

Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Menggunakan Sistem Turbin Cross-Flow

¹ Bahrudin Rosidi, ¹ Riny Sulistyowati, ¹ Gatot Hari Mukti ², Hery Irawan³, Nariyah Silviana Erwanti¹

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

² Program Studi Teknik Industri Fakultas Tekniknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

³ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Tekniknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

¹ Riny.971073@itats.ac.id

Abstract—Electrical energy is essential for industrial, commercial, and household activities, while the continued use of non-renewable resources creates concerns regarding future energy availability. This study designs and develops a pico-hydropower prototype using a cross-flow turbine and a Mamdani fuzzy control system to regulate water flow and stabilise generator output. The system consists of a DC generator, an ESP32 microcontroller, a YF-S201 water-flow sensor, a PZEM-004T voltage and current sensor, a solenoid valve, a relay module, and a DC-AC inverter. The research stages include literature study, system design, prototype fabrication, testing, data collection, and performance analysis. The fuzzy controller uses water discharge and output voltage as input variables and produces the valve-opening percentage as the control output. Experimental results show that the prototype responds to variations in water discharge and maintains the generated voltage within a stable range of approximately 11.4–12.1 V, whereas the system without fuzzy control produces larger voltage fluctuations. The prototype also demonstrates that increasing water discharge increases the available electrical output. Therefore, the proposed fuzzy-controlled pico-hydropower system can be used as a small-scale renewable-energy prototype for locations with limited water resources.

Keywords—Pico-hydropower; cross-flow turbine; DC generator; fuzzy logic; ESP32; water-flow sensor.

Abstrak—Tenaga listrik merupakan sumber energi penting bagi kegiatan industri, komersial, dan rumah tangga, sedangkan ketergantungan pada sumber energi tidak terbarukan menimbulkan kekhawatiran terhadap ketersediaannya pada masa mendatang. Penelitian ini merancang dan membangun prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro menggunakan turbin cross-flow dan sistem kendali logika fuzzy Mamdani untuk mengatur debit air serta menstabilkan keluaran generator. Sistem terdiri atas generator DC, mikrokontroler ESP32, sensor water flow YF-S201, sensor tegangan dan arus PZEM-004T, solenoid valve, modul relay, serta inverter DC-AC. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan sistem, fabrikasi prototipe, pengujian, pengambilan data, dan analisis kinerja. Sistem fuzzy menggunakan debit air dan tegangan keluaran sebagai variabel masukan serta persentase bukaan valve sebagai keluaran kendali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe mampu merespons perubahan debit air dan menjaga tegangan keluaran pada kisaran sekitar 11,4–12,1 V, sedangkan sistem tanpa kendali fuzzy menghasilkan fluktuasi tegangan yang lebih besar. Peningkatan debit air juga meningkatkan potensi keluaran listrik. Dengan demikian, sistem pikohidro berbasis fuzzy yang dirancang dapat digunakan sebagai prototipe energi terbarukan skala kecil pada wilayah dengan potensi sumber air terbatas.

Kata Kunci—Pikohidro; turbin cross-flow; generator DC; logika fuzzy; ESP32; sensor debit air.

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Mikrohidro adalah salah satu solusi Energi Baru Terbarukan yang paling realistis dan ekonomis untuk pemerataan listrik di Indonesia. Dengan memanfaatkan potensi sungai-sungai kecil di desa, PLTMH mampu menyediakan listrik bersih, murah, dan mandiri tanpa merusak lingkungan[1-8].

Ini sejalan dengan visi pemerintah untuk mewujudkan energi berkeadilan dan pembangunan berkelanjutan SDGs poin 7: "Energi Bersih dan Terjangkau".

Aliran sungai di Desa Parakan, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur, memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik. Pemilihan lokasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan dan meminimalkan dampak lingkungan. Dengan pemanfaatan potensi aliran sungai secara optimal, Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dapat menjadi alternatif solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dan mengurangi penggunaan sumber energi konvensional.

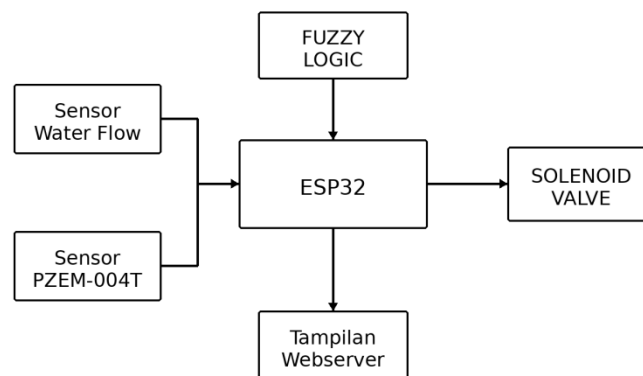
PLTPH dipilih dibandingkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro karena sesuai untuk sumber air terbatas, kebutuhan daya rendah, biaya yang relatif murah, dan instalasi yang lebih sederhana. Di sisi lain, banyak sungai kecil

di wilayah terpencil belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi alternatif. Kondisi tersebut mendorong pengembangan pembangkit listrik skala kecil yang dapat diterapkan pada daerah dengan potensi aliran air yang tidak terlalu besar.

Metode logika fuzzy digunakan untuk mengatur bukaan valve berdasarkan debit air dan tegangan keluaran agar kondisi turbin tetap terjaga serta kualitas tegangan yang dihasilkan lebih stabil [9-16]. Pengaturan valve ditempatkan sebelum turbin sehingga debit aliran air yang masuk dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian rancang bangun prototipe PLTPH menggunakan turbin cross-flow dilakukan sebagai simulasi pemanfaatan sumber energi alternatif[17].

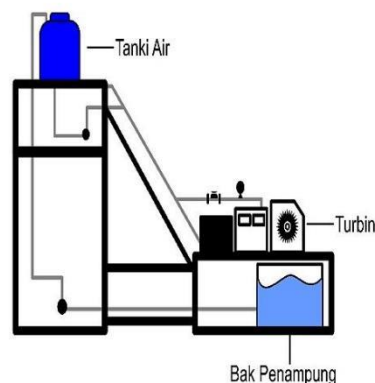
II. METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian dilaksanakan melalui tahapan studi literatur, perancangan, analisis dan pengujian, serta evaluasi hasil. Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar PLTPH, turbin cross-flow, sensor, aktuator, dan pengendalian logika fuzzy. Setelah perancangan selesai, sistem diuji untuk memastikan setiap komponen bekerja sesuai target di tunjukkan pada Gambar 3.1. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Blok Diagram Penelitian

A. Perancangan



Gambar 2. Perancangan hardware

Gambar 2 menunjukkan rancangan awal prototipe sebelum dilakukan fabrikasi. Sistem hardware dirangkai dari beberapa komponen utama sebagai berikut:

1. Generator DC sebagai sumber energi listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
2. Mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah program logika berdasarkan masukan dari beberapa sensor.
3. Turbin dan set gear transmisi sebagai penggerak generator yang memanfaatkan aliran air.

4. Modul PZEM-004T sebagai sensor untuk mengukur parameter tegangan, arus, dan daya listrik.
5. Solenoid valve sebagai aktuator yang dikendalikan ESP32 untuk mengatur aliran air menuju turbin.
6. Sensor water flow YF-S201 untuk mengukur debit air pada pipa saluran.
7. Modul relay sebagai kontak on/off yang menghubungkan keluaran mikrokontroler dengan solenoid valve.
8. Inverter DC-AC untuk mengonversi tegangan keluaran generator menjadi tegangan AC untuk beban.

Pengujian prototipe dilakukan berdasarkan data debit air, komponen kontrol, serta aturan fuzzy. Perhitungan potensi air menggunakan persamaan berikut:

$$V = p \times l \times t \quad (1)$$

$$v = s / t \quad (2)$$

$$A = l \times d \quad (3)$$

$$Q = v \times A \quad (4)$$

$$P_{air} = \rho \times Q \times g \times h \quad (5)$$

Tabel 1. Data debit air

No	Debit Air	Nilai
1	Debit 1	0,000025 m ³ /s
2	Debit 2	0,000033 m ³ /s
3	Debit 3	0,000042 m ³ /s
4	Debit 4	0,000058 m ³ /s

Tabel 2. Data komponen kontrol

No	Nama Komponen	Keterangan
1	Generator DC 5 V	Output 5 Vdc
2	Konverter DC-AC	5 Vdc-220 Vac
3	ESP32	Vcc 5 Vdc
4	PCB Relay	1 relay
5	Sensor water flow	YF-S201
6	Sensor tegangan dan arus	PZEM-004T
7	Solenoid valve	ZW-160-15
8	Water pump	Vcc 12 Vdc
9	Power supply	Output 5 Vdc

Tabel 3. Data fuzzy

No	Debit Air	Tegangan Keluaran	Bukaan Valve (%)	Keterangan Sistem
1	Rendah	Rendah	80	Valve membuka lebar untuk menaikkan tegangan

No	Debit Air	Tegangan Keluaran	Bukaan Valve (%)	Keterangan Sistem
2	Rendah	Normal	70	Valve tetap agak terbuka untuk menjaga tegangan stabil
3	Rendah	Tinggi	50	Valve menutup sedikit karena tegangan mulai naik
4	Sedang	Rendah	60	Valve sedikit membuka untuk menstabilkan tegangan
5	Sedang	Normal	50	Valve pada posisi sedang (stabil)

Tabel 3 menunjukkan rule base sistem fuzzy Mamdani untuk pengaturan valve otomatis. Sistem menerima dua masukan, yaitu debit air dan tegangan keluaran, kemudian menghasilkan keluaran berupa persentase bukaan valve. Ketika debit dan tegangan rendah, valve dibuka lebih lebar agar turbin berputar lebih cepat. Sebaliknya, ketika debit air tinggi dan tegangan meningkat, valve ditutup sebagian agar kecepatan turbin tidak berlebih. Dengan demikian, tegangan keluaran dapat dijaga mendekati nilai referensi 12 V.

Prosedur pengujian dilakukan untuk mengetahui performa sistem PLTPH yang telah direalisasikan. Variabel yang diukur meliputi debit aliran air, tegangan keluaran, arus keluaran, dan kecepatan putar turbin. Debit air diukur menggunakan flow meter, tegangan dan arus generator diukur menggunakan alat ukur digital, sedangkan kecepatan putaran poros turbin diukur menggunakan tachometer. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi debit dan beban dengan durasi yang dijaga konstan agar data berada pada kondisi stabil.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

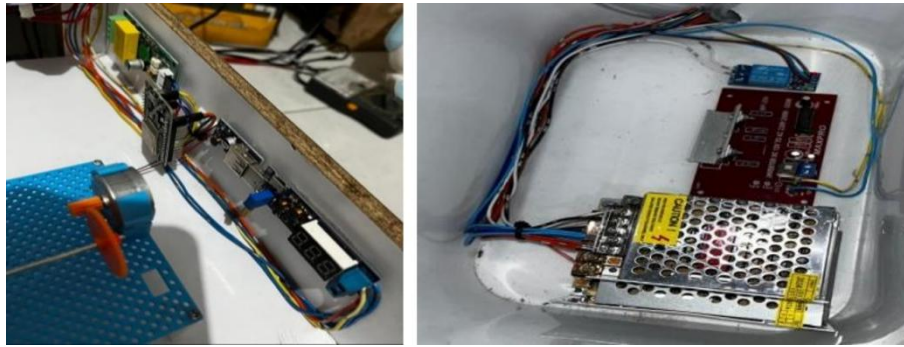
A. Hasil Perancangan

Hasil implementasi prototipe PLTPH ditunjukkan pada Gambar 3. Bentuk dan ukuran utama turbin cross-flow, nozzle, rangka penopang, serta sistem transmisi telah disesuaikan dengan rancangan awal prototipe.



Gambar 3. Fabrikasi prototipe

Perancangan kontrol elektrik dimulai dari penyambungan generator DC sebagai sumber listrik. Tegangan keluaran generator dinaikkan menjadi 12 Vdc, kemudian dikonversi menjadi tegangan AC untuk disalurkan menuju beban. Sistem dilengkapi solenoid valve sebagai pengendali aliran air apabila terjadi kenaikan tegangan berlebih. Instalasi kontrol kelistrikan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Instalasi kontrol kelistrikan

B. Pengujian Debit Air Pompa

Pengujian debit air bertujuan mengevaluasi kemampuan pompa DC Taffware DP521 dalam memasok air sesuai kebutuhan sistem pikohidro. Debit diukur dengan menampung air selama 60 detik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa debit maksimum sebesar 3,5 L/menit pada bukaan valve 100%, sesuai dengan spesifikasi pompa. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian debit air

No	Bukaan Valve (%)	Volume Air (mL)	Waktu (s)	Debit (L/min)	Debit (m ³ /s)
1	30	2100	60	2,1	0,000035
2	50	2600	60	2,6	0,000043
3	70	3100	60	3,1	0,000052
4	100	3500	60	3,5	0,000058

Tabel 4 menunjukkan bahwa debit air meningkat seiring bertambahnya bukaan valve. Perubahan debit tersebut menjadi parameter utama sistem fuzzy dalam mengatur kestabilan tegangan pembangkit.

C. Hasil Pengujian Fuzzy

Tabel 5. Hasil pengujian tegangan menggunakan metode fuzzy

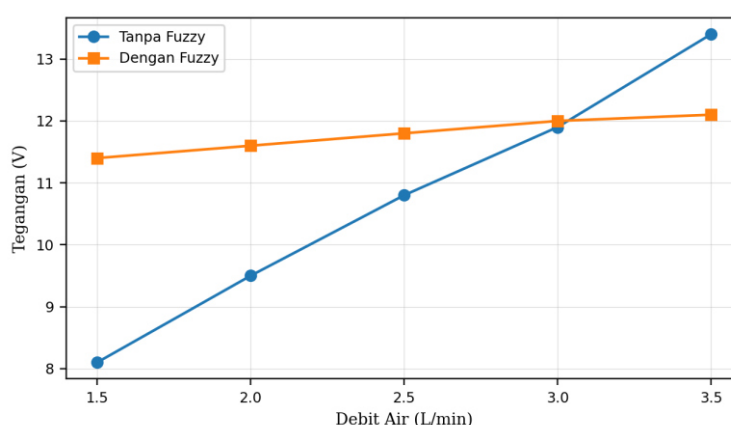
Debit Air (L/min)	Tegangan dengan Fuzzy (Vdc)
1,5	11,4
2,0	11,6
2,5	11,8
3,0	12,0
3,5	12,1

Berdasarkan Tabel 5, tegangan keluaran menggunakan metode fuzzy berada pada kisaran 11,4–12,1 Vdc. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengendali mampu menjaga tegangan tetap mendekati nilai referensi 12 V.

Tabel 6. Perbandingan tegangan tanpa dan dengan metode fuzzy

Debit Air (L/min)	Tegangan Tanpa Fuzzy (V)	Tegangan dengan Fuzzy (V)
1,5	8,1	11,4
2,0	9,5	11,6
2,5	10,8	11,8
3,0	11,9	12,0
3,5	13,4	12,1

Tabel 6 memperlihatkan bahwa tegangan tanpa fuzzy berubah dari 8,1 V hingga 13,4 V, sedangkan tegangan dengan fuzzy berada pada rentang yang lebih sempit. Dengan demikian, sistem fuzzy mampu mengurangi fluktuasi akibat perubahan debit air.



Gambar 5. Grafik hasil pengujian

Pengujian logika fuzzy dilakukan untuk mengetahui efektivitas pengendalian otomatis terhadap kestabilan tegangan keluaran generator. Sistem menggunakan debit air dari sensor YF-S201 dan tegangan keluaran dari PZEM-004T sebagai masukan, sedangkan posisi bukaan valve menjadi keluaran. Sumber air berasal dari pompa DC Taffware DP521 dengan kapasitas maksimum 3,5 L/menit. Variasi debit pengujian disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Variasi debit air

Kondisi	Debit Air (L/min)	Keterangan
Rendah	1,5	Aliran lemah dan tekanan rendah
Sedang	2,5	Debit normal
Tinggi	3,5	Aliran deras dan tekanan maksimum

IV. KESIMPULAN

Perancangan sistem PLTPH menggunakan turbin cross-flow berhasil direalisasikan dengan memanfaatkan aliran air dari pompa DC Taffware DP521 berkapasitas maksimum 3,5 L/menit. Energi mekanik turbin dikonversi menjadi energi listrik oleh generator DC, sedangkan sensor debit dan sensor tegangan dihubungkan ke ESP32 sebagai pengendali utama.

Penerapan logika fuzzy Mamdani efektif dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran. Saat debit air meningkat, sistem menutup valve sebagian untuk mengurangi tekanan; sedangkan saat debit menurun, valve dibuka lebih lebar. Tegangan keluaran dapat dipertahankan pada kisaran 11,4–12,1 V.

Perbandingan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dengan fuzzy menghasilkan tegangan yang lebih stabil di sekitar 12 V, sedangkan sistem tanpa fuzzy mengalami fluktuasi yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan valve otomatis mampu merespons perubahan debit air secara cepat dan efisien.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Putra, R. Sulistyowati, H. A. Sujono, and N. S. Erwanti, "Rancang Bangun PID Controlled Buck Boost Converter sebagai Penstabil Tegangan Pembangkit Listrik Picohydro Portable, 2024."
- [2] I. Solihat, "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, vol. 1, no. 2, 2020.
- [3] H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, and S. I. Cahyono, "Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 12, no. 2, pp. 54–62, 2018, doi: 10.36289/jtmi.v12i2.72.
- [4] A. F. P. T. E. P. S. A. N. B. Marzuki, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Memanfaatkan Air Buangan Rumah Tangga di Nagari Sawah Tengah, Kecamatan Pariangan, Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat," *Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 5, no. 2, 2021.
- [5] Z. Has, A. Z. Rosyidi, I. Pakaya, N. A. Mardiyah, N. Nurhadi, and M. Effendy, "Integrated Frequency Control of Microhydro Power Plant Based Flow Valve Control and Electronic Load Controller," in *Proc. 2018 IEEE Conf. Systems, Process and Control*, pp. 244–249, 2018, doi: 10.1109/SPC.2018.8704153.
- [6] M. Ikram, A. Abd, and H. Lateko, "Pengaruh Ketidakstabilan Debit Air dan Curah Hujan terhadap Efisiensi Daya pada PLTA Tangka," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 2095–21009, 2023.
- [7] Y. Kurniawan, D. M. Kurniawati, D. Danardono, and D. P. Tjahjana, "Studi Eksperimental Pengaruh Aspek Rasio terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Crossflow," *Prosiding SNITT Poltekba*, vol. 3, no. 1, pp. 339–343, 2018.
- [8] A. Lukman, R. Harahap, and A. T. Hardianto, "Analisa Debit Air untuk Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Peusangan I Takengon Kabupaten Aceh Tengah." [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/JTSIP>.
- [9] R. L. Lesmana, D. Rohi, and H. H. Tumbelaka, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan Tegangan 220 VAC, Daya 1 kW di Desa Jembul, Kecamatan Jatirejo, Kabupaten Mojokerto," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 41–45, Sep. 2018, doi: 10.9744/jte.11.2.41-45.
- [10] A. Soulli, D. Sinde, I. T. Adhi, and T. Surabaya, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Golewa di PT PLN (Persero) ULP Bajawa Menggunakan Metode Fuzzy Logic," *JREEC Journal of Renewable Energy, Electronics and Control*, doi: 10.31284/j.JREEC.2024.v41i.
- [11] A. A. Kristi et al., "Penerapan Kendali Logika Fuzzy pada Proses Pendinginan Panel Surya," in *Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*, vol. 1, no. 2, 2025, doi: 10.31284/p.snestik.2025.7366.
- [12] Riny Sulistyowati, Rony Seto Wibowo, Dedet Candra Riawan, Mochamad Ashari, Power and voltage estimation of unobserved bus on distribution network using anfis algorithm with the modified pso-ga hybrid, 2020.
- [13] A. St, M. T. Aditya, B. Putro, and F. A. Nurdin, "Telemetry of Water Level of Dam in Real Time System," vol. 17, no. 5, pp. 477–485, 2020.
- [14] P. F. Luthfiyani, A. Resnailita, H. R. Adzra, and F. H. Kusumah, "Analisis Pengaruh Diameter Kincir dan Ketinggian Sumber Air terhadap Tegangan dan Arus pada PLTA Sederhana," *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya*, vol. 6, no. 1, pp. 33–37, Aug. 2024, doi: 10.31851/jupiter.v6i1.16271.
- [15] Y. Kurniawan, D. M. Kurniawati, D. Danardono, and D. P. Tjahjana, "Experimental Study: The Effect of the Aspect Ratio on the Performance of Crossflow Wind Turbine," in *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*, 2018.
- [16] P. T. Santoso, D. Irawan, and J. Teknik, "Rancang Bangun Alat Otomatisasi Pengereman Kendaraan Bermotor Berbasis Fuzzy Logic," vol. 19, pp. 225–232, 2024.
- [17] H. F. Ridho, I. Imaduddin, and M. Sulistiyanto, "Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Logic pada Mesin Pengering Kopi Tenaga Hybrid," *JREEC Journal Renewable Energy Electronics and Control*. [Online]. <https://ejurnal.itats.ac.id/jreec>.