

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan dasar masyarakat yang memiliki peranan penting dalam menunjang kualitas hidup, kesehatan, serta keberlangsungan berbagai aktivitas manusia. Dalam proses distribusinya, jaringan perpipaan menjadi salah satu infrastruktur utama yang berfungsi menyalurkan air dari sumber menuju titik pengguna. Namun, sistem distribusi air berbasis jaringan perpipaan masih menghadapi berbagai permasalahan operasional, salah satunya adalah kebocoran pipa. Kebocoran pada jaringan perpipaan dapat menyebabkan kehilangan volume air, penurunan efisiensi distribusi, perubahan tekanan aliran, peningkatan biaya operasional, serta menurunkan kualitas pelayanan kepada pengguna. Selain menyebabkan pemborosan sumber daya air, kebocoran yang tidak segera teridentifikasi juga dapat memperbesar tingkat kerusakan jaringan dan meningkatkan biaya pemeliharaan sistem distribusi.

Permasalahan kehilangan air akibat kebocoran pipa tidak hanya terjadi pada skala lokal, tetapi telah menjadi salah satu tantangan dalam pengelolaan sistem distribusi air secara global. Bank Dunia melaporkan bahwa miliaran meter kubik air olahan mengalami kehilangan setiap tahunnya akibat kebocoran fisik pada jaringan distribusi air perkotaan. Di Indonesia, permasalahan kehilangan air juga masih menjadi perhatian dalam peningkatan efisiensi pengelolaan air. Berdasarkan Rencana Strategis Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2025–2029, tingkat kehilangan air atau *non-revenue water* (NRW) masih berada pada kisaran 33% pada tahun 2023 dan ditargetkan mengalami penurunan menjadi 25% pada tahun 2029. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan metode pemantauan dan pendeteksian kebocoran yang lebih efektif agar kehilangan air pada jaringan distribusi dapat diminimalkan.

Pada sistem perpipaan konvensional, proses identifikasi kebocoran masih banyak dilakukan melalui inspeksi manual yang membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya operasional yang cukup besar. Selain itu, metode inspeksi langsung memiliki

keterbatasan dalam menentukan lokasi kebocoran secara cepat, terutama pada jaringan perpipaan yang memiliki banyak percabangan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem *monitoring* yang mampu melakukan pengukuran secara kontinu dan memberikan informasi kondisi jaringan secara *real-time* sehingga proses deteksi kebocoran dapat dilakukan lebih cepat dan akurat.

Perkembangan teknologi *Internet of things* (IoT) memberikan peluang dalam pengembangan sistem *monitoring* berbasis sensor yang mampu melakukan pengumpulan dan pengiriman data secara otomatis. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi IoT telah banyak diterapkan pada sistem pemantauan penggunaan maupun distribusi air. Sasmoko et al. (2020) mengembangkan sistem *monitoring* aliran air berbasis ESP8266 dan Blynk yang menunjukkan bahwa parameter aliran air dapat dipantau melalui perangkat bergerak. Diharja et al. (2021) juga merancang sistem pengawasan penggunaan air PDAM berbasis IoT menggunakan sensor *flow meter* dengan nilai galat rata-rata sebesar 1,29%, sehingga menunjukkan bahwa teknologi sensor dapat digunakan untuk melakukan pemantauan debit air secara efektif. Selain itu, Djaksana et al. (2020) mengembangkan kerangka kerja *smart water management* berbasis IoT yang mendukung pemantauan kondisi distribusi air secara *real-time*.

Meskipun berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas penerapan IoT dalam sistem *monitoring* air, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pemantauan konsumsi atau kondisi aliran secara umum. Sistem tersebut belum secara khusus membahas metode identifikasi segmen kebocoran pada jaringan pipa bercabang berdasarkan perbandingan debit pada beberapa titik pengukuran. Pada jaringan perpipaan bercabang, perubahan debit pada masing-masing cabang dapat menjadi indikator penting dalam menentukan lokasi terjadinya kehilangan air akibat kebocoran. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu memanfaatkan data debit dari beberapa titik sensor untuk melakukan identifikasi segmen kebocoran secara lebih spesifik.

Selain aspek *monitoring*, kebutuhan terhadap sistem yang dapat beroperasi secara mandiri juga menjadi faktor penting dalam pengembangan perangkat deteksi kebocoran. Sistem *monitoring* berbasis IoT membutuhkan sumber energi listrik yang

stabil agar sensor, mikrokontroler, serta modul komunikasi dapat bekerja secara kontinu. Pada beberapa lokasi distribusi air yang memiliki keterbatasan akses terhadap sumber listrik konvensional, penggunaan sumber energi alternatif menjadi solusi yang dapat meningkatkan fleksibilitas penerapan sistem. Salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), karena mampu menyediakan suplai energi terbarukan dan mendukung sistem *monitoring* yang bersifat mandiri (*self-powered system*).

Penelitian sebelumnya seperti Bathre & Das (2022) telah menunjukkan potensi penggunaan sistem sensor mandiri untuk pemantauan kondisi air secara *real-time*, sedangkan Rumbayan et al. (2025) membahas integrasi sistem pengelolaan air berbasis teknologi cerdas dengan sumber energi *photovoltaic*. Berdasarkan penelitian tersebut, integrasi antara sistem deteksi kebocoran berbasis IoT dengan suplai daya PLTS memiliki potensi untuk menghasilkan sistem *monitoring* yang tidak hanya mampu melakukan pemantauan secara *real-time*, tetapi juga memiliki kemampuan operasional yang lebih fleksibel dan berkelanjutan.

Berdasarkan permasalahan dan perkembangan teknologi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan membangun prototipe sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air bercabang dengan integrasi IoT dan suplai daya PLTS. Sistem yang dikembangkan menggunakan beberapa titik pengukuran debit untuk membandingkan perubahan aliran air sehingga dapat menentukan indikasi lokasi segmen kebocoran. Selain itu, sistem dilengkapi dengan platform IoT untuk menampilkan data *monitoring* secara *real-time* serta fitur notifikasi melalui Telegram sebagai informasi peringatan kepada pengguna ketika terjadi kondisi abnormal. Dengan adanya integrasi antara teknologi sensor, IoT, dan energi terbarukan, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan prototipe sistem pendeteksi kebocoran yang lebih responsif, efisien, serta dapat mendukung pengelolaan jaringan distribusi air secara lebih optimal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dirumuskan berdasarkan latar belakang permasalahan penelitian yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana rancang bangun prototipe sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air bercabang dengan integrasi IoT dan suplai daya PLTS?
2. Bagaimana kinerja prototipe dalam mengidentifikasi segmen kebocoran pada pipa air bercabang berdasarkan perbandingan debit air pada titik-titik pengukuran?
3. Bagaimana kinerja integrasi IoT dalam menampilkan hasil *monitoring* secara *real-time* dan mengirimkan notifikasi peringatan kebocoran melalui Telegram?
4. Bagaimana kemampuan suplai daya PLTS dalam menunjang operasional sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air bercabang?

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dilakukannya penelitian yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air bercabang dengan integrasi IoT dan suplai daya PLTS.
2. Menganalisis kinerja prototipe dalam mengidentifikasi segmen terjadinya kebocoran berdasarkan deviasi debit air pada titik-titik pengukuran.
3. Menganalisis kinerja sistem *monitoring* berbasis IoT dalam menampilkan data secara *real-time* melalui *dashboard* dan mengirimkan notifikasi peringatan melalui aplikasi Telegram.
4. Mengevaluasi kemampuan suplai daya PLTS dalam mendukung operasional sistem pendeteksi kebocoran secara mandiri.

#### 1.4 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sarana bagi penulis untuk menerapkan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan, khususnya pada bidang instrumentasi, sistem kontrol, energi surya, dan *Internet of Things*, serta sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Skripsi di Institut Teknologi PLN.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademis berupa referensi dan bahan kajian bagi mahasiswa maupun peneliti selanjutnya, khususnya dalam pengembangan sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air, integrasi *monitoring* berbasis IoT, dan pemanfaatan PLTS sebagai sumber daya pendukung sistem.
3. Prototipe yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi media demonstrasi dan pembelajaran mengenai penerapan sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air bercabang yang terintegrasi dengan IoT dan suplai daya PLTS, sehingga dapat memberikan gambaran praktis tentang pengembangan sistem *monitoring* distribusi air yang lebih efisien, responsif, dan mandiri energi.

#### 1.5 Ruang Lingkup Masalah

Agar tidak meluas dari maksud dan tujuan yang ada, maka penelitian ini hanya dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian prototipe sistem pendeteksi segmen kebocoran pada jaringan pipa air bercabang dalam skala laboratorium, bukan pada implementasi langsung pada jaringan distribusi air sebenarnya.
2. Sistem perpipaan yang digunakan berupa model jaringan pipa bercabang dengan jumlah segmen tertentu sebagai representasi dari sistem distribusi air sederhana.
3. Parameter utama yang digunakan untuk mendeteksi indikasi kebocoran adalah perubahan nilai debit air yang diukur menggunakan sensor *flow* meter pada beberapa titik pengukuran.
4. Metode identifikasi lokasi kebocoran dilakukan berdasarkan perbandingan nilai

debit antara aliran masuk dan aliran pada masing-masing cabang pipa dan tidak membahas pemodelan matematis kompleks mengenai karakteristik tekanan fluida pada jaringan perpipaan.

5. Jenis kebocoran yang diuji merupakan kebocoran buatan pada titik tertentu dengan kondisi yang telah ditentukan. Penelitian ini belum mencakup variasi kerusakan pipa secara alami seperti retakan akibat usia material, korosi, maupun perubahan lingkungan.
6. Sistem hanya dirancang untuk mendeteksi satu kondisi kebocoran dalam satu waktu pengujian dan belum membahas identifikasi beberapa titik kebocoran yang terjadi secara bersamaan.
7. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor debit tipe YF-S201 yang memiliki batas kemampuan pengukuran sesuai spesifikasi perangkat, sehingga hasil pengukuran dipengaruhi oleh karakteristik sensor dan kondisi aliran pada sistem prototipe.
8. Sistem monitoring menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data dan modul komunikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengirimkan informasi kondisi sistem melalui platform monitoring dan notifikasi.
9. Sistem catu daya yang digunakan menggunakan konfigurasi PLTS skala prototipe yang terdiri dari panel surya, baterai penyimpanan, dan regulator pengisian. Analisis difokuskan pada kemampuan penyediaan energi untuk kebutuhan perangkat elektronik sistem.
10. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi secara mendalam seperti analisis biaya investasi, biaya operasional, dan perhitungan kelayakan penerapan sistem dalam skala industri.

## 1.6 Kebaharuan

Penelitian mengenai deteksi kebocoran pipa air berbasis sensor dan *Internet of Things* (IoT) telah banyak dilakukan. Meskipun demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan prototipe sistem pendeteksi segmen kebocoran pipa air bercabang yang mengintegrasikan beberapa teknologi dalam satu sistem, yaitu:

1. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya berfokus pada deteksi kebocoran pada pipa lurus atau sekadar *monitoring* penggunaan air, penelitian

ini diarahkan pada perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe sistem pendeteksi segmen kebocoran pada pipa air bercabang yang memiliki satu titik percabangan.

2. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran, tetapi juga untuk mengidentifikasi segmen pipa yang mengalami kebocoran, yaitu segmen sebelum percabangan, segmen setelah percabangan pada jalur utama, dan segmen pada pipa cabang.
3. Untuk mendukung proses identifikasi tersebut, penelitian ini menggunakan empat sensor *flow* meter yang ditempatkan pada titik-titik pengukuran tertentu, sehingga deviasi debit yang terjadi dapat dianalisis berdasarkan prinsip kontinuitas aliran. Dengan pendekatan ini, sistem dapat memberikan informasi yang lebih terarah mengenai segmen pipa yang terindikasi mengalami kebocoran.
4. Selain itu, penelitian ini tidak hanya berhenti pada fungsi *monitoring*, tetapi juga mengintegrasikan sistem IoT dengan notifikasi Telegram yang mampu memberikan informasi mengenai segmen kebocoran sekaligus peringatan kepada pengguna untuk mematikan pompa air sebagai langkah awal dalam mencegah kehilangan air yang terus berlangsung.
5. Kebaharuan lainnya terletak pada penggunaan suplai daya PLTS sebagai sumber energi pendukung operasional sistem. Hal ini membuat prototipe yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat pendeteksi kebocoran, tetapi juga menunjukkan konsep sistem *monitoring* yang lebih mandiri dari sisi penyediaan energi.
6. Penelitian ini menghadirkan integrasi antara deteksi kebocoran, identifikasi segmen, *monitoring real-time*, notifikasi peringatan, dan dukungan suplai daya PLTS ke dalam satu prototipe sistem yang utuh, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi yang lebih aplikatif dalam pengembangan sistem pemantauan distribusi air.