

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

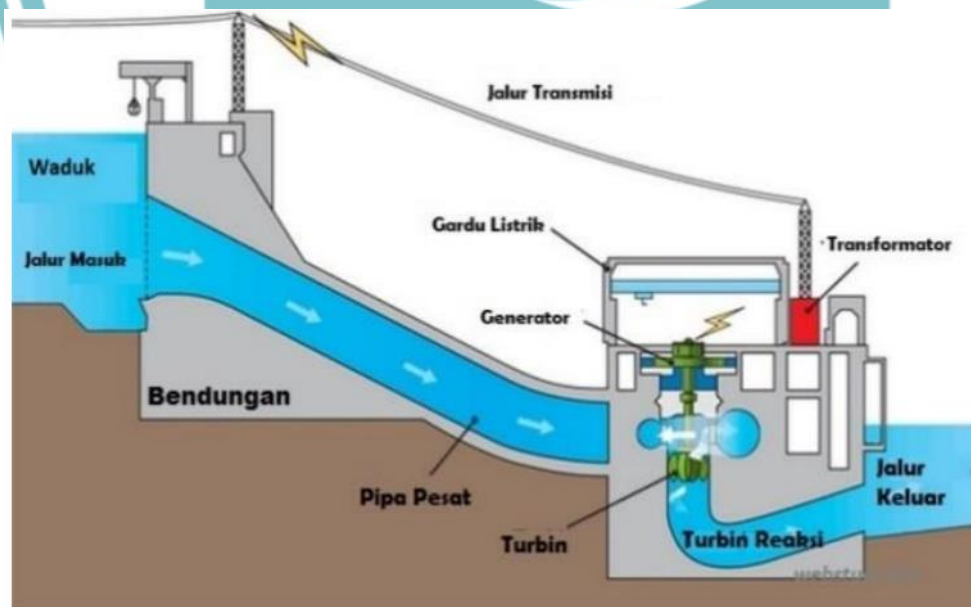
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan sistem pembangkit listrik tenaga air berskala kecil yang memanfaatkan energi potensial dan kinetik aliran air untuk menghasilkan energi listrik. PLTMH umumnya memiliki kapasitas daya hingga 100 kW dan banyak dikembangkan sebagai solusi penyediaan energi listrik berkelanjutan di daerah terpencil, khususnya wilayah yang memiliki potensi sumber daya air dengan debit dan head yang relatif stabil [1].

Prinsip kerja PLTMH didasarkan pada proses konversi energi air menjadi energi mekanik melalui turbin, kemudian energi mekanik tersebut diubah menjadi energi listrik oleh generator. Energi yang dimanfaatkan berasal dari kombinasi antara ketinggian jatuh air (head) dan laju aliran air (debit). Kedua parameter tersebut menjadi faktor utama dalam menentukan besar daya listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTMH[5]. Berikut beberapa komponen PLTMH yang dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. 1 Skema PLTMH

1. Bendungan (*Reservoir*)

Bendungan adalah komponen utama PLTMH yang berfungsi sebagai tempat penampungan air untuk dialirkan ke turbin. Bentuk dari bendungan bisa



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berbentuk alami seperti batu batuan yang disusun serta cekungan alami yang terbentuk, atau bisa juga berbentuk konstruksi beton yang sengaja dibuat dengan menyesuaikan topografi dan karakteristik aliran air di tempat yang ditentukan.

2. Pipa pesat (*Penstock*)

Pipa pesat adalah komponen yang berfungsi menyalurkan aliran air dari bak penampung atau bendungan menuju rumah pembangkit lalu menggerakkan turbin sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Pipa pesat dibuat untuk menangani tekanan air yang berlebih dan memaksimalkan energi potensial dari jatuhnya air sehingga semakin tinggi efektifitas dari aliran air menuju turbin.

3. Turbin

Turbin merupakan komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang berfungsi mengubah energi potensial dan energi kinetik air menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Energi mekanik yang dihasilkan turbin kemudian diteruskan ke generator untuk dikonversi menjadi energi listrik.

4. Generator

Generator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang berfungsi mengubah energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik. Proses konversi energi ini terjadi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu perubahan medan magnet yang menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan penghantar.

5. Saluran buang (*Trailrace*)

Saluran buang (*tailrace*) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang berfungsi mengalirkan air keluar dari turbin dan mengembalikannya ke sungai atau saluran air setelah energi yang terkandung di dalamnya dimanfaatkan untuk memutar turbin. Saluran buang menjadi bagian akhir dari proses konversi energi pada PLTMH.

Dalam perancangan dan pengoperasian PLTMH, laju aliran air (debit) merupakan salah satu parameter yang sangat menentukan kinerja sistem. Daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH secara teoritis dapat dinyatakan sebagai fungsi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dari debit aliran, head, dan efisiensi sistem. Oleh karena itu, perubahan kecil pada nilai debit dapat berdampak signifikan terhadap daya keluaran dan efisiensi pembangkit. Pengukuran debit aliran air yang akurat sangat diperlukan untuk memastikan keandalan operasi PLTMH serta untuk evaluasi kinerja sistem secara menyeluruh. Ketidakakuratan pengukuran debit dapat menyebabkan kesalahan dalam perhitungan potensi daya, pemilihan jenis turbin, serta analisis efisiensi sistem. Seiring perkembangan teknologi instrumentasi, penggunaan metode pengukuran debit non-intrusif seperti flowmeter ultrasonik mulai banyak dikaji dan diterapkan karena memiliki keunggulan berupa pemasangan yang mudah kehilangan tekanan yang rendah, serta tingkat akurasi yang tinggi pada sistem aliran air tertutup maupun terbuka[6].

Dalam pengoperasiannya, kinerja dan kapasitas daya yang dihasilkan oleh PLTMH sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrologi sumber air, terutama nilai debit aliran (*flow rate*) dan tinggi jatuh air (*head*). Kedua parameter tersebut merupakan faktor utama yang menentukan besarnya energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Oleh karena itu, pengukuran dan pemantauan debit aliran air secara akurat menjadi aspek yang sangat penting dalam proses perencanaan, pengoperasian, maupun evaluasi kinerja sistem PLTMH. Kesalahan dalam pengukuran debit dapat menyebabkan ketidaksesuaian antara potensi daya yang dihitung dengan daya aktual yang dihasilkan oleh pembangkit.

2.1.1 Laju Aliran Fluida

Laju aliran fluida merupakan besaran fisis yang menyatakan jumlah fluida yang mengalir melalui suatu penampang dalam selang waktu tertentu. Dalam sistem hidrolika dan aplikasi rekayasa energi, laju aliran menjadi parameter fundamental karena secara langsung memengaruhi performa sistem, efisiensi konversi energi, serta karakteristik operasional suatu instalasi fluida, termasuk pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)[7].

Secara umum, laju aliran fluida dapat dinyatakan dalam dua bentuk, yaitu debit volumetrik dan debit massa. Debit volumetrik didefinisikan sebagai volume fluida yang mengalir melewati suatu penampang per satuan waktu. Besaran ini umumnya dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/s) atau liter per detik



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(L/s). Secara matematis, debit volumetrik dapat dinyatakan sebagai hasil perkalian antara luas penampang aliran dan kecepatan rata-rata fluida, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan[8].

$$Q = A \cdot v \quad 2.1$$

Keterangan:

Q= Debit Volumetrik (m^3/s)

A= Luas Penampang Aliran (m^2)

V= Kecepatan rata rata aliran fluida (m/s)

Debit massa menjadi parameter penting dalam analisis sistem termofluida dan sistem energi, terutama ketika variasi temperatur dan tekanan menyebabkan perubahan sifat fisik fluida[7].

Pemahaman yang baik mengenai konsep debit volumetrik dan debit massa sangat penting dalam pemilihan metode pengukuran laju aliran. Metode pengukuran modern, termasuk flowmeter ultrasonik, umumnya mengukur kecepatan aliran fluida yang kemudian dikonversikan menjadi debit volumetrik atau debit massa melalui persamaan matematis dan parameter sifat fluida. Oleh karena itu, ketepatan definisi dan pemahaman laju aliran menjadi dasar utama dalam analisis akurasi sistem pengukuran debit aliran air.

Setiap jenis cairan memiliki tingkat kekentalan atau viskositas yang berbeda-beda, bergantung pada konsentrasi zat yang terkandung di dalamnya. Viskositas merupakan salah satu sifat fisik yang menunjukkan kemampuan suatu cairan dalam menahan gaya gesek. Secara umum, viskositas menggambarkan tingkat kekentalan atau keenceran suatu fluida yang berkaitan dengan besarnya gesekan internal di dalam fluida tersebut. Semakin tinggi nilai viskositas, semakin besar hambatan yang dialami oleh benda saat bergerak melewati cairan. Nilai viskositas dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, tekanan, dan konsentrasi larutan. Pengukuran viskositas dapat dilakukan dalam dua jenis, yaitu viskositas absolut (dynamic viscosity) dan viskositas kinematik (kinematic viscosity). Berikut tabel viskositas dari air dengan pengaruh perubahan suhu.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 2. 1 Sifat Fisik Air
Sumber:[9]

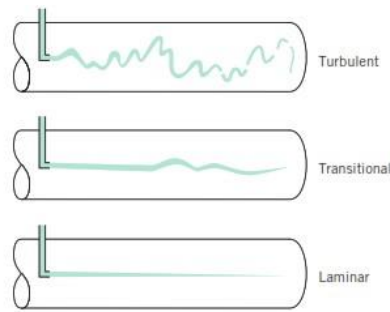
Temperatur (°C)	Massa jenis, ρ (kg/m ³)	Viskositas <i>Dynamic</i> , μ (N.s/m ²)
0	999,9	1,787 x10 ⁻³
5	1000	1,519 x10 ⁻³
10	999,7	1,307 x10 ⁻³
20	998,2	1,002 x10 ⁻³
30	995,7	7,975 x10 ⁻⁴
40	992,2	6,529 x10 ⁻⁴
50	988,1	5,468 x10 ⁻⁴
60	983,2	4,665 x10 ⁻⁴
70	977,8	4,042 x10 ⁻⁴
80	971,8	3,547 x10 ⁻⁴
90	965,3	3,147 x10 ⁻⁴
100	958,4	2,818 x10 ⁻⁴

Aliran fluida yang memiliki viskositas dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar terjadi ketika pengaruh viskositas cukup dominan sehingga partikel-partikel fluida bergerak secara teratur mengikuti lintasan yang sejajar tanpa terjadi pencampuran antar lapisan fluida. Kondisi ini umumnya ditemukan pada fluida dengan viskositas tinggi dan kecepatan aliran yang relatif rendah. Sebaliknya, apabila pengaruh viskositas berkurang atau kecepatan aliran meningkat, maka pola aliran dapat berubah menjadi aliran turbulen yang ditandai dengan pergerakan fluida yang tidak teratur dan terbentuknya pusaran-pusaran di dalam aliran.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 2 Sifat Aliran Fluida
Sumber:[6]

Osborne Reynolds melakukan serangkaian percobaan untuk mengidentifikasi karakteristik aliran laminar dan turbulen. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan oleh Reynolds pada aliran fluida di dalam pipa, diketahui bahwa karakteristik aliran dapat ditentukan melalui bilangan Reynolds. Apabila nilai bilangan Reynolds kurang dari 2300, gaya viskositas masih mampu meredam gangguan yang terjadi pada aliran sehingga aliran tetap stabil dan dikategorikan sebagai aliran laminar. Sementara itu, jika nilai bilangan Reynolds berada pada rentang 2300 hingga 4000, aliran berada pada daerah transisi, yaitu kondisi peralihan dari aliran laminar menuju aliran turbulen.

2.1.2 Flowmeter YF-DN50

Flowmeter YF-DN50 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[10]. 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-DN50 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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dilakukan secara kontinu sehingga mempermudah analisis karakteristik aliran selama pengujian.



Gambar 2. 3 Flowmeter YF-DN50

Flowmeter YF-DN50 memiliki beberapa keunggulan, antara lain harga yang relatif terjangkau, ukuran yang ringkas, konsumsi daya yang rendah, serta kemudahan integrasi dengan berbagai platform mikrokontroler seperti Arduino Uno. Selain itu, sensor ini mampu menghasilkan keluaran berupa sinyal digital berbentuk pulsa sehingga proses pengolahan data menjadi lebih sederhana. Karakteristik tersebut menjadikan YF-DN50 banyak digunakan pada sistem monitoring debit air, otomasi industri, sistem irigasi.

Meskipun demikian, kinerja flowmeter YF-DN50 dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti stabilitas aliran, keberadaan gelembung udara, kualitas instalasi perpipaan, dan proses kalibrasi. Perubahan kondisi aliran dapat memengaruhi kecepatan putaran rotor sehingga berpengaruh terhadap jumlah pulsa yang dihasilkan. Oleh karena itu, proses kalibrasi dan evaluasi kinerja sensor perlu dilakukan untuk memastikan hasil pengukuran memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik.

2.1.3 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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

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 [6]. ditunjukkan oleh Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Flowmeter Ultrasonik

Prinsip kerja ultrasonic flowmeter didasarkan pada metode transit-time, yaitu metode yang memanfaatkan perbedaan waktu rambat gelombang ultrasonik untuk menentukan kecepatan aliran fluida. Pada metode ini, dua buah transduser dipasang saling berhadapan di bagian luar pipa. Kedua transduser tersebut secara bergantian berfungsi sebagai pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) gelombang ultrasonik. Gelombang yang merambat searah aliran fluida akan mencapai transduser penerima dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan gelombang yang bergerak berlawanan arah aliran. Selisih waktu tempuh kedua gelombang tersebut digunakan sebagai dasar untuk menghitung kecepatan aliran fluida, kemudian hasil perhitungan ditampilkan secara otomatis oleh perangkat dengan standar kalibrasi ISO/IEC 17025:2017[11].

Secara umum, ultrasonic flowmeter portabel terdiri atas tiga komponen utama yang bekerja secara terintegrasi, yaitu transduser ultrasonik, unit pemroses utama, dan kabel penghubung.

1. Transduser ultrasonik merupakan sepasang sensor berbahan piezoelektrik yang dipasang pada permukaan luar pipa. Komponen ini berfungsi menghasilkan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sekaligus menerima gelombang ultrasonik yang melewati fluida di dalam pipa sehingga proses pengukuran dapat dilakukan tanpa kontak langsung dengan fluida (Baker, 2016).

2. Unit pemroses utama (*handheld transmitter/display unit*), yang berfungsi mengolah sinyal yang diterima dari transduser menggunakan sistem berbasis mikroprosesor. Setelah data diproses, hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD secara *real-time*. Unit ini juga dilengkapi dengan tombol daya (*ON/OFF*) serta tombol pemilihan satuan yang memungkinkan pengguna mengubah tampilan hasil pengukuran dari meter per detik (m/s) menjadi kaki per detik (ft/s), atau sebaliknya (Lipták, 2003).
3. Kabel penghubung (*connecting cables*) yang menghubungkan transduser dengan unit pemroses. Kabel yang digunakan umumnya berupa kabel koaksial berpelindung (*shielded coaxial cable*) sehingga mampu menghantarkan sinyal ultrasonik dan impuls listrik frekuensi tinggi dengan baik. Lapisan pelindung pada kabel berfungsi mengurangi gangguan akibat interferensi elektromagnetik dari lingkungan sekitar, sehingga kualitas sinyal tetap terjaga dan hasil pengukuran menjadi lebih akurat.

Prinsip dasar pengukuran flowmeter ultrasonik didasarkan pada perambatan gelombang ultrasonik di dalam fluida. Secara umum, flowmeter ultrasonik diklasifikasikan menjadi dua metode utama yaitu:

1. 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.

2. Metode dopler

Metode doppler bekerja berdasarkan pergeseran frekuensi gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh partikel padat atau gelembung udara yang terbawa aliran fluida. Perubahan frekuensi ini sebanding dengan kecepatan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

aliran fluida. Metode Doppler umumnya digunakan pada fluida yang mengandung partikel atau gelembung, namun kurang optimal untuk fluida yang sangat bersih karena keterbatasan reflektor alami di dalam aliran. 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.

Dalam konteks sistem PLTMH, Kemampuan flowmeter ultrasonik dalam memberikan data memungkinkan evaluasi performa sistem secara lebih akurat serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengoperasian dan pengembangan PLTMH skala kecil.

2.1.4 Arduino

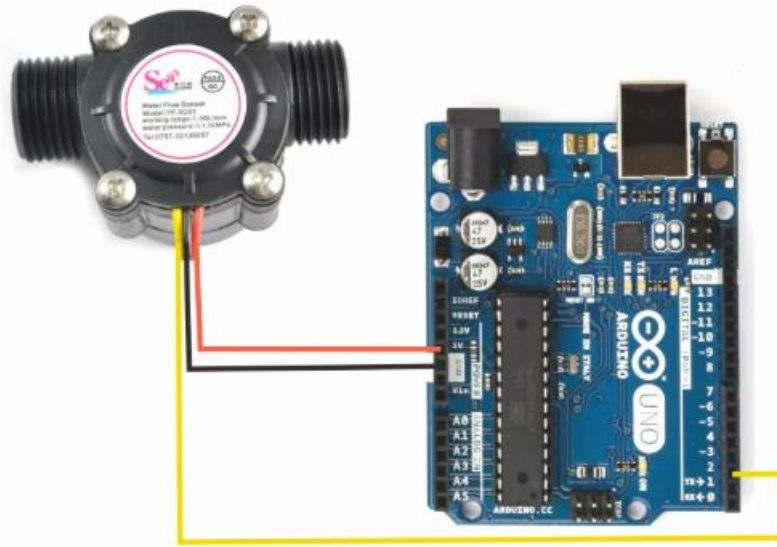
Arduino merupakan sebuah platform elektronik bersifat open-source yang dirancang untuk memudahkan penggunaan rekayasa elektronik dalam berbagai bidang. Platform ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu perangkat keras (hardware) berupa papan sirkuit pengembangan (development board) dengan mikrokontroler, dan perangkat lunak (software) berupa Arduino Integrated Development Environment (IDE) yang ditunjukkan oleh gambar 2.5



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 5 Wiring Arduino Uno

Menurut [12] arduino merupakan platform mikrokontroler *open-source* yang mudah diprogram menggunakan Arduino IDE serta banyak digunakan dalam pengembangan sistem berbasis sensor, akuisisi data, dan aplikasi otomatisasi karena kemudahan penggunaan serta fleksibilitasnya. Secara sistem, papan Arduino (seperti varian Arduino Uno yang umum digunakan) berbasis pada mikrokontroler keluaran Atmel (kini Microchip Technology), seperti seri ATmega328P. Mikrokontroler ini berfungsi sebagai unit pemroses pusat yang bertugas menerima data input, mengolah data berdasarkan algoritma yang diprogram, dan mengirimkan sinyal output. Papan Arduino dilengkapi dengan sejumlah pin Input/Output (I/O) digital dan analog yang memungkinkan sistem untuk terhubung dengan berbagai komponen eksternal. Pin digital dapat dikonfigurasi sebagai input untuk membaca status sensor atau sebagai output untuk mengendalikan modul lain, sementara pin analog berfungsi untuk membaca sinyal tegangan variabel yang kemudian dikonversi menjadi nilai digital melalui fitur Analog-to-Digital Converter (ADC). Pemrograman pada Arduino dilakukan menggunakan bahasa pemrograman C++ yang telah disederhanakan melalui pustaka (*library*) khusus Arduino.

2.2 Akurasi dan Presisi Pengukuran

Akurasi pengukuran merupakan tingkat kedekatan antara nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau nilai referensi yang digunakan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sebagai acuan. 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. 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. Gangguan (*noise*) pada sensor dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang berdampak pada ketidakakuratan hasil pengukuran.

Presisi pengukuran menunjukkan tingkat konsistensi hasil pengukuran ketika suatu besaran diukur secara berulang pada kondisi yang sama. Suatu alat ukur dikatakan memiliki presisi yang baik apabila hasil pengukuran yang diperoleh memiliki penyebaran data yang kecil, meskipun nilai tersebut belum tentu sama dengan nilai sebenarnya. Pada penelitian ini, tingkat presisi flowmeter YF-DN50 dievaluasi menggunakan parameter standar deviasi dan koefisien variasi (*coefficient of variation/CV*), yang dihitung berdasarkan sepuluh kali pengukuran pada setiap variasi bukaan katup.

2.2.1 Nilai Error Pengukuran

Nilai error merupakan besarnya penyimpangan antara hasil pengukuran yang diperoleh dari suatu instrumen terhadap nilai acuan atau nilai sebenarnya (*true value*). Pada metode pengolahan data secara garis besar terbagi menjadi dua yaitu, nilai absolut dan relatif. Nilai absolut menunjukkan nilai absolut (selalu bernilai positif) sedangkan nilai relatif menunjukkan nilai presentase dari hasil pengolahan data. Dalam sistem pengukuran, error digunakan sebagai indikator untuk menilai



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

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 [13]. Pada data yang direkam, persamaan untuk mencari nilai error absolut dan relatif dapat dinyatakan dalam persamaan:

Error Relatif:

$$\frac{Q_{uji} - Q_{acuan}}{Q_{acuan}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

Q_{acuan} = nilai flowmeter acuan (L/min)

Q_{uji} = nilai flowmeter ultrasonik (L/min)

Error Absolut:

$$Error\ absolut = |Q_{acuan} - Q_{uji}| \quad (2.1)$$

Keterangan:

v_{acuan} = nilai flowmeter ultrasonik (L/min)

v_{uji} = nilai flowmeter YF-DN50 (L/min)

2.2.1 Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan salah satu ukuran statistik yang digunakan untuk mengetahui tingkat penyebaran atau variasi suatu kumpulan data terhadap nilai rata-ratanya (*mean*). Nilai standar deviasi menunjukkan seberapa jauh setiap data menyimpang dari nilai rata-rata. Semakin kecil nilai standar deviasi, maka semakin kecil pula penyebaran data sehingga hasil pengukuran dapat dikatakan lebih konsisten. Sebaliknya, semakin besar nilai standar deviasi menunjukkan bahwa data



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

memiliki penyebaran yang lebih luas dan tingkat variasi hasil pengukuran yang lebih tinggi [14].

Dalam penelitian eksperimen, standar deviasi digunakan untuk mengevaluasi kestabilan dan konsistensi hasil pengukuran yang diperoleh dari pengulangan pengambilan data[15]. Analisis ini penting karena setiap proses pengukuran umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti karakteristik instrumen, kondisi lingkungan, maupun kesalahan pengukuran (*measurement error*). Oleh karena itu, standar deviasi dapat memberikan informasi mengenai tingkat presisi suatu alat ukur. Semakin kecil nilai standar deviasi, maka semakin baik tingkat presisi alat tersebut karena hasil pengukuran yang diperoleh cenderung berada di sekitar nilai rata-rata.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = data hasil pengukuran ke i

n = jumlah data pengukuran

Dalam perhitungan dan pengolahan data statistika terdapat 2 jenis ukuran penyebaran data, yaitu penyebaran data absolut dan penyebaran data relatif dimana standar deviasi termasuk penyebaran data absolut. Ukuran penyebaran data yang dapat digunakan untuk membandingkan standar deviasi adalah koefisien variasi. Koefisien variasi adalah statistika yang digunakan untuk mengukur tingkat relatif dari penyebaran data dalam suatu kelompok data. Koefisien variasi dinyatakan dalam bentuk persentase dengan membandingkan standar deviasi dengan rata - ratanya. Berikut adalah persamaan dari koefisien variasi (*CV*):

$$CV = \frac{s}{x} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

CV: Koefisien Variasi

S: Standar Deviasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

X: Rata-Rata

Dengan kriteria dari koefisien variasi menurut [16] $CV < 15\%$: Kategori CV rendah, yang menandakan bahwa data cenderung homogen dan memiliki sedikit variasi relatif terhadap rata – ratanya. Dengan nilai CV dibawah 15% biasanya memiliki konsistensi dan relatif stabil. 55 $CV 15\% - 30\%$: Kategori CV sedang, menunjukkan bahwa tingkat variasi relatif dalam data masih cukup terkendali. $CV > 30\%$: Kategori tinggi, menunjukkan bahwa data memiliki variasi yang signifikan relatif terhadap rata – ratanya.

2.3 Kajian Literatur

Pada penelitian ini penulis memerlukan beberapa referensi dari sejumlah literatur sebagai sumber penguat saat melakukan penelitian dan penulisan.

1. Buku yang ditulis oleh [17] dengan judul “*Based on Renewables Readiness Assessment and REmap analysis EGYPT RENEWABLE ENERGY OUTLOOK*”. Tentang pemanfaatan energi baru terbarukan di negara Mesir. Mesir memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, terutama dari tenaga surya, angin, dan hidro, serta biomassa. Pemerintah telah menetapkan target ambisius melalui *Integrated Sustainable Energy Strategy (ISES) 2035*, yaitu mencapai 42% kapasitas listrik dari energi terbarukan pada 2035. Namun, analisis REmap menunjukkan bahwa dengan kebijakan yang tepat, porsi energi terbarukan dalam bauran listrik dapat ditingkatkan hingga 53% pada 2030, yang akan mengurangi biaya sistem energi sebesar USD 0,9 miliar per tahun serta menurunkan emisi CO₂ secara signifikan. Laporan ini menjadi acuan penting bagi pengembangan energi terbarukan di negara berkembang dengan karakteristik geografis dan ekonomi serupa, serta menyoroti pentingnya integrasi kebijakan, investasi, dan kapasitas lokal dalam transisi energi berkelanjutan.[17].
2. Jurnal yang ditulis oleh [1] melakukan penelitian mengenai analisis potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berdasarkan debit andalan sungai dan kebutuhan energi listrik masyarakat. Penelitian ini menggunakan metode F.J. Mock untuk menentukan debit andalan dengan mempertimbangkan data hidrologi, seperti curah hujan dan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

evapotranspirasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit andalan sebesar 1,3147 m³/s dengan tinggi jatuh efektif 6 meter mampu menghasilkan daya keluaran generator sebesar 66,22 kW, yang dinilai cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat setempat. Penelitian ini menegaskan bahwa debit aliran air merupakan parameter utama dalam perencanaan dan kinerja PLTMH, sehingga diperlukan sistem pengukuran debit yang akurat dan andal (Sofyan & Made Sudana, 2022).

3. Menurut [5] International Energy Agency (IEA), pengembangan energi bersih dan teknologi rendah karbon merupakan langkah penting dalam mendukung transisi energi global menuju sistem yang lebih berkelanjutan. IEA mendorong peningkatan investasi pada sektor energi terbarukan, pengembangan teknologi inovatif, serta kerja sama internasional untuk meningkatkan keamanan energi dan mengurangi dampak lingkungan. Upaya tersebut menjadi dasar dalam mendukung pemanfaatan sumber energi terbarukan, termasuk tenaga air, sebagai alternatif pengganti energi fosil yang lebih ramah lingkungan.
4. Menurut [18], Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik skala kecil dengan kapasitas kurang dari 100 kW yang memanfaatkan energi potensial dan energi kinetik air untuk menghasilkan energi listrik. Sistem PLTMH bekerja dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian air (*head*) dan debit aliran air yang tersedia pada sungai, saluran irigasi, atau air terjun. Energi potensial air diubah menjadi energi mekanik melalui turbin, kemudian generator mengonversinya menjadi energi listrik. Besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh PLTMH sangat dipengaruhi oleh nilai debit aliran dan tinggi jatuh air yang tersedia di lokasi pembangkit.
5. Menurut [6] pengukuran laju aliran (*flow measurement*) merupakan proses penting dalam berbagai sistem industri untuk mengetahui jumlah fluida yang mengalir dalam suatu saluran selama periode waktu tertentu. Pengukuran debit dapat dilakukan dengan berbagai metode dan instrumen, seperti flowmeter berbasis tekanan diferensial, turbin, elektromagnetik, ultrasonik, dan vortex. Pemilihan metode pengukuran bergantung pada



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

karakteristik fluida, tingkat akurasi yang dibutuhkan, kondisi operasi, serta biaya implementasi.

6. Penelitian yang dilakukan oleh [13] mengembangkan sistem monitoring konsumsi daya listrik berbasis Arduino Mega 2560 yang terintegrasi dengan ESP8266 dan antarmuka web sehingga data pengukuran dapat dipantau secara *real time* melalui jaringan internet. Sistem menggunakan sensor SDM230 Modbus untuk mengukur parameter kelistrikan, kemudian data diproses oleh Arduino dan dikirim ke server melalui modul WiFi sebelum ditampilkan pada halaman web. Penelitian tersebut memiliki keterkaitan dengan penelitian ini karena sama-sama menerapkan Arduino sebagai mikrokontroler untuk mengolah data sensor dan mengirimkannya secara *real-time* melalui jaringan internet. Perbedaannya terletak pada objek pengukuran, yaitu penelitian [13]berfokus pada monitoring parameter konsumsi daya listrik, sedangkan penelitian ini berfokus pada pengukuran debit air menggunakan flowmeter ultrasonik pada sistem PLTMH serta mengevaluasi kinerjanya berdasarkan parameter error, akurasi, standar deviasi, dan koefisien variasi.
7. Penelitian yang dilakukan oleh [14] mengembangkan sistem monitoring banjir berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan protokol *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT). Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04, Raspberry Pi sebagai *publisher*, *Mosquitto* sebagai *broker*, dan aplikasi berbasis web sebagai *subscriber* untuk mengirim serta menampilkan data ketinggian air secara real time. Penelitian tersebut menjadi referensi dalam penerapan IoT untuk sistem monitoring real time serta penggunaan parameter akurasi dan standar deviasi dalam mengevaluasi kinerja sensor. Perbedaannya dengan penelitian ini adalah objek pengukurannya, yaitu penelitian tersebut mengukur ketinggian air, sedangkan penelitian ini mengukur debit aliran air menggunakan flowmeter ultrasonik pada sistem PLTMH berbasis Arduino Uno.
8. Penelitian yang dilakukan oleh [19] menunjukkan bahwa akurasi pengukuran debit atau laju aliran fluida sangat dipengaruhi oleh kualitas



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sinyal yang diterima sensor. Gangguan (*noise*) pada sensor dapat menyebabkan kesalahan pembacaan yang berdampak pada ketidakakuratan hasil pengukuran. Temuan ini menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem monitoring debit berbasis sensor, Arduino, dan Internet of Things (IoT) yang membutuhkan data pengukuran secara real-time dengan tingkat keakuratan yang tinggi.

9. Penelitian yang dilakukan oleh [20] mengembangkan sistem pengukuran penggunaan air otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan memanfaatkan sensor *Water Flow* YF-DN50 sebagai pengukur debit dan volume air serta NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler. Data hasil pengukuran ditampilkan secara lokal melalui *OLED* dan dikirim ke platform *ThingSpeak* serta *Telegram Bot* untuk pemantauan secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, sensor YF-DN50 memperoleh rata-rata error sebesar 1,3%, sehingga dinilai memiliki kinerja yang cukup baik untuk pengukuran volume air skala kecil. Penelitian ini menunjukkan bahwa sensor YF-DN50 dapat diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk membangun sistem monitoring penggunaan air yang efektif dan mampu menyajikan data secara *real-time*.
10. Penelitian yang dilakukan oleh [7] menunjukkan bahwa karakteristik aliran fluida dipengaruhi oleh distribusi kecepatan, energi kinetik, dan tingkat turbulensi yang terjadi di dalam aliran. Perubahan pola aliran dan distribusi energi tersebut dapat memengaruhi perilaku hidraulik suatu sistem, termasuk proses gerusan pada dasar saluran. Hasil penelitian ini mengindikasikan pentingnya pengukuran parameter aliran, seperti kecepatan dan debit, secara akurat untuk memahami karakteristik aliran fluida. Oleh karena itu, penggunaan sensor dan sistem monitoring debit menjadi aspek penting dalam berbagai aplikasi teknik, termasuk pengelolaan sumber daya air dan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).
11. Penelitian yang dilakukan oleh [8] menunjukan bahwa karakteristik fluida ditentukan oleh energi kinetik dan tingkat turbulensi dalam aliran. Temuan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tersebut mengindikasikan bahwa parameter hidraulik, seperti kecepatan dan debit aliran, memiliki peranan penting dalam menentukan perilaku aliran fluida. Oleh karena itu, pengukuran dan pemantauan parameter aliran secara akurat diperlukan untuk memahami karakteristik aliran serta mendukung perancangan dan pengoperasian sistem hidraulik, termasuk pada aplikasi pengelolaan sumber daya air dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

12. Penelitian yang dilakukan oleh [10] mengembangkan alat pengukur debit air berbasis Arduino Uno dengan memanfaatkan sensor flowmeter YF-DN50 yang bekerja menggunakan prinsip *Hall Effect*. Sistem yang dikembangkan mampu mengukur debit air, mengolah data secara digital, serta mengirimkan hasil pengukuran melalui modul komunikasi nirkabel untuk kebutuhan pemantauan secara real-time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa flowmeter YF-DN50 memiliki karakteristik keluaran yang linier terhadap laju aliran air, dengan rata-rata kesalahan pengukuran sekitar 0,5%, sehingga memiliki tingkat akurasi yang baik. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa kombinasi Arduino Uno dan sensor YF-DN50 merupakan solusi yang sederhana, ekonomis, dan mudah diimplementasikan untuk sistem monitoring debit air pada jaringan perpipaan maupun aplikasi irigasi.
13. Penelitian yang dilakukan oleh [12] menunjukan bahwa Arduino Uno merupakan salah satu papan mikrokontroler yang paling banyak digunakan dalam pengembangan sistem monitoring dan akuisisi data. Arduino Uno menggunakan mikrokontroler ATmega328 dengan frekuensi kerja 16 MHz serta dilengkapi pin input dan output digital maupun analog yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor.
14. Tugas akhir yang ditulis oleh [21] berjudul “*Kajian Variasi Sudut Elbow Pipa Pesat Pada Prototype PLTMH Skala Laboratorium Dengan Metode CFD dan Eksperimen*”. Penelitian ini menganalisis pengaruh sudut elbow pipa pesat terhadap kinerja PLTMH skala laboratorium. Hasil simulasi CFD dan eksperimen menunjukkan bahwa elbow 45° menghasilkan pressure

drop 18,7–21,9% lebih rendah, kecepatan aliran lebih tinggi, dan daya listrik lebih besar dibanding elbow 90°. Kesimpulannya, sudut 45° lebih efektif mengurangi kerugian aliran dan meningkatkan efisiensi sistem mikrohidro [21]



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis 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[16]. 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.

Pengujian pada alat ukur berupa flowmeter YF-DN50 yang diaplikasikan pada sistem PLTMH skala laboratorium guna memperoleh nilai numerik hasil pengukuran yang kemudian dianalisis secara sistematis untuk menentukan tingkat akurasi alat ukur.

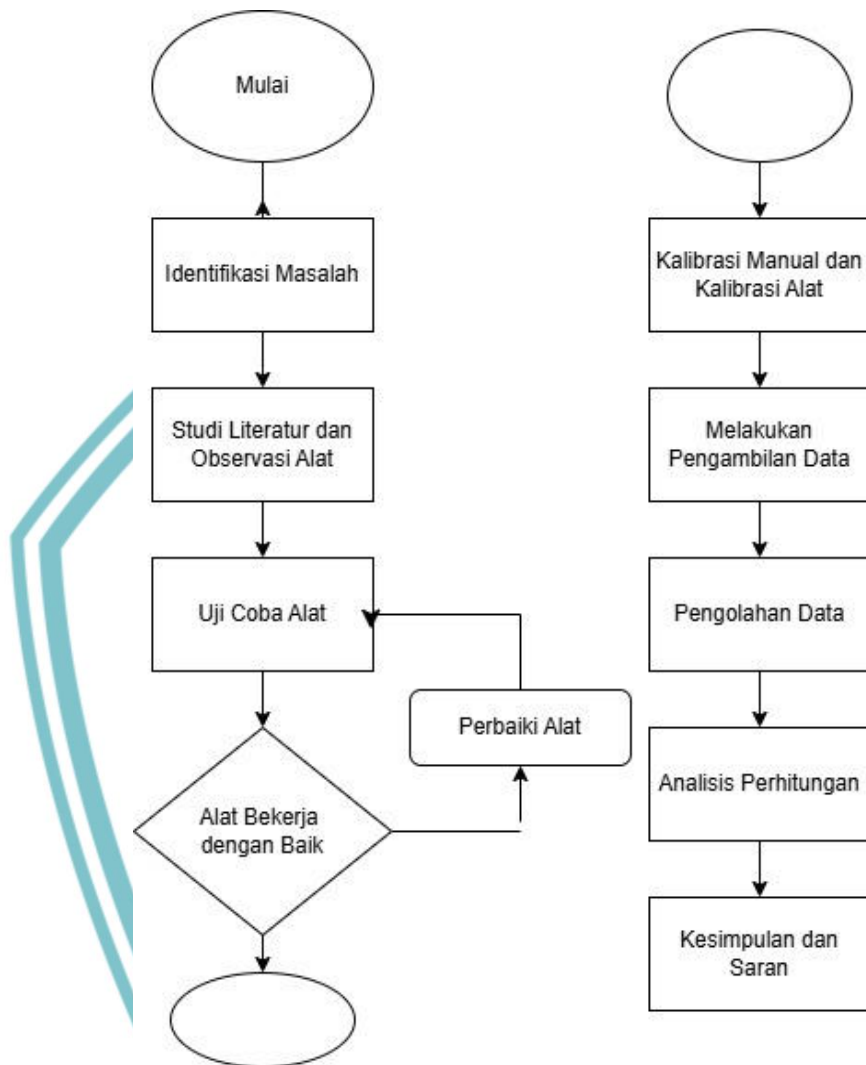
Berdasarkan tujuan penelitian, penelitian ini bersifat eksperimental komparatif, yaitu membandingkan hasil pengukuran laju aliran air yang diperoleh dari flowmeter YF-DN50 dengan alat ukur flowmeter ultrasonik. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi, deviasi, dan kesalahan pengukuran dari flowmeter yang dirancang.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram penelitian diawali dengan tahap identifikasi masalah, yaitu mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan dengan pengukuran debit air pada prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), khususnya mengenai akurasi dan presisi flowmeter Hall-effect YF-DN50. Tahap ini bertujuan untuk menentukan ruang lingkup penelitian serta merumuskan tujuan yang akan dicapai. Selanjutnya dilakukan studi literatur dan observasi alat. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji berbagai referensi, seperti buku, jurnal ilmiah, standar, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengukuran debit air, flowmeter Hall-effect, flowmeter ultrasonik, Arduino Uno,



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

serta sistem PLTMH. Sementara itu, observasi alat dilakukan untuk memahami konfigurasi prototype, spesifikasi komponen, serta prinsip kerja sistem yang digunakan dalam penelitian. Tahap berikutnya adalah uji coba alat untuk memastikan seluruh komponen, seperti flowmeter Hall-effect YF-DN50, flowmeter ultrasonik, Arduino Uno, dan sistem akuisisi data, dapat berfungsi dengan baik. Setelah dilakukan pengujian awal, dilakukan evaluasi terhadap kinerja alat. Apabila alat belum bekerja sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan perbaikan alat, baik pada aspek mekanik, kelistrikan, maupun pemrograman. Setelah perbaikan selesai, alat diuji kembali hingga diperoleh kondisi sistem yang bekerja dengan baik dan siap digunakan untuk penelitian. Setelah sistem dinyatakan berfungsi dengan baik, penelitian dilanjutkan dengan kalibrasi manual dan kalibrasi alat. Kalibrasi manual dilakukan menggunakan metode volumetrik dengan gelas ukur dan stopwatch untuk memperoleh nilai debit aktual sebagai data acuan. Selanjutnya dilakukan kalibrasi flowmeter Hall-effect sehingga hasil pengukuran mendekati nilai debit aktual. Tahap selanjutnya adalah pengambilan data pada beberapa variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada setiap variasi dilakukan pengukuran secara berulang untuk memperoleh data yang representatif dan meningkatkan keandalan hasil penelitian. Data hasil pengukuran kemudian memasuki tahap pengolahan data, meliputi perhitungan nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien variasi, error relatif, akurasi, dan parameter statistik lainnya yang digunakan untuk mengevaluasi performa alat ukur. Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan dengan membandingkan hasil pengukuran flowmeter Hall-effect terhadap data acuan hasil kalibrasi manual maupun flowmeter ultrasonik. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi, presisi, dan karakteristik pengukuran flowmeter pada berbagai kondisi debit aliran. Tahap terakhir adalah penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian, sedangkan saran diberikan sebagai rekomendasi pengembangan penelitian maupun penyempurnaan sistem pengukuran pada penelitian selanjutnya.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3 Objek Penelitian

Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah flowmeter berbasis Hall-effect tipe YF-DN50 yang digunakan untuk mengukur debit aliran air secara *real-time* pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) skala laboratorium. Sensor ditempatkan pada saluran keluaran turbin menuju reservoir utama sehingga mampu mengukur debit air setelah melewati turbin sebelum air kembali ditampung di reservoir.



Gambar 3. 2 Prototype PLTMH

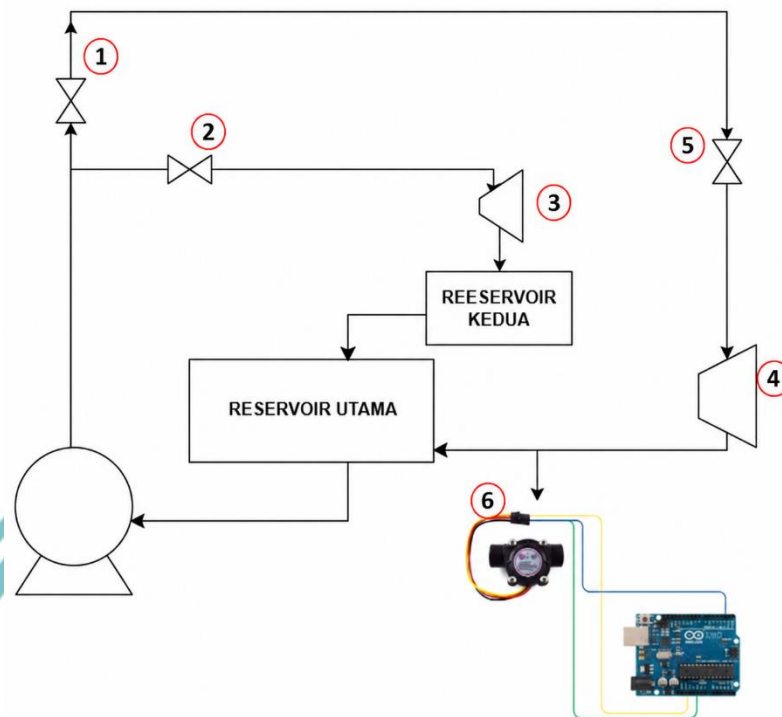
Gambar: 3.2 Penempatan flowmeter pada saluran keluaran turbin dipilih agar pengukuran dilakukan pada aliran yang telah melewati proses konversi energi di turbin, sehingga data debit yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasi sistem PLTMH selama pengujian. Hasil pengukuran flowmeter Hall-effect kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran flowmeter ultrasonik sebagai alat acuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi, presisi, dan kesalahan pengukuran dari sensor yang dikembangkan.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 3 Single Line Diagram PLTMH

Gambar 3.3 merupakan single line diagram dari objek penelitian yang dilakukan, berikut adalah komponen dari gambar *single line diagram* diatas:

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Katup 1 | 4. Turbin Sentrifugal |
| 2. Katup 2 | 5. Katup 3 |
| 3. Turbin <i>Crossflow</i> | 6. Flowmeter <i>Hall-Effect</i> |

Gambar tersebut menunjukkan rancangan sistem pengukuran debit air pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang digunakan dalam penelitian ini. Pada skenario pengujian ini, katup 1 dan katup 5 diatur mengikuti variasi pengujian bukaan katup 25%, 50% 75%, dan 100%. 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. Proses pengaliran diawali dari reservoir



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

utama yang berfungsi sebagai tempat penampungan air. Air kemudian dihisap oleh pompa dan dialirkan menuju pipa utama. Pompa berperan menghasilkan tekanan yang diperlukan agar air dapat mengalir melalui seluruh rangkaian perpipaan dan melewati komponen-komponen pengujian.

Pada jalur perpipaan dipasang katup (*valve*) yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya debit aliran air. Dalam penelitian ini, variasi bukaan katup digunakan sebagai variabel bebas dengan empat kondisi pengujian, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Perubahan bukaan katup akan mengubah kondisi aliran sehingga menghasilkan variasi debit yang digunakan untuk mengevaluasi performa sistem pengukuran.

Setelah melewati katup, air mengalir melalui turbin sebagai representasi beban pada sistem PLTMH skala laboratorium. Keberadaan turbin memberikan kondisi aliran yang menyerupai sistem operasi sebenarnya, sehingga data yang diperoleh lebih mendekati kondisi nyata. Pada sisi keluaran turbin dipasang flowmeter YF-DN50 sebagai sensor untuk mengukur debit air. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip *Hall Effect*, yaitu rotor di dalam flowmeter akan berputar ketika dilewati aliran air dan menghasilkan pulsa listrik. Frekuensi pulsa yang dihasilkan sebanding dengan laju aliran air, sehingga dapat dikonversi menjadi nilai debit menggunakan faktor kalibrasi yang telah ditentukan. Pulsa keluaran dari flowmeter diterima oleh Arduino Uno melalui pin digital. Arduino Uno berfungsi sebagai pusat akuisisi data yang menghitung jumlah pulsa dalam interval waktu tertentu, kemudian mengolahnya menjadi informasi berupa debit aliran (L/menit) dan volume air (L). Data hasil pengukuran selanjutnya dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial dan direkam menggunakan aplikasi PLX-DAQ pada Microsoft Excel sehingga proses pencatatan data dapat dilakukan secara *real time*.

Objek penelitian ini digunakan sebagai media untuk melakukan pengujian kinerja dan analisis akurasi pengukuran laju aliran air.

Berikut adalah SOP (*Standard Operating Procedure*) penggunaan alat PLTMH di laboratorium PNJ:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 3. 1 *Sandart Operating Procedure Prototype PLTMH*

No.	Tahapan	Prosedur Pelaksanaan	Keterangan
1	Persiapan Alat 	Memastikan seluruh komponen PLTMH dalam kondisi baik dan terpasang dengan benar.	Meliputi turbin, generator, flowmeter, Arduino, sensor, dan sistem monitoring.
2	Pemeriksaan Sumber Air 	Memastikan saluran air bebas dari sampah atau benda yang dapat menghambat aliran.	Debit air harus sesuai dengan kapasitas sistem.
3	Pemeriksaan Kelistrikan 	Memeriksa sambungan kabel, sumber daya (<i>control panel</i>), dan koneksi sensor.	Pastikan tidak ada kabel yang longgar atau rusak.
4	Menyalakan Sistem	Menghubungkan sumber daya dan mengaktifkan Arduino serta perangkat monitoring.	Tunggu hingga sistem selesai melakukan inisialisasi.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5	Pembukaan Katup 	Membuka katup secara perlahan hingga debit aliran mencapai nilai yang diinginkan.	Hindari pembukaan katup secara mendadak.
7	Monitoring Data 	Mengamati data debit, volume, dan parameter lainnya pada tampilan monitoring atau PLX-DAQ.	Data dicatat secara real-time.
8	Pengambilan Data	Mencatat atau menyimpan data hasil pengukuran sesuai interval yang telah ditentukan.	Digunakan untuk analisis penelitian.
9	Penghentian Operasi	Menutup katup air secara perlahan hingga aliran berhenti.	Dilakukan setelah pengambilan data selesai.
10	Mematikan Sistem	Mematikan Arduino, sistem monitoring, dan perangkat pendukung lainnya.	Pastikan data telah tersimpan.
11	Pemeriksaan Akhir	Memeriksa kondisi alat dan membersihkan area pengujian.	Untuk menjaga keandalan alat pada penggunaan berikutnya.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Secara spesifik, objek yang diteliti meliputi perangkat flowmeter YF-DN50 yang terdiri atas sensor hall, rangkaian elektronika pendukung, serta sistem akuisisi dan pengolahan data. Flowmeter YF-DN50 tersebut dipasang pada saluran aliran air tertutup yang merupakan bagian dari sistem PLTMH skala laboratorium, sehingga memungkinkan pengukuran laju aliran air secara langsung tanpa mengganggu karakteristik aliran.

3.4 Alat dan Bahan

Dalam melakukan eksperimen pengambilan data pada penelitian ini dibutuhkan alat dan bahan untuk menunjang proses pengambilan data, alat dan bahan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Alat pengumpulan dan perekam data (Laptop, Kabel, USB Type-A ke USB Type-B)
- b. Alat bantu (Kunci pas, Tang potong, *Sealtape*,)
- c. Alat eksperimen (Pipa PVC 2 inch, Socket pipa, Konektor T pipa, Lem pipa, gelas ukur 3L)
- d. Alat ukur
 - Flowmeter Ultrasonik

Flowmeter ultrasonik digunakan sebagai flowmeter acuan



Gambar 3. 4 Flowmeter Ultrasonik



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.4 merupakan flowmeter yang digunakan dalam penelitian ini. Spesifikasi dari flowmeter ini sebagai berikut:

Model:	Clamp-On Transducer
Prinsip Pengukuran:	Transit Time Ultrasonik
Fluida:	Air dan Cairan Bersih
Kecepatan Aliran:	0,03-12 m/s
Jenis:	Portabel Ultrasonik Flowmeter
Keluaran Data:	Analog

Flowmeter ini memanfaatkan gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh air dan ditangkap oleh transducer untuk kemudian ditampilkan pada LCD

- Flowmeter hall-effect

Flowmeter hall-effect digunakan sebagai flowmeter uji untuk nantinya menentukan nilai debit secara real-time dan untuk analisa penelitian



Gambar 3. 5 Flowmeter Hall-Effect

Gambar 3.5 merupakan flowmeter yang digunakan dalam penelitian ini. Spesifikasi dari flowmeter ini sebagai berikut:

Model:	YF-DN50
--------	---------



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Diameter Nominal:	2 inci
Tegangan:	5-24 V DC
Arus Kerja:	15 mA
Rentang Debit:	70-200 L/menit
Sinyal Keluaran:	Pulsa (NPN)

Flowmeter ini menggunakan prinsip *hall-effect* untuk menentukan nilai debit aliran secara real-time yang di integrasikan dengan arduino uno untuk menampilkan data melalui PLX-DAQ.

e. Alat sistem data akuisisi

Dalam pengujian prototype PLTMH skala labolatorium dibuat sistem data akuisisi pada pengukuran laju aliran debit air di pipa inlet.

- Arduino Uno



Gambar 3. 6 Arduino Uno

Arduino Uno adalah platform open source yang digunakan dalam sistem elektronika, akuisisi data sensor, dan sistem kontrol. Papan arduino uno memiliki 14 pin digital input/output (termasuk 6 pin PWM dan 6 pin analog input) clock speed 16 MHz, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Daya pada board ini dapat disuplai melalui kabel USB dari komputer atau melalui adaptor dan baterai dengan tegangan DC 7-12 volt. Dalam sistem akuisisi data, Arduino berfungsi sebagai unit pusat untuk mengontrol, mengumpulkan, dan mengirimkan data sensor ke Microsoft Excel melalui PLX-DAQ.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.5 Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan mengamati perubahan nilai debit aliran air pada beberapa variasi bukaan katup. 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 dan. Pengambilan data dilakukan pada empat variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% dari bukaan penuh. Setiap variasi bukaan katup diatur secara bertahap dimulai dari bukaan 25%, kemudian dilanjutkan pada bukaan 50%, 75%, dan 100%. Setelah kondisi aliran stabil, sistem monitoring melakukan pembacaan data debit secara *real-time* menggunakan sensor flowmeter yang terhubung dengan Arduino. Data hasil pengukuran kemudian direkam dan disimpan secara otomatis untuk selanjutnya dianalisis.

Sampel dalam penelitian ini berupa data hasil pengukuran laju aliran air yang diperoleh dari sistem aliran air PLTMH skala laboratorium pada beberapa kondisi debit tertentu. Penentuan kondisi debit dilakukan dengan mengatur bukaan katup aliran sehingga dihasilkan variasi laju aliran air yang berbeda. Variasi debit ini dipilih untuk merepresentasikan kondisi aliran rendah, sedang, dan tinggi yang umum dijumpai pada pengoperasian sistem PLTMH.

Pada setiap kondisi debit, pengambilan sampel dilakukan dengan cara melakukan pengukuran berulang menggunakan flowmeter YF-DN50 yang dirancang dan alat ukur referensi sebagai pembanding. Pengukuran berulang bertujuan untuk memperoleh data yang lebih stabil dan mengurangi pengaruh kesalahan acak, sehingga hasil pengukuran yang diperoleh dapat dianalisis secara statistik untuk menentukan tingkat akurasi dan presisi alat ukur.

Dengan metode pengambilan sampel ini, diharapkan data yang diperoleh dapat merepresentasikan kinerja flowmeter ultrasonik secara menyeluruh pada berbagai kondisi aliran air, sehingga hasil analisis akurasi yang diperoleh dapat menggambarkan kemampuan alat ukur secara objektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.6 Metode Pengumpulan Data Penelitian

Metode pengumpulan data penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai tahap awal penelitian untuk memperoleh landasan teori dan referensi ilmiah yang berkaitan dengan topik penelitian. Literatur yang dikaji meliputi buku teks, jurnal ilmiah nasional dan internasional yang terindeks, prosiding konferensi, serta standar teknis yang relevan dengan pengukuran laju aliran fluida, flowmeter, sistem PLTMH, dan analisis akurasi pengukuran.

2. Pengujian Eksperimen

Pengujian eksperimen dilakukan untuk memperoleh data primer berupa hasil pengukuran laju aliran air menggunakan flowmeter yang dirancang. Pengujian dilakukan pada sistem PLTMH skala laboratorium yang tersedia di laboratorium perguruan tinggi tempat penelitian dilaksanakan. Sistem aliran air dioperasikan pada beberapa variasi kondisi debit dengan mengatur bukaan katup aliran sehingga diperoleh laju aliran air yang berbeda.

3.7 Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini digunakan untuk mengolah dan mengevaluasi data hasil pengukuran laju aliran air yang diperoleh dari pengujian eksperimen flowmeter YF-DN50 pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) skala laboratorium. Data yang dianalisis merupakan data kuantitatif berupa nilai debit aliran air yang dihasilkan oleh flowmeter YF-DN50 dan flowmeter ultrasonik sebagai pembanding. Tahap awal analisis data dilakukan dengan melakukan pengelompokan data hasil pengukuran berdasarkan variasi kondisi debit aliran air yang diuji. Untuk setiap kondisi debit, data hasil pengukuran diolah dengan cara menghitung nilai rata-rata dari hasil pengukuran berulang guna mengurangi pengaruh kesalahan acak dan fluktuasi pengukuran. Nilai rata-rata tersebut digunakan sebagai representasi hasil pengukuran pada masing-masing kondisi pengujian.

Selanjutnya, analisis akurasi flowmeter dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran debit aliran air yang diperoleh dari flowmeter YF-DN50 terhadap



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

hasil pengukuran flowmeter ultrasonik. Perbandingan ini dilakukan untuk menentukan besarnya kesalahan pengukuran yang dinyatakan dalam bentuk deviasi, error absolut, dan error relatif. Nilai error relatif dinyatakan dalam bentuk persentase dan digunakan sebagai indikator tingkat akurasi flowmeter ultrasonik yang dirancang.

Selain analisis akurasi, dilakukan pula analisis presisi pengukuran dengan mengevaluasi tingkat keterulangan hasil pengukuran pada setiap kondisi debit. Analisis presisi dilakukan dengan mengamati sebaran data hasil pengukuran berulang, sehingga dapat diketahui kestabilan dan konsistensi kinerja flowmeter ultrasonik dalam mengukur laju aliran air. Hasil analisis data selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi hubungan antara nilai debit hasil pengukuran flowmeter ultrasonik dan alat ukur referensi. Penyajian data secara visual digunakan untuk mengidentifikasi kecenderungan hasil pengukuran, tingkat penyimpangan, serta performa flowmeter ultrasonik pada berbagai variasi kondisi aliran air. Melalui metode analisis data ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran yang jelas mengenai tingkat akurasi dan keandalan flowmeter ultrasonik yang dirancang, sehingga hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan pengembangan sistem pengukuran laju aliran air pada aplikasi PLTMH skala kecil.

3.8 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dengan menerapkan SOP penggunaan alat yang menjadi objek penelitian perlu dilakukan untuk menerapkan sistem keamanan dan mengurangi resiko kecelakaan baik pada peneliti dan objek penelitian.

3.8.1 Coding Arduino IDE

1. Deklarasi Variabel

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,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

frekuensi, debit aliran, debit dalam satuan liter per detik, serta volume total air yang mengalir.

```

1  int X;
2  int Y;
3
4  float TIME = 0;
5  float FREQUENCY = 0;
6  float FLOW = 0;
7  float TOTAL = 0;
8  float LS = 0;
9
10 const int input = 2;

```

Gambar 3. 7 Deklarasi Variabel

Selanjutnya terdapat beberapa variabel bertipe *float* yang digunakan agar hasil perhitungan memiliki nilai desimal, yaitu:

- *TIME* digunakan untuk menyimpan periode satu siklus pulsa.
 - *FREQUENCY* digunakan untuk menyimpan frekuensi sinyal keluaran sensor (Hz).
 - *FLOW* digunakan untuk menyimpan nilai debit dalam satuan liter per menit (L/min).
 - *LS* digunakan untuk menyimpan debit dalam satuan liter per detik (L/s).
 - *TOTAL* digunakan untuk menyimpan akumulasi volume air yang telah mengalir (L).
2. Pengaturan interval pengambilan data

Selanjutnya, digunakan variabel *previousMillis* dan *interval* untuk mengatur proses pengambilan data secara berkala setiap 10 detik. Metode ini memanfaatkan fungsi *millis()* sehingga mikrokontroler dapat melakukan pengukuran tanpa menggunakan fungsi *delay()* yang dapat menghambat proses lainnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

10  const int input = 2;
11
12  // Interval pengambilan data 10 detik
13  unsigned long previousMillis = 0;
14  const unsigned long interval = 10000; // 10000 ms = 10 s
15

```

Gambar 3. 8 Interval

3. fungsi 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 *CLEAR SHEET* untuk menghapus data sebelumnya, *RESETTIMER* untuk mengatur ulang pencacah waktu, dan *LABEL* untuk membuat judul kolom pada lembar kerja Excel.

```

19
20  pinMode(input, INPUT);
21
22  delay(3000);
23
24  // Header PLX-DAQ
25  Serial.println("CLEAR SHEET");
26  Serial.println("RESETTIMER");
27  Serial.println("LABEL,Date,Time,Flow(L/min),Flow(L/s),Volume(L)");
28  }
29

```

Gambar 3. 9 Fungsi Setup

4. Fungsi loop(),

Arduino melakukan pengecekan waktu menggunakan fungsi `millis()`. Ketika selisih waktu telah mencapai 10 detik, program akan membaca sinyal pulsa dari sensor flowmeter menggunakan fungsi `pulseIn()`. Fungsi ini digunakan untuk mengukur durasi sinyal *HIGH* dan *LOW* yang dihasilkan oleh sensor.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

38
39
40
41
X = pulseIn(input, HIGH);
Y = pulseIn(input, LOW);

```

Gambar 3. 10 Fungsi *Loop*

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

```

41
42
43
TIME = X + Y;

```

Gambar 3. 11 Siklus Sinyal

Berdasarkan nilai periode tersebut, frekuensi pulsa dihitung menggunakan persamaan:

$$f = \frac{1.000.000}{T} \quad 3.1$$

Dengan:

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode sinyal (μs)

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-DN50.

$$Q = \frac{f}{7,5} \quad 3.2$$

Dengan:

Q = Debit aliran air (L/m)

f = Frekuensi (Hz)

Implementasi pada program:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

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

```

Gambar 3. 12 Debit dan Frekuensi

5. Menghitung volume air

```

55
56     // Volume selama 10 detik
57     TOTAL += LS * 10;
58

```

Gambar 3. 13 Menentukan Volume Air

Volume air dihitung berdasarkan persamaan debit:

$$V = Q \times t$$

3.3

Dengan:

V = Volume (L)

Q = Debit (L/s)

t = Waktu (10s)

6. Pengiriman data ke PLX-DAQ

```

58
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 3. 14 Pengiriman Data ke PLX

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.



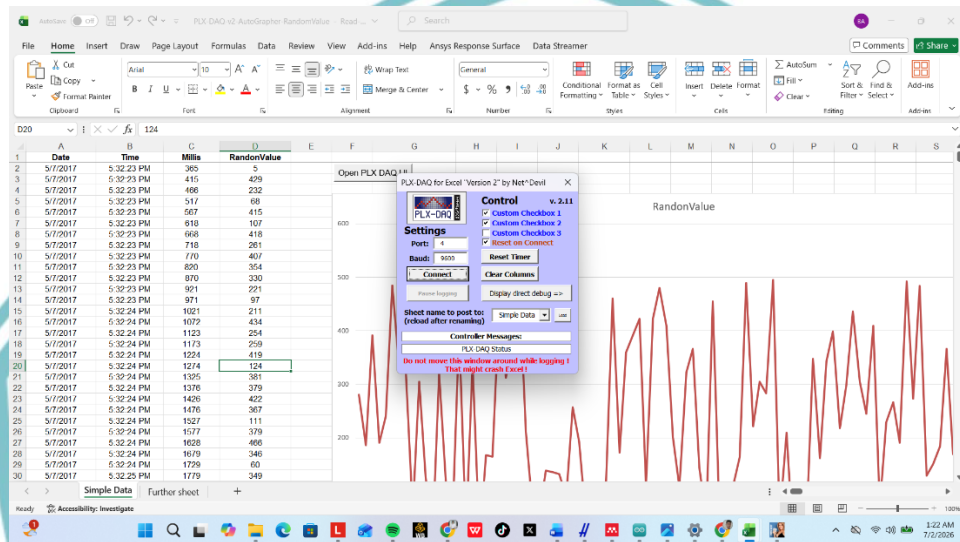
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.8.2 PLX-DAQ

Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ) adalah sebuah perangkat lunak yang berguna untuk mengumpulkan data serial dari arduino ke komputer dan dicatat langsung kedalam microsoft excel secara *real-time*.



Gambar 3. 15 PLX-DAQ

Gambar 3.12 menunjukkan tampilan dari Parallac 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.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

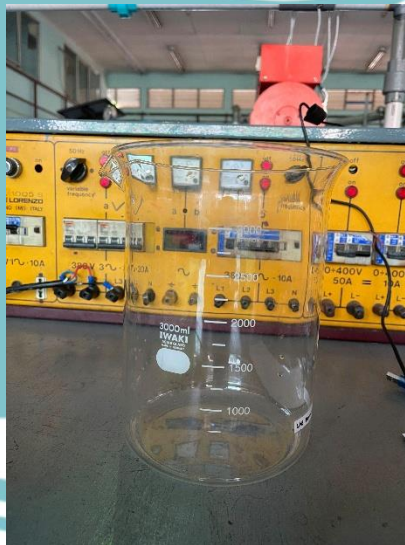
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan dengan coding yang dijalankan dan dihubungkan ke device sehingga terbaca data *real time* seperti yang diinginkan untuk penelitian. Berikut merupakan data yang diambil dengan flowmeter acuan yang terpasang dan flowmeter ultrasonik selama 10 menit dengan 3 kali pengulangan tiap variasi bukaan katup.

4.1.1 Kalibrasi Manual

Kalibrasi manual dilakukan sebagai tahap awal untuk memperoleh nilai debit aktual yang digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi hasil pengukuran flowmeter Hall-effect YF-DN50. Metode kalibrasi yang digunakan adalah metode volumetrik, yaitu dengan mengukur volume air yang tertampung dalam gelas ukur selama selang waktu tertentu.



Gambar 4. 1 Gelas Ukur

Gambar 4.1 merupakan proses kalibrasi dilakukan dengan mengalirkan air dari prototype PLTMH melalui saluran keluaran turbin menuju reservoir utama. Air yang keluar kemudian ditampung menggunakan gelas ukur dengan kapasitas 3L, sementara waktu yang diperlukan untuk mencapai volume yang telah ditentukan diukur menggunakan stopwatch. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%, sehingga diperoleh variasi debit aliran



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang berbeda. Untuk meningkatkan keandalan hasil pengukuran, setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak beberapa kali, kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Nilai debit aktual dihitung berdasarkan hasil pengukuran volume air dan waktu pengisian menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.1)$$

Keterangan:

Q = Debit aliran (L/s)

V = Volume air yang tertampung pada gelas ukur (L)

t = Waktu pengisian (s)

Selanjutnya, hasil perhitungan debit dalam satuan liter per detik (L/s) dikonversi ke dalam satuan liter per menit (L/min) agar sesuai dengan satuan keluaran flowmeter Hall-effect YF-DN50 dan flowmeter ultrasonik. Nilai debit hasil kalibrasi manual tersebut digunakan sebagai data acuan dalam proses kalibrasi sensor serta sebagai pembanding untuk menghitung nilai error relatif, akurasi, dan presisi sistem pengukuran yang dikembangkan. Penggunaan metode volumetrik dengan gelas ukur dipilih karena memiliki prosedur yang sederhana, mudah diterapkan pada prototype PLTMH skala laboratorium, serta mampu memberikan nilai debit acuan yang memadai untuk proses validasi hasil pengukuran flowmeter Hall-effect.

Tabel 4. 1 Hasil Kalibrasi Manual

Bukaan Katup	Debit (L/min)
25%	200,4
50%	186
75%	166,3
100%	155



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.2 Buka an Katup 25%

Tabel 4. 2 Tabel Pengambilan Data Buka an 25%

Bukaan Valve(%)	Waktu (Menit)	Flow Rate Fluida Flowmeter (L/m)	Flow Rate Fluida Flowmeter Ultrasonik (L/m)
25	1	154	154.24
	2	153.99	154.21
	3	154.19	155.66
	4	153.73	154.56
	5	154.38	155.85
	6	154.08	154.57
	7	153.23	154.81
	8	153.07	155.87
	9	153.22	154.9
	10	153.52	155.57
Rata – Rata		153.74	155.024

Tabel 4.1 menunjukan hasil pengambilan data pada bukaan 25% dengan menggunakan dua tipe flowmeter yang berbeda. Data pertama ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter yang terpasang pada prototype PLTMH untuk menampilkan *flowrate* ($Q = L/min$), sedangkan data kedua yang ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter ultrasonik untuk menampilkan kecepatan aliran.

4.1.3 Buka an Katup 50%

Tabel 4. 3 Tabel Pengambilan Data Buka an 50%

Bukaan Valve(%)	Waktu (Menit)	Flow Rate Fluida Flowmeter (L/m)	Flow Rate Fluida Flowmeter Ultrasonik (L/m)
50	1	165.40	166.26
	2	165.10	167.78



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	3	165.75	166.99
	4	166.05	166.74
	5	166.73	166.7
	6	167.12	167.41
	7	167.18	168.4
	8	166.45	167.6
	9	166.54	166.07
	10	166.33	167.55
Rata – Rata		166.26	168.15

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengambilan data pada bukaan 50% dengan menggunakan dua tipe flowmeter yang berbeda. Data pertama ditampilkan dalam satuan L/min adalah data pengukuran menggunakan flowmeter yang terpasang pada prototype PLTMH untuk menampilkan *flowrate* ($Q = L/min$), sedangkan data kedua yang ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter ultrasonik untuk menampilkan kecepatan aliran.

4.1.4 Bukaan Katup 75%

Tabel 4. 4 Tabel Pengambilan Data 75%

Bukaan Valve(%)	Waktu (Menit)	Flow Rate Fluida Flowmeter (L/m)	Flow Rate Fluida Flowmeter Ultrasonik (L/m)
75	1	180.85	186.55
	2	182.88	182.81
	3	183.63	186.57
	4	183.61	183.4
	5	183.42	186.9
	6	183.87	187.08
	7	184.05	186.76
	8	183.67	186.6



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

	9	183.05	182.68
	10	183.26	184.4
Rata – Rata		183.23	185.375

Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengambilan data pada bukaan 75% dengan menggunakan dua tipe flowmeter yang berbeda. Data pertama ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter yang terpasang pada prototype PLTMH untuk menampilkan *flowrate* ($Q = L/min$), sedangkan data kedua yang ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter ultrasonik untuk menampilkan kecepatan aliran.

4.1.5 Bukaan Katup 100%

Tabel 4. 5 Tabel Pengambilan Data 100%

Bukaan Valve(%)	Waktu (Menit)	Flow Rate Fluida Inlet Flowmeter (L/m)	Flow Rate Fluida Flowmeter Ultrasonik (L/min)
100	1	200.13	203.81
	2	200.48	201.21
	3	200.39	205.67
	4	200.32	205.72
	5	200.49	204.74
	6	200.55	205.87
	7	200.94	201.8
	8	200.93	199.32
	9	200.63	201.95
	10	200.83	202.27
Rata – Rata		200.57	202.236

Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengambilan data pada bukaan 100% dengan menggunakan dua tipe flowmeter yang berbeda. Data pertama ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter yang terpasang pada prototype PLTMH untuk menampilkan *flowrate* ($Q = L/min$), sedangkan data

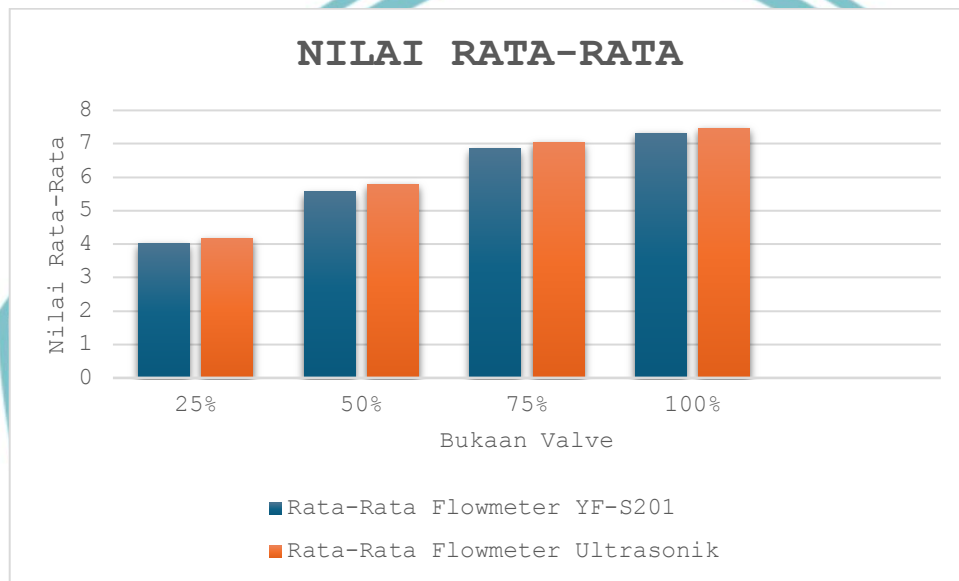


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kedua yang ditampilkan dalam satuan L/m adalah data pengukuran menggunakan flowmeter ultrasonik untuk menampilkan kecepatan aliran.

Untuk memudahkan proses analisis data, berikut adalah grafik dari nilai rata-rata kedua flowmeter:



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Rata-Rata

Grafik 4.1 menunjukkan perbandingan nilai rata-rata pada kedua flowmeter yang di uji. pada empat variasi bukaan valve, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Secara umum, kedua flowmeter memperlihatkan tren yang sama, yaitu nilai rata-rata debit meningkat seiring bertambahnya persentase bukaan valve. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar bukaan valve, semakin besar pula laju aliran air yang melewati pipa sehingga debit yang terukur oleh kedua sensor ikut meningkat.

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa hasil pengukuran flowmeter YF-DN50 selalu sedikit lebih rendah dibandingkan flowmeter ultrasonik pada setiap variasi bukaan valve. Meskipun demikian, selisih antara kedua hasil pengukuran relatif kecil dan pola kenaikan yang dihasilkan hampir identik. Kondisi ini menunjukkan bahwa flowmeter YF-DN50 memiliki kemampuan yang baik dalam mengikuti perubahan laju aliran air dan memberikan hasil pengukuran yang mendekati flowmeter ultrasonik sebagai alat acuan. Perbedaan kecil yang masih



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

terjadi dapat dipengaruhi oleh faktor karakteristik sensor, toleransi pengukuran, kondisi aliran di dalam pipa, maupun proses kalibrasi sistem.

4.2 Analisis Error Pengukuran

Setelah proses pengambilan data dari 2 jenis flowmeter yaitu flowmeter yaitu flowmeter tipe YF-DN50 dan flowmeter ultrasonik maka langkah selanjutnya yaitu membandingkan nilai error. Perbandingan nilai error yang dilakukan terlebih dahulu menyamakan satuan dari kedua flowmeter yang diuji. Pada penelitian ini satuan nilai yang digunakan adalah kecepatan aliran dengan satuan (L/min)

4.2.1 Error Absolut

Perhitungan nilai error absolut dilakukan untuk mengetahui besarnya selisih antara hasil pengukuran flowmeter YF-DN50 dan flowmeter ultrasonik sebagai alat ukur acuan. Error absolut menunjukkan besarnya penyimpangan hasil pengukuran tanpa memperhatikan arah penyimpangan sehingga akan selalu bernilai positif. Semakin kecil nilai error absolut yang dihasilkan, maka semakin mendekati hasil pengukuran flowmeter YF-DN50 terhadap nilai yang ditunjukkan oleh flowmeter ultrasonik.

Perhitungan error absolut pada penelitian ini menggunakan persamaan:

$$Error\ absolut = |Q\ acuan - Q\ uji| \quad (4.2)$$

Keterangan:

$v\ acuan$ = nilai flowmeter ultrasonik (L/min)

$v\ uji$ = nilai flowmeter YF-DN50 (L/min)

Tabel 4. 6 Tabel Hasil Perhitungan Error Absolut

Bukaan valve %	Nilai Error Absolut
25%	1,28
50%	0,89
75%	2,14
100%	2,67

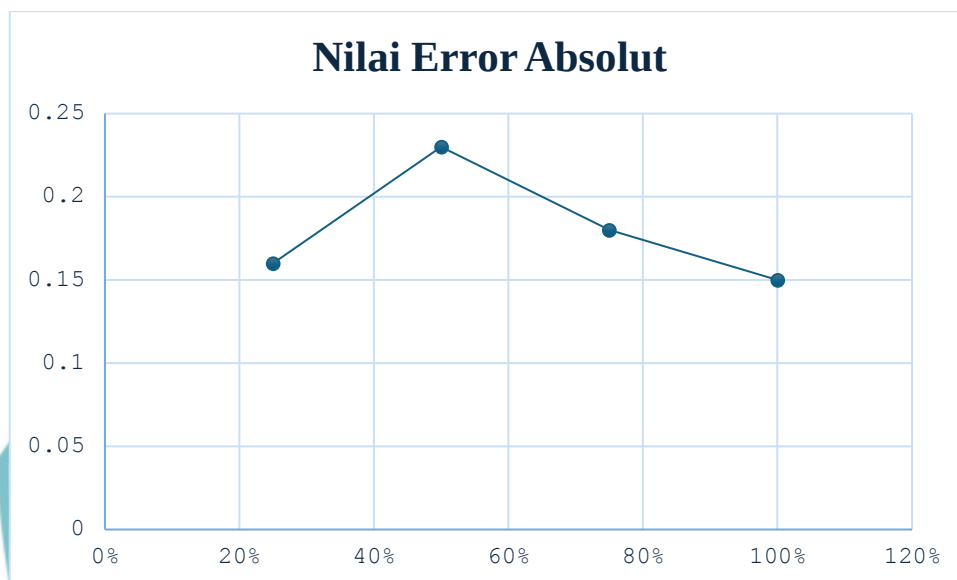
Tabel 4.5 merupakan hasil perhitungan selisih error absolut. Berdasarkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

hasil perhitungan nilai error absolut pada setiap variasi bukaan katup, diperoleh nilai error absolut yang relatif kecil. Untuk memudahkan proses analisis berikut adalah penyajian data dalam bentuk grafik



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Error Absolut

Gambar 4.3 menunjukkan grafik nilai error absolut, secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa flowmeter YF-DN50 mampu menghasilkan nilai pengukuran yang mendekati flowmeter ultrasonik pada seluruh variasi bukaan katup. Nilai error absolut yang relatif kecil mengindikasikan bahwa sensor memiliki kemampuan yang baik dalam mengukur debit aliran air pada sistem PLTMH skala laboratorium. Meskipun demikian, masih terdapat selisih pengukuran pada setiap variasi debit yang menunjukkan bahwa proses kalibrasi dan optimasi sistem masih diperlukan untuk meningkatkan ketelitian pengukuran.

4.2.2 Error Relatif

Analisis error relatif dilakukan untuk mengetahui besarnya presentase penyimpangan hasil pengukuran flowmeter YF-DN50 terhadap flowmeter ultrasonik sebagai alat ukur acuan. Error relatif memberikan gambaran mengenai tingkat kesalahan berdasarkan nilai refrensinya.

Perhitungan nilai relatif pada penelitian ini menggunakan persamaan:

$$\frac{Q_{ukur} - Q_{acuan}}{Q_{acuan}} \times 100\% \quad (4.2)$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dengan:

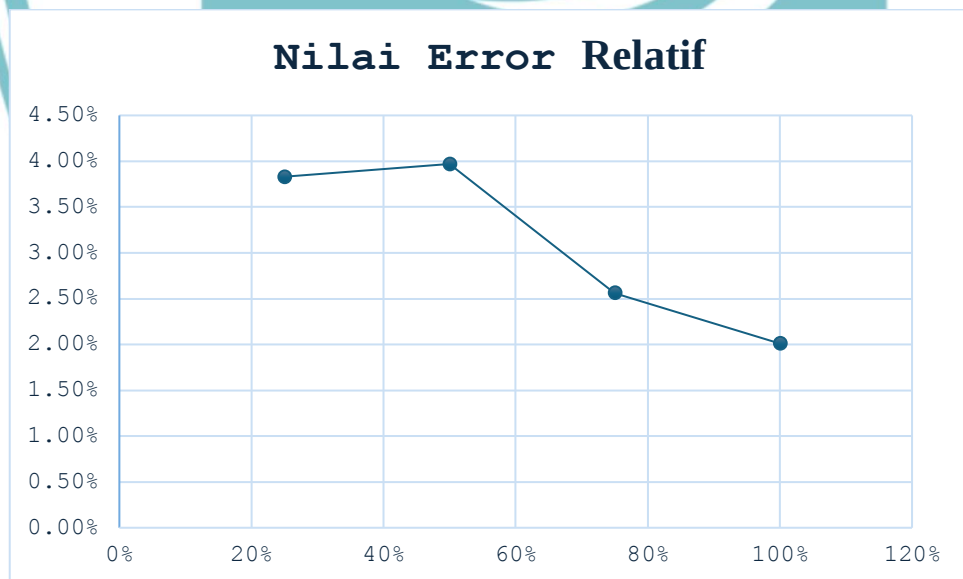
Q_{acuan} = nilai flowmeter ultrasonik (m/s)

Q_{uji} = nilai flowmeter acuan (m/s)

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Perhitungan Error Relatif

Bukaan valve %	Nilai Error Relatif %
25%	3,83%
50%	3,97%
75%	2,56%
100%	2,01%

Berdasarkan hasil perhitungan nilai error relatif pada setiap variasi bukaan katup, diperoleh nilai error relatif berbeda. Secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa flowmeter YF-DN50 mampu menghasilkan nilai pengukuran yang mendekati flowmeter ultrasonik pada seluruh variasi bukaan katup. Untuk memudahkan dalam proses analisis berikut adalah penyajian data dalam bentuk grafik



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Error Relatif

Nilai error relatif yang kecil mengindikasikan bahwa sensor memiliki kemampuan yang baik dalam mengukur debit aliran air pada sistem PLTMH skala laboratorium. Meskipun demikian, masih terdapat selisih pengukuran pada setiap



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

variasi debit yang menunjukkan bahwa proses kalibrasi dan optimasi sistem masih diperlukan untuk meningkatkan ketelitian pengukuran.

4.2.3 Akurasi Sensor

Analisis akurasi sensor dilakukan untuk mengevaluasi tingkat ketepatan flowmeter YF-DN50 dalam mengukur debit aliran air dengan membandingkan hasil pengukurannya terhadap flowmeter ultrasonik sebagai alat ukur acuan. Akurasi merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian kinerja alat ukur karena menunjukkan seberapa dekat hasil pengukuran sensor terhadap nilai referensi. Semakin tinggi nilai akurasi, semakin kecil penyimpangan hasil pengukuran yang dihasilkan oleh sensor.

Perhitungan nilai relatif pada penelitian ini menggunakan persamaan:

Akurasi %

$$\left(1 - \frac{v_{acuan} - v_{uji}}{v_{acuan}}\right) \times 100\% \quad (4.3)$$

Keterangan:

v_{acuan} = nilai flowmeter ultrasonik (m/s)

v_{uji} = nilai flowmeter acuan (m/s)

Bukaan valve %	Nilai Akurasi%
25%	96,17%
50%	96,03%
75%	97,44%
100%	97,89%

Tabel 4. 8 Tabel Hasil Pengukuran Akurasi

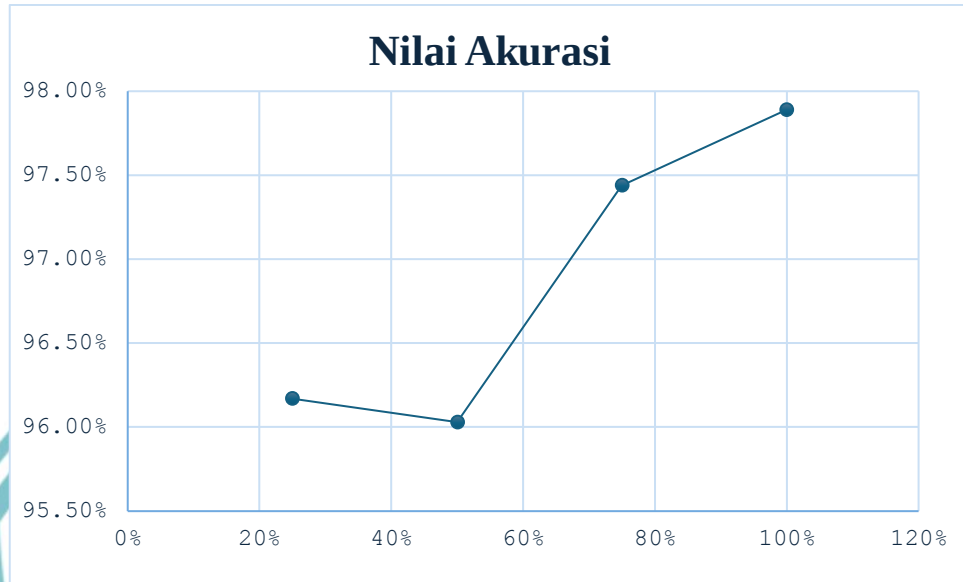
Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai akurasi sebesar 96,17% pada bukaan katup 25%, 96,03% pada bukaan katup 50%, 97,44% pada bukaan katup 75%, dan 97,89% pada bukaan katup 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tingkat akurasi flowmeter ultrasonik mengalami peningkatan seiring bertambahnya bukaan katup dan kecepatan aliran air. Hasil ini selaras dengan penelitian yang menjadi panduan teoritis penelitian ini[20]. Pada penelitian tersebut rata-rata akurasi dari flowmeter yang di uji adalah 95% yang menurut penelitian tersebut merupakan hasil yang sudah baik untuk skala eksperimen labolatorium. Untuk



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

memudahkan dalam proses analisis berikut adalah penyajian data dalam bentuk grafik



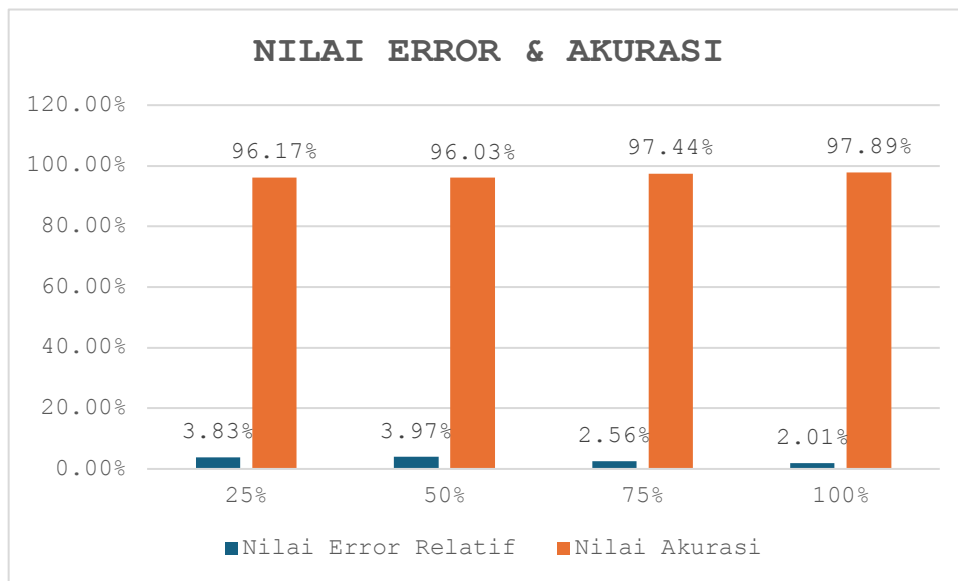
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Akurasi

Akurasi terendah diperoleh pada bukaan katup 50%, sedangkan akurasi tertinggi diperoleh pada bukaan katup 100%. Peningkatan nilai akurasi pada debit yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa flowmeter ultrasonik bekerja lebih optimal ketika kecepatan aliran air meningkat. Pada kondisi aliran yang lebih besar, sinyal yang diterima sensor menjadi lebih stabil sehingga proses pengukuran dapat dilakukan dengan lebih baik. Sebaliknya, pada bukaan katup yang lebih kecil, kecepatan aliran yang rendah menyebabkan hasil pengukuran lebih rentan dipengaruhi oleh fluktuasi aliran, turbulensi, gelembung udara (kavitasi), maupun gangguan sinyal, sehingga nilai akurasi yang diperoleh menjadi lebih rendah. Untuk memudahkan analisis data berikut adalah grafik perbandingan flowmeter uji dan flowmeter acuan.



Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Error & Akurasi

Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan antara nilai *error* relatif dan nilai akurasi pengukuran flowmeter pada empat variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai *error* relatif cenderung menurun seiring dengan meningkatnya bukaan katup. Pada bukaan katup 25%, nilai *error* relatif sebesar 3,83%, kemudian sedikit meningkat menjadi 3,97% pada bukaan 50%. Selanjutnya, nilai *error* mengalami penurunan menjadi 2,56% pada bukaan 75% dan mencapai nilai terendah sebesar 2,01% pada bukaan katup 100%. Sebaliknya, nilai akurasi menunjukkan tren yang meningkat seiring bertambahnya bukaan katup. Akurasi pengukuran pada bukaan katup 25% sebesar 96,17%, kemudian sedikit menurun menjadi 96,03% pada bukaan 50%. Setelah itu, nilai akurasi meningkat menjadi 97,44% pada bukaan 75% dan mencapai nilai tertinggi sebesar 97,89% pada bukaan katup 100%.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran yang melewati sistem, semakin kecil penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai acuan sehingga tingkat akurasi sensor menjadi semakin tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh aliran fluida yang lebih stabil pada debit yang lebih besar, sehingga sensor mampu mendeteksi laju aliran dengan lebih konsisten. Selain itu, pengaruh turbulensi lokal, fluktuasi pulsa sensor, dan kesalahan pembacaan relatif lebih kecil dibandingkan pada kondisi debit rendah.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Secara keseluruhan, grafik pada Gambar 4.5 menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik antara nilai *error* relatif dan akurasi. Semakin kecil nilai *error*, semakin tinggi tingkat akurasi pengukuran yang dihasilkan. Dengan nilai *error* relatif maksimum hanya 3,97% dan nilai akurasi tertinggi mencapai 97,89%, dapat disimpulkan bahwa sistem pengukuran yang dikembangkan memiliki performa yang baik dan mampu memberikan hasil pengukuran yang mendekati nilai referensi pada seluruh variasi bukaan katup yang diuji.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.4, nilai akurasi flowmeter YF-S201 berada pada kisaran 96,03% hingga 97,89% untuk seluruh variasi bukaan katup yang diuji. Secara umum, akurasi pengukuran menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya bukaan katup. Namun, terdapat sedikit penurunan pada bukaan katup 50% dibandingkan bukaan 25%. Kondisi ini menunjukkan bahwa respons sensor tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya debit, tetapi juga oleh karakteristik aliran fluida yang berubah pada setiap kondisi pengujian.

Pada bukaan katup 25%, flowmeter menghasilkan akurasi sebesar 96,17% dengan nilai *error* relatif 3,83%. Ketika bukaan katup dinaikkan menjadi 50%, akurasi sedikit menurun menjadi 96,03%, sedangkan *error* relatif meningkat menjadi 3,97%, yang merupakan nilai tertinggi selama pengujian. Penurunan ini diduga berkaitan dengan kondisi aliran fluida yang belum sepenuhnya stabil. Menurut Baker [6], tingkat akurasi suatu alat ukur debit dipengaruhi oleh karakteristik aliran dan kondisi operasional di dalam pipa. Pada rentang debit rendah hingga menengah, aliran dapat berada pada kondisi transisi sehingga distribusi kecepatan fluida belum merata. Penelitian Si, Lim, dan Wang [7] serta Xue *et al.* [8] juga menjelaskan bahwa distribusi kecepatan, energi kinetik, dan tingkat turbulensi sangat memengaruhi karakteristik aliran. Kondisi tersebut menyebabkan putaran rotor pada sensor YF-S201 menjadi kurang stabil sehingga pulsa yang dihasilkan mengalami fluktuasi dan berdampak pada menurunnya akurasi pengukuran.

Ketika bukaan katup ditingkatkan menjadi 75% dan 100%, akurasi sensor mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pada bukaan 75%, akurasi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mencapai 97,44%, kemudian meningkat menjadi 97,89% pada bukaan penuh 100%. Pada kondisi yang sama, error relatif turun hingga 2,01%, yang merupakan nilai terendah selama pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor bekerja lebih optimal pada debit yang lebih tinggi. Hal tersebut sesuai dengan prinsip kerja flowmeter YF-S201 yang memanfaatkan sensor *Hall effect*, di mana putaran rotor menjadi lebih stabil ketika aliran fluida semakin besar sehingga sinyal pulsa yang dihasilkan lebih konsisten dan proses konversi menjadi nilai debit berlangsung lebih akurat [10]. Penelitian Djalilov *et al.* [10] juga menunjukkan bahwa keluaran sensor YF-S201 memiliki hubungan yang linier terhadap laju aliran air dan memberikan performa terbaik saat beroperasi mendekati kapasitas nominalnya. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana akurasi tertinggi diperoleh pada kondisi bukaan katup 100%.

Hasil penelitian ini juga memiliki kesesuaian dengan penelitian Muamaroh dan Christanto [19] yang menerapkan sensor YF-S201 berbasis NodeMCU ESP8266 untuk sistem pemantauan penggunaan air. Penelitian tersebut melaporkan rata-rata error sebesar 1,3% pada kondisi aliran yang relatif stabil. Sementara itu, penelitian ini menghasilkan error relatif antara 2,01% hingga 3,97%. Nilai tersebut memang sedikit lebih besar, namun masih tergolong baik mengingat sistem yang digunakan merupakan prototype PLTMH dengan variasi bukaan katup yang menyebabkan debit air berubah-ubah dan kondisi aliran menjadi lebih dinamis dibandingkan sistem distribusi air rumah tangga. Perbedaan kondisi pengujian tersebut menunjukkan bahwa sensor menghadapi tantangan yang lebih besar dalam mengukur debit, sehingga pencapaian akurasi di atas 96% tetap dapat dikategorikan sebagai hasil yang sangat baik.

Hubungan antara error relatif dan akurasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 juga memperlihatkan pola yang berbanding terbalik. Semakin besar nilai error, semakin rendah tingkat akurasi yang dihasilkan sensor. Menurut Huda [18], kualitas sinyal yang diterima sensor sangat memengaruhi ketelitian pengukuran debit. Gangguan atau *noise* pada sinyal dapat menyebabkan kesalahan pembacaan sehingga hasil pengukuran menjadi kurang akurat. Pada bukaan katup yang kecil, putaran rotor cenderung tidak stabil akibat kecepatan aliran yang rendah. Selain itu,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

adanya turbulensi lokal, gelembung udara, maupun getaran pada sistem perpipaan juga dapat menyebabkan sinyal pulsa yang dihasilkan menjadi kurang konsisten, sehingga error pengukuran meningkat.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa flowmeter YF-S201 memiliki kinerja yang baik sebagai alat ukur debit pada sistem monitoring berbasis Arduino Uno. Hal ini ditunjukkan oleh nilai error relatif yang selalu berada di bawah 4% serta tingkat akurasi yang melebihi 96% pada seluruh variasi bukaan katup. Akurasi terbaik sebesar 97,89% diperoleh pada kondisi bukaan katup 100%, yang menunjukkan bahwa sensor bekerja paling optimal ketika debit mendekati kapasitas operasinya. Oleh karena itu, sensor YF-S201 dapat dijadikan alternatif yang ekonomis dan cukup andal untuk pemantauan debit pada prototype PLTMH skala laboratorium. Meskipun demikian, apabila sistem lebih sering beroperasi pada debit menengah, terutama di sekitar bukaan katup 50%, disarankan dilakukan kalibrasi ulang atau penerapan faktor koreksi agar hasil pengukuran tetap memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

4.3 Analisis Presisi Pengukuran

Analisis presisi pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi tingkat konsistensi hasil pengukuran yang diperoleh dari flowmeter YF dan flowmeter ultrasonik pada kondisi pengujian yang sama. Presisi menunjukkan sejauh mana hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang menghasilkan nilai yang saling berdekatan. Berbeda dengan akurasi yang membandingkan hasil pengukuran terhadap nilai acuan, presisi berfokus pada tingkat keterulangan (*repeatability*) dari suatu alat ukur. Pada penelitian ini, analisis presisi dilakukan terhadap data hasil pengukuran pada setiap variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada penelitian ini, analisis presisi dilakukan terhadap data hasil pengukuran pada setiap variasi bukaan katup, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100%. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi presisi meliputi nilai rata-rata (mean), standar deviasi (standard deviation), dan koefisien variasi (coefficient of variation/CV). Nilai rata-rata digunakan untuk mengetahui nilai representatif dari seluruh data pengukuran, sedangkan standar deviasi menunjukkan tingkat penyebaran data terhadap nilai rata-ratanya. Semakin kecil nilai standar deviasi yang diperoleh,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

maka semakin tinggi tingkat presisi sensor. Perhitungan nilai rata-rata pada penelitian ini menggunakan persamaan:

- Nilai rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (4.4)$$

Dengan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = data hasil pengukuran ke i

n = jumlah data pengukuran

- Standar deviasi

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.5)$$

Dengan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = data hasil pengukuran ke i

n = jumlah data pengukuran

- Koefisien variasi

$$CV = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100\% \quad (4.6)$$

Dengan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

SD = standar deviasi

4.3.1 Flowmeter YF-DN50

Tabel 4. 9 Tabel Hasil Perhitungan Presisi Pengukuran

Bukaan Katup (%)	Jumlah Data	Mean (L/min)	Standar Deviasi (L/min)	Koefisien Variasi (%)
25	10	153.74	0,0346	0,8%
50	10	166.26	0,0608	1,09%
75	10	183.23	0,0275	0,40%
100	10	200.57	0,0250	0,34%



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Analisis presisi pengukuran dilakukan untuk mengetahui tingkat konsistensi hasil pengukuran flowmeter Hall-effect YF-DN50 pada setiap variasi bukaan katup. Parameter yang digunakan dalam analisis ini meliputi nilai rata-rata (mean), standar deviasi, dan koefisien variasi (coefficient of variation/CV). Suatu alat ukur dikatakan memiliki presisi yang baik apabila menghasilkan nilai standar deviasi dan koefisien variasi yang rendah, yang menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki penyebaran data yang kecil terhadap nilai rata-ratanya. Berdasarkan Tabel 4.9, hasil pengukuran pada bukaan katup 25% menghasilkan nilai rata-rata debit sebesar 153,74 L/min dengan standar deviasi 0,0346 L/min dan koefisien variasi 0,80%. Pada bukaan katup 50%, nilai rata-rata debit meningkat menjadi 166,26 L/min dengan standar deviasi 0,0608 L/min dan koefisien variasi 1,09%, yang merupakan nilai koefisien variasi tertinggi di antara seluruh kondisi pengujian. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada di bawah 2%, sehingga menunjukkan bahwa hasil pengukuran tetap memiliki tingkat konsistensi yang sangat baik. Selanjutnya, pada bukaan katup 75% diperoleh nilai rata-rata debit sebesar 183,23 L/min dengan standar deviasi 0,0275 L/min dan koefisien variasi 0,40%. Adapun pada bukaan katup 100%, diperoleh nilai rata-rata debit sebesar 200,57 L/min dengan standar deviasi 0,0250 L/min serta koefisien variasi 0,34%, yang merupakan nilai terendah dari seluruh variasi bukaan katup. Secara keseluruhan, nilai koefisien variasi pada seluruh pengujian berada pada rentang 0,34% hingga 1,09%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa variasi data hasil pengukuran relatif sangat kecil terhadap nilai rata-ratanya, sehingga flowmeter Hall-effect YF-DN50 memiliki tingkat presisi yang sangat baik dalam mengukur debit air pada prototype PLTMH. Selain itu, terlihat adanya kecenderungan bahwa semakin besar bukaan katup dan debit aliran, nilai koefisien variasi cenderung semakin kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa sensor menghasilkan pengukuran yang lebih stabil pada debit yang lebih tinggi karena putaran rotor di dalam flowmeter menjadi lebih konstan dan pengaruh fluktuasi aliran terhadap pembacaan sensor semakin berkurang[15].



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.2 Flowmeter Ultrasonik

Tabel 4. 10 Tabel Hasil Perhitungan Presisi Pengukuran

Bukaan Katup (%)	Jumlah Data	Mean (L/min)	Standar Deviasi (L/min)	Koefisien Variasi (%)
25	10	155,02	0,0508	1,22%
50	10	167,15	0,173	2,98%
75	10	185,37	0,0504	0,72%
100	10	203,23	0,158	2,11%

Analisis presisi pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi tingkat konsistensi hasil pengukuran flowmeter pada setiap variasi bukaan katup. Presisi diukur menggunakan parameter nilai rata-rata (mean), standar deviasi, dan koefisien variasi (coefficient of variation/CV). Semakin kecil nilai standar deviasi dan koefisien variasi, maka semakin tinggi tingkat presisi alat ukur karena menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki penyebaran data yang kecil terhadap nilai rata-ratanya.

Berdasarkan Tabel 4.10, pada bukaan katup 25% diperoleh nilai rata-rata debit sebesar 155,02 L/min dengan standar deviasi 0,0508 L/min dan koefisien variasi 1,22%. Hasil ini menunjukkan bahwa data pengukuran memiliki tingkat penyebaran yang rendah sehingga menghasilkan pengukuran yang cukup konsisten. Pada bukaan katup 50%, nilai rata-rata debit meningkat menjadi 167,15 L/min dengan standar deviasi 0,173 L/min dan koefisien variasi 2,98%, yang merupakan nilai koefisien variasi tertinggi dari seluruh kondisi pengujian. Hal ini menunjukkan adanya variasi hasil pengukuran yang lebih besar dibandingkan variasi bukaan katup lainnya, meskipun masih berada pada rentang yang dapat diterima untuk pengujian laboratorium.

Selanjutnya, pada bukaan katup 75% diperoleh nilai rata-rata debit sebesar 185,37 L/min dengan standar deviasi 0,0504 L/min dan koefisien variasi 0,72%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat konsistensi yang sangat baik. Pada bukaan katup 100%, diperoleh nilai rata-rata debit sebesar 203,23 L/min dengan standar deviasi 0,158 L/min dan koefisien variasi 2,11%.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Meskipun nilai koefisien variasinya lebih besar dibandingkan bukaan katup 75%, hasil pengukuran masih menunjukkan tingkat presisi yang baik karena penyimpangan data terhadap nilai rata-ratanya relatif kecil.

Secara keseluruhan, nilai koefisien variasi pada seluruh variasi bukaan katup berada pada rentang 0,72% hingga 2,98%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran flowmeter memiliki tingkat presisi yang baik karena variasi antar data pengukuran relatif kecil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa flowmeter mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten pada berbagai kondisi debit aliran. Meskipun pada bukaan katup 50% diperoleh koefisien variasi tertinggi, nilai tersebut masih menunjukkan bahwa alat ukur memiliki repeatability yang memadai untuk digunakan pada pengukuran debit air pada prototype PLTMH.



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA