

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki peran penting dalam menunjang kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Sumber air tawar sendiri dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu air tanah dan air permukaan. Ketersediaan dan pengelolaan air bersih yang efektif menjadi aspek krusial dalam menjamin kesejahteraan masyarakat, terutama di tengah pertumbuhan populasi dan urbanisasi yang pesat (Lasut dkk., 2023).

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) merupakan badan usaha milik daerah yang memiliki tanggung jawab utama dalam menyediakan air bersih bagi masyarakat. PDAM beroperasi di tingkat provinsi, kabupaten/kota, hingga kecamatan, dan berperan penting dalam menunjang kebutuhan air domestik, sosial, serta ekonomi masyarakat. Seiring dengan pertumbuhan penduduk, peningkatan standar hidup, dan perluasan wilayah perkotaan, permintaan terhadap layanan air bersih terus meningkat. Namun, peningkatan ini sering kali tidak sejalan dengan kapasitas pelayanan yang tersedia, sehingga menyebabkan tantangan dalam memenuhi kebutuhan air secara merata dan berkelanjutan (Lasut dkk., 2023).

Untuk menjawab tantangan tersebut, PDAM mengelola Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) yang mencakup seluruh proses mulai dari pengambilan air baku, pengolahan, hingga distribusi ke pelanggan. SPAM dirancang agar air bersih dapat disalurkan dengan kuantitas, kualitas, tekanan, dan kontinuitas yang sesuai standar layanan (Zamzami dkk., 2018). Salah satu komponen vital dalam SPAM adalah sistem distribusi, khususnya jaringan perpipaan, yang berfungsi menyalurkan air dari instalasi pengolahan ke masyarakat. Efektivitas jaringan pipa ini sangat menentukan kinerja keseluruhan sistem distribusi (Saleh, 2017). Agar dapat menyediakan air secara optimal, sistem jaringan pipa harus mampu menangani berbagai kendala teknis seperti tekanan air, laju aliran, dan efisiensi biaya. Oleh karena itu, desain pipa yang tepat sangat penting untuk menjamin keandalan dan keberlanjutan pasokan air bersih.

Menurut Saleh dkk. (2020) menentukan diameter pipa yang optimal merupakan salah satu tantangan utama dalam perancangan jaringan pipa. Diameter pipa tidak hanya mempengaruhi aliran dan tekanan air, tetapi juga berdampak langsung pada biaya pemasangan serta pemeliharaan. Namun, hubungan antara diameter pipa dan biaya tidak selalu bersifat *linear* meningkatkan ukuran pipa belum tentu berarti biaya akan naik dengan perbandingan yang sama. Oleh karena itu, pendekatan yang tepat diperlukan untuk menentukan diameter pipa yang mampu meminimumkan biaya keseluruhan jaringan tanpa mengorbankan aspek teknis seperti tekanan dan laju aliran. Jaringan pipa yang dirancang dengan baik harus mampu menjaga tekanan minimum di seluruh titik jaringan, mengurangi kehilangan energi, serta memastikan biaya tetap dalam batas yang wajar (Saleh dkk. 2020).

Dalam praktiknya, jaringan pipa ideal harus memastikan tekanan minimal yang konsisten di seluruh titik distribusi guna meminimalkan kehilangan energi, sekaligus menjaga biaya tetap dalam batas rasional. Untuk mencapai tujuan ini, berbagai metode pemodelan matematis telah dikembangkan, mencakup pendekatan pemrograman *linear*, *non-linear*, hingga dinamis. Penelitian yang dilakukan oleh Awe dkk. (2019) menunjukkan bahwa metode berbasis stokastik dan dinamis semakin banyak diaplikasikan dalam menyelesaikan kompleksitas masalah ini. Metode stokastik yang telah digunakan terdiri dari *Simulated Annealing* (SA) untuk pencarian global, *Shuffled Complex Evaluation* (SCE) dalam analisis parameter, *Ant Colony optimization Algorithm* (ACOAs) terinspirasi dari perilaku semut, *Shuffled Frog Leaping Algorithms* (SFLA) yang berbasis evolusi kelompok, dan *Genetics Algorithm* (GA) dengan pendekatan seleksi alam. Perkembangan mutakhir juga menunjukkan tren kombinasi beberapa metode menjadi pendekatan *hybrid*. Savic dan Walters (1997) berhasil mengintegrasikan Algoritma Genetika dengan teknik pencarian lokal, sementara Van Zyl dkk. (2004) menggabungkan Algoritma Genetika dengan metode Fibonacci untuk peningkatan akurasi. Temuan Mala-Jetmarova dkk. (2018) menguatkan bahwa metode stokastik khususnya efektif diaplikasikan pada sistem jaringan pipa berskala besar karena kemampuan adaptasinya yang tinggi terhadap kompleksitas masalah.

Reca (dalam Mora-Melia dkk., 2013) menyatakan bahwa beberapa peneliti telah membandingkan Algoritma Genetika (GA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Shuffled Frog Leaping Algorithms* (SFLA), dan Algoritma Memetika dan diperoleh bahwa tidak ada teknik yang dinyatakan lebih unggul daripada yang lainnya. Menurut Sulianto dkk. (2021), sejumlah peneliti telah membandingkan kinerja dari beberapa metode optimisasi. Pada penelitian yang dilakukan Somaيدا (dalam Sulianto dkk., 2021) telah mengembangkan program aplikasi GANEO untuk mengoptimalkan diameter pipa. Model ini merupakan hasil penggabungan simulasi hidrolik berbasis EPANET dan optimisasi diameter pipa berbasis Algoritma Genetika (GA). Afshar (dalam Sulianto dkk., 2021) mengusulkan penggabungan algoritma elemen per elemen untuk menyelesaikan persamaan hidrolik pipa dan *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk proses optimisasi diameter pipa. Abebe dan Solomatine (dalam Sulianto dkk., 2021) mengusulkan penggabungan metode optimisasi GLOBE dan model simulasi hidrolik jaringan berbasis EPANET. Metode optimisasi GLOBE dikembangkan oleh Abebe dan Solomatine (1998) untuk menyelesaikan masalah optimisasi dengan fungsi tujuan meminimumkan biaya. Metode optimisasi GLOBE melibatkan empat metode, yaitu: *Controlled Random Search* (CRS2), CRS4, GA dan *Adaptive Cluster Covering with Local Search* (ACCOL). Hasil penelitian menunjukkan bahwa GA dan ACCOL menunjukkan efisiensi dan efektivitasnya.

Algoritma Genetika (GA) adalah salah satu metode pencarian solusi berbasis prinsip evolusi buatan yang pertama kali diperkenalkan oleh Holland pada tahun 1975 (Goldberg, 1989). Algoritma ini bekerja dengan meniru mekanisme genetika dalam suatu populasi serta prinsip seleksi alam untuk menemukan solusi yang lebih adaptif. Seiring perkembangannya, GA sering mengalami berbagai modifikasi agar lebih efektif dalam berbagai aplikasi. Keunggulan GA terletak pada kemampuannya dalam menemukan solusi secara efisien, yang menjadikannya metode *robust* (tangguh) dan fleksibel untuk berbagai formulasi serta skenario optimisasi (Goldberg, 1989).

Dalam GA, pemilihan acak gen persilangan dapat menciptakan fraksi kode biner yang mengidentifikasi variabel keputusan yang mungkin. Fenomena ini dikenal sebagai bias posisi dan menurunkan kualitas solusi (Mora-Melia dkk.,

2013). Untuk mengatasi keterbatasan ini, salah satu metode alternatif yang dapat diterapkan dalam optimisasi jaringan pipa air SPAM adalah *Pseudo-Genetic Algorithm* atau Algoritma Pseudo-Genetika (PGA).

Pada penelitian ini, digunakan *Pseudo-Genetic Algorithm* (PGA), yang merupakan modifikasi dari *Genetic Algorithm* (GA). Berbeda dari GA, PGA menerapkan strategi induk komplementer dalam proses inisialisasi individu. Hal ini memungkinkan peningkatan keragaman populasi serta kemampuan pencarian solusi yang lebih baik. Selain itu, PGA juga menghilangkan kebutuhan akan pencegahan inses, strategi seleksi, serta mutasi, yang pada akhirnya menyederhanakan proses komputasi sekaligus mempercepat pencarian solusi optimal secara elitis (Chen dkk., 2010). Penelitian ini juga memperkenalkan optimisasi operator genetika yang berbeda, yang mempengaruhi solusi minimum, seperti probabilitas mutasi dan *crossover* serta ukuran populasi di mana algoritma akan beroperasi (Mora-Melia dkk., 2013). Dengan pendekatan ini, PGA dirancang untuk mengatasi keterbatasan *Genetic Algorithm* (GA) dan mempercepat konvergensi menuju solusi terbaik.

Hingga saat ini belum banyak penelitian yang secara khusus menerapkan Algoritma Pseudo-Genetika (PGA) dalam optimisasi jaringan pipa distribusi SPAM. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan Algoritma Pseudo-Genetika (PGA) dalam menentukan diameter optimal jaringan pipa distribusi di PDAM Tirta Raharja Sadu Kabupaten Bandung. Tujuan utama dari penelitian ini adalah meminimumkan biaya total instalasi sekaligus meningkatkan efisiensi sistem distribusi air.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah diberikan di atas, berikut adalah masalah-masalah yang dibahas dalam penelitian ini:

1. Bagaimana model optimisasi dari masalah jaringan distribusi SPAM untuk menentukan diameter pipa-pipa yang meminimalkan biaya instalasi pipa?
2. Bagaimana penerapan Algoritma Pseudo-Genetika dalam penyelesaian masalah jaringan distribusi SPAM?

3. Bagaimana implementasi Algoritma Pseudo-Genetika dalam menentukan diameter pipa-pipa yang optimal pada jaringan pipa di PDAM Tirta Raharja Sadu Kabupaten Bandung?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menyusun model optimisasi jaringan distribusi SPAM yang dapat menentukan kombinasi diameter pipa dengan total biaya instalasi minimum, namun tetap memenuhi kendala teknis seperti tekanan dan kecepatan aliran air.
2. Menerapkan Algoritma Pseudo-Genetika (PGA) sebagai pendekatan solusi dalam menyelesaikan masalah optimisasi tersebut, dengan memanfaatkan representasi alfanumerik dan mutasi berbasis *Gray Code*.
3. Mengimplementasikan hasil optimasi PGA pada jaringan pipa distribusi air bersih di wilayah pelayanan PDAM Tirta Raharja Sadu Kabupaten Bandung, serta melakukan validasi teknis menggunakan simulasi hidraulik dengan EPANET.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi penulis, penelitian ini memberikan pemahaman mendalam tentang penerapan algoritma evolusioner dalam menyelesaikan permasalahan optimisasi nyata, khususnya dalam konteks jaringan distribusi air.
2. Bagi perencana dan pengelola jaringan distribusi air, penelitian ini menyediakan referensi praktis dalam menentukan kombinasi diameter pipa yang optimal dengan biaya instalasi minimum, berdasarkan model optimisasi yang tervalidasi.
3. Sebagai alat bantu pengambilan keputusan, penerapan Algoritma Pseudo-Genetika dapat digunakan untuk mengevaluasi dan menyusun desain jaringan pipa yang efisien secara teknis dan ekonomis, terutama dalam perencanaan SPAM berskala regional.
4. Bagi pengembang algoritma dan akademisi, penelitian ini menjadi contoh penerapan algoritma metaheuristik (PGA) untuk kasus nyata, sekaligus

Anisa Nur Aidah, 2025

OPTIMISASI DIAMETER PIPA PADA JARINGAN DISTRIBUSI AIR MENGGUNAKAN PSEUDO-GENETIC ALGORITHM DENGAN BANTUAN EPANET (STUDI KASUS: PDAM TIRTA RAHARJA SADU KABUPATEN BANDUNG)

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

membuka peluang pengembangan metode serupa di berbagai permasalahan infrastruktur publik lainnya.

Dengan kata lain, penelitian ini tidak hanya memberikan pendekatan teknis yang efisien untuk PDAM Tirta Raharja Sadu Kabupaten Bandung, tapi juga menawarkan kontribusi metode yang dapat diterapkan secara luas dalam konteks pengelolaan air bersih.