

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan sumber daya yang sangat penting bagi kehidupan. Namun, tidak semua air aman untuk dikonsumsi manusia sehingga memerlukan pengelolaan [1]. Negara berkewajiban menyediakan air bersih bagi masyarakat salah satunya melalui Perusahaan Umum Daerah Air Minum (Perumdam) [2], [3]. Target ideal tingkat kehilangan air yang direkomendasikan International Water Association (IWA) sebesar 20% dan standar nasional sebesar 25%. [4].

Faktanya, Perumdam Tirta Bahari Kota Tegal masih menghadapi masalah pada tingkat kehilangan air yang mencapai 35,28%, dimana angka tersebut masih jauh dari target ideal nasional, seperti yang sudah disebutkan yaitu 25% [5]. Tingginya angka kehilangan air ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain infrastruktur pipa tua yang menyebabkan kebocoran tinggi, serta penurunan kualitas dan kuantitas air baku akibat pencemaran atau perubahan iklim [6]. Permasalahan serupa juga terjadi di Perumdam Tirta Sewakadarma Denpasar yang mengalami tingkat kehilangan air sekitar 33,92% dikarenakan kondisi pipa distribusi yang telah melampaui umur teknis, yakni di atas 30 tahun [7].

Untuk mengetahui kondisi jaringan distribusi air secara berkala, diperlukan pemantauan parameter hidrolika seperti tekanan dan debit, karena perubahan yang tidak wajar dapat menjadi indikasi awal adanya kebocoran,

penyumbatan, atau kelebihan beban jaringan [8], [9]. Pada akhir tahun 2025, Perumdam Tirta Bahari telah melakukan penggantian pipa pada jalur utamanya untuk mengatasi aliran kecil di ujung jaringan [10]. Adapun volume pasokan air yang masuk ke wilayah pelayanan saat ini tercatat sebesar 380 liter per detik yang harus didistribusikan untuk memenuhi kebutuhan 40.478 pelanggan aktif dari total 40.945 pelanggan [5], [11], [12]. Perumdam Tirta Bahari saat ini telah memanfaatkan Geographic Information System (GIS) untuk pemetaan jaringan distribusi, namun sistem tersebut belum dilengkapi mekanisme pemantauan tekanan dan debit secara periodik, sehingga tidak dapat memberikan informasi kondisi operasional jaringan secara berkala. [13].

Tanpa dukungan data hidrolik yang memadai, potensi kebocoran dan gangguan tekanan akan sulit terdeteksi secara dini, yang pada akhirnya berisiko memperparah kerusakan infrastruktur serta menambah beban operasional akibat perbaikan yang bersifat reaktif.

Di era modern ini, teknologi *Internet of Things* (IoT) menjadi pilihan utama untuk pemantauan jarak jauh, sebagaimana diterapkan pada PDAM Surya Sembada Kota Surabaya [14]. Berbagai penelitian tentang sistem monitoring air telah banyak dilakukan, namun sebagian besar masih menggunakan protokol WiFi yang memiliki konsumsi daya tinggi. Pengukuran oleh Mehmet Erkan Yüksel (2020) menunjukkan bahwa modul WiFi ESP32 pada mode aktif mengirim data membutuhkan arus mencapai 180 mA [15], selain itu WiFi juga bergantung pada modem dan kuota internet

yang menambah biaya operasional berkelanjutan [16]. Sebaliknya, pengukuran pada modul LoRa SX1278 oleh Nainaiu Rakhaine, dkk. (2024) menunjukkan konsumsi daya yang lebih rendah [16], [17], [18]. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan penggunaan teknologi komunikasi LoRa sebagai solusi yang lebih hemat daya dan tidak bergantung pada infrastruktur internet, sehingga cocok untuk perangkat monitoring yang dipasang pada jaringan distribusi air yang tersebar luas dan sulit dijangkau sumber listrik eksternal [19], [20].

Meskipun LoRa hemat daya, transmisi data secara terus-menerus tetap menguras baterai dalam jangka panjang, sehingga diperlukan strategi interval pengiriman yang tepat [21], [22]. Berdasarkan studi Mounce, dkk. (2012) dan Abdulrahman Abdulaziz, dkk. (2023), interval pengiriman data 15 menit terbukti menjadi pilihan rasional karena memberikan keseimbangan antara kebutuhan informasi dan efisiensi daya [23], [24]. Selain itu, mikrokontroler ESP32-S3 yang dilengkapi fitur *deep-sleep* mampu mencapai arus tidur ideal sekitar 8 μ A saat *Real-Time Clock (RTC) memory* dan *peripherals* aktif [25]. Dengan mengintegrasikan ketiga komponen tersebut (yaitu LoRa, interval 15 menit, dan *deep-sleep*), sistem monitoring ini dirancang dalam bentuk *prototype* pada simulasi jaringan distribusi air sebagai batasan penelitian yang tidak langsung diimplementasikan di lapangan secara penuh.

Berdasarkan telaah pustaka yang telah dilakukan, sejumlah penelitian terdahulu telah membahas pemantauan jaringan distribusi air, komunikasi berbasis WiFi maupun Zigbee, serta analisis konsumsi daya perangkat IoT

secara terpisah, namun belum ditemukan penelitian yang secara khusus menganalisis kinerja komunikasi LoRa Point-to-Point yang dipadukan dengan strategi manajemen daya deep sleep dan interval transmisi 15 menit, sekaligus menguji potensi klasifikasi anomali sederhana sebagai eksperimen pendukung. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja komunikasi LoRa SX1278 dan efisiensi manajemen daya ESP32-S3 pada prototipe komunikasi data, yang dilengkapi uji coba klasifikasi anomali berbasis model logistic regression sebagai eksperimen pendukung, yang berjudul “RANCANG BANGUN PROTOTIPE KOMUNIKASI LORA DENGAN MANAJEMEN DAYA DEEP SLEEP BERBASIS ESP32-S3 DAN UJI COBA KLASIFIKASI ANOMALI”. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dihasilkan *prototype* yang mampu menyediakan informasi kondisi jaringan distribusi air secara berkala dengan konsumsi energi yang efisien, sehingga berkontribusi pada upaya penurunan kehilangan air di Perumdam Tirta Bahari secara lebih efektif dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun prototipe komunikasi LoRa Point-to-Point dengan manajemen daya deep sleep berbasis ESP32-S3?
2. Bagaimana kinerja komunikasi LoRa SX1278 yang dianalisis melalui parameter PDR, RSSI, SNR, dan Time on Air?

3. Bagaimana efisiensi konsumsi daya pada prototipe berdasarkan pengukuran arus dan energi tiap fase operasi (inisialisasi, transmisi, deep sleep) menggunakan sensor INA219?
4. Bagaimana potensi klasifikasi anomali menggunakan model logistic regression sebagai eksperimen pendukung berdasarkan data yang diakuisisi prototipe?

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam bentuk *prototype* pada simulasi jaringan distribusi air dan tidak diimplementasikan secara langsung pada jaringan distribusi Perumdam Tirta Bahari.
2. Parameter yang dianalisis adalah kinerja komunikasi LoRa (PDR, RSSI, SNR, Time on Air) dan efisiensi manajemen daya (arus dan energi tiap fase operasi), bukan akurasi maupun kalibrasi sensor tekanan dan debit air.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32-S3 dan komunikasi data menggunakan modul LoRa SX1278.
4. Sistem dirancang menggunakan sumber daya baterai dengan penerapan manajemen daya *deep sleep* pada .
5. Interval pengiriman data dari ke *gateway* ditetapkan setiap 15 menit.

6. Pengujian komunikasi LoRa dibatasi pada parameter jangkauan transmisi, keberhasilan pengiriman data (*packet delivery*), dan waktu pengiriman data (*delay*).
7. Pengujian konsumsi daya dilakukan pada kondisi aktif (*active mode*) dan *deep sleep mode*.
8. Prototipe hanya berfungsi sebagai sarana pengujian kinerja komunikasi dan manajemen daya, bukan sebagai sistem monitoring operasional yang siap diterapkan di lapangan.
9. Klasifikasi anomali menggunakan model logistic regression hanya digunakan sebagai eksperimen pendukung berdasarkan data yang diakuisisi prototipe, serta bukan menjadi fokus utama penelitian; proses pelatihan dan optimasi model berada di luar cakupan penelitian ini.
10. Penelitian tidak membahas analisis ekonomi, perhitungan NRW (*Non-Revenue Water*), maupun evaluasi keseluruhan kinerja jaringan distribusi Perumdam Tirta Bahari.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan serta manfaat yang ingin dicapai dari penelitian dan pengembangan ini adalah sebagai berikut:

- a. Tujuan
 1. Merancang dan membangun prototipe komunikasi LoRa Point-to-Point dengan manajemen daya deep sleep berbasis ESP32-S3.

2. Menganalisis kinerja komunikasi LoRa SX1278 melalui parameter PDR, RSSI, SNR, dan Time on Air pada kondisi pengujian tertentu.
3. Menganalisis efisiensi konsumsi daya pada tiap fase operasi (inisialisasi, transmisi, deep sleep) serta menghitung estimasi umur baterai.
4. Menguji coba klasifikasi anomali menggunakan model logistic regression sebagai eksperimen pendukung berdasarkan data yang diakuisisi prototipe.

b. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi dan pengetahuan mengenai kinerja komunikasi LoRa Point-to-Point dan strategi manajemen daya deep sleep berbasis ESP32-S3, sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan perangkat IoT hemat energi untuk aplikasi jaringan distribusi air.