

# Implementasi Sensor Tekanan untuk Sistem Deteksi Kebocoran pada Jaringan Pipa Distribusi Air

Rahajeng Kurnianingtyas<sup>1</sup>, Tri Haryanti<sup>2</sup>, Icha Fatwasauri<sup>2</sup>, Faizal Nugraha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Indramayu, Indramayu, Jawa Barat

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Indramayu, Indramayu, Jawa Barat

rahajengkurnianingtyas@polindra.ac.id

---

---

## Abstrak

Kebocoran pada jaringan distribusi air merupakan permasalahan utama yang menyebabkan meningkatnya kehilangan air dan menurunnya efisiensi sistem penyediaan air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebocoran pipa berbasis sensor tekanan yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan dua sensor tekanan yang dipasang sebelum dan sesudah titik kebocoran. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pengolah data dan komunikasi data secara real-time. Kalibrasi sensor dilakukan untuk memastikan akurasi alat ukur melalui pengujian sensor sebelum dipasang pada plant. Hasil pengujian kebocoran menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perbedaan tekanan dengan baik pada kondisi kebocoran 30%, 50%, dan 70%. Semakin besar tingkat kebocoran yang diuji, perbedaan tekanan antara dua sensor semakin signifikan. Sistem ini mampu melakukan pemantauan tekanan secara *real-time* dan memberikan potensi penerapan pada skala kecil dan menengah. Penelitian dapat menjadi dasar pengembangan sistem deteksi kebocoran yang adaptif dan efisien untuk mendukung pengelolaan air berkelanjutan.

**Kata kunci:** kebocoran, deteksi, air, sensor, tekanan.

## Abstract

*Leaks in water distribution networks are a major problem that causes increased water loss and decreased efficiency of clean water supply systems. This study aims to design and implement a pressure sensor-based pipe leak detection system integrated with the Internet of Things (IoT). The system uses two pressure sensors installed before and after the leak point. The ESP32 microcontroller is used for data processing and real-time data communication. Sensor calibration is carried out to ensure the accuracy of the measuring instrument through sensor testing before installation in the plant. The results of the leak test show that the system is able to detect pressure differences well at leak conditions of 30%, 50%, and 70%. The greater the leak level tested, the more significant the pressure difference between the two sensors. This system is capable of real-time pressure monitoring and offers potential applications in small and medium-sized plants. This research can be the basis for the development of an adaptive and efficient leak detection system to support sustainable water management.*

**Keywords:** leakage, detection, water, sensor, pressure.

---

---

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan kebutuhan vital yang tidak tergantikan bagi keberlangsungan hidup makhluk hidup. Seiring meningkatnya jumlah penduduk, perkembangan kawasan perkotaan, dan pertumbuhan industri permintaan terhadap air

bersih mengalami peningkatan signifikan setiap tahun. Namun, peningkatan Keputusan tersebut memberikan tekanan besar terhadap sistem penyediaan air khususnya pada tahap distribusi[1]. Persoalan utama yang kerap muncul adalah kebocoran pada jaringan pipa bawah tanah, yang mengakibatkan kehilangan air secara masif,

meningkatnya biaya operasional, serta menurunnya kualitas layanan kepada masyarakat. Studi menunjukkan bahwa rata-rata tingkat kehilangan air (*Non-Revenue Water*) di Indonesia mencapai 30–40% per tahun, jauh di atas standar efisiensi global yang ditetapkan oleh *World Health Organization* (WHO) sebesar 20%[2]. Masalah ini mendorong perlunya pengelolaan air minum yang efisien dan infrastruktur distribusi yang handal guna menjamin keberlanjutan pelayanan air bersih[3], [4].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi kebocoran dan meningkatkan efisiensi distribusi air. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Afrizal dkk menunjukkan bahwa penggunaan sensor pressure mampu memantau distribusi tekanan secara *real-time* dan mendeteksi kebocoran dengan akurasi tinggi namun efektivitas sistem dipengaruhi oleh jarak antara dua sensor[5]. Perkembangan terkini mengarah pada penggunaan konfigurasi dua sensor tekanan yang memungkinkan analisis untuk mempersempit lokasi kebocoran dibandingkan pengukuran titik tunggal[6][7]. Integrasi sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan kemampuan pemantauan *real-time*, visualisasi data secara kontinu, dan peringatan yang dapat mempercepat proses penanganan. Tantangan pada penelitian ini yaitu integrasi sistem yang responsif, presisi, serta adaptif terhadap jaringan yang lebih kompleks[8][9].

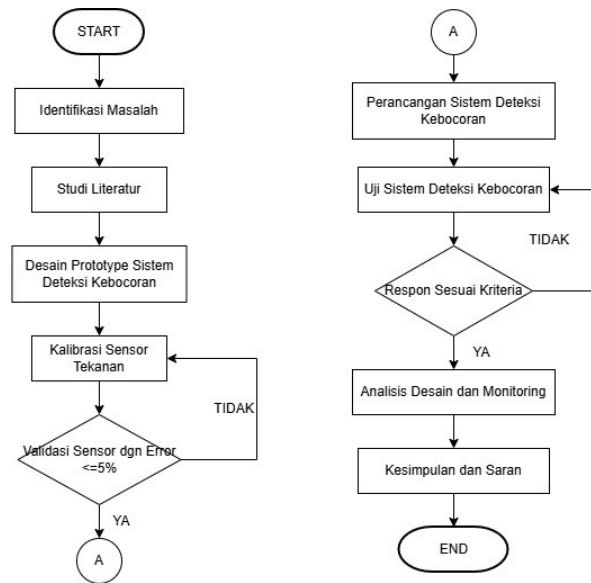
Berdasarkan permasalahan dan kajian penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem deteksi kebocoran pipa distribusi air berbasis tekanan yang terintegrasi dengan teknologi IoT[10]. Pengujian dilakukan untuk menghasilkan model yang mampu mendeteksi kebocoran dan memudahkan monitoring sistem secara *real-time*. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mengisi *gap* berupa kebutuhan sistem deteksi kebocoran yang tidak hanya presisi tetapi juga adaptif terhadap berbagai skala penerapan, baik di permukiman, kawasan industri, maupun perkotaan.

## II. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian disusun secara sistematis dan divisualisasikan dalam bentuk diagram alir guna memperjelas alur kerja penelitian. Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian yang menggambarkan proses mulai dari perumusan masalah, perancangan sistem, pengumpulan data, pengujian, hingga analisis hasil, sehingga memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai metodologi yang diterapkan.

Pada gambar 1, menunjukkan metode yang digunakan dalam penelitian. Penelitian diawali

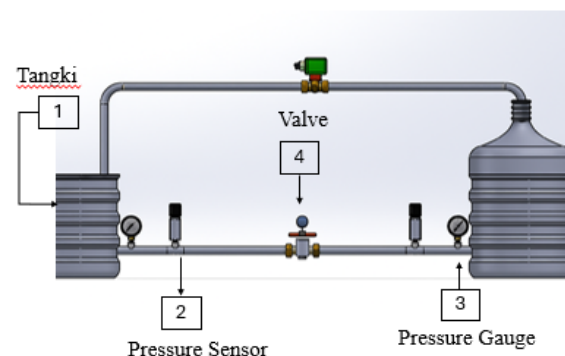
dengan identifikasi permasalahan kebocoran pada jaringan distribusi air, kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem deteksi kebocoran yang meliputi perancangan mekanik dan elektrik. Tahap berikutnya dilakukan pengujian dan kalibrasi sensor yang digunakan untuk memastikan akurasi alat ukur, dilanjutkan dengan pengujian sistem deteksi kebocoran terhadap berbagai kondisi yang disimulasikan menggunakan bukaan keran yang dipasang sebelum kebocoran dan diakhiri dengan analisis hasil serta implementasi sistem secara menyeluruh



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### A. Desain Prototype Sistem Deteksi Kebocoran

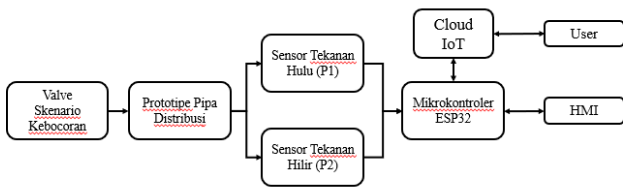
Sistem deteksi kebocoran dirancang untuk memantau perubahan tekanan fluida yang menandakan adanya penyimpangan aliran pada kondisi normal distribusi perpipaan[11]. Pada tahap ini dilakukan rancang bangun prototipe sistem deteksi kebocoran dengan sensor tekanan skala laboratorium[12]. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model yang mampu mengintegrasikan seluruh komponen utama, seperti sensor tekanan dan mikrokontroler. Tahapan ini juga mencakup penataan posisi komponen secara fisik untuk mempermudah proses pengujian dan observasi.



**Gambar 2.** Desain awal sistem deteksi kebocoran

Pada gambar 2 merupakan desain perancangan awal terhadap sistem pendeteksi kebocoran pipa dalam bentuk prototipe skala kecil. Sistem simulasi kebocoran pipa bekerja dengan memanfaatkan prinsip perubahan tekanan fluida di dalam pipa tertutup. Fluida disimpan di dalam tangki sebagai sumber aliran, kemudian dialirkan melalui jaringan pipa menuju tangki tujuan.

Selama fluida mengalir, *pressure sensor* yang terpasang pada pipa secara kontinu mengukur tekanan internal sistem. Data tekanan yang terdeteksi oleh sensor ini dikirimkan ke unit pemroses untuk dianalisis sebagai parameter utama dalam mendeteksi kebocoran. Sebagai pembanding dan validasi pengukuran, *pressure gauge* dipasang pada jalur pipa untuk menampilkan nilai tekanan secara visual dan memastikan kondisi tekanan aktual di dalam sistem.



**Gambar 3.** Diagram blok Sistem

Selama fluida mengalir, *pressure sensor* yang terpasang pada pipa secara kontinu mengukur tekanan internal sistem. Data tekanan yang terdeteksi oleh sensor ini dikirimkan ke unit pemroses untuk dianalisis sebagai parameter utama dalam mendeteksi kebocoran. Sebagai pembanding

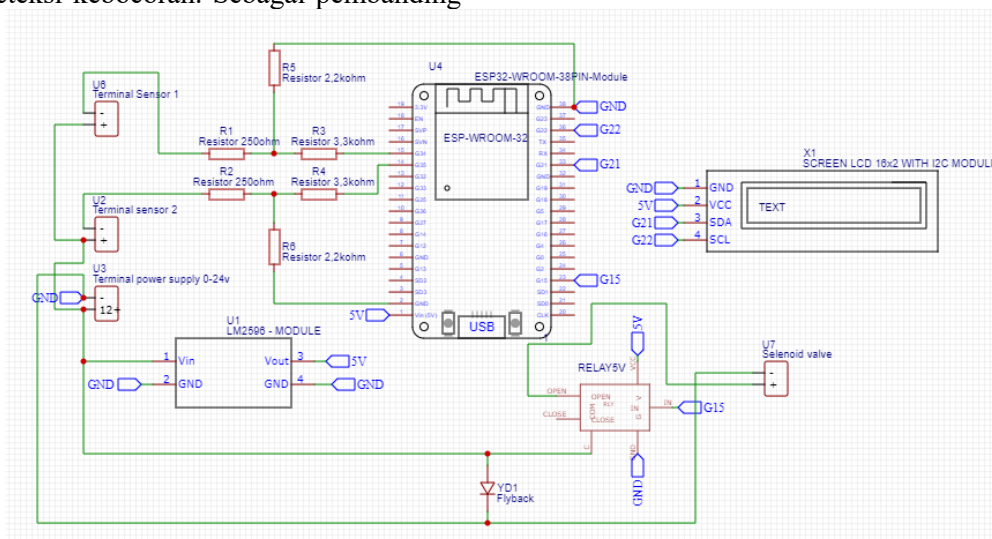
dan validasi pengukuran, *pressure gauge* dipasang pada jalur pipa untuk menampilkan nilai tekanan secara visual dan memastikan kondisi tekanan aktual di dalam sistem.



**Gambar 4.** Industrial Pressure Transmitter

Gambar 4 yaitu sensor tekanan yang digunakan pada penelitian. Sensor ini bekerja dengan prinsip mengubah tekanan mekanis yang diterima menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca dan diproses oleh mikrokontroler atau sistem monitoring[13]. Sensor tekanan merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (cairan maupun gas) dalam suatu sistem. Sensor ini bekerja dengan prinsip mengubah tekanan mekanis yang diterima menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca dan diproses oleh mikrokontroler atau sistem monitoring[14].

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen dengan merancang sistem deteksi kebocoran pipa berbasis sensor *pressure* yang terintegrasi dengan mikrokontroler. Komponen utama yang digunakan terdiri atas dua sensor tekanan serta mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data sekaligus pengendali komunikasi sistem[15].



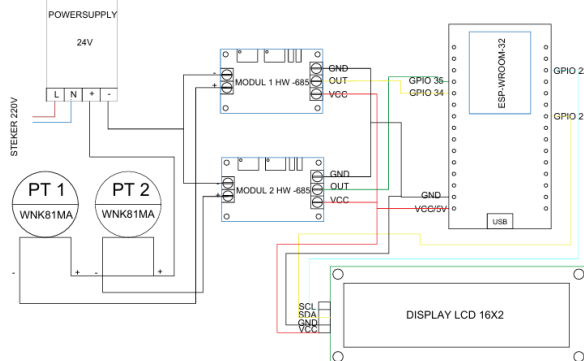
**Gambar 5.** Skema kelistrikan

Pada tahap desain berikutnya, dilakukan perancangan sistem kelistrikan sebagai bagian penting dalam pengembangan prototipe sistem deteksi kebocoran. Gambar 5 adalah tahap desain kelistrikan yang ditampilkan menunjukkan rancangan sistem elektronik yang terdiri atas desain *Printed Circuit Board* (PCB) (kiri) dan skema rangkaian elektronika (kanan) yang dibuat menggunakan perangkat lunak EasyEDA.

Papan dirancang menyesuaikan dimensi modul mikrokontroler agar dapat dipasang langsung dan mendukung integrasi dengan sensor serta perangkat keluaran. Skema rangkaian elektronik menunjukkan keterhubungan antar komponen utama seperti mikrokontroler, sensor, LCD, serta komponen pendukung berupa resistor, kapasitor, dan regulator tegangan. Skema tersebut menjadi acuan dalam pembuatan PCB untuk memastikan seluruh koneksi bekerja sesuai fungsi yang direncanakan. Melalui rancangan ini, sistem diharapkan beroperasi lebih stabil, terintegrasi dalam satu papan, serta mempermudah proses perakitan dan pengujian prototipe. Keberhasilan desain kelistrikan ini menjadi faktor penting dalam menjamin keandalan sistem deteksi kebocoran secara keseluruhan.

### B. Pengujian Sensor

Pada tahap pengujian sensor tekanan dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan serta memberikan data yang akurat dalam mendeteksi perubahan tekanan pada sistem. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas, stabilitas, dan ketelitian sensor terhadap variasi tekanan yang diberikan pada jalur pipa, sehingga kinerja sistem secara keseluruhan dapat dievaluasi dengan baik[5].



Gambar 6. Rangkaian Pengujian Sensor Tekanan

Gambar 6 tersebut menunjukkan sebuah rangkaian pengujian sensor tekanan yang terhubung dengan sistem mikrokontroler. Pada bagian utama, terdapat pipa uji yang dilengkapi dengan *pressure gauge* dan sensor tekanan sebagai pembanding.

*Pressure gauge* digunakan sebagai acuan manual, sedangkan sensor tekanan mengubah besaran tekanan fluida menjadi sinyal listrik. Sumber catu daya berasal dari power supply yang mengkonversi tegangan AC dari steker ke DC sesuai kebutuhan rangkaian. Tegangan ini kemudian mensuplai sensor tekanan serta sistem mikrokontroler. Mikrokontroler berfungsi untuk membaca sinyal keluaran dari sensor melalui pin analog/digital. Data hasil pengukuran kemudian diolah dan ditampilkan pada LCD 16x2, sehingga pengguna dapat memantau nilai tekanan secara *real time*. Dengan adanya kombinasi *pressure gauge* dan LCD digital, rangkaian ini memungkinkan dilakukannya kalibrasi dan validasi sensor tekanan untuk memastikan akurasi pembacaan.

Sensor tekanan dikalibrasi sebelum digunakan untuk memastikan akurasi pengukuran[16]. Kalibrasi dilakukan melalui pengujian pembacaan skala dengan membandingkan hasil sensor terhadap standar acuan, serta pengujian pembacaan berulang guna memperoleh grafik regresi dan menentukan nilai ketidakpastian pengukuran[17], [18]. Hasil kalibrasi ini menjadi dasar validasi bahwa sensor layak digunakan dalam pengujian sistem deteksi kebocoran[19].

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

$$\text{Ketidakpastian standar, } U_A = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

$$\text{Ketidakpastian Alat Ukur, } U_B = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

$$\text{Ketidakpastian Gabungan (} U_C) = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (4)$$

Untuk tingkat kepercayaan 95% biasanya digunakan faktor cakupan  $k=2$ .

Dimana,

- SD = Standar Deviasi
- $x_i$  = pembacaan yang terbaca pada waktu  $i$
- $\bar{x}$  = rata-rata pembacaan
- $n$  = jumlah banyaknya data pengukuran
- $U_A$  = Ketidakpastian tipe A
- $U_B$  = Ketidakpastian alat ukur (Ketidakpastian tipe B)
- $\Delta$  = setengah skala terkecil dari alat ukur
- $U_C$  = Ketidakpastian gabungan

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil pengujian sistem deteksi kebocoran pipa distribusi air berbasis sensor tekanan yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem dalam

mendeteksi perubahan tekanan akibat kebocoran serta mengevaluasi tingkat akurasi, stabilitas, dan responsivitas sensor terhadap variasi kondisi aliran[20]. Data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memperlihatkan hubungan antara perbedaan tekanan dan tingkat kebocoran yang disimulasikan. Analisis hasil ini memberikan gambaran mengenai efektivitas sistem dalam mendeteksi kebocoran secara real-time serta menjadi dasar penilaian terhadap keandalan desain perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan.

**A. Pengujian Sensor**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas, stabilitas, dan ketelitian sensor terhadap variasi tekanan yang diberikan pada jalur pipa, sehingga kinerja sistem secara keseluruhan dapat dievaluasi dengan baik.

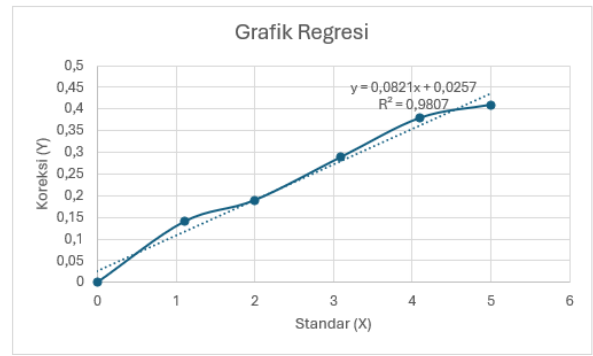
**Tabel 1.** Data Pengujian Sensor Tekanan 1

| Standar (X) | Pembacaan Alat Uji (bar) |      |     |      |      | Koreksi (Y) |
|-------------|--------------------------|------|-----|------|------|-------------|
|             | 1                        | 2    | 3   | 4    | 5    |             |
| 0           | 0                        | 0    | 0   | 0    | 0    | 0           |
| 1           | 1                        | 0.8  | 1.1 | 0.9  | 1    | 0.14        |
| 2           | 1.8                      | 1.85 | 1.8 | 1.8  | 1.86 | 0.19        |
| 3           | 2.9                      | 2.8  | 2.8 | 2.8  | 2.75 | 0.29        |
| 4           | 3.9                      | 3.8  | 3.8 | 3.77 | 3.78 | 0.38        |
| 5           | 4.65                     | 4.6  | 4.5 | 4.6  | 4.6  | 0.41        |

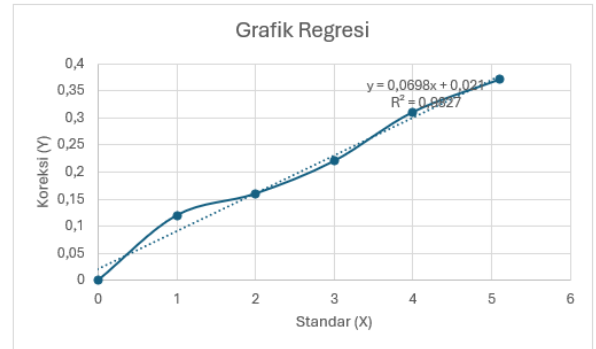
**Tabel 2.** Data Pengujian Sensor Tekanan 2

| Standar (X) | Pembacaan Alat Uji (bar) |     |     |     |      | Koreksi (Y) |
|-------------|--------------------------|-----|-----|-----|------|-------------|
|             | 1                        | 2   | 3   | 4   | 5    |             |
| 0           | 0                        | 0   | 0   | 0   | 0    | 0           |
| 1           | 0.9                      | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1    | 0.12        |
| 2           | 1.8                      | 1.9 | 1.8 | 1.9 | 1.8  | 0.16        |
| 3           | 2.8                      | 2.9 | 2.7 | 2.8 | 2.7  | 0.22        |
| 4           | 3.7                      | 3.6 | 3.8 | 3.6 | 3.75 | 0.31        |
| 5           | 4.75                     | 4.8 | 4.7 | 4.7 | 4.7  | 0.37        |

Analisis pembacaan berulang pada sensor tekanan diawali dengan perhitungan standar deviasi untuk menilai variasi hasil pengukuran. Dalam kalibrasi, keterkaitan antara standar deviasi dan ketidakpastian digunakan untuk menilai keandalan alat ukur. Grafik regresi berfungsi menentukan hasil pengukuran dengan menunjukkan hubungan antara nilai terukur dan nilai referensi.



**Gambar 7.** Regresi Pengukuran Sensor Tekanan 1



**Gambar 8.** Regresi Pengukuran Sensor Tekanan 2

Grafik regresi berperan dalam memperkirakan parameter kalibrasi, seperti kemiringan (*slope*), yang digunakan untuk mengoreksi hasil pengukuran serta menilai tingkat linearitas alat ukur. Selain itu, grafik ini juga dapat digunakan untuk memverifikasi kesesuaian hasil kalibrasi dan memastikan keandalan alat ukur melalui nilai ketidakpastian pengukuran yang diperoleh dari perhitungan standar deviasi.

**B. Pengujian Kebocoran**

Pengujian kebocoran dilakukan untuk mendeteksi kebocoran dengan menjalankan simulasi dengan membuka kran mewakili berbagai Tingkat kebocoran, yaitu 0% (tidak ada kebocoran), 30%, 50%, dan 70%. Data pengujian masing – masing simulasi disajikan dalam beberapa tabel.

**Tabel 3.** Data Pengujian Keadaan Tanpa Kebocoran

| Percobaan | Tekanan (bar) |          | Error |
|-----------|---------------|----------|-------|
|           | Sensor 1      | Sensor 2 |       |
| 1         | 5.00          | 4.99     | 0.01  |
| 2         | 5.05          | 5.03     | 0.02  |
| 3         | 4.95          | 4.90     | 0.05  |
| 4         | 5.02          | 5.00     | 0.02  |
| 5         | 4.98          | 4.95     | 0.03  |
| 6         | 5.01          | 5.00     | 0.01  |
| 7         | 4.99          | 4.96     | 0.03  |
| 8         | 5.03          | 5.01     | 0.02  |

**Tabel 4.** Data Pengujian kebocoran 30%

| Percobaan | Tekanan (bar) |          | Error |
|-----------|---------------|----------|-------|
|           | Sensor 1      | Sensor 2 |       |
| 1         | 4.50          | 4.33     | 0.17  |
| 2         | 4.53          | 4.33     | 0.20  |
| 3         | 4.51          | 4.36     | 0.15  |
| 4         | 4.53          | 4.35     | 0.18  |
| 5         | 4.51          | 4.33     | 0.18  |
| 6         | 4.49          | 4.31     | 0.18  |
| 7         | 4.52          | 4.34     | 0.17  |
| 8         | 4.52          | 4.32     | 0.20  |

Tabel 4 merupakan tabel pengujian kebocoran 30%. Pada kondisi kebocoran sebesar 30%, terjadi penurunan tekanan yang cukup signifikan pada sensor kedua dibandingkan dengan sensor pertama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan pada sisi hulu (sensor 1) relatif stabil, sedangkan pada sisi hilir (sensor 2) mengalami penurunan rata-rata sekitar 0,15–0,20 bar dari nilai awal. Perbedaan tekanan ini menunjukkan adanya gangguan aliran akibat keluarnya fluida melalui titik kebocoran buatan yang disimulasikan melalui bukaan kran sebesar 30%. Nilai pembacaan sensor menunjukkan respon yang konsisten pada setiap percobaan, menandakan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan tekanan

**Tabel 5.** Data Pengujian kebocoran 50%

| Percobaan | Tekanan (bar) |          | Error |
|-----------|---------------|----------|-------|
|           | Sensor 1      | Sensor 2 |       |
| 1         | 3.70          | 3.05     | 0.65  |
| 2         | 3.68          | 3.03     | 0.65  |
| 3         | 3.72          | 3.05     | 0.67  |
| 4         | 3.69          | 3.02     | 0.67  |
| 5         | 3.71          | 3.05     | 0.66  |
| 6         | 3.73          | 3.05     | 0.68  |
| 7         | 3.67          | 3.01     | 0.66  |
| 8         | 3.70          | 3.01     | 0.69  |

**Tabel 6.** Data Pengujian kebocoran 70%

| Percobaan | Tekanan (bar) |          | Error |
|-----------|---------------|----------|-------|
|           | Sensor 1      | Sensor 2 |       |
| 1         | 4.00          | 2.75     | 1.25  |
| 2         | 4.05          | 2.78     | 1.27  |
| 3         | 3.95          | 2.73     | 1.18  |
| 4         | 4.02          | 2.76     | 1.26  |
| 5         | 3.98          | 2.75     | 1.23  |
| 6         | 4.01          | 2.75     | 1.26  |
| 7         | 3.99          | 2.76     | 1.23  |
| 8         | 4.03          | 2.78     | 1.25  |

Pada kondisi kebocoran sebesar 50% dan 70%, sistem menunjukkan respon yang konsisten

terhadap perubahan tekanan di sepanjang jalur pipa. Pada kebocoran 50%, tekanan rata-rata yang terukur pada sensor 1 (sisi hulu) sebesar 3.70 bar, sedangkan pada sensor 2 (sisi hilir) menurun menjadi sekitar 3.03 bar, dengan selisih tekanan  $\pm 0,67$  bar. Ketika tingkat kebocoran meningkat menjadi 70%, tekanan pada sensor 1 tercatat sekitar 4.00 bar, sementara sensor 2 turun hingga 2.75 bar, menghasilkan selisih tekanan  $\pm 1,25$  bar. Perbandingan kedua kondisi tersebut menunjukkan bahwa semakin besar tingkat kebocoran, semakin besar pula kehilangan tekanan yang terjadi pada sisi hilir pipa. Hal ini membuktikan bahwa sistem deteksi mampu mengidentifikasi tingkat kebocoran secara proporsional terhadap penurunan tekanan yang terukur.

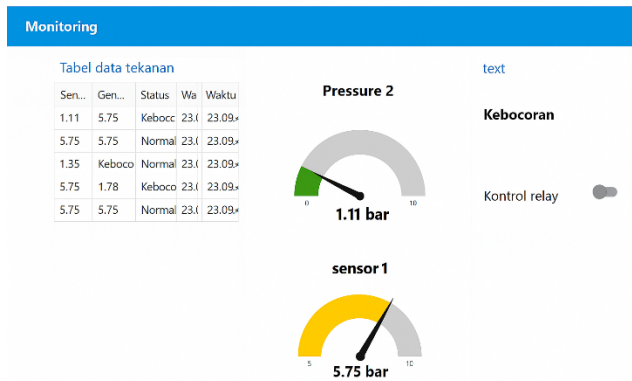
Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi simulasi kebocoran 70% terdapat nilai tekanan yang lebih tinggi dibandingkan pada kebocoran 50%, seperti terlihat pada percobaan pertama di mana tekanan tercatat sebesar 4,00 bar pada kebocoran 70% dan 3,70 bar pada kebocoran 50%. Secara teoritis, peningkatan tingkat kebocoran seharusnya menyebabkan penurunan tekanan yang lebih besar. Namun, fenomena ini menunjukkan bahwa respons tekanan pada sistem tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya kebocoran, tetapi juga oleh dinamika sistem selama pengujian.

Salah satu faktor utama yang memengaruhi hasil tersebut adalah kondisi aliran yang belum sepenuhnya mencapai keadaan tunak (*steady state*) pada saat pengambilan data. Pada pengujian kebocoran 70%, kemungkinan terjadi peningkatan debit awal akibat perbedaan head atau kondisi bukaan katup yang menyebabkan tekanan sesaat di titik pengukuran menjadi lebih tinggi sebelum sistem stabil. Hal ini sejalan dengan karakteristik sistem fluida di mana perubahan bukaan katup dapat memicu fluktuasi tekanan sementara (*pressure transient*).

Selain itu, dinamika volume fluida di dalam tangki juga berkontribusi terhadap variasi tekanan yang terukur. Selama pengujian berlangsung, ketinggian fluida di dalam tangki tidak selalu konstan, sehingga tekanan statis yang dihasilkan oleh kolom fluida dapat berubah. Perubahan volume ini dapat menyebabkan tekanan yang terukur oleh sensor tidak semata-mata merepresentasikan efek kebocoran, tetapi juga pengaruh variasi head fluida di dalam tangki.

Data hasil pembacaan sensor dan notifikasi kebocoran ditampilkan secara simultan melalui dua jenis antarmuka, yaitu tampilan lokal di area *plant* menggunakan modul LCD serta antarmuka berbasis *web* untuk pemantauan jarak jauh secara *real-time*. Dengan demikian, pengguna dapat memantau

kondisi sistem distribusi secara langsung serta memperoleh informasi mengenai kebocoran dengan cepat dan akurat. Sementara tampilan *web* memungkinkan data dikirim secara kontinu dan ditampilkan secara *real-time* dalam bentuk visual yang informatif. Fitur ini meningkatkan efisiensi pemantauan, mempercepat respons terhadap kebocoran, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.



**Gambar 9.** Tampilan Website pada Sistem Deteksi kebocoran

Gambar 9 merupakan tampilan antar muka yang dapat diakses melalui *web*. Gambar tersebut memperlihatkan antarmuka sistem *monitoring* tekanan air berbasis *web* yang menampilkan data secara *real-time*. Pada sisi kiri terdapat tabel data tekanan yang berisi hasil pembacaan dari dua sensor tekanan, status sistem (normal atau kebocoran), serta waktu pembacaan.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mewujudkan prototipe sistem deteksi kebocoran pipa distribusi air berbasis sensor tekanan yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 dan teknologi IoT. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perbedaan tekanan antara dua titik pengukuran dengan akurasi yang baik pada berbagai tingkat kebocoran, yaitu 30%, 50%, dan 70%. Semakin besar tingkat kebocoran, perbedaan tekanan yang terukur semakin signifikan, sehingga sistem efektif digunakan sebagai indikator dini adanya kebocoran. Selain itu, sistem mampu melakukan pemantauan tekanan secara *real-time* dan memberikan kemudahan dalam analisis kondisi jaringan pipa. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem deteksi kebocoran yang lebih adaptif dan presisi pada jaringan distribusi air berskala lebih luas.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Indramayu atas dukungan penuh yang diberikan dalam bentuk fasilitas laboratorium, sarana penelitian, serta pendanaan melalui Program Penelitian Internal Politeknik Negeri Indramayu. Dukungan tersebut berperan penting dalam pelaksanaan kegiatan penelitian. Penulis juga berterima kasih kepada seluruh pihak di lingkungan Jurusan Teknik yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan bantuan teknis selama proses penelitian berlangsung. Tanpa adanya dukungan dari institusi dan pihak terkait, penelitian ini tidak akan dapat terlaksana dengan baik.

#### REFERENSI

- [1] D. V. Pradilla and A. B. Irawan, "satubumi,+D07," in *Prosiding Seminar nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN Veteran Yogyakarta, Nov. 2024, pp. 224–229.
- [2] E. Setiadi Soedjono and D. Suci Hastuti, "Strategi Penurunan Non Revenue Water (NRW) di DMA Graha Permata Kota (GPK) PT Air Minum Giri Menang (Perseroda)," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 13, no. 2, pp. 154–163, 2025.
- [3] M. Farley, G. Wyeth, Z. Bin Md. Ghazali, A. Istandar, and S. Singh, *The Manager's Non - Revenue Water Handbook A Guide to Understanding Water Losses*. AECOM International Development, 2008.
- [4] G. Asmara, "PELUANG DAN TANTANGAN PENGENDALIAN KEHILANGAN AIR BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT): STUDI PUSTAKA THE OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF WATER LOSSES CONTROL BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT): LITERATURE REVIEW," *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 7, no. 2, pp. 188–196, 2021.
- [5] Afrizal, U. A. Ahmad, and J. S. Wicaksana, "Desain Dan Implementasi Alat Deteksi Kebocoran Pipa Air Menggunakan Sensor Pressure Transmitter Studi Kasus Pdam Kabupaten Madiun Design And Implementation Of Water Pipe Leak Detection Equipment Using Pressure Transmitter Sensor Case Study Pdam Madiun District," *e-proceeding of*

- engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 966–972, Jun. 2022.
- [6] C. Nurin Hamdani, W. Afif Rafsanjani, R. Heru Triyanto, A. Kusuma Dewi, and A. Surya Wardhana, “IOT-BASED LEAK DETECTION SYSTEMS USING POINT PRESSURE AND MASS BALANCE METHOD: AN EXPERIMENTAL RESEARCH,” *Journal of Engineering Science and Technology ICIST2022*, vol. 18, no. 1, pp. 1–10, 2023, [Online]. Available: <https://www.espressif.com/>
- [7] E. Azizah, “SISTEM MONITORING PENDETEKSI KEBOCORAN,” 2023.
- [8] F. Nur Azizah, N. G. Dwi Drantantiyas, and F. Qauzar Gani, “Perancangan Sistem Deteksi Kebocoran Pipa Berbasis Internet of Things,” *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 1, p. 19, Jan. 2025.
- [9] H. N. Santosa and W. Sulistyono, “MODEL SENSOR PRESSURE TRANSMITTER BERBASIS INTERNET OF THINGS UNTUK MENDETEKSI KEBOCORAN PIPA AIR,” *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 10, no. 3, pp. 2391–2401, Aug. 2025, doi: 10.29100/jupi.v10i3.6491.
- [10] Eko Wahyu Santoso, “SISTEM DETEKSI KEBOCORAN AREA PIPA AIR BERBASIS IoT,” Semarang, 2022.
- [11] K. Exaudi, R. Passarella, and Rendyansyah, “Simulasi Deteksi Kebocoran Pipa Linier Berdasarkan Perbedaan Tekanan,” 2015.
- [12] E. Wahyu Santoso *et al.*, “CYCLOTRON : Jurnal Teknik Elektro Sistem Pemantauan Deteksi Kebocoran 2 Tingkat Pipa Air Hippiam Berbasis IoT,” 2022.
- [13] I. W. Sugara Yasa, I. W. Suriana, and I. W. Sukadana, “MONITORING KEBOCORAN AIR MENGGUNAKAN MIKROKONTROL ARDUINO UNO BERBASIS APLIKASI MOBILE,” *Jurnal Informatika & Rekayasa Elektronika*, vol. 7, no. 2, pp. 421–429, 2024, [Online]. Available: <http://e-journal.stmiklombok.ac.id/index.php/jireISS> N.2620-6900
- [14] T. Sundana, F. Aditya Johari, and F. Al Ariiq, “PROTOTIPE SISTEM MONITORING KEBOCORAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERBASIS SCADA,” vol. 3, no. 1, 2022.
- [15] R. Fajar Nugraha, F. Nurul Husna, S. Sandi, A. Fairuz Syahla, Y. Aldi Saputra, and R. Hidayat, “Smart Air Quality Guardian: Pengawasan Polusi Udara Berbasis ESP32 dengan Sensor Gas MQ-2 dan MQ-135,” *Jurnal Komputer dan Elektro Sains*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, Jan. 2024.
- [16] V. Alfiana Utami, A. Satrio, and N. Nadhiroh, “Analisa Ketidakpastian Kalibrasi Differential Pressure Gauge pada Gas Turbine Closed Cooling Water Pump A di UP Muara Karang,” 2020.
- [17] D. Febriansyah, “Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi 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,” *Jurnal Asimetri: Jurnal Ilmiah Rekayasa dan Inovasi*, vol. 5, pp. 305–314, Jul. 2023.
- [18] K. Kartika, A. Asran, M. P. Hasibuan, and M. Misriana, “Implementation of Linear Regression Method for Calibration and Temperature Measurement on PT100 Temperature Sensor,” *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 503–511, Jul. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i2.5206.
- [19] L. A. Fatimah and R. Hidayat, “Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi Pressure Transmitter dengan Metode Zero Calibration,” *Electron: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 22–9, May 2024.
- [20] D. Hariyanto, A. Pauzi, and A. Supriyanto, “Deteksi Letak Kebocoran Pipa Berdasarkan Analisis Debit Air Menggunakan Teknologi Sensor Flowmeter Berbasis TCP/IP.”