



PERBANDINGAN AKURASI FLOWMETER YF-S201 DAN FLOWMETER ULTRASONIK DALAM PENGUKURAN DEBIT AIR PADA PLTMH

Bayu Ardiansyah¹, Arifia Eka Yuliana², Andi Ulfiana¹, Candra Damis Widiaway¹

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail address: bayu.ardiansyah.tm22@mhs.pnj.ac.id

Abstrak

Pengukuran debit air merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Ketelitian alat ukur debit sangat menentukan keakuratan analisis performa sistem. Penelitian ini bertujuan menganalisis selisih error antara flowmeter hall effect (YF-S201) berbasis Arduino dan flowmeter ultrasonik pada prototype PLTMH skala laboratorium. Pengujian dilakukan secara eksperimental pada empat variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%, dengan pengukuran berulang pada setiap kondisi. Data debit air dari kedua alat dibandingkan menggunakan parameter error relatif dan akurasi pengukuran. Hasil analisis menunjukkan akurasi pengukuran berturut-turut sebesar 96,17%, 96,03%, 97,44%, dan 97,89% untuk bukaan valve 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan nilai error maksimal 3,93% yang dipengaruhi oleh perubahan laju aliran pada setiap variasi bukaan katup. Nilai akurasi berada di atas 96%, yang menunjukkan bahwa flowmeter YF-S201 memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap flowmeter ultrasonik sebagai alat acuan. Metode evaluasi ini memberikan gambaran mengenai tingkat keandalan flowmeter YF-S201 sebagai sistem *monitoring* debit secara *real-time* pada aplikasi PLTMH skala laboratorium.

Kata kunci: PLTMH, flowmeter, error relatif, akurasi, debit air.

Abstract

Water flow rate measurement is one of the key parameters in evaluating the performance of a Micro Hydro Power Plant (MHPP). The accuracy of a flow measurement instrument significantly influences the reliability of system performance analysis. This study aims to analyze the measurement error between an Arduino-based Hall-effect flow meter (YF-S201) and an ultrasonic flow meter in a laboratory-scale MHPP prototype. The experiments were conducted under four valve opening conditions, namely 25%, 50%, 75%, and 100%, with repeated measurements performed for each condition. The flow rate data obtained from both flow meters were compared using relative error and measurement accuracy as evaluation parameters. The results indicate measurement accuracy of 96.17%, 96.03%, 97.44%, and 97.89% for valve openings of 25%, 50%, 75%, and 100%, respectively, with a maximum error of 3.93%, which was influenced by variations in flow rate under different valve opening conditions. The measurement accuracy exceeded 96% in all test scenarios, indicating that the YF-S201 flow meter exhibits a high level of agreement with the ultrasonic flow meter used as the reference instrument. This evaluation demonstrates the reliability of the YF-S201 flow meter for real-time water flow rate monitoring in laboratory-scale MHPP applications.

Keywords: Micro Hydropower Plant (MHPP), flowmeter, relative error, measurement accuracy, water flow rate.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik aliran air untuk menghasilkan energi listrik. PLTMH umumnya memiliki kapasitas pembangkitan hingga 100 kW dan banyak dikembangkan sebagai solusi penyediaan listrik di daerah terpencil yang memiliki potensi sumber daya air namun belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar fosil, PLTMH memiliki keunggulan berupa emisi gas rumah kaca yang rendah, biaya operasi dan pemeliharaan yang relatif kecil, serta memanfaatkan sumber energi yang berkelanjutan. Kinerja sistem PLTMH dipengaruhi oleh beberapa parameter utama, di antaranya tinggi jatuh air (*head*) dan debit aliran (*flow rate*). Kedua parameter tersebut menentukan besarnya energi yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator. Oleh karena itu, pengukuran debit aliran air secara akurat menjadi aspek penting dalam proses perancangan, pengoperasian, dan evaluasi kinerja sistem PLTMH[1]

Dalam sistem PLTMH, pengukuran debit aliran air dilakukan menggunakan flowmeter, yaitu instrumen yang dirancang untuk mengukur laju aliran fluida yang melewati suatu saluran dalam satuan volume atau massa per satuan waktu. Informasi debit yang dihasilkan flowmeter berperan penting dalam menentukan kinerja sistem, karena nilai debit digunakan sebagai dasar perhitungan potensi daya hidrolik, efisiensi turbin, dan performa pembangkit secara keseluruhan [2]. Seiring perkembangan teknologi instrumentasi, berbagai jenis flowmeter telah dikembangkan, seperti flowmeter diferensial tekanan, turbin, elektromagnetik, vortex, dan ultrasonik, yang masing-masing memiliki karakteristik, tingkat akurasi, serta kondisi aplikasi yang berbeda. Di antara berbagai teknologi tersebut, flowmeter YF-S201 menjadi salah satu alternatif yang banyak digunakan karena harga yang relatif terjangkau serta proses pengaplikasian yang mudah[2]. Keunggulan tersebut menjadikan flowmeter ultrasonik berpotensi untuk diterapkan pada sistem PLTMH, meskipun akurasi hasil pengukurannya masih dipengaruhi oleh kondisi aliran, metode pemasangan sensor, serta karakteristik pipa yang digunakan[3]

Meskipun flowmeter YF-S201 banyak digunakan sebagai sensor debit karena harganya yang relatif ekonomis, kemudahan integrasi dengan mikrokontroler, dan kemampuannya melakukan pengukuran secara real-time, tingkat akurasinya masih dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi karakteristik aliran fluida, posisi pemasangan sensor, tekanan dan stabilitas aliran, serta proses kalibrasi sensor. Kondisi tersebut dapat menyebabkan penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai debit sebenarnya sehingga diperlukan proses evaluasi untuk mengetahui tingkat keandalan alat ukur yang digunakan [2]. Selain itu, kualitas sinyal keluaran sensor yang diproses oleh mikrokontroler juga berpengaruh secara langsung terhadap akurasi pengukuran debit, di mana gangguan sinyal (*noise*) dapat meningkatkan kesalahan pembacaan (*measurement error*) [3]. Karakteristik aliran fluida, seperti distribusi kecepatan dan tingkat turbulensi, turut memengaruhi hasil pengukuran parameter hidrolik [4]. Oleh karena itu, pengujian akurasi flowmeter YF-S201 perlu dilakukan melalui perbandingan dengan flowmeter ultrasonik sebagai flowmeter acuan yang memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi, sehingga besarnya selisih pengukuran (*error*) dapat diketahui secara kuantitatif [5].

2. METODE PENELITIAN

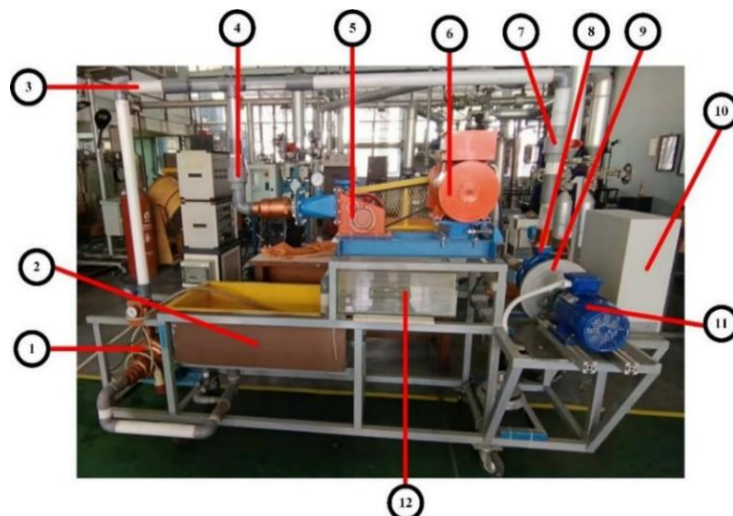
Jenis penelitian yang digunakan dalam kajian analisis laju aliran ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Penelitian eksperimental merupakan bagian dari metode kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variabel bebas terhadap variabel keterikatan[4]. Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif digunakan untuk menjelaskan hubungan sebab-akibat antarvariabel yang diteliti, khususnya seberapa besar pengaruh nilai error pada akurasi pengukuran menggunakan flowmeter ultrasonik.

Error dan Akurasi

Nilai error merupakan besarnya penyimpangan antara hasil pengukuran yang diperoleh dari suatu instrumen terhadap nilai acuan atau nilai sebenarnya (*true value*). Dalam sistem pengukuran, error digunakan sebagai indikator untuk menilai kualitas dan ketelitian suatu alat ukur. Semakin kecil nilai error, maka hasil pengukuran semakin mendekati nilai acuan sehingga kinerja instrumen dapat dikatakan semakin baik. Sebaliknya, nilai error yang besar menunjukkan adanya penyimpangan pengukuran yang lebih tinggi terhadap nilai acuan. Secara umum, error dapat dinyatakan sebagai selisih antara nilai hasil pengukuran dan nilai acuan. Selisih tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk error absolut maupun error relatif. Pada penelitian eksperimental, error relatif lebih sering digunakan karena mampu menunjukkan besarnya penyimpangan dalam bentuk persentase sehingga lebih mudah dibandingkan pada berbagai rentang pengukuran [5].

Akurasi pengukuran merupakan tingkat kedekatan antara nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai referensi yang digunakan sebagai acuan[6]. Dalam sistem instrumentasi dan pengukuran fluida, akurasi menjadi parameter utama dalam menilai kinerja alat ukur karena berpengaruh langsung terhadap keandalan data yang dihasilkan. Pengukuran dengan tingkat akurasi yang rendah dapat menyebabkan kesalahan dalam analisis teknis, perhitungan daya, serta evaluasi kinerja sistem energi, termasuk pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Kesalahan pengukuran didefinisikan sebagai selisih antara nilai hasil pengukuran dengan nilai referensi[7]. Secara umum, kesalahan pengukuran diklasifikasikan menjadi kesalahan sistematis dan kesalahan acak. Kesalahan sistematis terjadi secara konsisten akibat faktor-faktor tertentu, seperti kesalahan kalibrasi, kesalahan pemasangan sensor, atau pengaruh lingkungan yang tidak diperhitungkan. Sementara itu, kesalahan acak bersifat tidak menentu dan disebabkan oleh fluktuasi sinyal, gangguan lingkungan, serta keterbatasan resolusi alat ukur. Akurasi pengukuran debit atau laju aliran fluida sangat dipengaruhi oleh kualitas sinyal yang diterima sensor.

Objek Penelitian



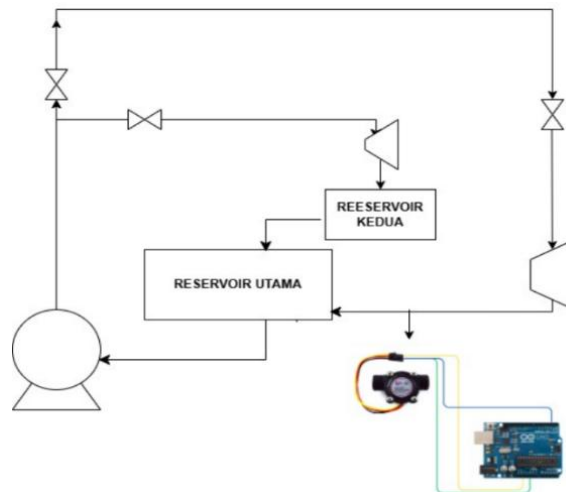
Gambar 2. 1 *Prototype PLTMH*

Objek penelitian ini adalah *prototype* PLTMH yang berada di labolatorium perguruan tinggi tempat penulis melakukan penelitian. Pada penelitian ini objek yang diteliti hanya pada sensor flowmeternya saja untuk menganalisa dan mengetahui nilai error dari flowmeter acuan yang terpasang dengan flowmeter ultrasonik.

Gambar:

1. Pompa Sentrifugal
2. *Reservoir* Utama
3. Pipa Pesat
4. Katup Turbin *CrossFlow*
5. Turbin *CrossFlow*
6. Generator *Synchronous*
7. Katup Turbin Sentrifugal
8. Turbin Sentrifugal
9. *Flywheel*
10. Panel Listrik
11. Generator Induksi
12. *Reservoir* kedua

Untuk lebih memudahkan dalam proses analisa berikut adalah gambar single line diagram *prototype* PLTMH:



Gambar 2. 2 Diagram Line PLTMH

Gambar 2.2 merupakan single line diagram dari objek penelitian yang dilakukan. Gambar tersebut menunjukkan rancangan sistem pengukuran debit air pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem dirancang dengan konsep sirkulasi tertutup (menunjukkan rancangan sistem pengukuran debit air pada mini plant Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem dirancang dengan konsep sirkulasi tertutup (*closed loop*), sehingga air yang digunakan dalam pengujian akan terus bersirkulasi dari reservoir utama menuju sistem perpipaan dan kembali lagi ke reservoir utama. Konfigurasi ini memungkinkan proses pengambilan data dilakukan secara kontinu tanpa memerlukan suplai air dari luar.



Gambar 2. 3 Flowmeter YF-S201

Flowmeter YF-S201 merupakan sensor debit air yang bekerja berdasarkan prinsip *hall effect* untuk mengukur laju aliran fluida. Sensor ini terdiri atas rumah sensor (body), rotor dengan magnet permanen, dan sensor Hall. Ketika fluida mengalir melalui sensor, rotor akan berputar mengikuti kecepatan aliran air. Putaran rotor menyebabkan magnet permanen yang terpasang pada rotor melintasi sensor Hall sehingga menghasilkan pulsa listrik[8]. Jumlah pulsa yang dihasilkan sebanding dengan laju aliran fluida yang melewati sensor. Pulsa tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk dihitung menjadi nilai debit atau kecepatan aliran sesuai dengan algoritma dan faktor kalibrasi yang digunakan. Pada penelitian ini, flowmeter YF-S201 digunakan sebagai flowmeter uji yang dikembangkan untuk melakukan pengukuran aliran air secara real-time pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Sensor diintegrasikan dengan Arduino Uno sebagai unit pemroses data sehingga hasil pembacaan dapat diolah, ditampilkan, dan direkam secara otomatis. Sistem ini memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara kontinu sehingga mempermudah analisis karakteristik aliran selama pengujian.



Gambar 2. 4 Flowmeter Ultrasonik

Flowmeter ultrasonik merupakan salah satu jenis alat ukur laju aliran fluida yang bekerja berdasarkan pemanfaatan gelombang ultrasonik untuk menentukan kecepatan aliran fluida di dalam suatu saluran. Metode ini tergolong sebagai teknik pengukuran non-intrusif karena tidak memerlukan komponen mekanik yang bersentuhan langsung dengan fluida, sehingga tidak menimbulkan kehilangan tekanan (pressure loss) dan minim gangguan terhadap karakteristik aliran [2]. Prinsip dasar pengukuran flowmeter ultrasonik didasarkan pada perambatan gelombang ultrasonik di dalam fluida. Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu Metode transit-time. Metode transit-time menggunakan sensor ultrasonik ditempatkan saling berhadapan pada dinding pipa dengan sudut tertentu. Waktu tempuh gelombang ultrasonik searah aliran akan lebih cepat dibandingkan waktu tempuh gelombang yang berlawanan arah aliran. Perbedaan waktu tempuh tersebut digunakan untuk menghitung kecepatan rata-rata fluida, yang selanjutnya dikonversikan menjadi debit volumetrik. Flowmeter ultrasonik memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan metode pengukuran debit konvensional. Keunggulan tersebut meliputi pemasangan yang relatif mudah, kemampuan pengukuran dua arah aliran, rentang pengukuran yang luas, serta tingkat akurasi yang tinggi pada kondisi aliran yang stabil. Selain itu, sifat non-intrusif menjadikan flowmeter ultrasonik sangat sesuai untuk aplikasi pada sistem energi air seperti PLTMH, di mana kestabilan aliran dan keandalan pengukuran debit menjadi faktor penting dalam evaluasi kinerja sistem.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan mengamati perubahan nilai debit aliran air pada beberapa variasi bukaan katup[9]. Variasi bukaan katup digunakan untuk menghasilkan perbedaan laju aliran air yang melewati sensor flowmeter sehingga dapat diketahui pengaruh perubahan debit terhadap hasil pengukuran yang diperoleh sistem monitoring berbasis Arduino. Pengambilan data dilakukan pada empat variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% dari bukaan penuh.

Coding Arduino IDE

Arduino merupakan sebuah platform elektronik bersifat open-source yang dirancang untuk memudahkan penggunaan rekayasa elektronik dalam berbagai bidang. Platform ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu perangkat keras (hardware) berupa papan sirkuit pengembangan (development board) dengan mikrokontroler, dan perangkat lunak (software) berupa Arduino Integrated Development Environment (IDE)[10].

1. Deklarasi Variabel & Setup

Program diawali dengan deklarasi variabel yang digunakan untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor, yaitu variabel X dan Y untuk menyimpan durasi pulsa logika *HIGH* dan *LOW* dari sensor flowmeter. Selain itu, terdapat variabel bertipe *float* seperti *TIME*, *FREQUENCY*, *FLOW*, *LS*, dan *TOTAL* yang digunakan untuk menghitung periode pulsa, frekuensi, debit aliran, debit dalam satuan liter per detik, serta volume total air yang mengalir. Komunikasi serial diinisialisasi dengan kecepatan 9600 bps menggunakan perintah *serial.begin(9600)*. Pin sensor kemudian dikonfigurasi sebagai masukan menggunakan *pinMode(input, INPUT)*. Setelah itu Arduino mengirimkan beberapa perintah untuk *PLX-DAQ*, yaitu *CLEAR SHEET* untuk menghapus data sebelumnya, *RESET TIMER* untuk mengatur ulang pencacah waktu, dan *LABEL* untuk membuat judul kolom pada lembar kerja Excel.

1	<code>int X;</code>	19	
2	<code>int Y;</code>	20	<code>pinMode(input, INPUT);</code>
3		21	
4	<code>float TIME = 0;</code>	22	<code>delay(3000);</code>
5	<code>float FREQUENCY = 0;</code>	23	
6	<code>float FLOW = 0;</code>	24	<code>// Header PLX-DAQ</code>
7	<code>float TOTAL = 0;</code>	25	<code>Serial.println("CLEARSHEET");</code>
8	<code>float LS = 0;</code>	26	<code>Serial.println("RESETTIMER");</code>
9		27	<code>Serial.println("LABEL,Date,Time,Flow(L/min),Flow(L/s),Volume(L)");</code>
10	<code>const int input = 2;</code>	28	<code>}</code>

Gambar 2. 5 Deklarasi Vriabel % Setup

komunikasi serial diinisialisasi dengan kecepatan 9600 bps menggunakan perintah *serial.begin(9600)*. Pin sensor kemudian dikonfigurasi sebagai masukan menggunakan *pinMode(input, INPUT)*. Setelah itu Arduino mengirimkan beberapa perintah untuk *PLX-DAQ*, yaitu *CLEARSHEET* untuk menghapus data sebelumnya, *RESETTIMER* untuk mengatur ulang pencacah waktu, dan *LABEL* untuk membuat judul kolom pada lembar kerja Excel.

Nilai durasi *HIGH* dan *LOW* kemudian dijumlahkan untuk memperoleh periode satu siklus sinyal.

41	
42	<code>TIME = X + Y;</code>
43	

Gambar 2. 6 Frekuesnsi

Berdasarkan nilai periode tersebut, frekuensi pulsa dihitung menggunakan persamaan:

$$f = \frac{1.000.000}{T} \quad (2.1)$$

Keterangan:

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode sinyal (μ s)

Sensor flowmeter yang digunakan memiliki konstanta kalibrasi sebesar 7,5 pulsa per liter per menit. Oleh karena itu, debit aliran dalam satuan liter per menit diperoleh dengan membagi frekuensi terhadap konstanta kalibrasi dari sensor YF-S201.

$$Q = \frac{f}{7,5} \quad (2.2)$$

Dengan:

Q = Debit aliran air (L/m)

f = Frekuensi (Hz)

Implementasi pada program:

52	
53	<code>FLOW = FREQUENCY / 7.5; // L/min</code>
54	<code>LS = FLOW / 60.0; // L/s</code>
55	

Gambar 2. 7 Debit dan Frekuensi

2. Menghitung Volume Air

55	
56	<code>// volume selama 10 detik</code>
57	<code>TOTAL += LS * 10;</code>
58	

Gambar 2. 8 Menentukan Volume Air

Volume air dihitung berdasarkan persamaan debit:

$$V = Q \times t \quad (2.3)$$

Dengan:

V = Volume (L)

Q = Debit (L/s)

t = Waktu (10s)

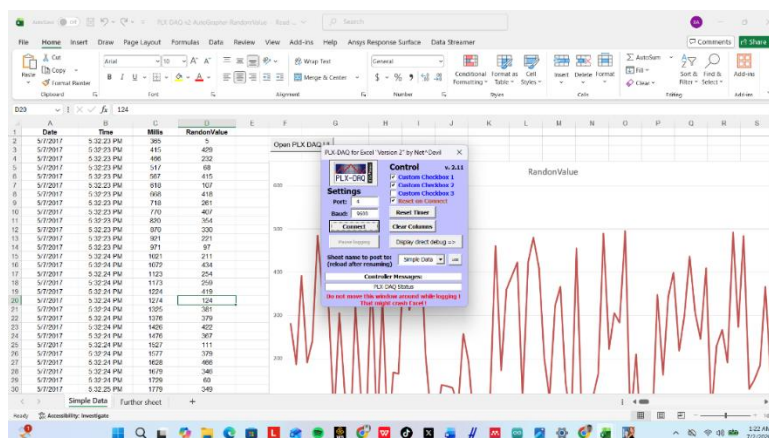
3. Pengiriman data ke PLX-DAQ

```
59 // Kirim ke PLX-DAQ
60 Serial.print("DATA,DATE,TIME,");
61 Serial.print(FLOW, 2);
62 Serial.print(",");
63 Serial.print(LS, 4);
64 Serial.print(",");
65 Serial.println(TOTAL, 4);
```

Gambar 2. 9 Mengirim ke PLX-DAQ

Selanjutnya, seluruh data hasil perhitungan dikirimkan ke PLX-DAQ melalui komunikasi serial sehingga dapat ditampilkan dan direkam secara otomatis pada Microsoft Excel. Data yang dikirim meliputi tanggal, waktu, debit dalam satuan liter per menit, debit dalam satuan liter per detik, serta volume total air yang telah mengalir.

PLX-DAQ



Gambar 2. 10 PLX-DAQ

Gambar 3.12 menunjukkan tampilan dari Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ) yang merupakan sebuah perangkat lunak (*software*) yang berguna untuk mengumpulkan data serial dari arduino ke komputer dan dicatat langsung kedalam microsoft excel secara *real-time*. Pada sistem data akuisisi ini digunakan untuk menampilkan rekaman data dan grafik dari kondisi aliran yang direkam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Flowmeter

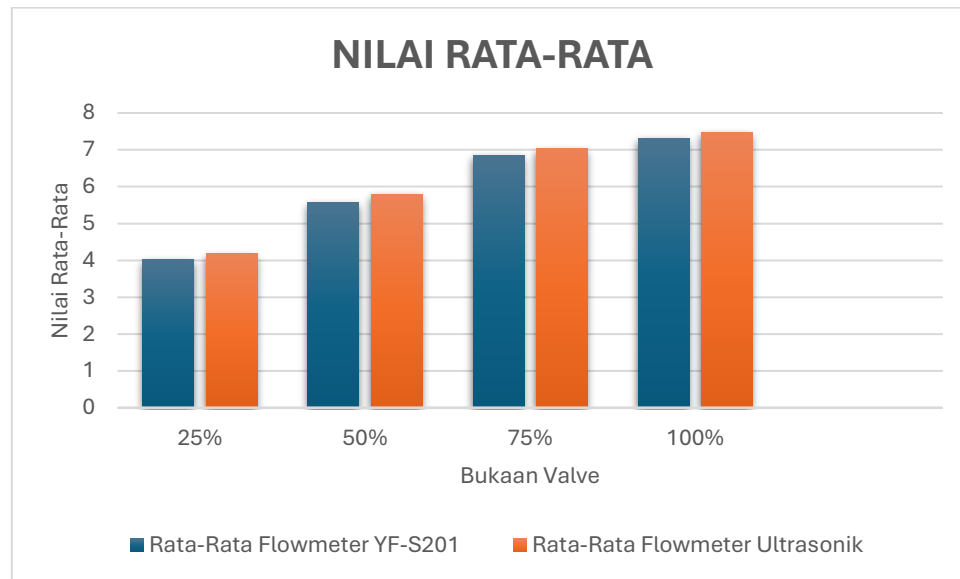
Pengujian dilakukan pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dengan membandingkan hasil pengukuran debit antara flowmeter ultrasonik dan flowmeter acuan. Pengambilan data dilakukan pada empat variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada setiap variasi bukaan katup dilakukan pengukuran berulang untuk memperoleh nilai debit yang representatif karena hubungan pengaruh bukaan katup terhadap Q air

Tabel 3. 1 Nilai Rata-Rata

Bukaan valve %	Nilai Rata-Rata Flowmeter YF-S201	Nilai Rata-Rata Flowmeter Ultrasonik

	(L/min)	(L/min)
25	4,02	4,18
50	5,56	5,79
75	6,85	7,03
100	7,31	7,46

Tabel 3.1 menunjukkan nilai rata-rata dari setiap variabel bukaan katup 25%, 50%, 75%, 100% dengan menggunakan 2 alat ukur flowmeter yaitu flowmeter YF-S201 dan flowmeter ultrasonik. Untuk memudahkan analisis data berikut adalah grafik dari nilai rata-rata tabel 3.1



Gambar 3. 1 Grafik Rata-Rata

Gambar 3.1 menunjukkan perbandingan nilai rata-rata hasil pengukuran debit antara flowmeter YF-S201 dan flowmeter ultrasonik pada empat variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai rata-rata yang dihasilkan oleh kedua flowmeter mengalami peningkatan seiring bertambahnya persentase bukaan katup.

Perhitungan Error dan Akurasi Perhitungan

Analisis akurasi dilakukan dengan menghitung persentase error antara debit yang diukur flowmeter ultrasonik dan flowmeter acuan menggunakan persamaan:

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{Q_{\text{acuan}} - Q_{\text{ultrasonik}}}{Q_{\text{acuan}}} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan:

Q_{acuan} = debit hasil pembacaan flowmeter acuan (L/min)

$Q_{\text{ultrasonik}}$ = debit hasil pembacaan flowmeter ultrasonik (L/min)

Sedangkan akurasi alat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Error} \quad (3.2)$$

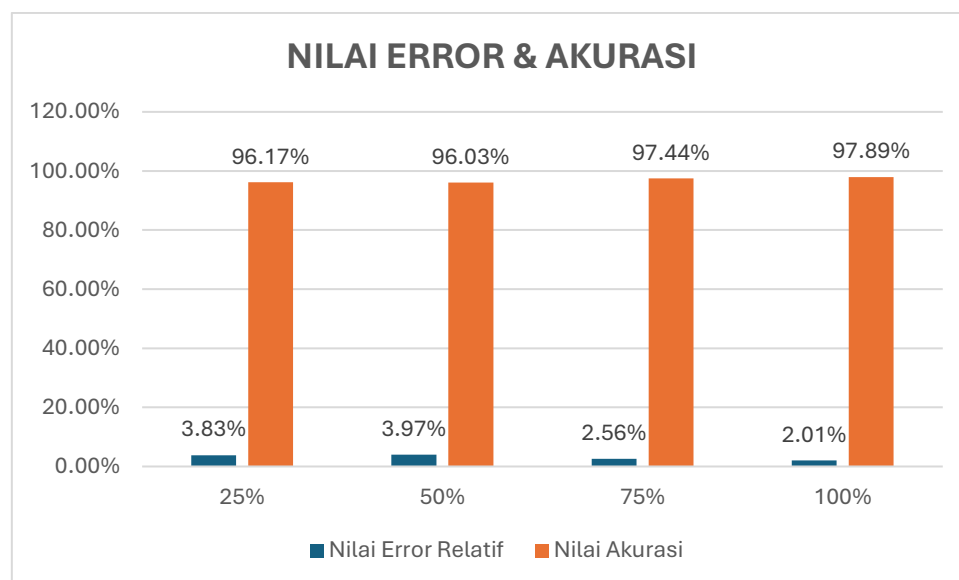
Tabel 3. 2 Nilai Error dan Akurasi

Bukaan valve %	Nilai Rata-Rata Flowmeter YF-S201 (L/min)	Nilai Rata-Rata Flowmeter Ultrasonik (L/min)	Nilai Error Relatif %	Nilai Akurasi %
----------------	---	--	-----------------------	-----------------

25	4,02	4,18	3,83%	96,17%
50	5,56	5,79	3,97%	96,03%
75	6,85	7,03	2,56%	97,44%
100	7,31	7,46	2,01%	97,89%

Tabel 3.2 menampilkan hasil perhitungan, nilai error relatif mengalami penurunan seiring meningkatnya bukaan valve. Pada bukaan 25% diperoleh error relatif sebesar **3,83%**, kemudian **3,97%** pada bukaan 50%, **2,56%** pada bukaan 75%, dan nilai terendah sebesar **2,01%** pada bukaan 100%. Penurunan error relatif menunjukkan bahwa hasil pengukuran flowmeter YF-S201 semakin mendekati hasil pengukuran flowmeter ultrasonik ketika debit aliran semakin besar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sensor YF-S201 memiliki performa yang lebih baik pada laju aliran yang lebih tinggi.

Nilai **akurasi** yang diperoleh juga menunjukkan tren peningkatan pada setiap variasi bukaan valve. Akurasi pengukuran berturut-turut sebesar **96,17%**, **96,03%**, **97,44%**, dan **97,89%** untuk bukaan valve 25%, 50%, 75%, dan 100%. Seluruh nilai akurasi berada di atas **96%**, yang menunjukkan bahwa flowmeter YF-S201 memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap flowmeter ultrasonik sebagai alat acuan. Hasil ini membuktikan bahwa sistem pengukuran berbasis Arduino dengan sensor YF-S201 mampu mengukur debit air secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik, sehingga layak diterapkan pada sistem PLTMH skala kecil untuk keperluan pemantauan laju aliran air. Untuk memudahkan analisis data berikut adalah grafik dari tabel 3.2



Gambar 3. 2 Grafik Error dan Akurasi

Analisis Pengaruh Bukaan katup

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar bukaan katup maka debit air yang mengalir melalui sistem PLTMH semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena luas penampang efektif aliran bertambah sehingga hambatan aliran berkurang dan volume air yang mengalir setiap satuan waktu menjadi lebih besar. Peningkatan debit tersebut juga menyebabkan frekuensi pulsa yang dihasilkan sensor flowmeter bertambah. Sesuai karakteristik sensor YF-S201, frekuensi pulsa berbanding lurus terhadap debit aliran sehingga Arduino dapat menghitung debit berdasarkan konstanta kalibrasi sebesar 7,5 Hz/(L/min). Pada setiap variasi bukaan katup masih dijumpai perbedaan kecil antara hasil pengukuran flowmeter ultrasonik dan flowmeter acuan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi aliran yang belum sepenuhnya stabil, turbulensi fluida, posisi pemasangan sensor, serta karakteristik permukaan dalam pipa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), dapat disimpulkan bahwa sistem pengukuran debit air berbasis flowmeter YF-S201 dan Arduino Uno mampu melakukan pemantauan debit secara real-time dengan baik. Sistem berhasil

mengakuisisi data, mengolah hasil pengukuran, serta merekam data secara otomatis ke Microsoft Excel melalui PLX-DAQ.

Hasil perbandingan terhadap flowmeter ultrasonik sebagai alat acuan menunjukkan bahwa nilai debit yang diukur kedua instrumen memiliki kecenderungan yang sebanding pada seluruh variasi bukaan valve. Nilai rata-rata debit meningkat seiring bertambahnya bukaan valve, yaitu dari 4,02 L/min pada bukaan 25% hingga 7,31 L/min pada bukaan 100% untuk flowmeter YF-S201, sedangkan flowmeter ultrasonik menghasilkan rentang 4,18–7,46 L/min.

Analisis akurasi menunjukkan bahwa error relatif berada pada rentang 2,01–3,97%, dengan nilai error terkecil diperoleh pada bukaan valve 100%. Sementara itu, akurasi pengukuran berada pada rentang 96,03–97,89%. Hasil ini menunjukkan bahwa performa flowmeter YF-S201 semakin baik pada debit aliran yang lebih tinggi dan memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap flowmeter ultrasonik sebagai alat acuan.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa sistem flowmeter berbasis Arduino Uno yang dikembangkan layak digunakan sebagai sistem monitoring debit air pada prototype PLTMH skala laboratorium, karena mampu memberikan hasil pengukuran dengan tingkat akurasi di atas 96% dan error relatif di bawah 4%.

Referensi

- [1] M. Sofyan and I. Made Sudana, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berdasarkan Debit Air dan Kebutuhan Energi Listrik,” *JuLIET*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [2] R. Baker, “Flow Measurement Handbook - R. C. Baker - Google Books.” Accessed: Jan. 28, 2026. [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=D4-5DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR25&dq=Baker,+R.+C.+\(2016\).+Flow+Measurement+Handbook:+Industrial+Designs,+Operating+Principles,+Performance,+and+Applications.+Cambridge+University+Press.&ots=SK-qc1FZbL&sig=sBBGOc_4y82DJ0fhZ7dOxLssIwc&redir_esc=y#v=onepage&q=Baker%2C%20R.%20C.%20\(2016\).%20Flow%20Measurement%20Handbook%3A%20Industrial%20Designs%2C%20Operating%20Principles%2C%20Performance%2C%20and%20Applications.%20Cambridge%20University%20Press.&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=D4-5DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR25&dq=Baker,+R.+C.+(2016).+Flow+Measurement+Handbook:+Industrial+Designs,+Operating+Principles,+Performance,+and+Applications.+Cambridge+University+Press.&ots=SK-qc1FZbL&sig=sBBGOc_4y82DJ0fhZ7dOxLssIwc&redir_esc=y#v=onepage&q=Baker%2C%20R.%20C.%20(2016).%20Flow%20Measurement%20Handbook%3A%20Industrial%20Designs%2C%20Operating%20Principles%2C%20Performance%2C%20and%20Applications.%20Cambridge%20University%20Press.&f=false)
- [3] M. S. HUDA and M. S. HUDA, “Peningkatan Akurasi Pada Pengukuran Air Flow Berbasis Sensor Differential Pressure,” 2021.
- [4] Y. Xue, C. Stewart, D. Kelly, D. Campbell, and M. Gormley, “Two-Phase Annular Flow in Vertical Pipes: A Critical Review of Current Research Techniques and Progress,” Nov. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/w14213496.
- [5] M. Waruwu, S. N. Pu'at, P. R. Utami, E. Yanti, and M. Rusydiana, “Metode Penelitian Kuantitatif: Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan,” *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, vol. 10, no. 1, pp. 917–932, Feb. 2025, doi: 10.29303/jipp.v10i1.3057.
- [6] J. Kesehatan STIKES Bethesda Yakkum Yogyakarta *et al.*, “METODE PENELITIAN EKSPERIMENTAL,” *Jurnal Kesehatan*, vol. 11, no. 2. 2019
- [7] G. Herandy and B. Suprianto, “MONITORING BIAYA DAN PENGUKURAN KONSUMSI DAYA LISTRIK BERBASIS ARDUINO MEGA2560 MENGGUNAKAN WEB.” 2019
- [8] M. Fluorida Fibrianda and A. Bhawiyuga, “Analisis Perbandingan Akurasi Deteksi Serangan Pada Jaringan Komputer Dengan Metode Naïve Bayes Dan Support Vector Machine (SVM),” 2018. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [9] M. Ranga, A. Nasution, and M. Hayaty, “Perbandingan Akurasi dan Waktu Proses Algoritma K-NN dan SVM dalam Analisis Sentimen Twitter,” *JURNAL INFORMATIKA*, vol. 6, no. 2, pp. 212–218, 2019, [Online]. Available: <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/ji>
- [10] A. Djalilov, O. Nazarov, E. Sobirov, U. Tasheva, J. Abdunabiyev, and S. Urolov, “Research of water flow measuring device based on Arduino platform,” in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jul. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202340104039.
- [11] A. Shakirovich Ismailov Zafar Botirovich Jo, “Study of arduino microcontroller board.” [Online]. Available: www.openscience.uz 2025