

KALIBRASI SENSOR WATERFLOW UNTUK MENDETEKSI KEBOCORAN PADA PIPA AIR BERSIH

¹⁾Yunica Ari Santhi, ²⁾Meta Yantidewi, ³⁾Utama Alan Deta

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: yunicaari.21027@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: metayantidewi@unesa.ac.id

³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: utamadeta@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem pendeteksi kebocoran pada pipa air bersih menggunakan sensor *Waterflow* berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Sistem ini bekerja dengan memantau laju aliran air secara real-time dan mendeteksi kebocoran berdasarkan selisih jumlah pulsa antara dua sensor yang dipasang seri pada jalur pipa. Simulasi kebocoran dilakukan dengan variasi sudut bukaan keran (45° , 60° , dan 90°) serta waktu aliran yang berbeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan debit air dengan akurasi yang memadai dan memberikan peringatan melalui indikator LED dan buzzer. Analisis kalibrasi juga menunjukkan bahwa sensor memberikan hasil pembacaan yang stabil, meskipun tetap diperlukan kalibrasi lanjutan. Sistem ini dinilai efektif dan efisien, serta berpotensi untuk diterapkan pada sistem distribusi air bersih skala kecil hingga menengah sebagai bagian dari pengembangan teknologi berbasis Internet of Things (IoT).

Kata Kunci: Kebocoran pipa, *Waterflow Sensor*, Arduino uno, Distribusi Air Bersih, IoT

Abstract

This study aims to design and test a leakage detection system for clean water pipelines using Waterflow sensors integrated with an Arduino Uno microcontroller. The system monitors water flow in real-time and detects leakage based on the pulse difference between two sensors placed in series along the pipeline. Leakage is simulated through variations in faucet opening angles (45° , 60° , and 90°) and different flow durations. Test results show that the system can detect flowrate changes with sufficient accuracy and trigger warnings through LED indicators and a buzzer. Calibration analysis indicates that the sensors provide stable readings, although further calibration is recommended. The system is considered effective and efficient, with potential application in small to medium-scale water distribution systems, supporting the development of Internet of Things (IoT)-based monitoring technology.

Keywords: Pipe Leakage, Waterflow sensor, Arduino, Clean water distribution, IoT

I. PENDAHULUAN

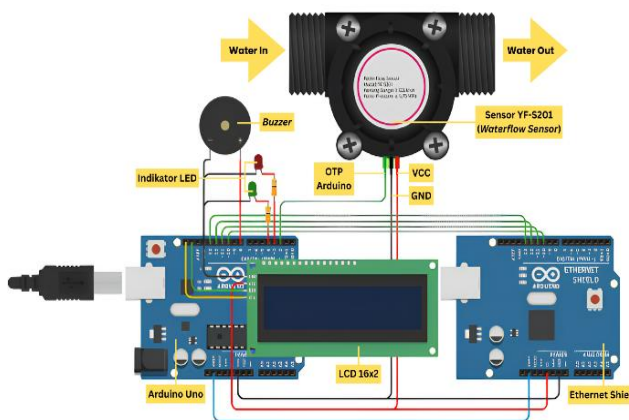
Distribusi air bersih yang efisien merupakan aspek krusial dalam sistem infrastruktur perkotaan. Salah satu tantangan utama dalam sistem ini adalah kebocoran pada jaringan pipa distribusi, yang dapat menyebabkan kerugian finansial, kerusakan lingkungan, serta gangguan layanan kepada masyarakat (Malik, 2018). Kebocoran pipa dapat mengurangi efisiensi distribusi air hingga 30%, dengan penyebab umum seperti tekanan air berlebih, kerusakan akibat aktivitas galian, usia pipa tua, serta keterlambatan sistem monitoring (Damayanti *et al.*, 2014). Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengembangkan alat deteksi kebocoran berbasis sensor waterflow yang diintegrasikan dengan Arduino Uno. Sensor dipasang pada pipa untuk memantau debit aliran air secara berkala, dan perubahan signifikan pada debit menjadi indikator potensi kebocoran. Ketika kebocoran terdeteksi, sistem akan memberikan notifikasi melalui koneksi internet ke pusat monitoring.

Keunggulan sistem ini antara lain kemampuannya mendeteksi kebocoran secara real-time (Syah, 2018), biaya yang relatif rendah, serta fleksibilitas pengembangan berbasis mikrokontroler. Namun, tantangan seperti keterbatasan jarak deteksi sensor, variabilitas sensitivitas antar sensor, dan ketergantungan terhadap kestabilan jaringan internet masih menjadi perhatian dalam implementasinya (Rahmandika *et al.*, 2022). Penggunaan solusi alternatif seperti ethernet shield dan algoritma kompensasi pembacaan sensor menjadi bagian dari pengembangan lanjutan. Dengan memanfaatkan teknologi berbasis sensor dan Internet of Things (IoT), sistem ini berpotensi menjadi bagian dari solusi smart city dalam meningkatkan efisiensi operasional serta keberlanjutan distribusi air bersih. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat meminimalkan kebocoran, memperpanjang usia infrastruktur pipa, dan meningkatkan kualitas layanan kepada masyarakat.

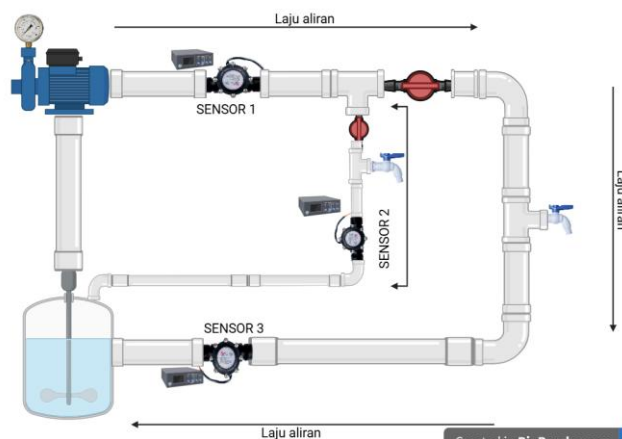
II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental, yang bertujuan untuk menguji dan menganalisis kinerja alat pendeteksi kebocoran pada pipa air bersih berbasis sensor *waterflow*. Penelitian ini dilakukan dengan merancang, membangun, dan menguji alat secara langsung dalam berbagai kondisi untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam mendeteksi kebocoran serta dampaknya terhadap optimalisasi distribusi air. Melalui serangkaian eksperimen dengan menggunakan *prototype* jalur pipa, data yang diperoleh dianalisis untuk menentukan tingkat akurasi sensor dalam mendeteksi kebocoran, respon sistem terhadap variasi aliran air, serta keandalan perangkat dalam kondisi operasional yang berbeda



Gambar 1 Rangkaian sensor pendeteksi kebocoran



Gambar 2 Rangkaian prototipe pipa aliran air

Gambar 2 menunjukkan sistem distribusi air yang terdiri dari pompa, pipa, sensor aliran, katup, dan perangkat pemantauan. Pompa mengalirkan air dari tangki ke pipa utama, yang bercabang ke beberapa titik distribusi dengan keran sebagai pengatur aliran. Setiap cabang dilengkapi sensor aliran air untuk mengukur debit dan mengirim data ke mikrokontroler atau sistem IoT secara real-time.

Pipa utama berukuran 100 cm di kedua sisi percabangan, dengan tinggi distribusi akhir 50 cm dan cabang lainnya 40 cm. Sensor aliran bekerja dengan mendeteksi pulsa dari turbin yang berputar akibat aliran air, dan data tersebut digunakan untuk memantau konsumsi serta mendeteksi kebocoran secara akurat.

B. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, proses pengambilan data dilakukan dengan serangkaian tahapan yang sistematis untuk memastikan keakuratan dan validitas hasil yang diperoleh. Sebagai langkah awal dalam pengambilan data adalah mempersiapkan alat dan bahan yang telah dirancang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sensor *waterflow* YF-S201, mikrokontroler Arduino Uno, Ethernet Shield, LED indikator, *buzzer*, LCD 16x2, serta sistem perpipaan yang telah dipersiapkan sebelumnya. Sebelum dilakukan pengambilan data, seluruh alat ini diuji untuk memastikan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik dan dapat memberikan hasil yang akurat.

Pengambilan data dilakukan dalam lingkungan yang terkontrol untuk memastikan bahwa tidak ada faktor eksternal yang mempengaruhi hasil penelitian. Data dikumpulkan dengan menjalankan sistem dalam kondisi normal tanpa kebocoran terlebih dahulu sebagai kondisi awal. Pada tahap ini, sensor *waterflow* membaca laju aliran air yang stabil dan mengirimkan data ke mikrokontroler. LED hijau menyala sebagai indikasi bahwa sistem dalam kondisi normal, dan *buzzer* tidak berbunyi. Data yang diperoleh dari kondisi awal ini digunakan sebagai referensi untuk mendeteksi perubahan yang terjadi ketika kebocoran mulai disimulasikan.

Kemudian mendapatkan data kondisi awal, tahap berikutnya adalah melakukan simulasi kebocoran air. Kebocoran disimulasikan dengan membuka keran yang telah dipasang sebagai titik kebocoran pada sistem perpipaan. Setiap bukaan keran (45°, 60°, dan 90°) diuji secara terpisah untuk mengamati bagaimana perubahan laju aliran air yang terdeteksi oleh sensor. Saat kebocoran terjadi, jumlah pulsa yang dihasilkan oleh sensor akan berubah secara signifikan dibandingkan dengan kondisi normal. Mikrokontroler kemudian mengolah data ini dan menampilkan informasi perubahan aliran air pada LCD 16x2 serta mengaktifkan sistem peringatan jika kebocoran terdeteksi.

Dalam hal ini perubahan aliran air melebihi ambang batas yang telah ditetapkan, maka LED merah akan menyala dan *buzzer* akan berbunyi sebagai indikasi adanya kebocoran. Setiap skenario kebocoran diuji beberapa kali untuk memastikan konsistensi data yang diperoleh. Setiap pengujian dilakukan dengan durasi waktu tertentu agar memungkinkan perhitungan rata-rata laju aliran air serta tingkat akurasi deteksi kebocoran. Data yang dikumpulkan selama pengujian ini mencakup jumlah pulsa yang dihitung oleh Arduino, nilai debit air dalam L/M, serta status indikator sistem (LED hijau, LED merah, dan *buzzer*). Semua data dicatat secara sistematis dalam lembar pencatatan untuk dianalisis lebih lanjut.

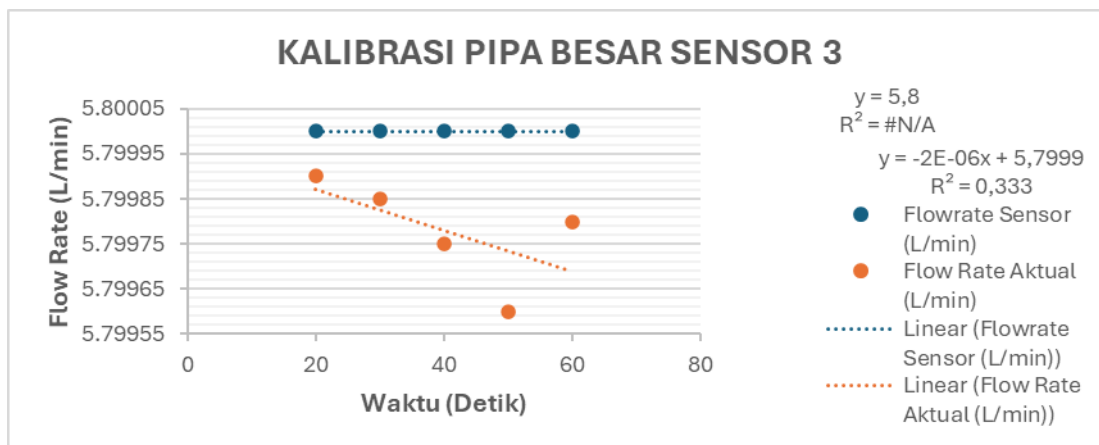
C. Teknik Pengolahan Data

Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas alat pendeteksi kebocoran pipa berbasis sensor *Waterflow*. Data berupa jumlah pulsa, debit air (L/min), dan respon sistem terhadap kebocoran diolah secara kuantitatif. Hasil eksperimen disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengamati pola perubahan aliran air akibat variasi bukaan keran. Nilai debit dikonversi dengan faktor kalibrasi, dan keakuratannya divalidasi melalui perbandingan dengan pengukuran manual.

Tingkat kesalahan dihitung dalam bentuk persentase, dan data dengan error di bawah ambang batas digunakan untuk analisis lanjut. Selain itu, hubungan antara jarak antar sensor dan sensitivitas deteksi juga dianalisis guna menentukan konfigurasi paling optimal. Hasil penelitian ini kemudian dibandingkan dengan studi sebelumnya untuk mengukur keunggulan sistem dalam mendeteksi kebocoran secara efektif dan akurat.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kalibrasi Pipa Besar



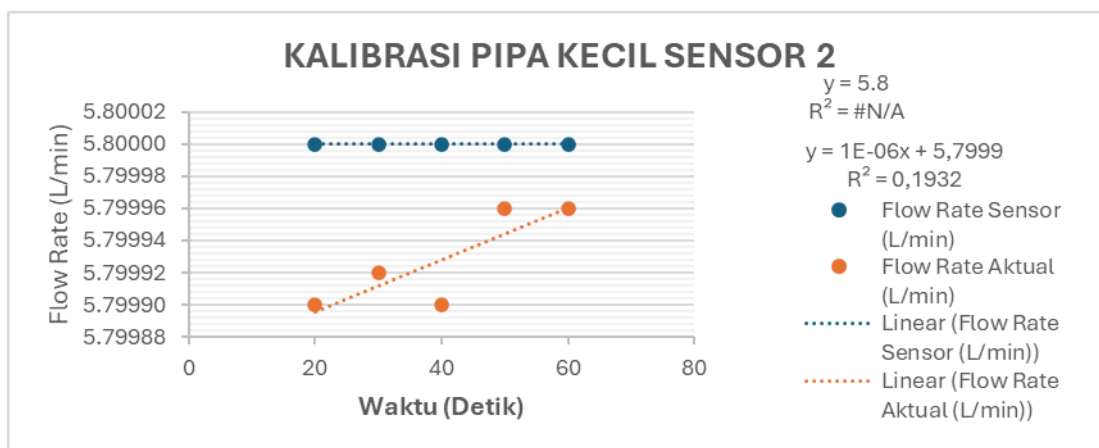
Gambar 3 Grafik kalibrasi pipa besar

Gambar 3 menunjukkan grafik kalibrasi pipa besar yang membandingkan *flowrate* aktual dan *flowrate* hasil pembacaan sensor terhadap waktu. *Flowrate* sensor terlihat stabil di sekitar 5,8 L/m, sedangkan *flowrate* aktual mengalami fluktuasi, terutama penurunan pada detik ke-40. Garis tren linier dari kedua data menunjukkan bahwa waktu tidak memengaruhi *flowrate* secara signifikan, yang ditunjukkan oleh nilai R^2 yang sangat rendah.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor memberikan data yang jauh lebih stabil dibandingkan dengan pengukuran manual, meskipun terjadi perbedaan atau selisih pada titik-titik tertentu. Ketidaksesuaian ini bisa disebabkan oleh respons sensor yang tetap terhadap fluktuasi aliran kecil, atau kesalahan manusia dalam proses pengukuran manual. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang sangat rendah baik pada data aktual maupun data sensor menunjukkan bahwa variabel waktu tidak memberikan pengaruh besar terhadap perubahan *flowrate* selama periode pengujian.

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa sensor aliran air yang digunakan memiliki kestabilan yang baik dalam pembacaan debit air untuk pipa besar, namun adanya perbedaan dengan data aktual menunjukkan bahwa sistem tetap memerlukan kalibrasi lebih lanjut atau penerapan algoritma koreksi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

B. Analisis Kalibrasi Pipa Kecil



Gambar 4 Grafik Kalibrasi pipa kecil

Gambar 4 menampilkan grafik kalibrasi pipa kecil yang menggambarkan hubungan antara waktu (dalam detik) dan laju aliran air (*flowrate*) dalam satuan liter per menit (L/m). Grafik ini membandingkan dua jenis data: *flowrate* aktual yang diukur secara manual dan *flowrate* hasil pembacaan dari sensor.

Hasil ini menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan kestabilan yang tinggi pada pipa kecil, meskipun terdapat ketidaksesuaian pada data aktual akibat fluktuasi dalam pengukuran manual. Nilai R^2 yang rendah pada kedua data mengindikasikan bahwa waktu bukanlah faktor yang dominan dalam perubahan *flowrate* pada pengujian ini.

Dengan demikian, grafik ini mengilustrasikan bahwa sensor aliran air cukup andal untuk digunakan pada pipa berukuran kecil, namun tetap diperlukan proses kalibrasi dan validasi agar hasil pembacaan lebih sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

C. Analisis Ketidakpastian Pengukuran

Tabel 1 Pengujian Kalibrasi Ketidakpastian Pengukuran

Kalibrasi Pipa Besar Sensor 3				Kalibrasi Pipa Kecil Sensor 2			
Waktu (Detik)	Q Sensor (L/min)	Q (L/min)	Error (%)	Waktu (Detik)	Q Sensor (L/min)	Q (L/min)	Error (%)
20	5,80000	5,79990	0,01	20	5,80000	5,79990	0,01 %
30	5,80000	5,79985	0,02	30	5,80000	5,79992	0,01 %
40	5,80000	5,79975	0,03	40	5,80000	5,79990	0,01 %
50	5,80000	5,79960	0,04	50	5,80000	5,79996	0,00 %
60	5,80000	5,79980	0,02	60	5,80000	5,79996	0,00 %

Tabel 1 menunjukkan tabel pengujian kalibrasi ketepatan pengukuran Untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor waterflow, dilakukan analisis ketidakpastian dengan membandingkan debit hasil pembacaan sensor terhadap debit aktual hasil metode volumetrik. Parameter yang dianalisis meliputi rata-rata error, standar deviasi, dan ketidakpastian relatif.

Hasil perhitungan pada pipa besar menunjukkan rata-rata debit sebesar 5,79978 L/min dengan standar deviasi 0,000114 L/min dan ketidakpastian relatif sebesar 0,00196%. Rata-rata kesalahan pembacaan sensor diperoleh sebesar 0,024%.

Pada pipa kecil diperoleh rata-rata debit sebesar 5,79993 L/min dengan standar deviasi 0,000030 L/min dan ketidakpastian relatif sebesar 0,00052%. Rata-rata kesalahan pembacaan sensor sebesar 0,006%.

Nilai kesalahan tersebut jauh lebih kecil dibandingkan toleransi sensor waterflow YF-S201 ($\pm 10\%$), sehingga sensor memiliki tingkat presisi dan akurasi yang sangat baik dalam mengukur debit aliran air. Ketidakpastian yang sangat kecil menunjukkan pembacaan sensor stabil dan repeatable, sehingga sistem layak digunakan sebagai indikator perubahan debit untuk deteksi kebocoran pipa air bersih.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Penelitian ini menghasilkan sistem kalibrasi pendeteksi kebocoran pada pipa air bersih berbasis sensor waterflow YF-S201 yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Uno. Sistem mampu mendeteksi kebocoran berdasarkan perbedaan jumlah pulsa antara dua sensor yang dipasang secara seri pada pipa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memberikan respons yang konsisten terhadap variasi sudut bukaan keran (45° , 60° , dan 90°) yang disimulasikan sebagai kondisi kebocoran, serta mampu mengaktifkan indikator LED dan buzzer ketika selisih debit melebihi ambang batas yang ditentukan.

Berdasarkan analisis ketidakpastian, pada pipa besar diperoleh rata-rata kesalahan sebesar 0,024% dengan ketidakpastian relatif 0,00196%, sedangkan pada pipa kecil rata-rata kesalahan sebesar 0,006% dengan ketidakpastian relatif 0,00052%. Nilai tersebut jauh berada di bawah batas toleransi sensor YF-S201 ($\pm 10\%$), sehingga menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat presisi dan akurasi yang sangat baik serta kestabilan pembacaan yang tinggi.

Sistem ini memiliki keunggulan dari segi efektivitas deteksi real-time, efisiensi biaya, dan kemudahan implementasi. Dengan tingkat akurasi yang tinggi dan ketidakpastian yang sangat kecil, sistem ini layak digunakan sebagai solusi alternatif dalam memantau serta mengurangi kehilangan air akibat kebocoran, terutama pada sistem distribusi air bersih skala kecil hingga menengah, dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut dalam sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT).

B. Saran

Kalibrasi sensor secara berkala serta algoritma kompensasi dapat ditambahkan untuk meningkatkan akurasi pembacaan pada kondisi tekanan air yang fluktuatif. Untuk aplikasi skala besar, penambahan jumlah sensor dan integrasi dengan system pengolahan data berbasis *cloud* juga dapat menjadi Langkah lanjutan dalam mendukung pengawasan infrastruktur distribusi air secara *realtime* dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Febriany, Indah Eka. 2014. *Strategi Penurunan Kebocoran di Sistem Distribusi Air Bersih Kota Mataram*. Tesis Magister Teknik, Program Studi Teknik Sanitasi Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Malik, Ronaldo Gabe. 2018. *Rancang Bangun Pendeteksi Kebocoran dengan Menggunakan Water Flow Sensor Berbasis Wi-Fi*. Tugas Akhir, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- Rahmandika, A., Rahmat, B., & Sumaryo, S. 2022. *Perancangan Sistem Penerima Sinyal Deteksi Kebocoran Pipa Air Bersih Bawah Tanah Berbasis Sensor Ultrasonik*. *e-Proceedings of Engineering*, 9(5), 2240–2247.
- Rijal Syah, Rifan. 2018. *Rancang Bangun Alat Deteksi Kebocoran Pipa Distribusi Air Berbasis Sensor Tekanan dan Mikrokontroler*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.