

BAB I

PENDAHULUAN

Bab satu pada penelitian ini berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Air bersih merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup masyarakat. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), sebagai lembaga yang bertanggung jawab untuk menyediakan air bersih di daerah, memiliki tugas yang besar untuk memastikan distribusi air yang merata, berkelanjutan, dan dapat diandalkan (Paradis et al., 2024). Hal ini sejalan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs) ke 6 mengenai “Air Bersih dan Sanitasi” yang menargetkan akses umum terhadap air minum yang aman serta terjangkau bagi seluruh masyarakat pada tahun 2030. Kabupaten Bangkalan, Madura, merupakan salah satu daerah yang menghadapi tantangan dalam penyediaan air bersih, di mana sebagian besar masyarakat mengandalkan pasokan air dari truk tangki yang dioperasikan oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Bangkalan. Truk tangki tersebut mengambil air dari reservoir atau tangki air, kemudian mendistribusikannya ke berbagai desa dan kawasan yang memerlukan pasokan air bersih. Kondisi ini mencerminkan kesenjangan akses pada infrastruktur air bersih yang menjadi perhatian utama dalam mencapai SDGs 6.

Berdasarkan kondisi lapang pada Bangkalan, masih banyak desa – desa yang masih belum terjangkau oleh pipa PDAM Bangkalan serta masih banyak yang sering mengalami gangguan distribusi air melalui pipa. Pada tahun 2024 masih banyak desa-desa pada kecamatan berikut yang masih belum terjangkau oleh pipa PDAM yakni Kwanyar, Galis, Tragah, Socah, Geger, Kokop, Tanjung Bumi, Sepuluh dan Klampis (BPS Kabupaten Bangkalan, 2025). Ketika terjadi gangguan tersebut, PDAM akan mendistribusikan air bersih ke rumah – rumah pelanggan menggunakan truk tangki sebagai solusi alternatif (Aziz, 2023). Selain menjadi respon terhadap gangguan teknis, distribusi air menggunakan truk tangki juga menjadi kebutuhan rutin yang dilakukan pada musim kemarau ketika beberapa

desa terdampak kekeringan dan memerlukan suplai air bersih tambahan untuk kebutuhan sehari-hari (Salim A., 2025).

Kegiatan pendistribusian air menggunakan truk tangki menghadirkan kesulitan serta perkembangan yang cukup signifikan pada pengelolaannya. Tinggi muka air pada reservoir yang berubah sesuai dengan jadwal pada operasi pompa dan kapasitas pasokan air yang tersedia. Pola kedatangan truk tangki yang tidak merata yang menyebabkan antrian panjang, terutama pada periode permintaan yang tinggi seperti musim kemarau atau kondisi darurat akibat kerusakan infrastruktur perpipaan. Faktor iklim, termasuk intensitas curah hujan dan periode kekeringan, juga mempengaruhi kebutuhan air pada jaringan distribusi (Danafia B., 2025). Namun demikian, sistem pelaporan yang masih kebanyakan dilakukan secara pencatatan manual dan rekapitulasi harian yang menyebabkan informasi yang diterima oleh manajemen PDAM Bangkalan seringkali mengalami keterlambatan yang cukup signifikan. Kondisi ini menyebabkan situasi yang cukup kritis, seperti reservoir yang hampir kosong atau antrian truk yang menumpuk, baru diidentifikasi setelah terjadi dan tidak dapat diantisipasi atau dicegah.

Kesenjangan antara kondisi operasional aktual dilapangan dengan informasi yang tersedia bagi pengambilan keputusan menciptakan hambatan substansial terhadap kelancaran distribusi air. Tanpa adanya ketersediaan data yang cukup aktual dan *real-time*, manajer operasional dapat mengalami kesulitan dalam mengambil langkah ataupun keputusan dalam menghadapi tingginya permintaan ataupun keterbatasan pasok. Kondisi tersebut dapat menurunkan efisiensi operasional, meningkatnya potensi antrian dan keterlambatan layanan, serta terganggunya pemerataan akses layanan air bersih kepada masyarakat yang membutuhkan. Hal ini sangat bertolak belakang dengan prinsip SDGs 6 yang menekankan pada ketersediaan serta pengelolaan air yang berkelanjutan dan sanitasi bagi semua orang.

Guna menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem informasi berbasis pemantauan *real-time* yang dapat mengintegrasikan data *Reservoir*, aktivitas truk tangki, dan faktor iklim dalam satu kerangka terpadu, hal ini sejalan dengan SDGs ke 9 yaitu “Industri, Inovasi, dan Infrastruktur”. Sistem yang dirancang berupa *real-time data backbone* yang dilengkapi dengan *dashboard*

interaktif. *Backbone* ini mengalirkan data dari reservoir (penyimpanan dan pompa), truk tangki (kedatangan, antrian, dan pemuatan), serta iklim (curah hujan dan indikator kekeringan). Seluruh data disimpan dalam basis data deret waktu (*time-series database*) dan divisualisasikan melalui *dashboard* sehingga kondisi terkini dapat dimonitor secara jelas, cepat, dan siap dipakai untuk pengambilan keputusan.

Teknologi *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan menggunakan sistem manajemen air telah terbukti dapat menyediakan sistem perangkat keras yang hemat biaya serta kerangka kerja perangkat lunak yang cukup efektif, dengan kemampuan deteksi otomatis guna monitoring dan kontrol. Pemantauan secara *real time* serta analisis data menjadi bagian penting untuk mengambil keputusan terkait penyediaan air yang memadai. Sistem pemantauan air berbasis IoT yang modular memungkinkan pengukuran secara berkelanjutan serta menyampaikan peringatan dini apabila ketika kondisi tertentu terdeteksi.

Pada ranah pengelolaan data deret waktu (*time-series*), basis data yang dirancang secara khusus untuk mengatasi karakteristik data *time-series* menawarkan solusi yang andal serta telah banyak diterapkan pada berbagai bidang, seperti IoT, analitik keuangan, sistem pemantauan dan peringatan, manajemen energi, dan layanan kesehatan. Pemanfaatan basis data tersebut dapat memungkinkan organisasi menghasilkan data dan mendorong proses pengambilan keputusan yang berbasis informasi. Data *time series* memiliki nilai strategi karena memungkinkan analisis metrik baik secara historis maupun *real-time*, serta memfasilitasi identifikasi pola perunhan waktu yang relevan untuk mengaitkan kondisi masalah dan terkini dalam proses pengambilan keputusan.

Penelitian ini mengadopsi pendekatan *Design Science Research* (DSR) sebagai kerangka metodologi utama. *Design Science Research* (DSR) merupakan paradigma penelitian yang berfokus pada perancangan serta penciptaan kerangka inovatif guna memecahkan permasalahan praktis sekagilgus dapat memberikan kontribusi terhadap pengetahuan teoritis (Lastyono Putra et al., 2023). Pada konteks penelitian ini, kerangka yang dikembangkan berupa sistem informasi *real-time* yang mencakup *real-time data backbone* dan *dashboard* yang interaktif untuk operasi distribusi air tangka PDAM Bangkalan. Pemilihan DSR sebagai pendekatan pada penelitian ini didasarkan pada beberapa pertimbangan seperti yang pertama,

DSR memungkinkan penelitian untuk menghasilkan sebuah solusi praktis yang bisa langsung diimplementasikan pada lingkungan operasional nyata, tidak hanya menghasilkan pengetahuan teoritis saja. Kedua, DSR menyediakan kerangka kerja yang sistematis serta terstruktur dalam proses perancangan, pengembangan dan evaluasi kerangka teknologi. Ketiga, DSR memfasilitasi iterasi antara teori dengan praktik, dimana temuan dari implementasi praktis dapat memperbanyak pemahaman teoritis ataupun sebaliknya landasan teoritis membimbing pengembangan solusi praktis.

Peranan utama dalam penelitian ini terletak pada pengembangan dua komponen inti sistem informasi. Pertama, bagian sistem data berupa *real-time data backbone* yang menjamin aliran data berlangsung secara konsisten dan terstruktur. Kedua, bagian sistem berupa *dashboard* interaktif yang menyajikan indikator kinerja operasional (*operasional performance indikator*) serta indikator kesehatan sistem (*system health indicators*) dalam format yang mudah dipahami dan siap digunakan oleh manajemen PDAM dalam pengambilan keputusan strategis maupun taktis. Integrasi kedua bagian tersebut tidak hanya menghasilkan sistem pemantauan operasional, tetapi juga membangun fondasi sistem pendukung keputusan (*decision support system*) yang responsif, tepat waktu, dan efisien dalam mengelola distribusi air.

Sistem ini dikembangkan dengan memanfaatkan perangkat keras yang relatif terjangkau harganya namun memiliki tingkat keandalan yang cukup tinggi. Perangkat keras ini seperti sebuah desktop sebagai server utama, *Raspberry Pi 5* dengan RAM 8 GB sebagai perangkat *edge computing*, serta *Wi-Fi router* generasi keenam untuk mendukung konektivitas jaringan. Platform Node-RED dipakai untuk membangun alur data yang berbasis *flow-based programming* yang mencakup proses publikasi data, komunikasi dari MQTT, data *ingestion*, hingga visualisasi data yang menggunakan Grafana sebagai *dashboard* pemantauan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan pada latar belakang diatas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang aliran data secara *real-time* yang mengintegrasikan data dari reservoir, aktivitas truk tangki, dan indikator iklim ke dalam satu sistem informasi yang utuh dan siap mendukung pengambilan keputusan operasional ?
2. Bagaimana memastikan konsistensi dan keterbacaan data melalui data *dictionary*, *ontologi SOSA/SSN* (*Sensor, Observation, Sample, and Actuator / Semantic Sensor Network*), serta *JSON-LD* (*JavaScript Object Notation for Linked Data*) dalam konteks sistem informasi distribusi air tangki ?
3. Indikator kinerja operasional dan indikator kesehatan sistem apa saja yang relevan untuk ditampilkan pada *dashboard* pengambilan keputusan harian?
4. Sejauh mana sistem informasi dapat beroperasi secara andal dengan menggunakan perangkat keras yang biayanya terjangkau ?
5. Bagaimana evaluasi pada kerangka sistem informasi *real-time* yang dikembangkan berdasarkan *Design Science Research* dalam konteks utilitas distribusi air ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan aliran data *real-time* yang menghubungkan data reservoir, aktivitas truk tangki, dan indikator iklim ke dalam satu sistem informasi yang terintegrasi berbasis *real-time data backbone*.
2. Menerapkan data *dictionary*, *ontologi SOSA/SSN*, serta *JSON-LD* untuk menjamin konsistensi, keterbacaan, dan keterpaduan data lintas komponen sistem informasi.
3. Mengembangkan *dashboard* interaktif yang menampilkan indikator kinerja operasional (meliputi kondisi reservoir, status pompa, aktivitas truk tangki, dan indikator iklim) serta indikator kesehatan sistem (meliputi *latency*, kehilangan data, kesegaran data, dan ketersediaan layanan) dalam format yang mendukung pengambilan keputusan operasional.
4. Menguji keandalan sistem informasi yang dibangun pada perangkat keras berbiaya terjangkau (komputer server prosesor Intel Core i7 dengan RAM 24 GB, Raspberry Pi 5 dengan RAM 8 GB, dan *router* Wi-Fi 6) untuk memastikan

sistem dapat digunakan secara praktis di lingkungan operasional PDAM Bangkalan.

5. Mengevaluasi kerangka sistem informasi *real-time* yang dikembangkan dengan menggunakan kerangka *Design Science Research* guna memvalidasi kontribusi praktik dan teoritis dari penelitian ini.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu pada penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe sistem informasi *real-time* berupa *dashboard* yang dapat dipakai oleh pihak PDAM Bangkalan untuk memantau serta mengelola operasi distribusi air tangki. *Dashboard* yang dikembangkan pada penelitian ini menyediakan informasi operasional yang siap dipakai dalam pengambilan keputusan secara langsung, sehingga manajer operasional dapat merespon kondisi kritis dengan lebih cepat dan tepat. Sistem ini dirancang dengan arsitektur yang modular dan dokumentasi yang lengkap, sehingga dapat direplikasikan oleh PDAM lain dengan kondisi yang serupa.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini ditujukan pada peneliti agar lebih fokus dan terarah yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian ini terbatas pada pengembangan *real-time data backbone* serta *dashboard* interaktif untuk sistem informasi operasional PDAM Bangkalan. Penelitian ini tidak mencakup pengembangan algoritma optimasi pada distribusi truk tangki, perencanaan rute ataupun model prediktif berbasis pembelajaran mesin.
2. Data yang dipakai dalam penelitian ini berupa:
 - a. Data reservoir: tinggi muka air (meter), debit aliran (liter/detik), dan status operasional pompa (ON/OFF).
 - b. Data aktivitas truk tangki: waktu kedatangan, durasi antrian, waktu mulai dan selesai pemuatan, serta waktu keberangkatan.
 - c. Data iklim: curah hujan harian (mm) dan indeks kekeringan SPI-3 (*Standardized Precipitation Index* untuk periode 3 bulan).

- d. Sebagian data diperoleh dari pencatatan aktual di PDAM Bangkalan dan stasiun meteorologi BMKG, sedangkan sebagian lainnya dihasilkan melalui simulasi menggunakan Raspberry Pi untuk melengkapi data yang tidak tersedia atau tidak lengkap.
3. Penelitian dibatasi pada penggunaan komputer server dengan prosesor Intel Core i7 generasi ke-11 dan RAM 24 GB sebagai *host* untuk layanan Docker, Raspberry Pi 5 dengan RAM 8 GB sebagai *data publisher*, serta *router* Wi-Fi 6 sebagai media komunikasi jaringan lokal.
4. Sistem dibangun menggunakan Node-RED untuk membangun alur data (*flow-based programming*), InfluxDB versi 2.7 sebagai basis data deret waktu (*time-series database*), Grafana versi 10.x untuk visualisasi *dashboard*, dan Mosquitto sebagai *message broker* berbasis protokol MQTT. Seluruh layanan dijalankan dalam kontainer Docker versi 24.x untuk memastikan portabilitas dan konsistensi lingkungan eksekusi.
5. Fokus validasi diarahkan pada pengukuran indikator kesehatan sistem, meliputi *latency* data (*data Latency*), tingkat kehilangan data (*data loss rate*), kesegaran data (*data freshness*), dan ketersediaan layanan (*service Availability*). Analisis lanjutan seperti prediksi permintaan berbasis model *time series*, optimasi kapasitas distribusi, atau evaluasi dampak ekonomi tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini.
6. Studi kasus penelitian terbatas pada PDAM Kabupaten Bangkalan, Provinsi Jawa Timur. Namun demikian, arsitektur sistem yang dirancang bersifat generik dan modular sehingga dapat direplikasi untuk PDAM atau utilitas air lainnya dengan pola distribusi berbasis truk tangki, dengan penyesuaian minimal terhadap parameter operasional lokal.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini disusun dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan kajian literatur yang relevan dengan penelitian, meliputi sistem informasi untuk utilitas air, pendekatan *Design Science Research* dalam sistem informasi, ontologi dan konsistensi semantik, indikator kinerja kunci (*Key Performance Indicators*), serta keandalan sistem pada perangkat keras terjangkau. Bab ini juga menyajikan sintesis tinjauan pustaka dan identifikasi celah penelitian (*research gap*).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian secara rinci yang mengikuti tahapan *Design Science Research*, meliputi: identifikasi masalah dan motivasi, penentuan tujuan solusi, perancangan dan pengembangan kerangka, termasuk pembangunan *real-time data backbone*, penerapan semantic dan validasi data, serta perancangan *dashboard* interaktif, demonstrasi sistem, evaluasi melalui pengujian serta validasi, dan komunikasi hasil penelitian. Bab ini juga menjelaskan mengenai sumber data, cara pengumpulan data, serta *flowchart* penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem, hasil pengujian keandalan, analisis indikator kinerja operasional dan kesehatan sistem, serta pembahasan mengenai implikasi hasil penelitian terhadap operasi distribusi air tangki di PDAM Bangkalan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan, serta memberikan saran untuk pengembangan lebih lanjut dan replikasi sistem di lingkungan operasional yang berbeda.