan sensor PZEM 004T untuk mengukur tegangan dan arus AC serta sensor PZEM-017 untuk mengukur tegangan dan arus DC yang terintegrasi dengan Arduino Mega 2560 serta Node MCU ESP8266.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Monitoring

Monitoring adalah proses pengawasan dan pengukuran secara parameter penting dalam suatu sistem secara terus menerus dan *real-time*. Dalam konteks Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH), sistem monitoring berfungsi untuk memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, serta status perangkat meliputi generator, baterai, beban DC, inverter, dan beban AC.

2.2. Arduino Mega 2560

Arduino adalah platform elektronik *open-source* yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam membuat proyek elektronik. Arduino Mega 2560 adalah salah satu jenis board Arduino yang dirancang untuk proyek yang membutuhkan lebih banyak pin atau *output* dan memori dibandingkan board seperti Arduino Uno[6].

2.3. Sensor PZEM-004T

PZEM-004T adalah modul sensor yang digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, dan energi

pada sistem AC (arus bolak-balik). Modul ini sering digunakan dalam proyek *Internet of Things*, sistem monitoring energi, dan aplikasi otomatisasi. Modul ini sudah dilengkapi sensor tegangan dan sensor arus (CT) yang sudah terintegrasi[4].

2.4. *Sensor PZEM-017*

PZEM-017 adalah modul sensor yang digunakan untuk mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, dan energi pada sistem DC (arus searah). Modul ini sering digunakan dalam proyek *Internet of Things*, sistem monitoring energi, dan aplikasi otomatisasi. Tegangan PZEM-017 menunjukkan hasil yang sangat mendekati pengukuran multimeter, dengan rata-rata persentase ketepatan berkisar 97 %. Ini menunjukkan bahwa PZEM-017 memiliki akurasi yang baik dalam pengukuran tegangan[7].

2.5. *Resistor Shunt FL-100A 75mV*

Resistor Shunt adalah komponen listrik yang berfungsi sebagai jalur 14 resistansi rendah bagi arus listrik. Shunt juga dapat di ibaratkan sebagai resistor pembagi arus yang umumnya digunakan untuk mengukur arus baik dalam skala tinggi maupun rendah, Tanpa *Resistor Shunt*, sistem tidak bisa membaca arus dengan benar, bahkan beresiko merusak sensor atau mikrokontroler. PZEM-017 dan *Shunt* sebagai sensor tegangan dan arus[7].

2.6. *RS-485*

RS-485 merupakan modul komunikasi serial yang kuat untuk jarak jauh hingga 1200 meter dan kuat di lingkungan dengan gangguan listrik serta sering digunakan di lingkungan industri[8]. Kecepatan data hingga 2.5MBit/detik, namun kecepatan data maksimum yang dapat didukung akan menurun seiring bertambahnya jarak. Konversi sinyal listrik antara TTL dan pensinyalan diferensial yang digunakan oleh RS-485 menggunakan modul RS-485[6].

2.7. *Buck Boost Converter LX8015*

Buck Boost Converter LX8015 ini akan beroperasi jika diberi tegangan *input* minimal sebesar 3 *Volt*, sementara *output* dari tegangan yang dihasilkan oleh *Buck Boost Converter* pada proyek ini diatur sebesar 5 *Volt* dengan

menggunakan trimpot yang ada pada *buck boost* untuk melakukan proses pengisian baterai agar tegangan pengisian baterai konstan. Jika tegangan *input* yang diberikan kurang dari 3 *Volt* tegangan keluaran dari *buck boost* ini belum bisa dinaikkan, karena tegangan *input* yang diperlukan belum tercapai. *Buck Converter* berperan sebagai *step down* atau penurun tegangan[9].

2.8. *Node MCU ESP8266*

Node MCU ESP8266 merupakan sebuah modul *Wi-Fi* yang berbasis *chip* ESP8266. Modul ini tidak hanya menyediakan konektivitas *Wi-Fi*, tetapi juga dilengkapi dengan mikrokontroler yang dapat di program menggunakan berbagai platform seperti Arduino IDE. NodeMCU ESP8266 akan memproses data yang didapat dari IoT melalui mikrokontroler dan *output* datanya akan dihubungkan ke internet menggunakan media *Wi-Fi* melalui aplikasi *website* serta akan ditampilkan juga log database *outputnya*[3].

2.9. *LCD (Liquid Crystal Display)*

LCD (Liquid Crystal Display) dengan antarmuka I2C adalah sebuah teknologi tampilan yang menggunakan protokol komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk berinteraksi dengan mikrokontroler atau mikroprosesor, berbeda dengan LCD konvensional yang memerlukan banyak pin untuk koneksi data dan kontrol. Pada antarmuka I2C, modul ini memiliki 4 pin, yaitu VCC, GND, SCL, dan SDA. Pada LCD 16 x 2 akan menampilkan data berupa nilai tegangan, arus, daya, power faktor, frekuensi dan status komponen[10].

2.10. *Fuse*

Fuse adalah suatu komponen yang berfungsi untuk membatasi beban arus yang berlebihan. Dengan adanya *fuse* rangkaian kelistrikan dan komponen yang lainnya tidak akan rusak bila terjadi kelebihan arus atau terjadi hubungan singkat. *Fuse* yang digunakan untuk penelitian ini adalah tipe tabung (*cartridge*) karena banyak dijumpai di pasaran[11].

2.11. *Kapasitor Elco 16V 2200µf*

Kapasitor *elco* 16V 2200µF adalah komponen elektronik yang menyimpan energi dalam bentuk medan listrik dan digunakan

terutama untuk penyaringan tegangan, penstabil daya, dan penyimpanan energi sementara dalam rangkaian elektronik, khususnya rangkaian power supply[10].

2.12. IC KIA 7805 PI

IC KIA 7805 merupakan salah satu jenis regulator tegangan linear dari keluarga 78xx series yang dirancang untuk menyediakan tegangan keluaran tetap sebesar 5 Volt DC. KIA 7805 bekerja dengan prinsip penurunan tegangan *input* yang lebih tinggi (biasanya antara 7V hingga 25V) menjadi tegangan *output* 5V yang stabil[12]. IC ini memiliki rangkaian pembatas arus, proteksi *thermal*, dan perlindungan terhadap tegangan balik, sehingga mampu meningkatkan keandalan sistem catu daya.

2.13. USB Wi-Fi Dongle GSM 4G LTE

Wi-Fi dongle 4G LTE GSM merupakan perangkat portabel yang berfungsi sebagai modem sekaligus *access point nirkabel*, memungkinkan perangkat lain untuk terhubung ke internet melalui jaringan seluler. Keunggulan utama dari Wi-Fi dongle 4G LTE adalah fleksibilitas dan mobilitasnya, memungkinkan konektivitas internet di lokasi terpencil tanpa infrastruktur kabel[13].

2.14. Arduino IDE

Arduino IDE merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketsa pemrograman dan berfungsi sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. IDE berfungsi sebagai aplikasi programming dari wemos untuk komunikasi antara sensor dan aplikasi android. Data yang ditampilkan adalah tegangan, arus, daya, energi, frekuensi dan *power factor*[14]. Arduino IDE digunakan sebagai platform utama untuk pemrograman mikrokontroler yang terhubung dengan PZEM-017, sensor PZEM-004T, dan ESP8266.

2.15. Web Server

Web Server IoT adalah sistem yang memungkinkan perangkat berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk berkomunikasi, bertukar data, atau dikendalikan melalui jaringan internet menggunakan protokol berbasis web seperti HTTP atau HTTPS. Teknologi ini berfungsi menerima permintaan HTTP atau

HTTPS dari klien atau kita kenal dengan *Web Browser (Chrome, Firefox)*. Kemudian *Web Server* memberikan hasil atau jawaban berupa dokumen, video, foto, atau beragam bentuk berkas lainnya. Fungsi dari *Web Server* adalah membersihkan berbagai cache yang terdapat pada penyimpanan serta semua dokumen yang tidak terpakai lagi. Melakukan pemeriksaan terhadap sistem security yang berasal dari permintaan HTTP, sebagai antarmuka, *website* digunakan untuk menampilkan data yang diperoleh dari sensor PZEM-017 dan PZEM-004T.

2.16. MySQL

MySQL disebut juga SQL yang merupakan singkatan dari *Structured Query Language*. MySQL adalah sebuah sistem manajemen database yang bersifat *open source*. MySQL merupakan sistem manajemen database yang bersifat relational, data yang dikelola dalam database yang akan diletakkan pada beberapa tabel yang terpisah sehingga manipulasi data akan jauh lebih cepat.

2.17. PhpMyAdmin

PhpMyAdmin adalah perangkat lunak gratis yang ditulis menggunakan bahasa pemrograman PHP. Pemrograman PHP dimaksudkan untuk menangani administrasi database MySQL melalui *interface Web*, phpMyAdmin mendukung berbagai operasi di database MySQL dan MariaDB. Xampp yang digunakan untuk mengaktifkan server localhost untuk akses mengelola database MySQL di dalam PHPMyAdmin[15].

2.18. Internet of Things (IoT)

Internet of Things, mengacu pada jaringan kolektif perangkat yang terhubung dan teknologi yang memfasilitasi komunikasi antara perangkat dan cloud, serta antarperangkat itu sendiri. *Internet of Things (IoT)* merupakan suatu konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus. IoT dimanfaatkan untuk mengendalikan dan memantau komponen elektronik seperti baterai, tegangan dan lampu dari jarak jauh dengan memanfaatkan jaringan internet[3].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Jenis metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimen dan deskriptif. Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *Research and Development*. Penelitian ini dilakukan di sungai irigasi persawahan Desa Ngasem, Kecamatan Gurah, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring energi Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH) berbasis *Internet of Things* (IoT), mengetahui bagaimana sistem dapat saling terhubung dan mengirimkan data secara otomatis ke *Web Server* untuk monitoring jarak jauh, mengetahui bagaimana hasil pengujian sistem monitoring energi berbasis IoT, mengetahui bagaimana cara pembacaan sensor terhadap kinerja operasional Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH), untuk mengetahui cara membuat tampilan *website* pada sistem monitoring berbasis IoT terhadap kinerja PLTPH.

3.2. Alat dan Bahan

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini yaitu, modul Arduino Mega 2560, sensor PZEM-004T, PZEM-017, *resistor Shunt* FL-100A 75mV, *converter* LX8015, NodeMCU ESP8266, LCD I2C, *Fuse*, Kapasitor, IC KIA 7805 PI, USB *Wi-Fi Dongle* GSM 4G. Alat pendukung pengilahan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu Arduino IDE dan *Web Server* untuk mengirim dan menerima data.

3.3. Tahapan Penelitian

Pada penelitian sistem monitoring energi pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro berbasis IoT menggunakan sensor PZEM secara *real-time*. Berikut ini adalah tahapan-tahapan yang dilakukan pada saat penelitian:

1. Identifikasi masalah, pemeliharaan PLTPH menggunakan alat sistem monitoring yang dilakukan secara *real-time* untuk mendeteksi kerusakan dini pada sistem PLTPH.
2. Studi literatur, tahap ini mengkaji referensi yang dijadikan acuan dalam menentukan komponen untuk merancang sistem monitoring.
3. Perancangan sistem, pada tahap ini mempersiapkan dan merancang alat yang

telah dipelajari dan ditentukan pada tahap dua.

4. Pembuatan sistem, membuat alat yang sudah direncanakan untuk menghasilkan alat yang sesuai dengan konsep perancangan.
5. Pengujian sistem, tahap ini alat yang sudah dibuat akan diuji untuk mengetahui alat berfungsi dengan baik.
6. Analisa kerja sistem dan kesimpulan, tahap ini menganalisis sistem kerja, akurasi, kekurangan, dan kelebihan alat.
7. Pembuatan laporan, merupakan tahap terakhir dimana semua hasil analisa dan evaluasi kinerja dituangkan secara sistematis dalam bentuk tulisan atau laporan yang tersruktur.

3.4. Blok Diagram Sistem Monitoring

Sistem pada rangkaian PLTPH berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang dirancang untuk transfer data dari PZEM-017 dan PZEM-004T ke LCD dan *Website* sebagai *output*. Blok diagram untuk proses kerja sistem monitoring pada pembangkit tersusun dari PZEM-017 yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, dan daya pada *output* generator, baterai, dan converter. Sensor PZEM-004T berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, dan daya pada *output* inverter dan beban AC. RS-485 sebagai antarmuka komunikasi data antara PZEM-017 dengan Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 mengolah pembacaan data dari sensor PZEM-017 dan PZEM-004T untuk dirubah menjadi format json dan data json dikirim ke ESP8266 melalui komunikasi serial. LCD I2C menampilkan data pembacaan sensor yang sudah diolah oleh Arduino Mega 2560. ESP8266 menerima data json dari Arduino Mega 2560 menggunakan jaringan internet untuk mengirim data ke database melalui protokol HTTP. *Database* berfungsi menyimpan dan mengelola data pembacaan sensor, API memproses pengambilan data dari database untuk ditampilkan di *website*. *Website* digunakan sebagai media antarmuka data.

3.5. Flowchart Sistem

Sistem ini dimulai dengan generator yang menghasilkan listrik DC, yang kemudian dikirim untuk charging baterai melalui

converter (MPPT). Kemudian dari baterai dikirim ke inverter dari listrik DC diubah ke listrik AC untuk menyuplai beban. Sensor PZEM-017 membaca tegangan, arus, dan daya DC dari *output* generator, baterai, dan *converter* (MPPT). Sementara sensor PZEM-004T membaca tegangan, arus, dan daya AC dari *output* inverter dan beban AC. ESP8266 digunakan untuk menghubungkan Arduino Mega 2560 dengan jaringan internet yang disuplai oleh modem *Wi-Fi dongle* 4G LTE. Data sensor dari ESP8266 dikirim ke *database* untuk disimpan dan diolah, selanjutnya data yang tersimpan diambil dan ditampilkan pada *website*, sehingga pengguna dapat memantau sistem secara efektif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

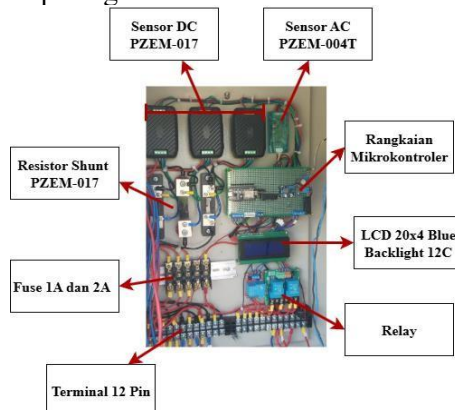
4.1. Perencanaan Hardware

Pada penelitian ini, *hardware* menggunakan beberapa komponen utama yaitu mikrokontroler Arduino Mega 2560, Sensor PZEM 004T, Sensor PZEM 017, serta *output* yang digunakan adalah LCD 20x4 *blue backlight* dengan modul 12 IC.



Gambar 1. Hasil Alat Monitoring Energi

Gambar diatas merupakan hasil rancangan hardware yang telah tersusun dalam kotak pelindung. Komponen-komponen yang digunakan dalam perancangan *hardware* dapat dilihat pada gambar dibawah.



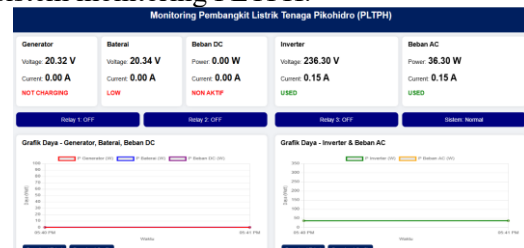
Gambar 2. Hasil Rangkaian Alat Monitoring

Berdasarkan gambar diatas rangkaian komponen sistem monitoring yang telah terhubung sesuai dengan perencanaan. Komponen meliputi Sensor DC PZEM-017, digunakan untuk pemantauan arus dan tegangan DC. Sensor AC PZEM-004T, digunakan untuk pemantauan arus dan tegangan AC. *Resistor Shunt* PZEM-017, digunakan oleh sensor PZEM-017 untuk mengukur arus DC. Rangkaian Mikrokontroler, berfungsi sebagai pusat kendali dari sistem. LCD 20x4 *Blue Backlight* 12C, berfungsi untuk menampilkan hasil dari alat monitoring. *Fuse* 1A dan 2A, berfungsi sebagai proteksi untuk mencegah kerusakan akibat hubung singkat atau beban lebih. *Relay*, berfungsi untuk mengontrol beban. Terminal 12 Pin, berfungsi untuk koneksi eksternal *input* dan *output* daya.

Berdasarkan uraian diatas, sistem monitoring energi yang dirancang telah mengintegrasikan berbagai komponen penting. Setiap komponen telah dirancang secara modular dan telah dilengkapi dengan sistem proteksi yang memadai untuk memastikan keandalan dan keamanan sistem saat dioperasikan. Integrasi antara perangkat keras dan lunak yang baik memungkinkan sistem untuk memantau kondisi energi listrik secara *real-time* serta mengirimkan data ke *server* guna mendukung pemantauan jarak jauh.

4.2. Perencanaan Software

Software ini menampilkan *interface* sistem monitoring energi pada Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH). Dibawah ini merupakan tampilan halaman utama pada sistem monitoring PLTPH.



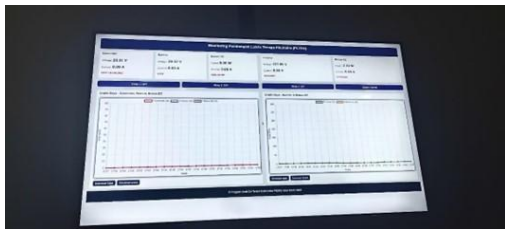
Gambar 3. Tampilan Halaman Utama

Gambar diatas merupakan *website* sebagai *interface* hasil monitoring sensor, pada *website* tersebut akan menampilkan hasil monitoring *real-time* sekaligus keseluruhan data yang telah dimonitor. *Website* tersebut sudah di-hosting, sehingga bisa diakses oleh pelanggan kapan saja dan dimana saja. Terdapat beberapa fitur

pada *Dashboard Monitoring PLTPH* diantaranya, Monitoring *Real-time* (Generator, Baterai, Beban DC, Inverter, Beban AC) menampilkan data tegangan (*Voltage*), arus (*Current*), dan daya (*Power*) dari masing-masing komponen. Grafik *Real-time*, grafik daya DC menampilkan grafik historis dari daya generator, baterai, dan converter atau beban DC. grafik daya AC menampilkan grafik daya *output* dari inverter dan beban AC. Tombol *download*, berfungsi untuk mengunduh data daya dalam format tabel (CSV).

4.3. Pengujian Sistem Monitoring Energi Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH)

Pengujian ini bertujuan untuk melihat pembaruan pembacaan data dari sensor ke *Web Server*. Data sensor yang telah diolah oleh ESP8266 akan dikirimkan ke *Web Server* menggunakan protokol transmisi data HTTP untuk disimpan pada database. Data yang ditampilkan pada *website* sama dengan data yang ditampilkan pada serial monitor di Arduino IDE.



Gambar 4. Tampilan di layar monitor 42 inch

Gambar diatas menunjukkan *dashboard* monitoring Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH) yang dirancang untuk menampilkan data hasil pengukuran secara *real-time* pada layar monitor 42 inch di Lobby Gedung B Politeknik Negeri Malang Kampus Kediri. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengirimkan data dari sensor ke *website*. Data tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk angka, grafik, dan tabel. *Website* dapat dipastikan berfungsi dengan baik melakukan pemantauan jarak jauh, menampilkan data monitoring, serta dapat diakses dari berbagai perangkat setelah pengujian terhadap *front-end website*.

4.4. Hasil Uji Keseluruhan

Hasil pengujian keseluruhan ini menjadi dasar penilaian apakah sistem monitoring telah layak digunakan serta mampu memberikan

informasi secara real time dan akurat, dibawah ini merupakan tabel hasil pengujian Sistem Monitoring Energi pada seluruh komponen Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH).

Tabel 1. Hasil Pengujian Daya Keseluruhan Sistem PLTPH

No.	Jam (WIB)	Daya Generator (Watt)	Daya Baterai (Watt)	Daya Converter (Watt)	Daya Inverter (Watt)
1	14:00	24.1	50.56	24.2	31.2
2	15:00	24.11	51.4	24.21	31.1
3	16:00	27.95	68.88	28.05	40.7
4	17:00	29.03	69.10	29.15	40.5
5	18:00	29.03	69.01	29.16	40.6
6	19:00	28.51	68.53	28.6	40.5
7	20:00	29.05	68.68	29.13	40.7
8	21:00	28.51	68.54	28.61	40.6
9	22:00	28.51	68.92	28.59	40.7
10	23:00	29.05	68.51	29.13	40.7

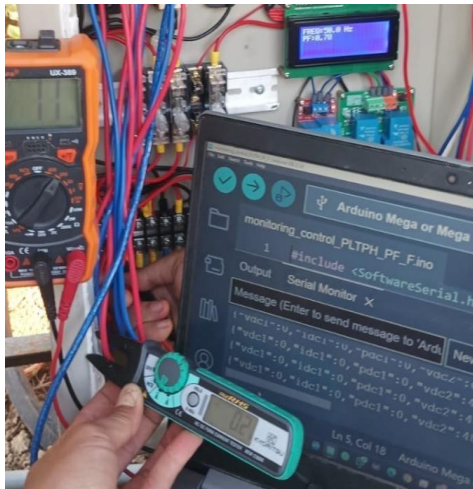
Berdasarkan tabel hasil pengujian diatas yang memuat data pengukuran daya pada berbagai komponen sistem (generator, baterai, *converter*, dan inverter) dari pukul 14:00 hingga 23:00 WIB, dapat dilakukan analisa ilmiah mengenai kestabilan dan efisiensi distribusi energi dalam sistem.

Awal pengamatan (pukul 14:00–15:00), daya yang dihasilkan generator dan *converter* adalah 24 W, sedangkan daya baterai sekitar 50–51 W, hal tersebut menunjukkan bahwa pada saat beban rendah, sistem lebih banyak mengandalkan suplai energi dari baterai. Peningkatan signifikan terjadi mulai pukul 16:00 yang menunjukkan adanya kenaikan beban sistem, daya baterai naik menjadi sekitar 69 W, daya *converter* meningkat hingga 29 W, dan daya inverter lebih dari 40 W. Setelah pukul 17:00 hingga 23:00, semua nilai daya cenderung stabil. Daya baterai bertahan pada kisaran 68–69 W, *converter* sekitar 28.5–29.1 W, dan *inverter* tetap stabil pada 40.5–40.7 W. Stabilitas ini menunjukkan bahwa sistem telah mencapai titik keseimbangan suplai dan beban, dengan semua komponen bekerja secara sinergis. Secara keseluruhan, ini menunjukkan bahwa sistem mampu merespons kenaikan beban dengan baik terutama melalui dukungan suplai daya dari baterai. Generator dan *converter* juga menunjukkan performa yang stabil dan efisien.

4.5. Akurasi Dalam Kesalahan Pengukuran (Error)

Dalam melakukan sebuah pengukuran harus mengetahui nilai hasil pengukuran merupakan angka yang akurat. Dengan demikian sebuah alat ukur harus ada nilai pembandingan yang bisa diperoleh dari hasil pengukuran. Nilai pembandingan itu dipakai untuk mengetahui besar kesalahan dalam pengukuran (*error*), sehingga dapat diketahui tingkat ketelitian alat ukur yang telah dibuat. Data yang dihasilkan oleh sistem monitoring harus memiliki nilai yang sama dengan alat ukur. Jika ada selisih, maka selisihnya tidak melebihi batas normal. Perbandingan persamaan nilai antara sistem monitoring dengan alat ukur adalah 85%[16].

Penelitian ini melakukan pengambilan data dari masing-masing beban pada komponen PLTPH dengan alat ukur rancangan dan alat ukur standar, diperoleh data pengujian tegangan dan arus yang kemudian dilakukan perbandingan. Dibawah ini merupakan dokumentasi uji akurasi tegangan pada sensor PZEM-017.



Gambar 5. Uji Akurasi Sensor PZEM-017 dengan Multimeter

Gambar diatas merupakan dokumentasi pengukuran uji akurasi tegangan pada sensor PZEM-017 dengan menggunakan Multimeter. Nilai hasil pengukuran yang diperoleh dari pengujian sistem monitoring disajikan dalam tabel dibawah.

Tabel 2. Hasil uji Akurasi pengukuran Tegangan

No	Multimeter (V)	PZEM-017 (V)	Error (%)
1	1.03	1.025	0.49

2	2.07	2.054	0.77
3	3.12	3.106	0.45
4	5.37	5.366	0.07
5	6.48	6.442	0.59
6	7.06	7.015	0.64
7	8.02	7.983	0.46
8	9.53	9.497	0.35
9	10.07	9.981	0.89
10	11.12	11.066	0.46

Berdasarkan hasil pengujian sistem monitoring terdapat perbedaan antara pembacaan sensor PZEM-017 dengan Multimeter. Pengukuran menggunakan alat ukur multimeter dan sensor PZEM-017 menghasilkan nilai *error* tertinggi pada pengukuran ke-9 sebesar 0.89%, sementara yang terendah pada pengukuran ke-4 sebesar 0.07%. Nilai rata-rata *error* adalah 0,52% sehingga didapatkan hasil ketelitian sebesar 99,48%. Secara umum, *error* di bawah 1% menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam mengukur tegangan DC pada rentang 1–11 Volt dan layak digunakan dalam sistem monitoring. Dibawah ini merupakan dokumentasi uji akurasi arus pada sensor PZEM-017.



Gambar 6. Uji Akurasi Sensor PZEM-017 dengan Multimeter

Gambar diatas merupakan dokumentasi pengukuran uji akurasi arus pada sensor PZEM-017 dengan menggunakan multimeter. Nilai hasil pengukuran yang diperoleh dari pengujian sistem monitoring disajikan dalam tabel dibawah.

Tabel 3. Hasil uji Akurasi pengukuran Tegangan

No	Multimeter (A)	PZEM-017 (A)	Error (%)
1	0.12	0.119	0.83
2	0.25	0.248	0.80
3	0.47	0.466	0.85
4	0.78	0.774	0.77
5	1.05	1.043	0.67
6	1.36	1.352	0.59
7	1.76	1.770	0.56
8	2.25	2.238	0.53
9	2.67	2.653	0.64
10	3.10	3.079	0.68

Berdasarkan hasil pengukuran arus menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan alat ukur multimeter. Berdasarkan data pada tabel, nilai *error* relatif dari hasil pengukuran arus berkisar antara 0.53% hingga 0.85%, hasil rata-rata *error* 0,69% serta memiliki presentase ketelitian sebesar 99,30% yang menunjukkan bahwa deviasi antara nilai yang terbaca oleh sensor dan multimeter sangat kecil. Perbedaan pembacaan antara sensor dan multimeter masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring energi seperti pada sistem PLTPH, oleh karena itu, sensor PZEM-017 dapat dianggap layak dan andal dalam mengukur besaran arus listrik secara *real-time*.

Setelah dilakukan pengukuran uji akurasi tegangan dan arus pada sensor PZEM-004T, kemudian dilakukan uji akurasi tegangan dan arus pada Sensor PZEM-004T. Dibawah ini merupakan dokumentasi uji akurasi tegangan pada sensor PZEM-004T.

**Gambar 7.** Uji Akurasi Sensor PZEM-004T dengan Multimeter

Gambar diatas merupakan dokumentasi pengukuran uji akurasi tegangan pada sensor PZEM-004T dengan menggunakan Multimeter. Nilai hasil pengukuran yang diperoleh dari pengujian sistem monitoring disajikan dalam tabel dibawah.

Tabel 4. Hasil Uji Akurasi Pengukuran Tegangan

No.	Multimeter (V)	PZEM-004T (V)	Error (%)
1	224.8	223.7	0.49
2	219.5	218.8	0.32
3	225.5	224.3	0.53
4	220.8	220.0	0.36
5	218.7	217.9	0.37
6	224.0	223.0	0.45
7	221.3	220.4	0.41
8	222.0	221.2	0.36
9	223.0	222.1	0.36
10	220.1	219.5	0.27

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa hasil yang diperoleh dari sensor PZEM-004T cukup mendekati nilai referensi dari multimeter. Persentase *error* yang dihasilkan sangat kecil, berkisar antara 0,27% hingga 0,53% didapatkan rata-rata presentase 0,39% serta memiliki ketelitian sebesar 99,61%, yang menunjukkan bahwa deviasi atau selisih antara kedua alat ukur ini tergolong rendah. Hal ini membuktikan bahwa sensor PZEM-004T memiliki akurasi yang cukup baik untuk digunakan dalam sistem pemantauan tegangan AC secara *real-time*. Dibawah ini merupakan dokumentasi uji akurasi arus pada sensor PZEM-004T.

**Gambar 8.** Uji Akurasi Sensor PZEM-004T dengan Multimeter

Gambar diatas merupakan dokumentasi pengukuran uji akurasi arus pada sensor PZEM-004T. dengan menggunakan Multimeter. Nilai hasil pengukuran yang diperoleh dari pengujian sistem monitoring disajikan dalam tabel dibawah.

Tabel 5. Hasil Uji Akurasi Pengukuran Arus

No.	Multimeter (A)	PZEM-004T (A)	Error (%)
1	1.75	1.739	0.63
2	0.93	0.925	0.54
3	1.32	1.314	0.45
4	2.08	2.069	0.53
5	0.57	0.566	0.70
6	1.99	1.980	0.50
7	1.12	1.110	0.89
8	2.35	2.327	0.98
9	0.78	0.774	0.51
10	1.55	1.544	0.39

Berdasarkan hasil pengujian pengukuran arus listrik menggunakan multimeter dan sensor PZEM-004T, dapat disimpulkan bahwa sensor PZEM-004T memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur arus AC. Persentase *error* berkisar antara 0,39% hingga 0,98%, dengan rata-rata 0,61% serta memiliki ketelitian 99,39%, menunjukkan deviasi yang sangat kecil antara pembacaan sensor dan multimeter, hal ini menunjukkan bahwa sensor PZEM-004T mampu merepresentasikan nilai arus aktual dengan baik dalam sistem monitoring energi.

5. KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pengujian Sistem Monitoring Energi berbasis *Internet of Things* pada Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro telah berhasil melakukan perancangan sistem monitoring energi berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang terintegrasi dengan NodeMCU ESP8266, sensor PZEM-017, sensor PZEM-004T, LCD I2C dan Relay. Sistem dapat terhubung dan mengirimkan data secara otomatis ke *Web Server*, melalui koneksi *Wi-Fi* yang dilakukan oleh modul ESP8266. Data dari sensor dikirim dalam format JSON melalui protokol HTTP POST ke server dan disimpan dalam database MySQL.

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem monitoring bekerja secara stabil dan akurat. Sensor PZEM-017 dan PZEM-004T menunjukkan tingkat *error* pengukuran tegangan dan arus yang sangat kecil (kurang dari 1%), sehingga valid untuk digunakan sebagai alat monitoring. Energi yang dihasilkan dan dikonsumsi dapat terpantau dengan baik. Pembacaan sensor terhadap kinerja operasional PLTPH dilakukan secara akurat dan *real-time*. Sensor PZEM-017 membaca tegangan dan arus pada bagian generator, baterai, dan *converter* DC, sementara PZEM-004T memantau arus AC dari inverter ke beban. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa pembacaan sensor sangat mendekati nilai pengukuran dengan multimeter. dengan persamaan linier regresi yang kuat.

Tampilan *website* sistem monitoring energi berhasil dirancang menggunakan antarmuka dashboard interaktif berbasis *website* menampilkan data dalam bentuk nilai numerik, status sistem, grafik tren waktu, serta menyediakan fitur *download* data dan grafik yang memungkinkan pengguna atau operator untuk memantau performa PLTPH secara *real-time*.

5.2. Saran

Berikut ini merupakan saran penulis untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut.

1. Pemilihan tempat pengambilan data aliran air sebaiknya dilakukan dengan survei ke lapangan terlebih dahulu untuk mengetahui potensi aliran sungai di lapangan.
2. Penggunaan baterai dengan kapasitas yang lebih besar serta generator yang mampu menghasilkan daya yang lebih besar agar proses pengisian baterai dapat cepat dilakukan dapat dilakukan dengan cepat.
3. Pemilihan pemasok jaringan internet sebaiknya dilakukan dengan survei ke lapangan terlebih dahulu untuk mengetahui potensi jaringan.
4. Pengembangan Fitur Notifikasi dan Alarm untuk meningkatkan respon terhadap kondisi abnormal, sistem sebaiknya dilengkapi dengan fitur notifikasi *real-time*.
5. Optimalisasi penggunaan Energi disarankan agar sistem monitoring tidak hanya menampilkan data, tetapi juga

- terintegrasi dengan sistem kontrol otomatis.
6. Implementasi *Dashboard Mobile Friendly* agar monitoring lebih fleksibel.
 7. Kalibrasi dan validasi Berkala Sensor untuk menjaga akurasi pembacaan sensor seperti PZEM-004T dan PZEM-017, perlu dilakukan secara berkala.
 8. Penggunaan mikrokontroller berbasis *low power* jika sistem ini akan digunakan di lokasi terpencil.
 9. Integrasi dengan teknologi *cloud* dan *big data* untuk pengembangan jangka Panjang.
 10. Penggunaan LoRa (*Long Range*) pada sistem monitoring Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (PLTPH) menjadi solusi ideal untuk pemantauan jarak jauh di daerah terpencil.
- ### DAFTAR PUSTAKA
- [1] M. I. Azis, "SISTEM MONITORING ARUS, TEGANGAN DAN KEAMANAN PADA PLTPH BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Sci. ELECTRO*, vol. 14, no. 1, 2022.
 - [2] D. A. Pratomo, R. Fahreza, and Z. Saputra, "Prototype PLTPH Dengan Turbin Archimedes Screw Bilah Lima Berbasis IoT," vol. 02, no. 2, pp. 1–6, 2024.
 - [3] A. Raditya, C. Baswara, R. Alfaqi, T. Elektro, and U. A. Dahlan, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Berbasis Internet Of Things (IoT)," vol. 14, no. 01, pp. 39–51, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i1.008.
 - [4] M. N. Adiwiranto and C. B. Waluyo, "Prototipe Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik serta Estimasi Biaya pada Peralatan Rumah Tangga Berbasis Internet of Things," vol. 2, no. 2, pp. 69–78, 2021.
 - [5] T. V. Yastica, M. A. Pulungan, and M. Rendra, "Sistem Monitoring Berbasis IoT pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tangsijaya," vol. 27, no. 2, pp. 196–205, 2024.
 - [6] C. B. D. Kuncoro *et al.*, "Pengembangan Sistem Monitoring Mini Showcase Bertenaga Listrik Hybrid Berbasis Aplikasi Android The Development of The Monitoring System for Hybrid Electric Power of The Mini Showcase based on an Android Applications".
 - [7] N. N. Muhamad Faisal Majid, Isdawimah, "Pengujian Kinerja Sensor PZEM-004 & PZEM-017 Pada Sistem PLTS," vol. 10, pp. 88–92, 2024.
 - [8] D. Maharani, "PERANCANGAN SISTEM MONITORING PADA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA KOMUNAL SISTEM OFF- GRID DI DESA NYARIBUNGAN KALIMANTAN TIMUR," 2025.
 - [9] F. E. Yandra and S. U. Djufri, "Studi Awal Pemanfaatan Turbin Screw pada Aliran Sungai Kecil di Kota Jambi," vol. 2, no. 1, pp. 29–32, 2019, doi: 10.33087/jepca.v2i2.28.
 - [10] H. Kusumah, R. A. Pradana, P. Studi, S. Komputer, and U. Raharja, "PENERAPAN TRAINER INTERFACING MIKROKONTROLER DAN INTERNET OF THINGS BERBASIS ESP32 PADA MATA KULIAH," vol. 5, no. 2, pp. 120–134, 2019.
 - [11] C. A. Apriana, T. Dermawan, B. Suhendro, and J. T. Nuklir, "DESAIN SISTEM KELISTRIKAN SEPEDA MOTOR SEBAGAI ALAT BANTU AJAR MAHASISWA," no. September, pp. 240–247, 2015.
 - [12] V. G. Irwanto, "PROTOTYPE PERANCANGAN MEMBUKA DAN MENUTUP PINTU GERBANG RUMAH MENGGUNAKAN MOTOR DC BERBASIS ANDROID," vol. 2, no. 2, 2019.
 - [13] S. Andi Syamsul Alam Bulu, Dyah Darma Andayani, "Pengembangan Jaringan Hotspot Menggunakan 4G LTE untuk Akses Internet di Desa Pattuku, Kec. Bontocani Kab.bone," vol. 5, no. 3, pp. 52–58, 2022.
 - [14] U. M. Tyas *et al.*, "Implementasi aplikasi arduino ide pada mata kuliah sistem digital 1,2,3,4," vol. 1, no. April, 2023.
 - [15] N. F. Ramadhani, D. Saputra, and A. S. Nurrachman, "Literasi Bahaya Penggunaan Radiasi pada Siswa Madrasah Tsanawiyah Miftahul Ulum Melirang Bungah Gresik," *J. Pengabd. Nas. Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 429–434, 2023, doi: 10.35870/jpni.v4i2.234.
 - [16] A. V. Icanervilia *et al.*, "Evaluasi Pemanfaatan PACS dan RIS Rumah Sakit Provinsi Yogyakarta, Indonesia," *J. Kesehat. Vokasional*, vol. 9, no. 1, p. 39, 2024, doi: 10.22146/jkesvo.92887.