

IMPLEMENTASI PEMANTAUAN RPM TURBIN DAN GENERATOR SERTA FREKUENSI OUTPUT GENERATOR PADA *SIMULATOR* PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)* DI TELKOM UNIVERSITY

1st Ghanendra Amru Kumara
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia
ghanendraak@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 — Penelitian ini mengkaji efisiensi pemantauan performa simulator pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) yang berlokasi di Telkom University, khususnya terkait pengambilan data revolutions per minute (RPM) dan frekuensi output. Permasalahan utama yang melatarbelakangi studi ini adalah kurangnya efisiensi dalam proses pemantauan tersebut. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini mengimplementasikan sistem Internet of Things (IoT) pada simulator PLTPH. Pendekatan yang digunakan mencakup pemasangan sensor RPM pada turbin dan generator untuk mengukur data RPM secara otomatis. Hasil pengukuran sensor kemudian dibandingkan dengan data yang diperoleh secara manual untuk mengevaluasi tingkat akurasinya. Selain itu, sensor frekuensi dipasang pada generator untuk mengukur frekuensi keluaran dan menganalisis korelasinya dengan data RPM yang telah dikumpulkan. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi pengambilan data RPM turbin yaitu 98,33% dan RPM generator sebesar 99,67% sehingga rata-rata akurasi mencapai lebih dari 98%, mengindikasikan bahwa data yang dihasilkan oleh sistem IoT sangat konsisten dengan data manual. Konektivitas pada antarmuka sendiri memiliki kecepatan koneksi yang bagus yaitu 942,5 ms. Pengujian pada korelasi beban dengan frekuensi menunjukkan ketika ada kenaikan beban, maka frekuensi keluaran juga meningkat setidaknya 0,3%. Analisis pada korelasi hubungan antara nilai RPM dan frekuensi keluaran generator bersifat linear. Peningkatan RPM secara langsung berkorelasi dengan peningkatan frekuensi keluaran.

Kata kunci— Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro, *Internet of Things*, *Revolutions per Minute*, Frekuensi Output, Generator Listrik, Responsivitas sistem.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi energi terbarukan menuntut adanya sistem operasional yang efisien dan andal. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) menjadi solusi energi yang relevan untuk daerah terpencil, namun kinerjanya sangat bergantung pada stabilitas parameter operasional. Fluktuasi aliran air akibat kondisi cuaca menjadi

salah satu tantangan yang signifikan dalam menjaga stabilitas tegangan dan arus listrik yang dihasilkan[1]. Salah satu tantangan utama dalam operasional simulator PLTPH, seperti yang ada di Telkom University, adalah proses akuisisi data performa yang masih dilakukan secara manual menggunakan *tachometer* optik untuk mengukur *revolutions per minute* (RPM). Metode ini tidak efisien waktu dan rentan terhadap *human error*, sehingga menghambat analisis kinerja secara real-time dan efisien.

Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan akuisisi data RPM dan frekuensi secara otomatis dan jarak jauh. Dengan IoT, parameter operasional dapat dipantau secara real-time, memungkinkan pemeliharaan prediktif dan optimalisasi kinerja sistem [2]. Pendekatan ini memanfaatkan dua jenis sensor RPM yang berbeda, yaitu sensor inframerah dan sensor *hall effect*, untuk mengevaluasi akurasi dan keandalannya dalam lingkungan operasional yang berbeda. Data dari kedua sensor tersebut dibandingkan dengan alat ukur standar untuk memvalidasi presisinya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk merancang dan mengembangkan sistem pemantauan IoT yang efektif, menganalisis akurasi masing-masing sensor, mengevaluasi responsivitas sistem secara *end-to-end* dari sensor hingga antarmuka pengguna, serta mengidentifikasi korelasi antara kecepatan putaran generator dengan frekuensi listrik yang dihasilkan.

II. KAJIAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) adalah sebuah teknologi untuk pembangkit listrik yang bersifat ramah lingkungan karena dapat berfungsi dengan memanfaatkan aliran sungai atau terjunan sebagai sumber energi listrik melalui turbin [3]. Secara teknis, PLTPH adalah pembangkit listrik skala kecil ($\leq 5\text{kW}$) yang mengubah energi potensial air menjadi energi listrik menggunakan tiga komponen utama: air, turbin, dan generator [4], [5]. Di Telkom University, sebuah simulator PLTPH digunakan sebagai media

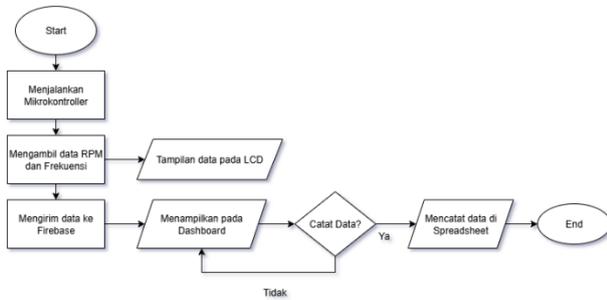
pembelajaran untuk memahami prinsip kerja pembangkit skala besar [6].

- B. *Internet of Things* (IoT) diterapkan. IoT adalah teknologi dalam berkomunikasi yang dapat menggambarkan masa depan di mana objek sehari-hari dapat dilengkapi dengan teknologi seperti mikrokontroler dan *transceiver* sehingga objek tersebut dapat berkomunikasi satu dengan lainnya dan juga dapat berkomunikasi dengan pengguna melalui internet [7]. Arsitektur IoT dapat membuka akses untuk berinteraksi dengan berbagai perangkat untuk memberikan fungsi yang baru kepada masyarakat, sebuah perusahaan, dan juga administrasi publik [7], [8].
- C. *Revolutions Per Minute* (RPM), yaitu satuan untuk mengukur kecepatan rotasi suatu objek. Pemantauan RPM secara *realtime* menjadi krusial untuk memastikan bahwa turbin beroperasi dalam rentang kecepatan yang aman dan efisien [9]. Pengukuran ini dapat dilakukan menggunakan berbagai metode, termasuk sensor optik dan magnetik [10]. Penelitian ini menggunakan dua jenis sensor. Pertama, sensor *hall effect* yang memanfaatkan perubahan medan magnet untuk menghasilkan pulsa tegangan, di mana sensor ini dikenal andal di lingkungan dengan interferensi elektromagnetik tinggi [11]. Kedua, sensor inframerah yang bekerja tanpa kontak dengan mendeteksi pantulan cahaya, namun kinerjanya dapat dipengaruhi oleh debu atau kotoran di jalur optiknya [12].

III. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tahapan:

A. Perancangan Sistem



Gambar 1 (A)

Sistem dirancang dengan arsitektur IoT untuk pemantauan *real-time*. Alur kerja dimulai dari sensor RPM (inframerah pada turbin dan *Hall Effect* pada generator) serta sensor frekuensi yang mengambil data dari simulator PLTPH. Semua data diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan. Data yang telah diolah kemudian dikirim melalui koneksi Wi-Fi ke Firebase Realtime Database. Dari *database*, data divisualisasikan pada *dashboard* HTML dan dapat dicatat ke Google Sheets menggunakan Google App Script untuk analisis historis.

B. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras berpusat pada mikrokontroler ESP32-Wroom karena memiliki Wi-Fi terintegrasi dan kecepatan clock yang memadai. Sensor yang digunakan adalah sensor inframerah TCRT5000 pada turbin, sensor *hall effect* KY-035 pada generator, dan sensor frekuensi TIFSA2 pada keluaran generator. Sebuah LCD I2C 20x4 digunakan sebagai aktuator untuk menampilkan data secara lokal.

C. Arsitektur Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada ESP32 dikembangkan untuk membaca data sensor, melakukan kalibrasi dengan nilai koreksi yang telah ditentukan (0.644 untuk IR dan 0.395 untuk *Hall Effect*), menyangring lonjakan data, dan mengirimkannya ke Firebase. Arsitektur cloud memanfaatkan Firebase sebagai *database*, Cloudflare Workers sebagai perantara, dan Google App Script untuk memindahkan data dari Firebase ke Google Sheets saat fungsi *logging* diaktifkan pada *dashboard* HTML.

D. Evaluasi

Kualitas sistem dievaluasi berdasarkan dua parameter utama: akurasi dan responsivitas. Akurasi sensor dihitung menggunakan persentase error dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap *tachometer* optik.

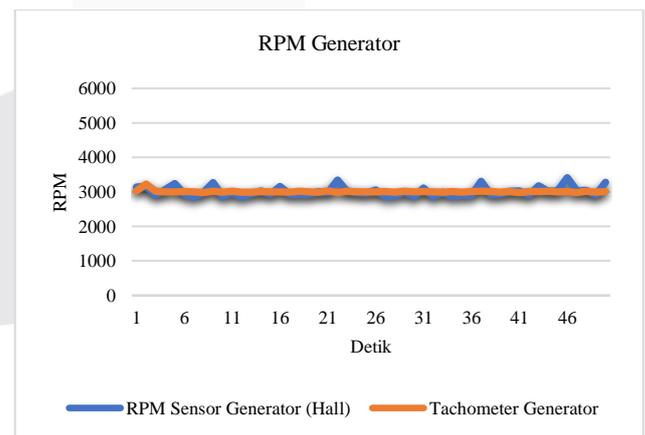
$$\text{Persentase Error} = \frac{|R_{\text{Sensor}} - R_{\text{Tachometer}}|}{R_{\text{Tachometer}}} \times 100\% \quad (1)$$

Korelasi antara nilai frekuensi keluaran generator dengan nilai RPM dapat dikaitkan dengan rumus berikut.

$$f = \frac{P \times N}{120} \quad (2)$$

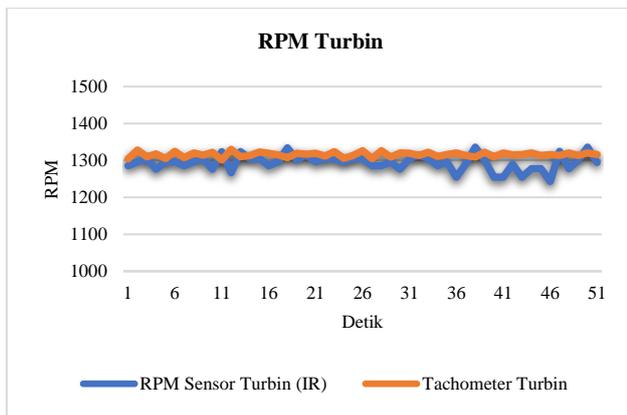
Responsivitas sistem diukur dengan menghitung rata-rata selisih waktu (*delay*) antara data dikirim oleh ESP32 dan data ditampilkan pada antarmuka web.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2 (B)

Pengujian sistem menghasilkan data kuantitatif mengenai akurasi sensor, responsivitas, dan korelasi parameter. Pada gambar 2, hasil analisis menunjukkan bahwa sensor *hall effect* KY-035 lebih unggul dengan persentase error hanya 0.23% atau memiliki akurasi sebesar 99,67%.



Gambar 3 (C)

Pada gambar 3, sensor inframerah TCRT-5000 memiliki eror sebesar 1.67% atau akurasi sebesar 98,33%. Meskipun keduanya berada dalam rentang akurasi yang dapat diterima (>98%), sensor *hall effect* terbukti lebih presisi dan andal untuk pemantauan kecepatan putaran generator.

Dalam hal responsivitas, sistem menunjukkan kinerja yang sangat baik untuk aplikasi pemantauan *real-time*. Rata-rata *delay* dari transmisi data oleh mikrokontroler hingga visualisasi pada *dashboard* adalah 942.5 milidetik, atau kurang dari satu detik. Keterlambatan ini dipengaruhi oleh latensi jaringan, proses sinkronisasi Firebase, dan rendering pada sisi klien, namun secara umum sudah memadai untuk kebutuhan pemantauan operasional. Tampilan antarmuka pengguna dapat dilihat pada Gambar 1.

Analisis data lebih lanjut mengonfirmasi adanya korelasi linear yang kuat antara RPM generator dan frekuensi listrik yang dihasilkan. Berdasarkan data pengujian, saat RPM rata-rata generator berada di kisaran 3000, frekuensi yang terdeteksi stabil di sekitar 49,8 – 50,1 Hz, sesuai dengan standar frekuensi di Indonesia dan validasi teoritis.

REFERENSI

- [1] K. M. Habsari *et al.*, “Rancang Bangun Sistem Charging dan Monitoring Baterai pada PLTPH Berbasis IoT,” *Seminar Nasional Fortei Regional*, vol. 7.
- [2] I. I. Albar and A. Goeritno, “Purwarupa Sistem Elektronik Berbantuan IoT untuk Pemantauan Kinerja PLTPH secara Real-Time,” Bogor, Nov. 2023. [Online]. Available: <http://ejournal.uika-bogor.ac.id>
- [3] T. Rakhmawati and R. Hadiani, “e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/ OPTIMASI DIAMETER PIPA PESAT PADA MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH),” 2016.
- [4] M. A. Wahid and Z. Erwanto, “PERENCANAAN DAN PENERAPAN PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO (PLTPH) DENGAN TURBIN TIPE UNDERSHOOT,” *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6 ISAS Publishing Series: Engineering and Science*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [5] H. Prasetijo, W. H. Purnomo, S. Suroso, W. Winasis, P. B. Santoso, and Y. Haryanto, “Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Untuk Penerangan Jalan,” *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, vol. 4, no. 4, pp. 657–663, Aug. 2024, doi: 10.52436/1.jpmi.2492.
- [6] H. Firdaus, D. Suryadi, and M. Nurhayati, “SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO UNTUK MODUL PRAKTIKUM DI LABORATORIUM KONVERSI ENERGI.”
- [7] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, “Internet of things for smart cities,” *IEEE Internet Things J*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [8] L. Da Xu, W. He, and S. Li, “Internet of things in industries: A survey,” Nov. 01, 2014, *IEEE Computer Society*. doi: 10.1109/TII.2014.2300753.
- [9] N. D. Karlsen-Davies and G. A. Aggidis, “Regenerative liquid ring pumps review and advances on design and performance,” Feb. 15, 2016, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.apenergy.2015.12.041.
- [10] F. Ferreira, A. Duarte, and F. Lopes, “Experimental Evaluation of a Novel Webcam-Based Tachometer for In-Situ Rotational Speed Measurement,” 2020.
- [11] B. Varghese, U. A. Ponnary, F. Kamar, and R. Thomas Jacob, “Hall Effect Sensor Based Portable Tachometer for RPM Measurement,” 2014.
- [12] A. Chouthai, R. Karhu, and S. Kulkarni, “RPM MEASUREMENT AND CALCULATIONS USING TSOP IR RECEIVER,” 2013. [Online]. Available: www.ijareeie.com