

Microhydro Power Plant Prototype Using a Pelton Turbine Based on the Internet of Things

[Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Turbin Pelton Berbasis Internet of Things]

Amrul Wahyu¹⁾, Shazana Dhiya Ayuni^{*.2)}

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: shazana@umsida.ac.id

Abstract. *New and sustainable energy sources, such as micro-hydro power plants, are increasingly developing. Microhydro power plants work by utilizing water discharge and pressure to produce mechanical energy by rotating a turbine shaft, which is then connected to a generator to convert it into electrical energy. However, micro-hydro power plants generally still require manual inspection. Therefore, an Internet of Things-based microhydro power plant with a voltage, current and power monitoring system was designed to overcome these difficulties. It is hoped that the resulting data can be used to analyze necessary maintenance actions. Design includes the development of both software and hardware. Among the hardware components is the ESP8266 microcontroller board, which processes data from the INA219 voltage, current and power sensor modules. Solid state relays enable load control remotely. On the software side, Internet of Things applications such as Google Sheets and MQTT are designed to connect over Wi-Fi networks. Sending data to MQTT facilitates SSR control and notification during monitoring system testing, with a 100% success rate for SSR data delivery, notification and control. In testing the tool with a water flow rate of 12.65 L/minute, the turbine rotation speed was 340 rpm, maximum voltage was 12 Volts, maximum current was 0.42A, and maximum power was 4 Watts with a lamp load of 25W, 15W, and 10W.*

Keywords - ESP8266, MQTT, Solid state relay, Google Spreadsheets, INA219

Abstrak. *Sumber energi baru dan berkelanjutan, seperti pembangkit listrik tenaga mikrohidro, semakin berkembang. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro bekerja dengan memanfaatkan debit dan tekanan air untuk menghasilkan energi mekanik dengan memutar poros turbin, yang kemudian disambungkan ke generator untuk mengubahnya menjadi energi listrik. Namun, pembangkit listrik tenaga mikrohidro umumnya masih memerlukan inspeksi manual. Oleh karena itu, dirancanglah pembangkit listrik tenaga mikrohidro berbasis Internet of Things dengan sistem pemantauan tegangan, arus, dan daya untuk mengatasi kesulitan-kesulitan tersebut. Data yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan untuk menganalisis tindakan pemeliharaan yang diperlukan. Perancangan mencakup pengembangan baik perangkat lunak maupun perangkat keras. Di antara komponen perangkat kerasnya terdapat papan mikrokontroler ESP8266, yang memproses data dari modul sensor tegangan, arus, dan daya INA219. Solid state relay memungkinkan pengendalian beban dari jarak jauh. Di sisi perangkat lunak, aplikasi Internet of Things seperti Google Sheets dan MQTT dirancang untuk terhubung melalui jaringan Wi-Fi. Pengiriman data ke MQTT memfasilitasi kontrol dan notifikasi SSR selama pengujian sistem pemantauan, dengan tingkat keberhasilan 100% untuk pengiriman data, notifikasi, dan kontrol SSR. Dalam pengujian alat dengan debit air 12,65 L/menit, didapatkan kecepatan putaran turbin 340 rpm, tegangan maksimum 12 Volt, arus maksimum 0,42A, dan daya maksimum 4 Watt dengan beban lampu 25W, 15W, dan 10W*

Kata Kunci - ESP8266, MQTT, Solid state relay, Google Spreadsheets, INA219

I. PENDAHULUAN

Sumber energi baru dan berkelanjutan, seperti pembangkit listrik tenaga mikrohidro, semakin populer setiap tahunnya. Menurut statistik yang dikumpulkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, potensi negara untuk memanfaatkan pembangkit listrik tenaga air sangat besar, yaitu sebesar 75.000 MW. Meski demikian, baru 10,1% atau 7.500 MW dari total kapasitas yang benar-benar terpakai [1].

Dengan pesatnya pertumbuhan ekonomi dan meningkatnya permintaan listrik, sumber daya air dapat digunakan secara efektif untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Salah satu metode untuk menghasilkan energi dalam skala kecil menggunakan potensi air adalah pembangkit listrik tenaga mikrohidro [2].

PLTMH beroperasi dengan memanfaatkan aliran air untuk menghasilkan energi mekanik. Komponen utama PLTMH mencakup penyediaan air, turbin, dan generator, yang semuanya berperan dalam aspek teknisnya. Energi mekanik dihasilkan ketika aliran air memutar poros turbin, dan energi ini kemudian dikonversi menjadi listrik oleh generator. PLTMH adalah sistem yang mengubah energi potensial air (dalam bentuk ketinggian dan juga aliran) menjadi energi mekanik dan listrik. [3].

Tidak adanya sistem pemantauan jarak jauh sering menjadi hambatan utama dalam operasi pembangkit listrik mikrohidro. Akibatnya, petugas seringkali harus melakukan pencatatan manual secara berkala menggunakan buku catatan. Salah satu tantangan yang sering dihadapi adalah kesulitan yang dialami petugas saat musim hujan [4]

Membangun sistem pemantauan jarak jauh yang ekonomis namun andal untuk mengontrol beban, tegangan, arus, dan daya adalah tantangan tersendiri. Dengan teknologi Internet of Things (IoT). Pemantauan dan pengendalian sistem dapat dilakukan secara efisien melalui internet dan dapat diakses menggunakan smartphone atau komputer. Data yang dihasilkan sistem ini akan digunakan untuk menganalisis perbaikan sistem, seperti penyesuaian ukuran turbin atau peningkatan kekuatan medan magnet di dalam generator. [5].

Aplikasi sistem pemantauan sistem akan menggunakan ESP8266 untuk mengirimkan sinyal ke smartphone [6].

Berdasarkan penelitian terdahulu telah dilakukan implementasi prototipe pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang memiliki ukuran panjang 35 cm, lebar 21 cm, tinggi 26 cm secara matematis memiliki volume 19.110 cm³ atau 19,11 liter. Daya yang dihasilkan yaitu 1.91 Watt, 1.51 Watt dan 0.45 Watt untuk 3 variasi masukan debit [7].a

Penelitian lainnya membuat prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang menghasilkan putaran turbin 574,6 rpm sebelum dihubungkan ke generator, 4866 rpm setelah dihubungkan ke generator, putaran turbin 3309,2 rpm, menghasilkan tegangan keluaran sebesar 36,25 volt pada tidak ada beban. serta kecepatan turbin maksimum sebesar 386,4 rpm dan kecepatan generator maksimum sebesar 2584,4 rpm sehingga memberikan tegangan keluaran maksimum sebesar 28,18 volt dan arus keluaran maksimum sebesar 0,422 ampere [8].

Kemudian pada penelitian lain dibuat desain prototipe menggunakan kincir air tipe Pelton yang dirancang dan direalisasikan dengan 18 bilah. Nilai tegangan tertinggi yang diperoleh adalah 15,1 volt dengan 18 bilah dan debit air 904 liter/jam [9].

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ada beberapa cara untuk meningkatkan efisiensi sistem PLTMH. Salah satunya adalah dengan mengembangkan sistem yang dapat dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh. Sistem ini terdiri dari infrastruktur monitoring dan pengendalian berbasis IoT yang menggunakan Google Spreadsheet serta aplikasi MQTT pada perangkat smartphone atau komputer. Desain sistem ini bertujuan untuk menyederhanakan proses monitoring dan pengendalian, sehingga memungkinkan respons cepat terhadap potensi masalah atau kerusakan.

II. LANDASAN TEORI

Metodologi yang saya gunakan adalah penelitian dan pengembangan (R&D). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe pembangkit listrik mikrohidro berbasis IoT dengan memanfaatkan Google Sheets dan Machine Data Transfer Protocol (MQTT).

a) “Turbin Pelton”

Turbin Pelton yaitu jenis turbin yang memanfaatkan jatuh dan tinggi air meskipun debit airnya kecil. Turbin ini menggunakan nozel untuk mengarahkan aliran air ke sudu-sudu turbin, yang kemudian berputar dan poros generator ikut berputar untuk menghasilkan energi listrik. Sudu-sudu turbin ini berbentuk seperti 2 mangkuk yang menerima pancaran air dari nozel. Penggunaan turbin Pelton memungkinkan pembangkit listrik menghasilkan daya yang besar dengan konstruksi yang sederhana. [10].



Gambar 1. Turbin Tipe Pelton

b) Sensor INA219v

Tegangan dan arus dalam rangkaian listrik dapat diukur menggunakan sensor INA219. Arus (ampere) listrik yang mengalir melalui konduktor menciptakan medan magnet, yang kemudian mempengaruhi tegangan pada sensor. Proses ini dikenal sebagai Efek Hall. [11].

**Gambar 2. Sensor INA219**

c) NodeMCU ESP8266

NodeMCU ESP8266 adalah platform open-source dan gratis untuk Internet of Things. Platform ini terdapat perangkat keras berupa System On Chip (SoC) dari Espressif Systems ESP8266. NodeMCU adalah papan mini yang menggabungkan mikrokontroler ESP8266 dengan Arduino. Platform ini dilengkapi dengan akses WiFi, chip komunikasi USB ke serial, dan mikrokontroler, sehingga Anda hanya memerlukan kabel data USB untuk memprogramnya, seperti kabel data atau pengisi daya untuk perangkat Android. [12].

**Gambar 3. NodeMCUvESP8266**

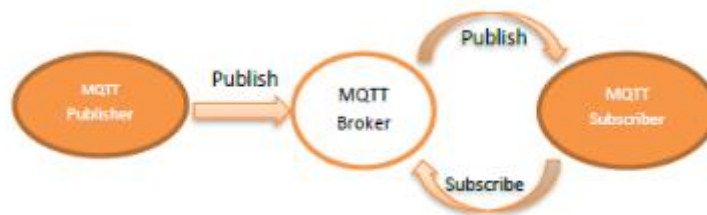
d) Solid State Relay

Tegangan eksternal kecil yang diterapkan pada terminal kontrol SSR menyebabkan perangkat menyala atau mati. Sensor di SSR merespons sinyal kontrol yang berfungsi sebagai input ke perangkat. Sakelar elektronik SSR mengalirkan daya (Watt) ke sirkuit beban, dan mekanisme kopling memungkinkan sinyal kontrol untuk mengaktifkan sakelar ini tanpa komponen mekanis. Relai ini dapat diterapkan ke beban dengan tegangan AC atau DC. [13].

**Gambar 4. Solid State Relayz**

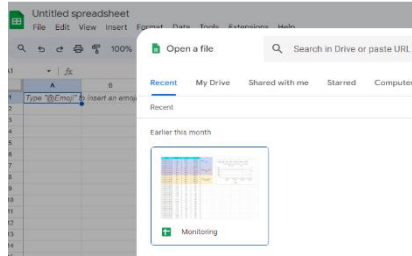
e) Protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) adalah protokol jaringan yang digunakan dalam Internet of Things (IoT) yang memungkinkan komunikasi mesin-ke-mesin (M2M) dengan ukuran header hanya 2 byte. Protokol ini sangat cocok untuk IoT karena memerlukan bandwidth rendah, konsumsi energi minimal, dan media penyimpanan kecil. Protokol Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) menggunakan model komunikasi publish-subscribe, di mana penerbit bertindak sebagai pengirim pesan dan pelanggan sebagai penerima. Dalam MQTT, broker berperan sebagai perantara yang mengirimkan pesan dari penerbit ke pelanggan sesuai dengan permintaan. [14].

**Gambar 5. MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)z**

f) *Google Sheets*

Google Sheets adalah perangkat lunak berbasis web yang dikembangkan oleh Google. Sistem pemantauan menggunakan *Google Sheets* telah diterapkan pada berbagai perangkat IoT. Dengan menggunakan *Google Sheets*, pemantauan menjadi lebih mudah dan dapat dimengerti oleh banyak orang karena pengaturannya mirip dengan *Microsoft Excel*, yang sudah memiliki sistem komputasi dasar yang cukup dikenal. [15].

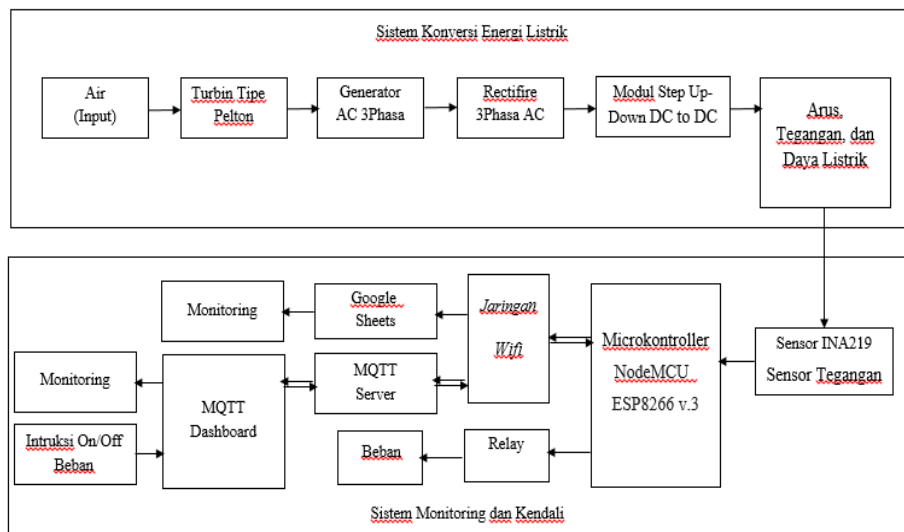


Gambar 6. Tampilan File *Google Sheets*

III. METODE

Untuk memulai proses desain penelitian, dibuat diagram blok awal. Diagram ini menggambarkan sistem konversi energi serta sistem pemantauan dan pengendalian beban, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Sensor INA219 digunakan untuk mengukur arus(A), tegangan(V), dan daya(W) listrik. Data yang dikumpulkan oleh sensor diproses oleh mikrokontroler. Setelah itu, mikrokontroler mengolah data dan modul komunikasi nirkabel mengirimkannya ke *Google Sheets* dan MQTT Dashboard untuk ditampilkan dan disimpan dalam database yang dapat diakses dari komputer atau smartphone. Selanjutnya, hasil keluaran energi listrik dari sistem pemantauan kinerja ditampilkan.

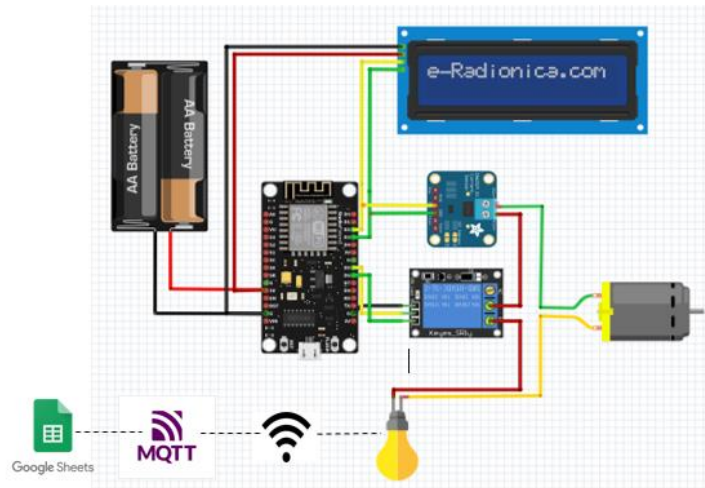
Diagram Blok Sistem



Gambar 7. Diagram Blok sistem konversi energi dan sistem monitoring dan pengendalian beban

a) Rangkaian system monitoring dan kendali beban

Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 adalah komponen utama dalam sistem ini, yang mengumpulkan informasi dari sensor, mengolahnya menjadi nilai tegangan dan arus yang terkalibrasi, serta mengatur kontrol beban listrik yang dihasilkan oleh generator. Data yang telah diproses kemudian dikirim melalui modul WiFi ke layanan IoT MQTT dan *Google Sheets*. Selain ditampilkan melalui platform layanan IoT, data juga ditampilkan pada layar LCD yang dipasang di lokasi PLT Mikrohidro. Modul WiFi berperan sebagai alat komunikasi yang menghubungkan mikrokontroler dengan server.

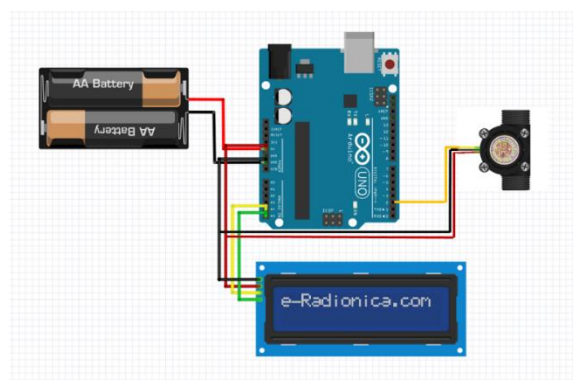


Gambar 8. Rangkaian sistem monitoring kendali beban

Tabel 1. Penjelasan pin pada sensor

No	NodeMCU	Keterangan
1	3V	INA219 , LCD, SSR
2	GND	INA219 , LCD, SSR
3	D1	SCL INA219 dan LCD
4	D2	SDA INA219 dan LCD
5	D8	Pin SSR
6	Vin+ INA219	Generator +
7	Vin- INA219	COM SSR
8	NO SSR	Beban +
9	Generator -	Beban -

b) Rangkaian pembacaan flow air menggunakan Arduino Uno dan LCD I2C



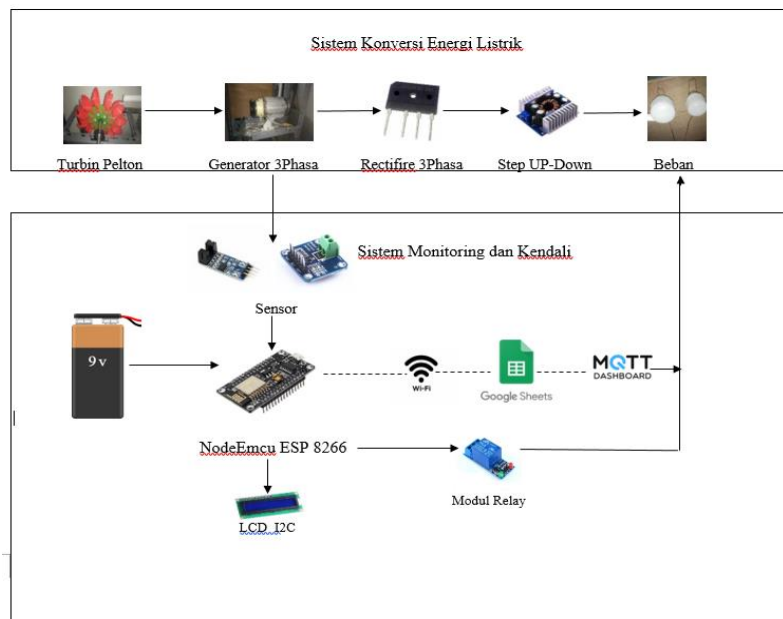
Gambar 9. Rangkaian untuk pembacaan flow air

Sensor yang digunakan adalah YF-S201, yang berfungsi untuk mengukur aliran atau debit air. Mikrokontroler Arduino Uno akan menerima data dari sensor, memproses informasi tersebut, dan kemudian mengirimkan hasilnya ke LCD I2C untuk ditampilkan.

Tabel 2. Penjelasan pin pada sensor

NO	Arduino Uno	Keterangan
1	VCC	Sensor dan LCD
2	GND	Sensor dan LCD
3	Pin 2	Out Sensor
4	A4	SDA LCD
5	A5	SCL LCD

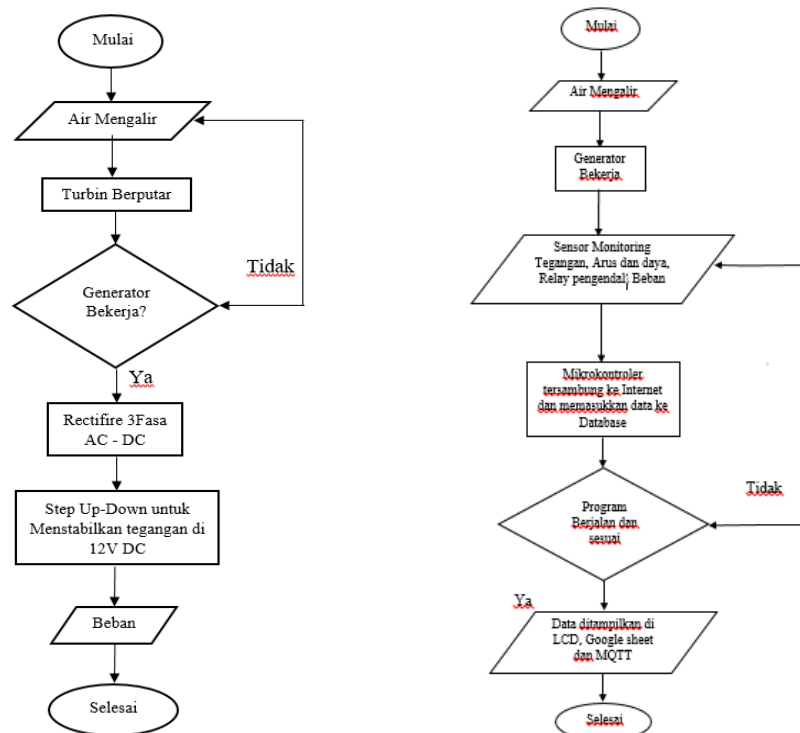
c) Skema pembangkit listrik tenaga mikrohidro berbasis IoT



Gambar 10. Skema pembangkit listrik tenaga mikrohidro berbasis IoT

d) Flowchart

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini menggunakan Turbin Pelton yang memanfaatkan aliran air untuk memutar turbin. Turbin ini terhubung dengan generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dikirim ke Step Up-Down untuk menstabilkan tegangan pada 12 Volt sebelum didistribusikan ke beban. Stabilisasi tegangan bertujuan untuk mengurangi fluktuasi tegangan, sehingga tegangan yang diterima oleh beban tetap stabil dan aman bagi peralatan elektronik. Sistem ini menggunakan sensor INA219 yang dapat mengukur arus, tegangan, dan daya listrik. Informasi yang diperoleh dari sensor dikirim ke mikrokontroler ESP8266 dalam bentuk kode pemrograman yang diproses dan ditampilkan pada LCD. Selain itu, mikrokontroler ESP8266 mendukung teknologi Internet of Things dan dapat terhubung melalui jaringan Wi-Fi. Informasi ini kemudian dikirimkan ke database dan ditampilkan di Google Sheets serta MQTT.

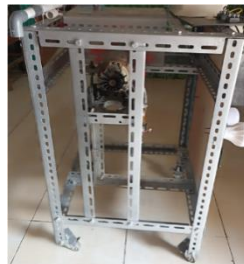


Gambar 11. Flowchart cara kerja sistem konversi energy listrik dan Sistem Monitoring dan kendali Beban PLTMH

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Mekanikal Sistem PLTMH

Pembuatan fondasi adalah langkah awal dalam merancang mekanisme sistem PLTMH berbasis IoT. Fondasi ini berfungsi sebagai landasan PLTMH dan memberikan dukungan stabil untuk pemasangan generator, puli, dan turbin. Balok besi berbentuk persegi panjang dengan ukuran 40x40x15 mm digunakan sebagai alasnya.



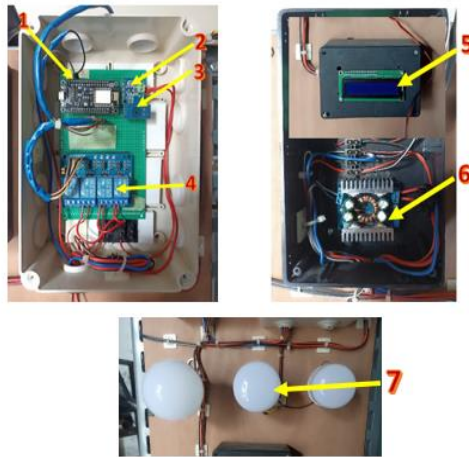
Gambar 12. Pondasi PLTMH

Gambar 12 menunjukkan pondasi yang digunakan dalam sistem PLTMH. Setelah itu, pillow block bearing berdiameter 12mm dipasang pada fondasi untuk memberikan kestabilan. Bearing ini dihubungkan langsung dengan turbin menggunakan shaft besi 12 mm, dan kemudian disambungkan ke generator melalui coupler 12x10mm untuk memutarannya. Hasil akhirnya memperlihatkan posisi semua alat yang diperlukan setelah pemasangan.



Gambar 13. Turbin serta Generator yang telah dihubungkan dengan fondasi

Setelah semua desain mekanis selesai, kami memasang komponen yang diperlukan, yang meliputi mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor tegangan, sensor INA219, solid state relay, step up-down, dan layar LCDz16x2 i2C.a Untuk melakukan pengujian sistem, langkah pertama adalah menghubungkan terminal VCC(+) dan Ground(-) dari generator ke terminal block yang telah disediakan. Selanjutnya, hubungkan sensor dengan mikrokontroler dan sambungkan beban berupa lampu 12V secara langsung.”



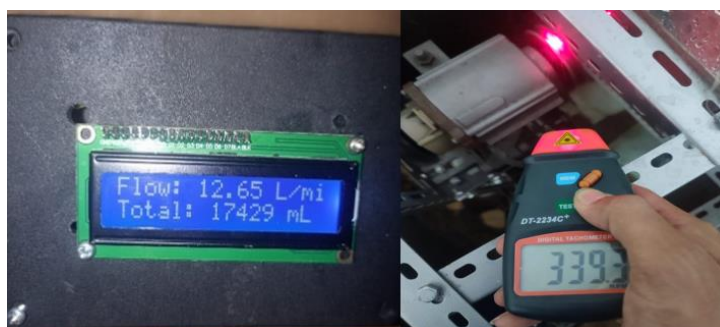
Gambar 14. Perakitan Komponen

Keterangan:

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 1. NodeMCU ESP 8266 | 5. LCD I2C 16x2 |
| 2. Sensor INA219 | 6. Step Up-Down Tegangan |
| 3. Sensor Tegangan | 7. Beban 25w, 15w, 10w |
| 4. Modul Relay | |

B. Hasil Pengujian data dari pembacaan sensor dan alat ukur

Pengujian ini akan menilai kemampuan dan keakuratan modul sensor untuk mengukur tegangan, arus, dan daya listrik DC. Hasil pembacaan dari modul sensor akan dibandingkan dengan yang ditampilkan di platform MQTT, dan Google Sheets dan multitester. Menurut hasil pengujian, debit air mencapai 12,65 liter per menit dengan kecepatan generator sebesar 340 rpm.



Gambar 15. Debit air dan RPM Generator

a) Hasil Pengujian Modul Sensor dengan Multimeter



Gambar 16. Hasil Monitoring dengan beban 25W
 Nilai yang diperoleh dari pengujian pertama saat kondisi Relay 1 On dengan beban lampu sebesar 25 watt adalah

Tabel 3. Pengujian Pertama

Relay	Beban	Keterangan	Sensor	Multimeter	Selisih	Error %	Akurasi %
1	25 watt	Tegangan (V)	10.69	10.82	0.13	1.21	98
		Arus (A)	0.36	0.27	0.09	25	75
		Daya (W)	3.83	2.92	0.91	23	76



Gambar 17. Hasil Monitoring dengan beban 25W dan 10W
 Nilai yang diperoleh dari pengujian ke-dua saat kondisi Relay 1 dan 2 On dengan beban lampu sebesar 25 watt dan 10 watt adalah

Tabel 4. Pengujian Kedua

Relay	Beban	Keterangan	Sensor	Multimeter	Selisih	Error %	Akurasi %
1,2	25w, 10w	Tegangan (V)	9.57	9.73	0.16	1.67	98
		Arus (A)	0.39	0.34	0.05	12	87
		Daya (W)	3.81	3.16	0.65	17	82



Gambar 18. Hasil Monitoring dengan beban 25W, 10W, 15W

Nilai yang diperoleh dari pengujian ke-tiga saat kondisi Relay 1,2 dan 3 On dengan beban lampu sebesar 25 watt 10 watt dan 15 watt adalah

Tabel 5. Pengujian Ketiga

Relay	Beban	Keterangan	Sensor	Multimeter	Selisih	Error %	Akurasi %
1,2&3	25w, 15w & 10w	Tegangan (V)	9.02	9.2	0.18	1,9	98
		Arus (A)	0.42	0.37	0.05	11	88
		Daya (W)	3.8	3.4	0.4	10	89

Rumus Perhitungan Pengujian

1. Kesalahan (Error)

Error merupakan selisih antara rata-rata dan masing-masing data. Rumus kesalahan

$$Error = \frac{\text{Selisih Nilai Pembacaan}}{\text{Nilai Sensor}} \times 100\%$$

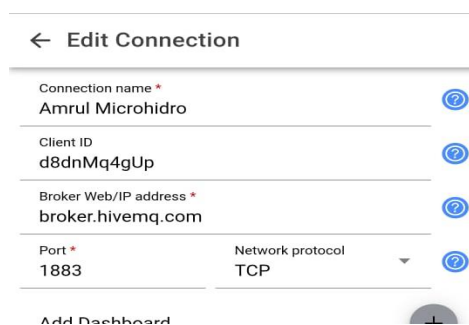
2. Akurasi

Sejauh mana temuan tersebut sesuai dengan nilai sebenarnya yang dihitung menggunakan teknik konvensional merupakan ukuran keakuratannya.

$$Akurasi = \frac{\text{Nilai sebenarnya}}{\text{Nilai Sensor}} \times 100\%$$

b) Hasil Pengujian Halaman Monitoring pada MQTT

Nodemcu mengirimkan informasi ini ke server cloud di internet melalui protokol MQTT. Server di cloud beroperasi sebagai pelanggan, sedangkan Nodemcu berperan sebagai penerbit. Broker yang digunakan dalam penelitian ini adalah broker.hivemq.com yang dapat diakses oleh umum secara terbuka.



Gambar 19. Broker yang digunakan

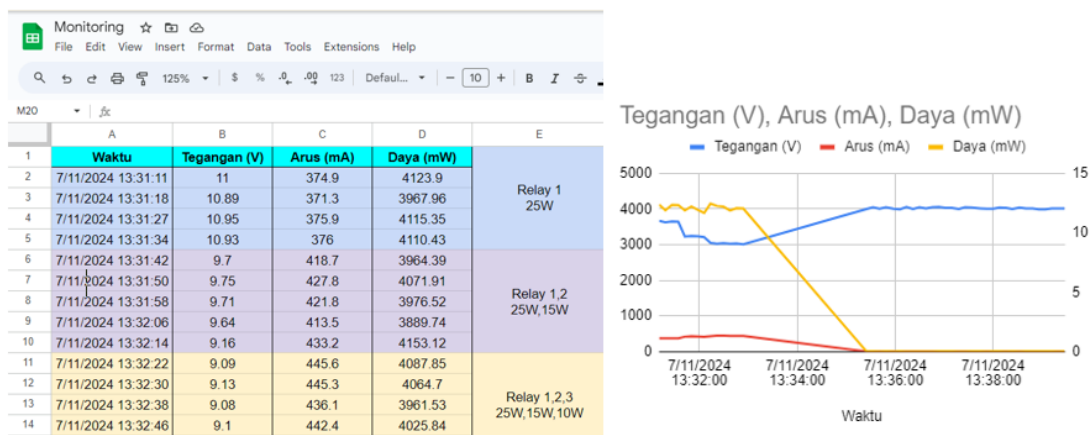


Gambar 20. Tampilan Monitoring pada Aplikasi MQTT

Tujuan pengujian tampilan MQTT adalah untuk menampilkan data sensor dalam bentuk grafik dan memastikan bahwa infrastruktur MQTT berfungsi dengan baik. Dalam pengujian ini, MQTT menerima data dari sensor dan menampilkannya. Pada Gambar 20, terdapat tiga tombol ON/OFF yang berfungsi sebagai saklar, dihubungkan dengan relay, yang dapat memutuskan dan menghubungkan arus listrik melalui aplikasi MQTT. Sistem ini memudahkan pengguna dalam memonitor PLTMH dan mengendalikan beban, sehingga tidak perlu lagi standby di lokasi.

c) Hasil pemeriksaan tampilan pemantauan pada *Google Sheets*

Pengujian pada *Google Sheets* dilakukan untuk memeriksa data yang tercatat dalam tabel. Bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dikirimkan dapat dituliskan ke tabel dan ditempatkan di kolom yang sesuai. Tabel di *Google Sheets* terdiri dari empat kolom: tanggal, waktu (A), tegangan (B), arus (C), dan daya (D). Data yang dikirimkan akan diinput ke dalam setiap kolom tabel untuk membentuk baris baru, kemudian bergeser ke baris berikutnya. Proses ini terus berlanjut sampai pengiriman data dihentikan.



Gambar 21. Hasil Monitoring pada Google Sheets

Dari tampilan tabel di *Google Sheets* seperti yang terlihat pada **Gambar 21**, dapat disimpulkan bahwa proses pengiriman data telah berjalan sesuai rencana. Keuntungan menggunakan *Google Sheets* adalah kemudahan integrasi sistem pemantauan dengan berbagai jenis media, termasuk Linux, Android, iOS, Windows, serta browser dan platform berbasis web.

V. Simpulan

Hasil pengujian PLTMH dengan debit air sebesar 12,65 L/menit menghasilkan kecepatan putaran turbin sebesar 340 rpm. Dengan kecepatan ini, turbin dapat memutar generator yang terhubung melalui coupler, menghasilkan tegangan maksimum sebesar 12 Volt, arus maksimum 0,42A, dan daya maksimum 4 Watt, dengan beban lampu sebesar 25W, 15W, dan 10W. Sistem pemantauan tegangan (V), arus (A), dan daya (W) Pembangkit listrik tenaga

microhidro yang berbasis Internet of Things (IoT), memiliki kemampuan untuk memantau secara real-time. Selain pemantauan, sistem ini juga dapat memutus dan menghubungkan arus listrik melalui aplikasi MQTT, menggunakan relay sebagai saklar ON/OFF untuk beban (lampu). Tanpa koneksi internet, sistem berbasis IoT untuk memantau pemantauan tegangan(V), arus(A), dan daya(W) pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro tidak dapat digunakan. Pembacaan modul sensor INA219 dari alat ini cukup akurat. Dengan tiga kali pengulangan setiap pengujian, rata-rata nilai kesalahan pengukuran tegangan adalah 1,9%, pembacaan arus 25%, dan pembacaan daya 23%. Pemutus beban Solid State Relay (SSR) pada pembangkit listrik mikrohidro bekerja dengan efektif. Dengan delay sekitar tiga detik (tergantung pada konektivitas internet), SSR merespons perintah instruksional dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas kesehatan dan kesempatan yang diberikan untuk menyelesaikan skripsi ini. Saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada orang tua saya, yang selalu mendukung saya sepanjang perjalanan saya. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada pembimbing skripsi saya, yang telah memberikan nasihat, bimbingan, dan saran berharga selama proses penulisan skripsi ini. Terima kasih juga kepada teman-teman saya yang telah membantu saya menyelesaikan masalah yang terkait dengan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M.Zaini, S. Safrudin M. Bachrudin, "Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Berbasis IoT," *TESLA*, Vols. 22, no. 2, pp. 139-150, Nov.2020.
- [2] Aida, S., Sahrul, S., Lety, T., & Tahdid, T. "Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin Pelton Kapasitas 300 Watt Kajian Debit Dan Arah Aliran Pada Alat.," *Prosiding SENIATI*, vol. 5(4), pp. 118-122, 2019.
- [3] Ayuni, S. D., Syahrorini, S., & Jamaaluddin, J. "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 6(1), pp. 40-48., 2021.
- [4] Akhwan, A., Gunari, B., Sunardi, S., & Wirawan, W. A. "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun," *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, vol. 17(1), pp. 15-24, 2021.
- [5] I. Solihat, "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *J. Inov. Ilmu Pengetah. dan Teknol*, vol. 1(2), pp. 151-156, 2020.
- [6] Wiranata, I. P. A., Janardana, I. G. N., Wijaya, I. W. A., "Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Menggunakan Turbin Cross-Flow. J," *Spektrum*, vol. 7(4), 2020.
- [7] Vinola, F., Rakhman, A., & Sarjana, S. "Sistem monitoring dan controlling suhu ruangan berbasis Internet of things," *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, vol. 9(2), pp. 117-126, 2020.
- [8] Hendrawati, T. D., Wicaksono, Y. D., & Andika, E. "Internet of Things: Sistem Kontrol-Monitoring Daya Perangkat Elektronika," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 3(2), pp. 177-184, 2018.
- [9] Hamira, H., Pawelloi, A. I., Rudy, R., & Halim, M. I, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Tegangan Output pada Pengujian Turbin Pelton Prototipe PLTMH," *In Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, vol. 9(1), pp. 53-58, 2023.
- [10] Saputra, I. G. N., Jasa, L., & Wijaya, I. W. A., "Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Yang Dihasilkan," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7(4), 2020.
- [11] Lambert, J., Monahan, R., & Casey, K., "Power consumption profiling of a lightweight development board: Sensing with the INA219 and Teensy 4.0 microcontroller," *Electronics*, vol. 10(7), p. 775, 2021.
- [12] Setyawan, D. Y., Setiawan, H., Saputri, Q. I., & Wiansyah, B. F, "Design and Build Micro Climate System Control in Greenhouse," *In Proceeding International Conference on Information Technology and Business*, pp. 81-84, 2021, December.

- [13] Imam, M., & Apriaskar, E., "Pengendalian suhu air menggunakan sensor suhu DS18B20," *Jurnal J-Ensitem*, vol. 6(1), pp. 347-352, 2019.
- [14] Abilovani, Z. B., Yahya, W., & Bakhtiar, F. A., "Implementasi Protokol MQTT Untuk Sistem Monitoring Perangkat IoT," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Kompute*, Vols. 7521-7527, p. 2(12), 2018.
- [15] Purnadi, H., "Pemanfaatan Google Spreadsheet dan Google Data Studio Sebagai Dashboard Suhu dan Kelembaban di Laboratorium" *Insan Metrologi PPSDK, jurnal. kemendag. go. id.* 2021

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.