



Pengujian Ketidakpastian Pengukuran Alat Ukur Debit Air Rendah Biaya Berbasis Mikro Kontroler Arduino

A Low-Cost Water Discharge Measurement Tool Based on an Arduino Microcontroller for Testing Measurement Uncertainty

Dwijaya Febriansyah*

Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. M.H Thamrin No. 8 Jakarta Pusat 10340, Indonesia

Informasi artikel:

Diterima:
23/05/2023
Direvisi:
04/06/2023
Disetujui:
13/06/2023

Abstract

Commercial water flow meter costs increase when utilized in low-cost installations like pico-hydro, small-scale process industries, irrigation, and other rural or non-commercial technology applications that require measurements of water discharge. Utilizing a low-budget flow meter equipped with a freely available microcontroller is the answer to this issue. In contrast to commercial measuring devices, this low-budget measuring instrument needs to be examined and verified ahead of time using other commercial measuring devices to establish the measurement's uncertainty value and make it feasible to use. By using the Arduino Uno microcontroller and the YF-DN40 turbine sensor, this low-budget flow meter is capable of producing <5% difference in discharge readings and <1% measurement uncertainty.

Keywords: testing, measurement verification, measurement uncertainty, flow meter, Arduino Uno.

SDGs:



Abstrak

Penggunaan alat ukur debit air komersial menjadi mahal ketika digunakan pada instalasi-instalasi yang menghendaki biaya rendah seperti pikohidro, industri proses skala rumah tangga, irigasi dan aplikasi teknologi rural atau non-komersial lainnya yang membutuhkan pengukuran debit air. Solusi permasalahan ini adalah dengan pemakaian alat ukur debit rendah biaya berbasis mikro kontroler *open-source*. Berbeda dengan alat ukur komersial, alat ukur rendah biaya ini perlu diuji dan diverifikasi terlebih dahulu dengan alat ukur komersial lainnya untuk mengetahui nilai ketidakpastian pengukurannya sehingga layak untuk digunakan. Dengan menggunakan mikro kontroler Arduino Uno dan sensor turbin YF-DN40, alat ukur debit rendah biaya ini mampu menghasilkan selisih pembacaan debit <5% dan ketidakpastian pengukuran <1%.

Kata Kunci: pengujian, verifikasi hasil pengukuran, ketidakpastian pengukuran, alat ukur debit, Arduino Uno.

*Penulis Korespondensi
email : dwij033@brin.go.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Pengukuran debit air adalah salah satu kebutuhan mendasar ketika air dimanfaatkan sebagai sumber energi pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dan bahan baku pada industri proses. Pengukuran debit air terutama yang mengalir dalam pipa dapat dilakukan dengan mudah dan akurat menggunakan peralatan ukur debit air komersial.

Alat ukur debit air komersial ini menggunakan teknologi tinggi seperti pemanfaatan gelombang elektromagnetik (Martim dkk., 2019; Yang dkk., 2022) dan gelombang ultrasonik (Zhang, Guo dan Lin, 2019; Chen dkk., 2021) serta mikro kontroler yang cepat dalam membaca, mengolah dan menyajikan data hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Flow meter ultrasonic model 1 (Sure, 2023)



Gambar 2. Flow meter ultrasonik model 2 (Microthings, 2023)

Pada alat ukur debit elektromagnetik, medan magnet dihasilkan dan diarahkan kedalam air didalam pipa. Menurut Hukum Faraday, cairan yang memiliki konduktifitas yang mengalir melalui suatu medan magnet akan menyebabkan sinyal

listrik yang akan di deteksi oleh elektroda yang terletak pada dinding pipa. Ketika cairan bergerak lebih cepat, maka aliran listrik yang dihasilkan juga akan dihasilkan. Hukum Faraday menjelaskan bahwa kecepatan cairan berbanding lurus dengan tegangan listrik yang dihasilkan. Transmitter elektronik inilah yang nantinya akan membaca sinyal tegangan untuk menunjukkan besarnya aliran air (Nurdin, Gaol dan Muchamad, 2022).

Pada alat ukur debit ultrasonik pembacaan debit air berdasarkan kecepatan dimana gelombang ultrasonik ditransmisikan oleh transduser yang dilewati media alir sehingga diperoleh kecepatan aliran yang diolah dari *ultrasonic transmitter* (Ren dkk., 2022).

Pada umumnya, alat ukur debit air komersial ini harganya sangat mahal (>\$200 berdasarkan data di *website* penjualannya) sehingga tidak cocok apabila digunakan dalam instalasi-instalasi yang mengutamakan biaya rendah seperti pikohidro (Titus dan Ayalur, 2019; Troullaki dkk., 2019; Gallego dkk., 2021; Dio, Cipriani dan Manno, 2022), industri proses skala rumah tangga, irigasi serta aplikasi teknologi rural, non-komersial dan tidak membutuhkan teknologi tinggi lainnya yang membutuhkan debit air terukur.

Pengurangan biaya investasi alat ukur debit air pada instalasi-instalasi berbiaya rendah <\$2000 untuk sebuah pembangkit pikohidro (Yusmartato dkk., 2022), non-komersial dan tidak membutuhkan teknologi tinggi tersebut dapat dilakukan dengan penggunaan alat ukur berbasis mikro kontroler *opensource*.

Rancang bangun alat ukur debit air berbasis mikro kontroler *opensource* telah banyak dilakukan untuk berbagai keperluan seperti sebagai alternatif meter air bersih PDAM dan pengendali laju aliran air pada sistem irigasi (Alel dan Aswardi, 2020; Husni dkk., 2020).

Berbeda dengan alat ukur komersial, alat ukur berbasis mikro kontroler *opensource* sangat terjangkau dari segi harga perangkat kerasnya sedangkan perangkat lunaknya tersedia gratis. Salah satu mikro kontroler yang banyak terdapat dipasaran adalah Arduino seperti pada Gambar 3. Keluwesan dan kecepatan sistem untuk menyesuaikan diri baik dari segi *hardware* dan *software* adalah kelebihan Arduino dibandingkan

mikro kontroler lainnya (Kusumadiarti dan Qodawi, 2021).



Gambar 3. Mikro kontroler Arduino (Hidayanti, Rahmah dan Wiryawan, 2020)

Selain itu, menurut Kusumadiarti dan Qodawi, jumlah pengguna yang sangat besar menjadi keistimewaan tersendiri bagi Arduino sehingga referensi untuk kode pemrograman dan perangkat pendukung juga mudah untuk diperoleh (Kusumadiarti and Qodawi, 2021). Kelebihan-kelebihan ini sangat membantu bagi orang-orang yang sedang memulai mendalami pemrograman mikro kontroler.

Beberapa penelitian rancang bangun alat ukur debit air yang ekonomis telah dilakukan peneliti untuk mengukur debit air yang mengalir dalam pipa. Sebagian besar penelitian tentang alat ukur debit ini menggunakan media air sebagai fluida uji cobanya dan sedikit yang menggunakan fluida udara.

Lestari dan Yaddarabullah melakukan pengujian alat pembaca meter air bersih dengan Arduino Uno dan sensor turbin dengan perolehan tingkat akurasi dari alat yang dikembangkan mencapai 95.6% (Lestari and Yaddarabullah, 2018). %. Abdullahi dkk., mendesain dan membuat sendiri sensor pengukur debit air dan mengujicobanya dengan mikro kontroler Arduino (Abdullahi, Habaebi dan Malik, 2019). Sementara Husni dkk., memodifikasi sistem pembacaan meter air PDAM dengan Arduino Uno dan sensor YS-S201 dan membandingkannya dengan alat ukur konvensional (Husni dkk., 2020).

Dalle dkk., menghubungkan sensor debit dengan mikro kontroler dan *website* untuk memperoleh data yang *real-time*, sehingga dapat dipantau setiap saat secara daring melalui

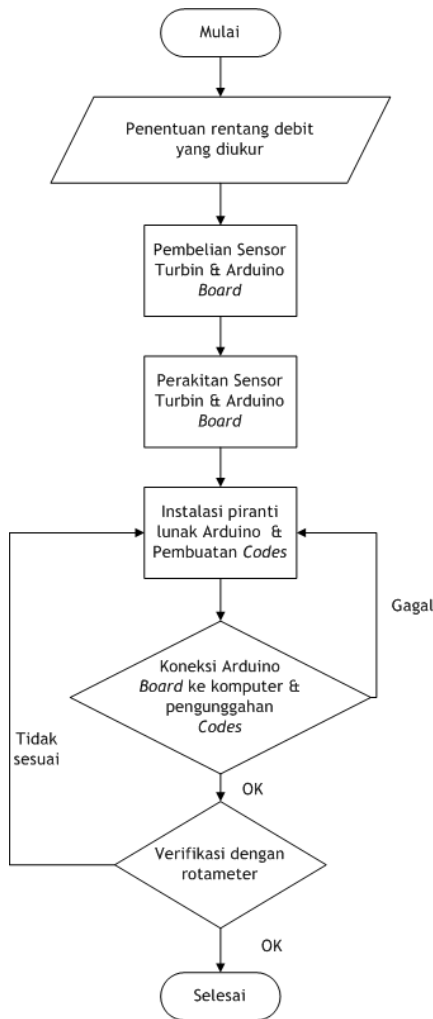
website dan Android (Dalle, Tamjidi dan Yusirwan Syafruddin, 2020). Sementara Alel dan Aswardi serta Koshoeva dkk., merancang bangun sistem buka tutup otomatis pintu air menggunakan sensor debit tipe YF-S201, mikro kontroler Arduino Uno dan mengendalikannya melalui Android dengan koneksi *Bluetooth* (Alel dan Aswardi, 2020; Koshoeva dkk., 2021). Jerez dkk., mengembangkan sendiri sensor pengukur debit dengan error pengukuran rata-rata kurang dari 1.4% dan standar deviasi 0.0612 (Jerez dkk., 2021). Prasath dkk., memanfaatkan sensor turbin murah dan Arduino Uno untuk mengukur laju aliran udara pada *ambu bag* (Prasath dkk., 2021).

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menjelaskan tentang rancang bangun alat ukur debit berbasis mikro kontroler *opensource* namun belum memberikan informasi kode pemrograman yang lengkap dan siap pakai serta ketidakpastian pengukuran menggunakan alat ukur yang dirancang bangun dalam studi tersebut.

Studi ini bertujuan untuk mendapatkan kode pemrograman yang bisa digunakan secara langsung dan mengetahui ketidakpastian pengukuran debit air menggunakan alat ukur berbasis mikro kontroler *opensource*. Nilai dari ketidakpastian pengukuran tersebut akan menjadi tolok ukur kelayakgunaan dari alat ukur debit rendah biaya ini. Selain itu, studi ini juga bermanfaat memberikan metode alternatif pengukuran debit air yang mudah, akurat dan rendah biaya pada instalasi-instalasi berbiaya rendah, non-komersial dan tidak berteknologi tinggi seperti industri proses skala rumah tangga dan aplikasi teknologi rural (pikohidro dan irigasi).

2. METODOLOGI

Proses pengujian alat ukur debit ini ditunjukkan pada Gambar 4. Sebelum melakukan pengujian, alat ukur dirancang bangun dengan terlebih dahulu melakukan identifikasi rentang operasi parameter pada sistem. Identifikasi ini akan menentukan spesifikasi sensor yang akan digunakan. Selanjutnya dilakukan pengadaan material mikro-kontroler dan sensor sesuai dengan spesifikasi sistem yang akan diukur dan *wiring* mikro-kontroler dengan sensor.



Gambar 4. Proses pengujian alat ukur

Software Arduino dapat diperoleh secara gratis di internet dan codes-nya dapat dibuat sendiri atau mengunduh dari pustaka *program code* yang sesuai dengan kebutuhan di internet. *Code* yang dibuat harus diunggah ke Arduino board dengan mengkoneksikannya melalui kabel data. *Codes* berfungsi untuk mengkomunikasikan sensor dengan Arduino board. Jika tidak ada masalah dalam coding dan pengunggahannya, Arduino dapat langsung digunakan untuk pengukuran. Metode pengukuran yang lain seperti rotameter diperlukan untuk memverifikasi data hasil pengukuran menggunakan Arduino.

Alat ukur debit air yang dianalisis dalam studi ini dirancang bangun menggunakan mikro kontroler Arduino Uno dan sensor turbin YF-DN40 (lihat Gambar 5) yang dipasang pada pipa 1.5 inch. Sensor ini memiliki kapasitas 0-150 liter per

menit (LPM). Sensor terdiri dari badan katup yang terbuat dari polivinil klorida (PVC), sudu dan sensor Hall-effect.

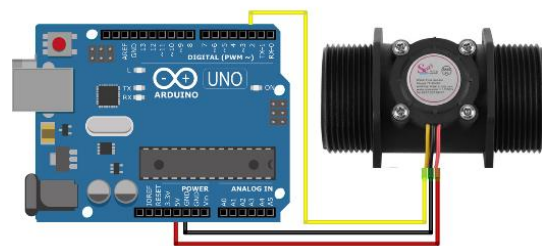


Gambar 5. Sensor turbin YF-DN40

Saat air mengalir, sudu akan berotasi dan perubahan jumlah putaran per satuan waktunya berbanding lurus dengan debit air. Sensor Hall-effect akan memberikan sinyal pulsa ke mikro kontroler Arduino Uno dan mengolahnya menjadi data debit dalam satuan liter per menit (LPM) dengan persamaan (1) sebagai berikut (Maranni dkk., 2021):

$$P = c \cdot Q \quad (1)$$

Dimana P adalah sinyal pulsa dalam satuan Hz, c adalah faktor pengali dan Q adalah debit air dalam satuan liter per menit (LPM). Manufaktur pembuat sensor ini memberikan spesifikasi nilai faktor pengali 0.45 untuk kode pemrogramannya namun perlu diverifikasi terlebih dahulu.



Gambar 6. Skema perakitan flow meter

Perakitan Arduino Uno dengan sensor turbin cukup mudah karena sensor hanya terdiri dari 3 kabel pin saja yaitu kabel VCC (merah) yang dihubungkan dengan pin 5V, kemudian kabel output (kuning) yang dihubungkan dengan digital pin 2 dan kabel GND (hitam) yang dihubungkan

dengan pin GND Arduino Uno. Gambar 6 menunjukkan perakitan Arduino Uno dengan sensor turbin.

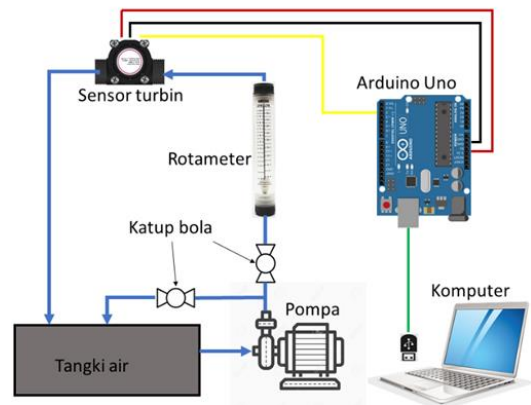
Untuk mengkomunikasikan sensor turbin dengan Arduino Uno, dibutuhkan kode pemrograman untuk diunggah ke Arduino Uno seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Kode pemrograman ini diperoleh secara gratis dari beberapa laman internet dan kemudian dilakukan modifikasi sesuai dengan kebutuhan pengukuran yang akan dilakukan. Kode pemrograman yang diberikan adalah kode pemrograman yang digunakan untuk menguji alat ukur dalam studi ini dimana faktor pengali yang digunakan adalah 0.5.

```

FLOWMETER_V0-DHAK_1-SKETCH [Arduino 1.8.8]
File Edit Sketch Tools Help
FLOWMETER_V0-DHAK_1-SKETCH.g
volatile int flow_frequency; //
Measures flow sensor pulses
unsigned int l_min; //
Calculated litres/min
unsigned char flowsensor = 2; //
Sensor Input
unsigned long currentTime;
unsigned long cloopTime;
void flow () // Interrupt
function
{
    flow_frequency++;
}
void setup()
{
    pinMode(flowsensor, INPUT);
    digitalWrite(flowsensor,
HIGH); // Optional Internal
Pull-Up
    Serial.begin(9600);
    attachInterrupt(0, flow,
RISING); // Setup Interrupt
    sei(); // Enable interrupts
    currentTime = millis();
    cloopTime = currentTime;
}
void loop ()
{
    currentTime = millis();
    // Every second, calculate
and print litres/min
    if (currentTime >= (cloopTime
+ 1000))
    {
        cloopTime = currentTime;
// Updates cloopTime
        // Pulse frequency (Hz) =
0.53Q, Q is flow rate in L/min.
        l_min = (flow_frequency /
0.5); // Pulse frequency / 0.53
= flowrate in L/min
        flow_frequency = 0; //
Reset Counter
        Serial.print(l_min, DEC);
// Print litres/min
        Serial.println("
L/min");
    }
}
    
```

Gambar 7. Kode pemrograman

Alat ukur diujicoba dengan menggunakan pompa dan sistem pipa tunggal yang dilengkapi dengan pipa *bypass* untuk mengalirkan air ke tangki air melewati sensor dan katup untuk mengatur debit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Pengukuran dilakukan pada 11 titik debit yang berbeda-beda dengan memvariasikan bukaan katup pipa *bypass* mulai dari buka penuh sampai tutup penuh.



Gambar 8. Konfigurasi pengujian

Pada setiap titik pengukuran, debit dibaca dengan pengulangan sebanyak 120 sampel data debit karena dalam penelitian pengujian jumlah sampel yang mewakili populasi harus minimal 30 sampel (Alwi, 2012). Pembacaan debit oleh Arduino diverifikasi dengan rotameter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Jika terdapat perbedaan yang cukup jauh maka perlu dilakukan modifikasi kode pada Arduino dan mengunggahnya kembali.

Sampel data yang diperoleh kemudian diolah dengan beberapa perhitungan statistik untuk mendapatkan hasil rata-rata, simpangan baku, kesalahan standar *error* dan nilai ketidakpastian.

Hasil rata-rata, \bar{X} pada sejumlah n sampel data, X_i dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut (Ulikaryani, Abdillah dan Hastuti, 2022):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_i \quad (2)$$

Untuk simpangan baku atau standar deviasi, S_x dihitung dengan persamaan (3) sebagai berikut (Ulikaryani, Abdillah and Hastuti, 2022):

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (3)$$

Dengan kesalahan standar atau standar error rata-rata, $\sigma_{\bar{x}}$ sebagai berikut (Ismarwanti *et al.*, 2021):

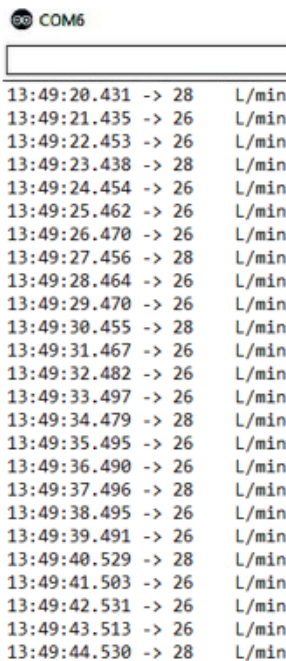
$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Untuk mencapai tingkat kepercayaan 95% terhadap hasil pengukuran maka nilai ketidakpastian pengukuran, U_x pada kuantitas tunggal adalah sebagai berikut (Miarti, 2022; Rohayati, 2020):

$$U_x = 2 \cdot \sigma_x \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

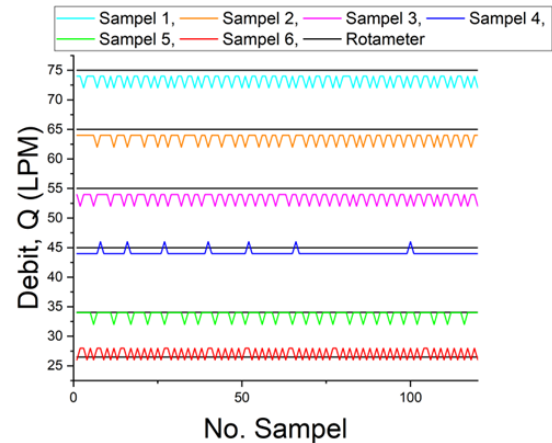
Data pengujian alat ukur Arduino secara keseluruhan terekam secara langsung pada aplikasi Arduino. Data yang ditampilkan adalah waktu pengukuran dan jumlah debit yang terukur sesuai dengan kode pemrograman (lihat Gambar 9).



Gambar 9. Tampilan data logging pengukuran

Pengujian alat ukur debit Arduino menghasilkan 11 titik pengukuran dengan debit maksimum yang dihasilkan pompa 75 LPM berdasarkan pembacaan rotameter. Karakteristik pembacaan debit oleh Arduino ditunjukkan pada Gambar 10 untuk 6 titik pengukuran. Hasil pengukuran dengan rotameter dapat terlihat

dengan jelas seperti garis lurus sedangkan hasil pengukuran dengan Arduino terlihat fluktuatif. Hal ini disebabkan karena putaran pompa yang tidak konstan dan terkadang kondisi air yang masuk ke pipa disertai sedikit gelembung udara yang mengganggu putaran sensor turbin.



Gambar 10. Perbandingan data pengukuran Arduino dengan rotameter

Hasil pengujian dan analisis perhitungan data pengujian alat ukur secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 1. Pembacaan rotameter pada titik pengukuran 1 sampai dengan 4 merupakan konversi satuan dari GPM yang terbaca di rotameter ke satuan LPM.

Tabel 1. Perhitungan data hasil pengujian alat ukur debit air Arduino

Rota meter Q, (LPM)	Alat ukur debit Arduino, Q (LPM)					Selisih %
	\bar{X}	S_x	$\sigma_{\bar{x}}$	$U_{\bar{x}}$	$U_{\bar{x}} \%$	
26.5	27.067	1.002	0.091	0.183	0.676	-2.14
30.28	30.417	0.816	0.074	0.149	0.490	-0.45
34.07	33.583	0.816	0.074	0.149	0.443	1.43
37.85	37.250	0.972	0.089	0.178	0.477	1.59
45	44.117	0.471	0.043	0.086	0.195	1.96
50	49.000	1.004	0.092	0.183	0.374	2.00
55	53.350	0.941	0.086	0.172	0.322	3.00
60	58.867	0.995	0.091	0.182	0.309	1.89
65	63.433	0.905	0.083	0.165	0.260	2.41
70	69.183	0.987	0.090	0.180	0.261	1.17
75	73.250	0.972	0.089	0.178	0.242	2.33

Data pada Tabel 1, menunjukkan persentase ketidakpastian pengukuran alat ukur debit Arduino tertinggi sebesar 0.676%. Dalam pengujian alat ukur ini nilai ketidakpastian cenderung semakin menurun dengan bertambahnya debit air yang diukur. Selisih hasil pengukuran maksimum antara rotameter dan Arduino berdasarkan Tabel 1 adalah 3% pada titik pengukuran rotameter 55 LPM. Hal ini dikarenakan pembacaan rotameter adalah pembacaan secara visual pada skala yang tertera pada tabungnya dan pengaturan debit ukur dikendalikan secara manual dengan katup bola sehingga perbedaan kecil pengaturan debit tidak terbaca signifikan di rotameter.

Pengukuran debit air secara praktis dan akurat dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang komersial seperti *electromagnetic* dan *ultrasonic flowmeter*. Namun alat ukur debit komersial terbilang mahal apabila digunakan untuk menunjang teknologi rural dan instalasi lainnya yang menghendaki biaya yang rendah atau non-komersial. Selain itu alat ukur komersial ini pada umumnya tidak dapat melakukan perekaman data seperti yang mampu dilakukan oleh Arduino.

Untuk merancang bangun alat ukur debit dengan mikro kontroler Arduino ini total biaya yang dibutuhkan sekitar \$24 dan komponen-komponen yang dibutuhkan tersedia banyak dipasaran dan dapat dibeli secara *online* di beberapa *market-place*. Biaya untuk membuat alat ukur debit ini jauh lebih murah dibandingkan dengan harga alat ukur komersial yang mencapai lebih dari \$200. Dalam studi ini rotameter digunakan sebagai alat ukur untuk verifikasi karena harganya lebih terjangkau dan hasilnya cukup akurat dibandingkan metode pengukuran lainnya.

Persentase maksimum selisih pembacaan nilai debit dan ketidakpastian pengukuran yang dalam studi ini diperoleh dengan pemakaian faktor pengali, $c = 0.5$ pada kode pemrogramannya. Faktor pengali ini digunakan setelah dilakukan pemakaian beberapa faktor pengali. Faktor pengali yang diberikan oleh pihak manufaktur tidak sesuai karena menghasilkan persentase selisih pembacaan yang lebih besar.

Berdasarkan spesifikasi sensor turbin YF-DN40, kapasitas alat ukur debit air ini seharusnya

mampu mencapai 150 LPM. Namun karena keterbatasan peralatan uji terutama pompa, penelitian ini hanya bisa menguji alat ukur sampai dengan 75 LPM atau baru 50% dari kapasitas yang tersedia pada sensor. Oleh karena itu diharapkan pengujian alat ukur ini dapat dilanjutkan pada penelitian-penelitian selanjutnya sehingga diperoleh hasil yang maksimal.

4. SIMPULAN

Alat ukur debit air berbasis mikro kontroler Arduino ini cocok digunakan untuk mengukur debit air pada instalasi-instalasi berbiaya rendah, non-komersial dan tidak berteknologi tinggi seperti industri proses skala rumah tangga dan aplikasi teknologi rural (pikohidro dan irigasi) karena biaya investasinya yang murah dan pemakaiannya yang mudah. Sebagai alat ukur dengan spesifikasi mikro kontroler *opensource* 8 bit, Arduino Uno dan sensor turbin mampu menghasilkan selisih pembacaan debit dibawah 5% dan ketidakpastian pengukuran dibawah 1% dibandingkan alat ukur komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, S.I., Habaebi, M.H. dan Malik, N.A. (2019) 'Design, simulation and practical experimentation of miniaturized turbine flow sensor for flow meter assessment', *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 8(3), hal. 777-788.
- Alel, C.D. dan Aswardi, A. (2020) 'Rancang Bangun Buka Tutup Pintu Air Otomatis Pada Irigasi Sawah Berbasis Arduino Dan Monitoring Menggunakan Android', *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, 6(1), pp. 167-178.
- Alwi, I. (2012) 'Kriteria Empirik dalam Menentukan Ukuran Sampel Pada Pengujian Hipotesis Statistika dan Analisis Butir', *Formatif: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA*, 2(2), pp. 140-148.
- Chen, Yong dkk. (2021) 'Continuous ultrasonic flow measurement for aerospace small pipelines', *Ultrasonics*, 109, p. 106260.
- Dalle, J., Tamjidi, M. dan Yusirwan Syafruddin, S. (2020) 'Implementation of Water Debit Measurement Using Microcontroller-Connected Flow Meters', *TEM Journal*, 9(4), pp. 1467-1474.
- Dio, V.D., Cipriani, G. dan Manno, D. (2022) 'Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generators for Pico Hydropower Application: A Parametrical Study', *Energies*, 15(19), hal. 6893.
- Gallego, E. dkk. (2021) 'Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine', *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(4), hal. 266-275.

- Hidayanti, F., Rahmah, F. dan Wiryawan, A. (2020) 'Design of Motorcycle Security System with Fingerprint Sensor using Arduino Uno Microcontroller', *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(05), hal. 4374-4391.
- Husni, N.L. dkk. (2020) 'Modified Design of Water Metering System', in *Journal of Physics: Conference Series. 3rd Forum in Research, Science, and Technology (FIRST 2019)*, Indonesia: IOP Publishing, p. 012018.
- Ismarwanti, S. dkk. (2021) 'Analisis Ketidakpastian Pengukuran Kekuatan Tarik Dan Elongasi Spesimen Ss304 Berbentuk Ring', *Urania : Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 27(3), hal. 133-142.
- Jerez, N.D. dkk. (2021) 'Practical Design of Flow Meter for Mechanical Ventilation Equipment', *Journal of Computer Science and Technology*, 21(1), hal. 42-48.
- Koshoeva, B.B. dkk. (2021) 'Arduino-based automated system for determining water flow consumption in open flow', in *Journal of Physics: Conference Series. XI International Conference on High-performance computing systems and technologies in scientific research, automation of control and production (HPCST 2021)*, Rusia: IOP Publishing, p. 012009.
- Kusumadiarti, R.S. dan Qodawi, H. (2021) 'Implementasi Sensor Water Level Dalam Sistem Pengatur Debit Air Di Pesawahan', *PETIK : Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 7(1), hal. 19-29.
- Lestari, D. dan Yaddarabullah, Y. (2018) 'Perancangan Alat Pembacaan Meter Air PDAM Menggunakan Arduino Uno', *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, 1(2), hal. 36-41.
- Maranni, A.C. dkk. (2021) 'Exploring Torricelli's theorem with Arduino', *Journal of Experimental Techniques and Instrumentation*, 4(04), hal. 22-28.
- Martim, A.L.S.S. dkk. (2019) 'Electromagnetic flowmeter evaluation in real facilities: Velocity profiles and error analysis', *Flow Measurement and Instrumentation*, 66, hal. 44-49.
- Miarti, A. (2022) 'Estimasi Ketidakpastian Pengukuran Analisa Amine Content Menggunakan Metode Karl Fischer PT. Titis Sampurna LPG Prabumulih', *Jurnal Redoks*, 7(2), hal. 49-55.
- Microthings (2023) *Clamp On Ultrasonic Flow Meter UF2000M*, Microthings. Online: <https://www.microthings.id/product/clamp-on-ultrasonic-flow-meter-uf2000m-2/> (Diakses: 22 Mei 2023).
- Nurdin, Y., Gaol, B.B.L. dan Muchamad, M.K. (2022) 'Kajian Perbandingan Desain Sensor Pengukur Water Flow Di WTP PDAM Tirta Daroy Lambaro', *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 7(3), hal. 152-158.
- Prasath, T.A. dkk. (2021) 'Smart Ambu Bag Using Electronic Devices', in *2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE). 2021 International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)*, India: IEEE, hal. 623-625.
- Ren, R. dkk. (2022) 'Design and Implementation of an Ultrasonic Flowmeter Based on the Cross-Correlation Method', *Sensors*, 22, hal. 1-21.
- Rohayati, Y. (2020) 'Perhitungan Nilai Ketidakpastian Pada Pengujian Sedimen Sungai Dengan Teknik Fluoresensi Sinar-X (XRF)', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 16(1), hal. 23-37.
- Sure, T. (2023) *Electromagnetic Flow Meter Manufacturer, Seawater Flow Meter*, Tianjin Sure Instrument Co., Ltd. Online: <https://www.suremeter.com/electromagnetic-flowmeter> (Diakses: 22 Mei 2023).
- Titus, J. dan Ayalur, B. (2019) 'Design and Fabrication of In-line Turbine for Pico Hydro Energy Recovery in Treated Sewage Water Distribution Line', in *Energy Procedia. 5th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2018)*, Japan: Elsevier, hal. 133-138.
- Troullaki, A. dkk. (2019) 'Life Cycle Assessment of Locally Manufactured Small Wind Turbines and Pico-Hydro Plants', in *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, Portugal: IEEE.
- Ulikaryani, U., Abdillah, H. dan Hastuti, H.D. (2022) 'Analisis Ketidakpastian Pengukuran Dimensi Roda Gigi Lurus dengan Alat Ukur Profile Projector', *Jurnal Universal Technic*, 1(1), hal. 52-66.
- Yang, Y. dkk. (2022) 'Measurement of high-water-content oil-water two-phase flow by electromagnetic flowmeter and differential pressure based on phase-isolation', *Flow Measurement and Instrumentation*, 84, hal. 102142.
- Yusmartato, Y. dkk. (2022) 'Pemanfaatan Aliran Air Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) Di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara', *JET (Journal of Electrical Technology)*, 7(1), hal. 25-28.

Zhang, H., Guo, C. dan Lin, J. (2019) 'Effects of Velocity Profiles on Measuring Accuracy of Transit-Time Ultrasonic Flowmeter', *Applied Sciences*, 9, hal. 1-11.

