

Implementasi Internet Of Things (Iot) Untuk Pemantauan Debit Air, Tekanan Air, Dan Output Generator Pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Di Telkom University

1st Daffa Sahrul Rahman
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

daffasr@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Basuki Rahmat
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

basukir@telkomuniversity.ac.id

3rd Jangkung Raharjo
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

jangkungraharjo@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) merupakan solusi energi terbarukan yang memanfaatkan aliran air, namun pemantauan performanya seringkali masih dilakukan secara manual sehingga kurang efisien. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efektivitas operasional pada simulator PLTPH di Telkom University. Metode yang digunakan adalah perancangan sistem terintegrasi yang terdiri dari sensor PZEM-004T untuk mengukur keluaran generator, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan, serta platform Blynk dan Google Sheets sebagai antarmuka pengguna dan database. Hasil penelitian menunjukkan sistem berhasil mengotomatisasi akuisisi data tegangan, arus, dan daya secara *real-time*. Pengujian kalibrasi menunjukkan akurasi pengukuran tegangan sangat tinggi dengan galat hanya 0,92%, memenuhi target akurasi 95%. Analisis data dari 10 skenario percobaan menyimpulkan bahwa jumlah beban merupakan faktor yang lebih dominan dalam mempengaruhi daya keluaran generator dibandingkan debit air. Kesimpulannya, sistem IoT yang dikembangkan berhasil mempermudah analisis data secara efisien dan akurat.

Kata kunci— ESP32, *Internet of Things* (IoT), *output generator*, pemantauan, PLTPH, PZEM-004T

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring perkembangan teknologi. Di Indonesia, potensi energi terbarukan seperti tenaga air sangat besar dan banyak dimanfaatkan dalam skala kecil seperti Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). PLTPH menjadi solusi penting, khususnya di daerah terpencil, karena biaya dan lahan yang minim [1]. Namun, sebuah tantangan muncul pada simulator PLTPH yang ada di Telkom University, di mana proses pemantauan dan pencatatan data parameter seperti debit air, tekanan air, dan *output* generator (tegangan, arus, daya) masih dilakukan secara manual. Proses manual ini tidak efisien, memakan waktu, dan rentan terhadap kesalahan pencatatan (*human error*).

Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan IoT untuk pemantauan, seperti pemantauan aliran air oleh Yuniarti et al., kualitas air oleh Kafi & Isa (2017), dan stabilitas energi oleh Masood et al [2][3][4]. Namun, belum ada yang secara spesifik mengintegrasikan pemantauan *output* generator secara komprehensif pada simulator PLTPH. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memudahkan akuisisi dan analisis data *output* generator secara *real-time* pada simulator PLTPH dengan target akurasi pembacaan data $\pm 95\%$.

II. KAJIAN TEORI

A. PLTPH

PLTPH adalah pembangkit listrik skala kecil yang mengubah energi potensial dari aliran air menjadi energi listrik. Prosesnya dimulai dengan aliran air yang memutar turbin (konversi ke energi mekanik), yang kemudian menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik (konversi ke energi listrik) [5].

B. *Internet of Things* (IoT)

IoT adalah sebuah kerangka kerja di mana perangkat fisik saling terhubung melalui internet untuk bertukar data tanpa campur tangan manusia. Arsitektur IoT umumnya terdiri dari tiga lapisan yaitu *perception layer* (sensor untuk mengumpulkan data), *network layer* (jaringan seperti Wi-Fi untuk transmisi data), dan *application layer* (aplikasi untuk memproses dan menyajikan data kepada pengguna) [6][7].

C. Generator

Generator adalah suatu alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik bisa berasal dari panas, air, maupun uap. Prinsip kerja dari generator adalah rotor generator yang digerakkan oleh turbin sehingga menimbulkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator bisa berupa Listrik AC (listrik bolak-balik) maupun DC (listrik searah) [8][9].

Output yang dihasilkan generator berupa tegangan, arus, dan daya. Sensor yang digunakan untuk mengukur ketiga parameter adalah sensor PZEM-004T. Sensor PZEM-004T merupakan sensor yang digunakan sebagai pengukur tegangan dan arus untuk pemantauan daya. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mengukur arus, tegangan bus, daya, energi, frekuensi, dan *power factor* secara bersamaan dengan akurasi tinggi.

Daya yang dihasilkan generator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$P_{out} = V \times I \quad (1)$$

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan implementasi sistem pada simulator PLTPH di Telkom University. Alur kerja sistem dirancang seperti pada Gambar 1.

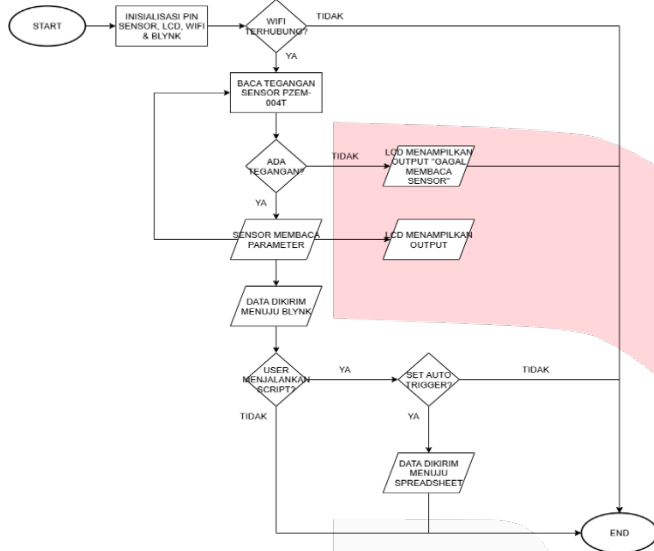
A. Perancangan Perangkat Keras

Sistem dirangkai dengan menghubungkan *output* generator ke sensor PZEM-004T. Sensor ini kemudian

berkomunikasi dengan mikrokontroler ESP32 DevKit V1 30-Pin melalui antarmuka serial (UART). Sebuah LCD I2C 20x4 juga dihubungkan ke ESP32 untuk menampilkan data secara local.

B. Perancangan Perangkat Lunak

Kode program dikembangkan pada Arduino IDE. ESP32 diprogram untuk membaca data dari sensor PZEM-004T, kemudian mengirimkannya ke platform IoT *Blynk* menggunakan koneksi Wi-Fi. Berikut diagram alir yang menjelaskan keseluruhan sistem terdapat pada Gambar 1.



GAMBAR 1
(B)

C. Integrasi Database

Sebuah skrip melalui *Google Apps Script* digunakan agar data dapat secara otomatis diambil dari Virtual Pin di *Blynk* dan mencatatnya ke dalam *Spreadsheets* setiap interval waktu tertentu, lengkap dengan *timestamp*.

D. Pengujian dan Pengambilan Data

Sebelum dilakukannya pengujian, sensor PZEM-004T di kalibrasi terlebih dahulu dengan membandingkan pembacaannya dengan multimeter digital pada sumber listrik standar. Pengambilan data dilakukan dengan 10 skenario percobaan pada simulator PLTPH dengan memvariasikan jumlah beban (lampu) dan debit air (direpresentasikan oleh frekuensi inverter).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Kalibrasi Sensor

Hasil kalibrasi sensor PZEM-004T disajikan pada Tabel 1. Ditemukan bahwa pengukuran tegangan memiliki akurasi yang sangat tinggi dengan galat rata-rata hanya 0,92%, memenuhi target akurasi <5%. Namun, untuk pengukuran arus pada beban sangat rendah (sekitar 0.1A), galat rata-rata cukup signifikan yaitu 13,04%. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh resolusi sensor yang lebih optimal pada arus yang lebih tinggi dan karakteristik beban *charger* laptop yang digunakan saat kalibrasi.

TABEL 1
(A)

| Parameter | Pembacaan Multimeter | Pembacaan Rata-Rata Sensor | Galat/Error Rata-Rata (%) |
|--------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|
| Tegangan (V) | 234-236 V | 232,85 V | 0,92% |
| Arus (I) | 0.1-0.13 | 0,13A | 13,04% |

B. Hasil Pengambilan Data

Sistem IoT yang diimplementasikan berhasil mencatat seluruh data dari 10 skenario percobaan secara otomatis ke *Spreadsheets*. Data rata-rata dari setiap percobaan dirangkum pada Tabel 2 Rangkuman Hasil Pengambilan Data pada PLTPH.

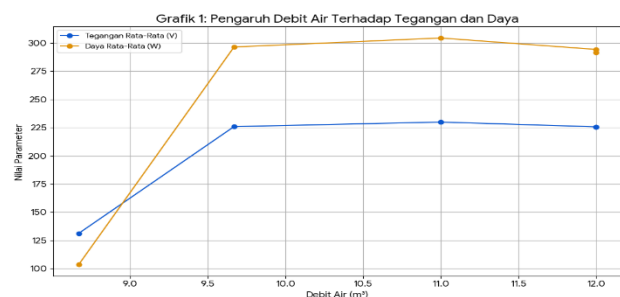
TABEL 2
(B)

| No | Frekuensi Inverter (Hz) | Jumlah Beban | Debit Air (m³) | Tekanan Air (PSI) | Tegangan Rata-Rata (V) | Arus Rata-Rata (I) | Daya Rata-Rata (W) | Frekuensi (Hz) |
|----|-------------------------|--------------|----------------|-------------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| 1 | 40 | 5 | 8,67 | 9,5 | 131,26 | 0,86 | 103,6 | 25,8 |
| 2 | 45 | 5 | 9,67 | 12,5 | 225,86 | 1,37 | 296,44 | 50,1 |
| 3 | 50 | 5 | 11 | 15 | 229,9 | 1,38 | 304,43 | 50 |
| 4 | 55 | 5 | 12 | 18 | 225,7 | 1,36 | 294,3 | 50 |
| 5 | 60 | 5 | 12 | 20 | 225,5 | 1,35 | 291,44 | 50 |

C. Hasil Pengambilan Data

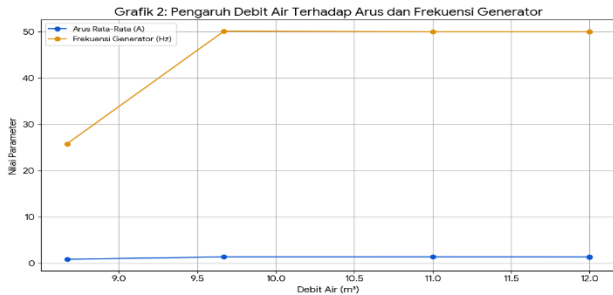
Analisis data pada Tabel 2 menunjukkan dua temuan utama. Pertama, implementasi sistem IoT secara signifikan mempermudah analisis data dibandingkan metode manual. Data yang terstruktur dan dapat diakses *real-time* melalui *Blynk* menghilangkan potensi *human error* dan mempercepat proses analisis.

Kedua, ditemukan faktor yang mempengaruhi performa generator. Pada frekuensi konstan 50 Hz (Percobaan 6-10), terlihat hubungan linear yang jelas di mana penambahan jumlah beban secara langsung meningkatkan daya keluaran secara signifikan, dari 91 W (1 lampu) menjadi 318 W (5 lampu). Sebaliknya, membandingkan Percobaan 1 (60 Hz, 2 lampu, 126.83 W) dengan Percobaan 7 (50 Hz, 2 lampu, 127.89 W) menunjukkan bahwa menaikkan debit air (frekuensi inverter) tidak memberikan peningkatan daya yang berarti jika bebannya tetap.



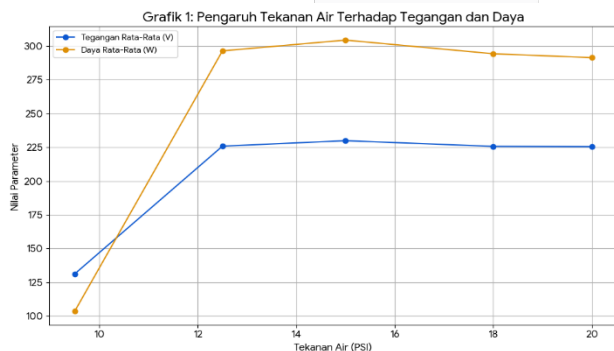
GAMBAR 2
(C)

Berdasarkan grafik yang ada pada Gambar 2(C) dan Gambar 3(C), terdapat hubungan langsung antara debit air dengan output generator. Peningkatan debit air dari percobaan 1 ke 2 menyebabkan kenaikan yang signifikan pada tegangan, arus, daya, dan frekuensi generator.



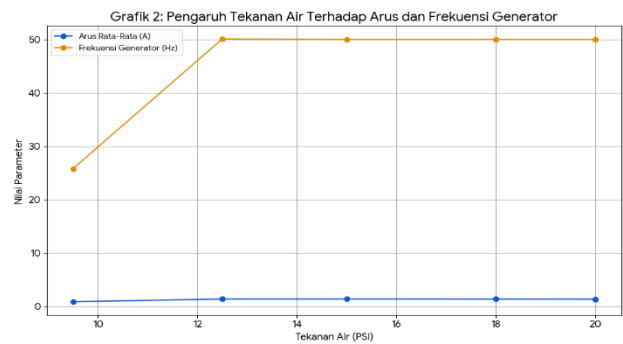
GAMBAR 3
(C)

Namun, pada debit air yang lebih tinggi, parameter-parameter tersebut lebih stabil, ini menunjukkan bahwa peningkatan debit air tidak lagi menghasilkan kenaikan yang signifikan pada output generator. Hal ini membuktikan bahwa sistem PLTPH telah mencapai titik keseimbangan antara energi yang dihasilkan dan yang dibutuhkan oleh beban yang konstan.



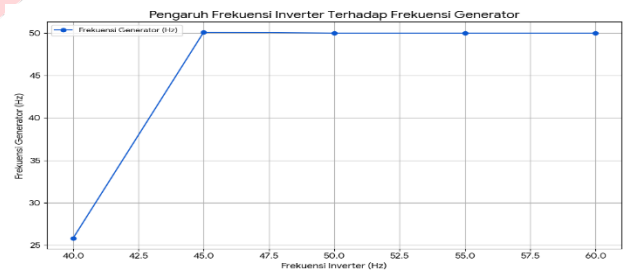
GAMBAR 4
(C)

Berdasarkan grafik yang ada, pada gambar 4(C) dan 5(C), terdapat hubungan langsung antara tekanan air dengan output generator. Grafik tekanan air ini memiliki pola serupa dengan grafik debit air. Peningkatan tekanan air dari 9.5 PSI ke 12.5 PSI menyebabkan kenaikan signifikan pada tegangan, arus, daya, dan frekuensi generator.



GAMBAR 5
(C)

Namun, pada tekanan air yang lebih tinggi, semua parameter output lebih stabil, membuktikan bahwa semakin tinggi tekanan air, semakin besar gaya dorong yang diterima turbin, yang kemudian meningkatkan energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Setelah mencapai titik tekanan tertentu, sistem generator akan mencapai titik stabil yang optimal untuk melayani beban yang ada.



GAMBAR 6
(C)

Pada Gambar 6(C) perbedaan antara frekuensi inverter dan frekuensi generator disebabkan oleh *Electronic Load Controller* (ELC). Saat frekuensi inverter rendah, aliran air tidak cukup untuk mencapai kecepatan generator yang optimal. Namun, ketika frekuensi inverter meningkat, frekuensi generator juga naik hingga stabil di 50 Hz. Peningkatan frekuensi inverter lebih lanjut tidak lagi memengaruhi frekuensi generator, karena ELC akan mengalihkan kelebihan daya ke beban tambahan untuk menjaga stabilitas output di 50 Hz.

V. KESIMPULAN

Sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) telah berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk simulator PLTPH, yang secara efektif menggantikan proses akuisisi data manual menjadi otomatis, *real-time*, dan terstruktur. Sistem ini mampu mencapai target akurasi penelitian, dibuktikan dengan galat pengukuran tegangan di bawah 1%. Analisis data menunjukkan bahwa performa generator dipengaruhi oleh jumlah beban, debit air, dan tekanan air. Peningkatan debit air dan tekanan air hanya efektif hingga titik jenuh, di mana daya yang dihasilkan sebanding dengan kebutuhan beban yang terpasang.

REFERENSI

- [1] S. Bandri, A. Premadi, and R. Andari, "Studi perencanaan pembangkit listrik tenaga picohydro (pltp) rumah tangga," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 21, no. 1, 2021.
- [2] N. Yuniarti, D. Hariyanto, S. Yatmono, and M. Abdillah, "Design and Development of IoT Based Water Flow Monitoring for Pico Hydro Power Plant", *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 15, no. 07, pp. pp. 69–80, Apr. 2021. doi:10.3991/ijim.v15i07.18425.
- [3] N. Kafli and K. Isa, "Internet of Things (IoT) for measuring and monitoring sensors data of water surface platform," 2017 IEEE 7th International Conference on Underwater System Technology: Theory and Applications (USYS), Kuala Lumpur, Malaysia, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/USYS.2017.8309441.
- [4] M. Masood, M. Abid, M. Khalid, T. Murtaza, M. Rasheed, H. Rehman et al., "A novel solution to eliminate frequency intermittency by adding spinning reserve to the micro-hydro turbine generator using real-time control of induction motor through ac-dc-ac power converters", *International Journal of Smart Grid*, 2020. <https://doi.org/10.20508/ijsmartgrid.v4i4.120.g106>
- [5] B. Handoko, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Dengan Memanfaatkan Aliran Irigasi Di Desa Padang Cermin Kabupaten Langkat," *Kumpulan Karya Ilmiah Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, p. 70, 2020.
- [6] K. Rose, S. Eldridge, and L. Chapin, "The Internet of Things: An Overview," *The Internet Society (ISOC)*, vol. 80, no. 15, pp. 1-53, 2015.
- [7] S. Talari, M. Shafie-Khah, P. Siano, V. Loia, A. Tommasetti, and J. P. Catalão, "A Review of Smart Cities Based on the Internet of Things Concept," *Energies*, vol. 10, no. 4, p. 421, 2017.
- [8] L. A. J. Kasmin, B. D. Sulo, and M. J. Afroni, "Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (Pltp) Menggunakan Turbin Reaksi Untuk Daya 100 Watt," *SCIENCE ELECTRO*, vol. 12, no. 2, 2020.
- [9] W. Sunarlik, "Prinsip Kerja Generator Sinkron," *Jurnal November* 2011.

