

## OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH PADA HUNIAN KARYAWAN TAMBANG EMAS BANYUWANGI

Anis Anastya Purbaningsih<sup>1,\*</sup>, Ayisya Cindy Harifa<sup>2</sup>, Sutikno<sup>3</sup>

Mahasiswa Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Email: [anisanastya80@gmail.com](mailto:anisanastya80@gmail.com)<sup>1</sup>, [ayisya\\_civil@polinema.ac.id](mailto:ayisya_civil@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [sutikno.civil@gmail.com](mailto:sutikno.civil@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Ketersediaan air bersih yang memadai merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang aktivitas operasional kawasan hunian karyawan pertambangan. Penelitian ini bertujuan mengoptimasi jaringan distribusi air bersih pada hunian karyawan Tambang Emas Tujuh Bukit, PT Bumi Suksesindo, Kabupaten Banyuwangi, dengan mempertimbangkan proyeksi kebutuhan air hingga tahun 2035. Metode yang digunakan meliputi proyeksi jumlah karyawan menggunakan Double Moving Average (DMA) dan Double Exponential Smoothing (DES), perhitungan kebutuhan air bersih berdasarkan standar domestik dan non-domestik, perencanaan dimensi pipa, serta simulasi hidrolis menggunakan WaterCAD V8i. Hasil analisis menunjukkan metode DES memiliki akurasi lebih baik dengan MAPE sebesar 0,783% dibandingkan metode DMA sebesar 1,319%. Proyeksi jumlah karyawan pada tahun 2035 mencapai 18.188 jiwa dengan kebutuhan air rata-rata sebesar 19,167 L/dt (0,019167 m<sup>3</sup>/dt), sedangkan debit andalan sumber air sebesar 58,98 L/dt sehingga masih mencukupi. Jaringan yang direncanakan terdiri atas pipa transmisi berdiameter 500 mm sepanjang 1.656,99 m dan pipa distribusi berdiameter 400 mm sepanjang 3.580,78 m, dengan total panjang jaringan 5.237,77 m. Hasil simulasi WaterCAD V8i menunjukkan bahwa jaringan yang direncanakan mampu memenuhi kriteria tekanan dan kecepatan aliran sesuai standar perencanaan. Total biaya pembangunan sistem distribusi air bersih berdasarkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah sebesar Rp5.051.424.808.

**Kata kunci :** proyeksi karyawan, kebutuhan air bersih, WaterCAD V8i, jaringan pipa distribusi.

### ABSTRACT

Adequate clean water availability is a critical factor supporting operational activities in mining employee housing areas. This study aims to optimize the clean water distribution network for the employee housing area of the Tujuh Bukit Gold Mine, PT Bumi Suksesindo, Banyuwangi Regency, by considering projected water demand through 2035. The methods include employee population forecasting using Double Moving Average (DMA) and Double Exponential Smoothing (DES), water demand calculation based on domestic and non-domestic standards, pipe dimension planning, and hydraulic simulation using WaterCAD V8i. The results show that the DES method provides better accuracy with a MAPE of 0.783% compared to the DMA method at 1.319%. The projected employee population in 2035 reaches 18,188 people with an average water demand of 19.167 L/s (0.019167 m<sup>3</sup>/s), while the dependable source discharge is 58.98 L/s, which is still sufficient. The planned network consists of a 500 mm diameter transmission pipeline of 1,656.99 m and a 400 mm diameter distribution pipeline of 3,580.78 m, with a total network length of 5,237.77 m. WaterCAD V8i simulation results show that the planned network meets the pressure and flow velocity criteria according to the design standard. The total construction cost based on the Budget Plan (RAB) is IDR 5,051,424,808.

**Keywords :** employee forecasting, clean water demand, WaterCAD V8i, pipeline distribution network.

### 1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan utama dalam menunjang aktivitas operasional kawasan industri dan hunian pekerja, khususnya pada kawasan pertambangan yang beroperasi secara berkelanjutan. Pada kawasan pertambangan, kebutuhan air tidak hanya digunakan untuk kebutuhan domestik pekerja, tetapi juga untuk mendukung

fasilitas operasional seperti mess, kantor, kantin, laundry, dan fasilitas umum lainnya, sehingga sistem distribusi air bersih perlu direncanakan dan dioptimalkan agar mampu melayani kebutuhan pengguna secara efektif dan efisien.

PT Bumi Suksesindo mengoperasikan Tambang Emas Tujuh Bukit di Kabupaten Banyuwangi yang telah beroperasi secara komersial sejak tahun 2016. Kondisi eksisting

menunjukkan kawasan hunian karyawan melayani sekitar 18.500 karyawan dengan 80 unit hunian. Seiring meningkatnya aktivitas operasional tambang, perusahaan berencana melakukan penambahan hunian karyawan sehingga kebutuhan air bersih dan beban jaringan distribusi eksisting diperkirakan akan terus meningkat. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan penurunan tekanan pada titik pelayanan tertentu, peningkatan kehilangan energi (headloss), distribusi debit yang tidak merata, serta ketidaksesuaian diameter pipa terhadap debit kebutuhan aktual maupun proyeksi pengembangan kawasan.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas evaluasi maupun perencanaan jaringan distribusi air bersih menggunakan perangkat lunak pemodelan hidrolis. Alifianto dkk. [1] mengevaluasi dan mensimulasikan pengembangan jaringan distribusi air bersih PDAM menggunakan WaterCAD untuk menilai tekanan, kecepatan aliran, dan kinerja jaringan eksisting. Ramadhanty dkk. [2] melakukan perencanaan ulang jaringan distribusi air bersih pada kawasan perkotaan untuk meningkatkan pelayanan distribusi air. Rivai dkk. [3] menganalisis kinerja jaringan distribusi pada daerah terpencil dengan mengidentifikasi titik-titik bertekanan rendah dan kehilangan energi. Patil dkk. [4] merancang sistem distribusi air bersih jangka panjang pada kawasan pedesaan, sedangkan Kadhim dkk. [5] menekankan pentingnya kalibrasi model hidrolis dalam meningkatkan akurasi simulasi jaringan. Penelitian Montes [6] berfokus pada proyeksi kebutuhan air industri pertambangan skala makro, sementara Warsa [7] mengevaluasi kebutuhan air pada fasilitas industri non-domestik.

Sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada sistem penyediaan air minum perkotaan, kawasan permukiman, atau estimasi kebutuhan air industri secara umum. Belum banyak penelitian yang mengintegrasikan evaluasi kondisi eksisting, proyeksi jumlah pengguna, perhitungan kebutuhan air domestik dan non-domestik, optimasi dimensi jaringan distribusi, simulasi hidrolis menggunakan WaterCAD V8i, serta analisis biaya pembangunan pada kawasan hunian karyawan pertambangan.

Perusahaan pertambangan global saat ini juga mulai menerapkan prinsip Environmental, Social, and Governance (ESG), termasuk komitmen efisiensi penggunaan energi dan sumber daya menuju target net zero emission tahun 2050. Sistem distribusi air bersih yang tidak optimal dapat menyebabkan kehilangan tekanan, kebocoran, dan pemborosan energi pompa sehingga berpotensi meningkatkan konsumsi energi operasional perusahaan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya celah penelitian yang perlu dikaji untuk menghasilkan sistem distribusi air bersih yang mampu memenuhi kebutuhan pelayanan pada kawasan

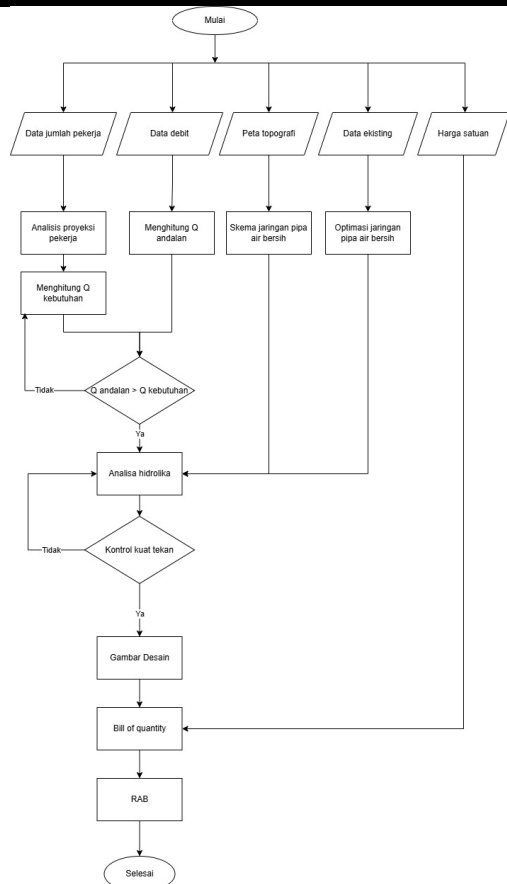
pertambangan yang memiliki karakteristik konsumsi air berbeda dari kawasan permukiman umum.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengoptimasi jaringan distribusi air bersih pada kawasan hunian karyawan Tambang Emas Banyuwangi melalui: (1) analisis kondisi eksisting jaringan; (2) proyeksi kebutuhan air hingga tahun 2035; (3) perancangan jaringan distribusi yang optimal; (4) simulasi kinerja hidrolis menggunakan WaterCAD V8i; dan (5) penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan sistem distribusi air bersih pada kawasan pertambangan maupun kawasan industri lain yang memiliki karakteristik kebutuhan air serupa.

## 2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis yang bertujuan untuk mengevaluasi kondisi eksisting serta mengoptimalkan jaringan distribusi air bersih pada kawasan hunian karyawan PT Bumi Suksesindo yang berlokasi di Desa Sumberagung, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi sistem penyediaan air bersih yang telah ada, meliputi sumber air, jaringan perpipaan, kapasitas pompa, serta karakteristik kebutuhan air bersih pada kawasan hunian. Selanjutnya, pendekatan analitis diterapkan untuk menganalisis kinerja jaringan distribusi berdasarkan parameter hidraulika sehingga dapat diidentifikasi berbagai permasalahan yang memengaruhi efektivitas penyaluran air bersih. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam penyusunan alternatif optimalisasi jaringan distribusi agar mampu memenuhi kebutuhan air bersih sesuai dengan kondisi eksisting maupun proyeksi kebutuhan di masa mendatang.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder tahun 2025 yang diperoleh dari PT Bumi Suksesindo. Data tersebut meliputi data jumlah karyawan setiap bulan sebagai dasar perhitungan kebutuhan air bersih, data debit sumber air (dam), layout jaringan perpipaan eksisting, titik koordinat dan elevasi setiap simpul jaringan, spesifikasi teknis pipa dan pompa yang digunakan, serta data harga satuan pekerjaan Kabupaten Banyuwangi Tahun 2025 sebagai dasar dalam penyusunan estimasi biaya optimalisasi jaringan. Seluruh data yang diperoleh kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode perhitungan kebutuhan air bersih serta simulasi hidraulika jaringan distribusi untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi (headloss). Tahapan penelitian secara keseluruhan disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Kondisi eksisting jaringan didigitasi dari citra Google Earth Pro ke dalam AutoCAD berdasarkan koordinat Universal Transverse Mercator (UTM), menghasilkan 87 titik junction, satu titik sumber air, dan satu titik reservoir (dam) yang disimpan dalam format Drawing Exchange Format (DXF) untuk diimpor ke WaterCAD V8i melalui fasilitas ModelBuilder.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen perusahaan, laporan teknis, gambar perencanaan, serta literatur terkait sistem penyediaan air bersih. Data yang dikumpulkan meliputi data kondisi eksisting kawasan hunian karyawan, data jumlah karyawan bulanan tahun 2025, data debit sumber air dam, layout jaringan perpipaan eksisting beserta titik koordinat dan elevasi, spesifikasi pipa dan pompa, serta harga satuan pekerjaan Kabupaten Banyuwangi tahun 2025. Seluruh data tersebut digunakan secara berurutan sebagai dasar analisis kondisi eksisting, proyeksi kebutuhan air, perencanaan dimensi jaringan, simulasi hidrolis, hingga penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

Proyeksi jumlah karyawan untuk periode rencana 10 tahun (2026–2035) dihitung menggunakan metode Double Moving Average (DMA) dan Double Exponential Smoothing (DES). Akurasi kedua metode dibandingkan menggunakan

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pada Persamaan (1), dan metode dengan nilai MAPE terkecil dipilih sebagai dasar proyeksi.

$$\text{MAPE} = (1/n) \sum |(X_t - F_t)/X_t| \times 100\% \quad (1)$$

Debit andalan sumber air dihitung dari data debit bulanan menggunakan metode Weibull, dengan peluang keterlampaian (P) tiap data dihitung melalui Persamaan (2), kemudian debit pada peluang 90% (Q90) ditentukan melalui interpolasi linear.

$$P = m / (n + 1) \times 100\% \quad (2)$$

Kebutuhan air bersih dihitung berdasarkan hasil proyeksi jumlah karyawan mengacu pada standar Direktorat Jenderal Cipta Karya [8], mencakup kebutuhan domestik (sambungan rumah dan hidran umum), kebutuhan non-domestik, kehilangan air, kebutuhan hari maksimum, dan kebutuhan jam puncak. Tingkat pelayanan sebesar 90% ditetapkan berdasarkan SNI 6738:2015 tentang perhitungan debit andalan sungai [10].

Kriteria kebutuhan air bersih mengacu pada Pedoman Direktorat Jenderal Cipta Karya [8] berdasarkan kategori kota sesuai jumlah penduduk terlayani. Kawasan hunian karyawan dikategorikan setara kota kecil (20.000–100.000 jiwa) dengan standar konsumsi sambungan rumah (SR) sebesar 120 L/orang/hari, konsumsi hidran umum (HU) sebesar 30 L/orang/hari, serta perbandingan SR : HU sebesar 70:30. Kebutuhan air non-domestik ditetapkan sebesar 20% dari kebutuhan domestik dengan mempertimbangkan aktivitas penunjang operasional kawasan tambang yang lebih kompleks dibandingkan kawasan permukiman umum. Faktor kehilangan air ditetapkan maksimum 20% terhadap debit produksi, faktor hari maksimum sebesar 1,1, dan faktor jam puncak sebesar 1,5, sesuai kriteria perencanaan sistem penyediaan air minum yang berlaku.

Model jaringan dibangun pada WaterCAD V8i berdasarkan layout, elevasi, panjang dan diameter pipa, material Hazen-Williams (HDPE, C=140), serta debit kebutuhan pada tiap titik pelayanan. Hasil simulasi berupa tekanan, kecepatan aliran, headloss, dan debit dibandingkan dengan kriteria SNI 7509:2011 [11] dan Peraturan Menteri PUPR No. 27/PRT/M/2016 [9]. Apabila tekanan tidak memenuhi standar, dilakukan optimasi melalui penyesuaian diameter pipa, penambahan pompa, dan/atau bak pelepas tekan (BPT), kemudian model disimulasikan ulang hingga seluruh parameter memenuhi kriteria desain.

Penentuan kebutuhan pompa dan bak pelepas tekan (BPT) dilakukan berdasarkan nilai sisa tekan (residual pressure) pada tiap titik junction. Apabila sisa tekan bernilai kurang dari 10 m maka ditambahkan pompa untuk menaikkan tekanan, sedangkan apabila sisa tekan lebih dari 100 m maka ditambahkan BPT untuk menurunkan tekanan

berlebih akibat perbedaan elevasi topografi yang ekstrem, sehingga tekanan pelayanan pada seluruh titik tetap berada pada rentang aman sesuai kriteria desain.

Tahap akhir adalah penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) berdasarkan volume pekerjaan hasil desain akhir (Bill of Quantity) dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) bidang pekerjaan umum Kabupaten Banyuwangi tahun 2025.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kondisi Eksisting Jaringan Distribusi

Sistem penyediaan air bersih eksisting memanfaatkan sumber air dari dam yang dipompa menuju reservoir penampungan, kemudian didistribusikan melalui jaringan perpipaan menuju seluruh area pelayanan.

Kondisi umum lokasi penelitian pada kawasan hunian karyawan dapat diuraikan sebagai berikut. Area penelitian berfungsi sebagai kawasan hunian karyawan pertambangan dengan luas area hunian sebesar 1,1 ha diukur dari sumber air. Kawasan ini melayani sekitar 18.500 orang penghuni yang terbagi pada 80 unit blok mess, dilengkapi fasilitas pendukung berupa kantin, klinik, masjid, dan sport center, dengan pola aktivitas penghuni yang berlangsung dalam 2 shift kerja.

Hasil digitasi kondisi eksisting menghasilkan 87 titik koordinat junction dengan elevasi bervariasi antara  $\pm 7$  m hingga  $\pm 240$  m akibat topografi kawasan yang berbukit, sehingga menyebabkan distribusi tekanan pada jaringan menjadi tidak seragam. Evaluasi awal menunjukkan bahwa pada kondisi beban puncak, beberapa ruas pipa mengalami tekanan yang belum memenuhi tekanan minimum layanan, sehingga diperlukan perencanaan ulang dimensi jaringan.

#### 3.2 Proyeksi Jumlah Karyawan dan Kebutuhan Air Bersih

Proyeksi dilakukan terhadap data jumlah karyawan onsite tahun 2025 menggunakan metode DMA dan DES. Hasil perhitungan menunjukkan metode DES menghasilkan MAPE sebesar 0,783%, lebih kecil dibandingkan metode DMA sebesar 1,319%, sehingga metode DES dipilih sebagai dasar proyeksi 10 tahun. Hasil proyeksi menunjukkan jumlah karyawan meningkat secara bertahap dari 17.975 jiwa pada tahun 2026 menjadi 18.188 jiwa pada tahun 2035. Rekapitulasi hasil perhitungan kebutuhan air dan debit andalan disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 1. Rekapitulasi Proyeksi Karyawan dan Kebutuhan Air Bersih Tahun 2035**

| Parameter                | Nilai       |
|--------------------------|-------------|
| MAPE metode DMA          | 1,319 %     |
| MAPE metode DES          | 0,783 %     |
| Proyeksi karyawan (2035) | 18.188 jiwa |

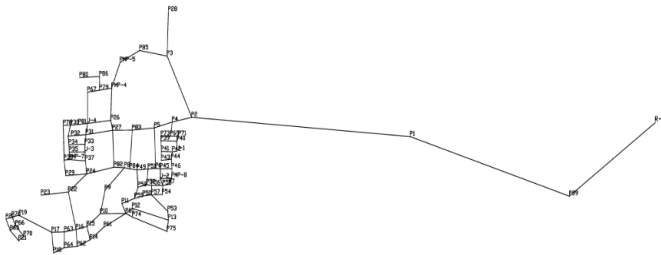
| Parameter                        | Nilai       |
|----------------------------------|-------------|
| Penduduk terlayani (90%)         | 16.370 jiwa |
| Kebutuhan air domestik (Qd)      | 15,972 L/dt |
| Kebutuhan air non-domestik (Qnd) | 3,194 L/dt  |
| Kebutuhan air rata-rata (Qrt)    | 19,167 L/dt |
| Debit rencana pipa transmisi     | 25,300 L/dt |
| Debit andalan sumber air (Q90)   | 58,98 L/dt  |

Debit andalan sumber air sebesar 58,98 L/dt lebih besar dibandingkan debit kebutuhan rata-rata sebesar 19,167 L/dt, sehingga kapasitas sumber air dam masih mampu memenuhi kebutuhan air bersih hingga akhir periode perencanaan tahun 2035.

Secara rinci, nilai-nilai pada Tabel 2 diperoleh melalui tahapan perhitungan sebagai berikut. Proyeksi jumlah karyawan tahun 2035 sebesar 18.188 jiwa dikategorikan setara kota kecil (20.000–100.000 jiwa) berdasarkan kriteria Direktorat Jenderal Cipta Karya, sehingga jumlah penduduk terlayani dihitung sebesar 90% dari total karyawan atau 16.370 jiwa, mengacu pada tingkat pelayanan SNI 6738:2015 tentang perhitungan debit andalan sungai [10]. Kebutuhan air domestik dihitung dari penduduk terlayani dikalikan standar konsumsi air bersih sebesar 120 L/orang/hari, dengan proporsi sambungan rumah (SR) sebesar 70% dan hidran umum (HU) sebesar 30% pada standar konsumsi 30 L/orang/hari, sehingga diperoleh kebutuhan SR sebesar 1.375.080 L/hari dan kebutuhan HU sebesar 4.911 L/hari. Total kebutuhan domestik (SR+HU) sebesar 1.379.991 L/hari tersebut setara dengan 15,972 L/dt (0,01597 m<sup>3</sup>/dt). Kebutuhan air non-domestik ditetapkan sebesar 20% dari kebutuhan domestik untuk mengakomodasi aktivitas operasional pendukung seperti kantor, kantin, laundry, dan workshop, sehingga diperoleh nilai sebesar 3,194 L/dt. Penjumlahan kebutuhan domestik dan non-domestik menghasilkan kebutuhan air rata-rata (Qrt) sebesar 19,167 L/dt (0,019167 m<sup>3</sup>/dt), yang selanjutnya menjadi dasar penentuan debit rencana pipa transmisi sebesar 25,300 L/dt dengan mempertimbangkan faktor hari maksimum dan faktor jam puncak. Adapun nilai debit andalan sumber air (Q90) sebesar 58,98 L/dt diperoleh melalui analisis probabilitas Weibull terhadap data debit bulanan dam tahun 2025 pada peluang keterlampaian 90%.

#### 3.3 Perencanaan Dimensi Jaringan dan Simulasi Hidrolis WaterCAD V8i

Berdasarkan debit rencana, diameter pipa yang memenuhi kriteria hidrolis berada pada rentang 185–266 mm. Untuk kemudahan pengadaan material dan menjamin kapasitas pengaliran, digunakan diameter pipa HDPE standar sebesar 500 mm pada jaringan transmisi dan 400 mm pada jaringan distribusi dengan koefisien kekasaran Hazen-Williams (C) sebesar 140. Layout jaringan hasil optimasi pada WaterCAD V8i disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Layout Jaringan Pipa Hasil Optimasi pada WaterCAD V8i**

Total panjang jaringan hasil perencanaan adalah 5.237,77 m, terdiri atas pipa transmisi sepanjang 1.656,99 m dan pipa distribusi sepanjang 3.580,78 m. Untuk mengatasi perbedaan elevasi topografi, jaringan dilengkapi 4 unit pompa serta 2 unit bak pelepas tekan (BPT) yang ditempatkan pada elevasi 147,85 m dan 62,00 m guna menurunkan tekanan berlebih akibat topografi berbukit. Hasil simulasi pada keempat pompa disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 2. Hasil Simulasi pada Pompa**

| Pompa | Debit (L/dt) | Head (m) |
|-------|--------------|----------|
| PMP-4 | 32           | 12,51    |
| PMP-5 | 25           | 35,29    |
| PMP-7 | 33           | 7,16     |
| PMP-8 | 33           | 7,56     |

Hasil simulasi hidrolis menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada seluruh ruas pipa (berkisar 1,07–1,25 m/dt) serta tekanan pada seluruh titik junction telah memenuhi kriteria perencanaan jaringan distribusi air bersih sesuai Permen PUPR No. 27/PRT/M/2016 [9], sehingga jaringan mampu mengalirkan debit kebutuhan secara kontinu dan merata ke seluruh titik pelayanan.

### 3.4 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan RAB dilakukan berdasarkan volume pekerjaan hasil desain akhir dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kabupaten Banyuwangi tahun 2025, yang dikelompokkan ke dalam 6 divisi pekerjaan utama sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 3. Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)**

| Divisi Pekerjaan        | Jumlah Biaya (Rp) |
|-------------------------|-------------------|
| Pekerjaan Persiapan     | 303.566.725       |
| Pekerjaan Sipil         | 451.601.330       |
| Pekerjaan Mekanikal     | 1.307.575.385     |
| Pekerjaan Perpipaan     | 2.761.921.869     |
| Elektrikal & Instrumen  | 168.019.500       |
| Testing & Commissioning | 58.740.000        |
| Total RAB               | 5.051.424.808     |

Total biaya pembangunan sistem distribusi air bersih hasil optimasi adalah sebesar Rp5.051.424.808, dengan proporsi biaya terbesar pada pekerjaan perpipaan (54,7%) dan pekerjaan mekanikal (25,9%) yang mencakup pengadaan pipa HDPE, instalasi pompa, dan tangki air.

### 3.5 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah karyawan berpengaruh terhadap kenaikan kebutuhan air bersih dan beban pelayanan jaringan distribusi. Kondisi tersebut menyebabkan sistem eksisting tidak lagi mampu mempertahankan tekanan pelayanan sesuai standar pada beberapa titik. Melalui simulasi WaterCAD V8i, kondisi tersebut dapat diidentifikasi secara kuantitatif sehingga alternatif optimasi dapat disusun berdasarkan parameter hidrolis yang terukur.

Optimasi jaringan melalui penyesuaian diameter pipa serta penambahan pompa dan bak pelepas tekan terbukti mampu meningkatkan tekanan pelayanan dan menghasilkan distribusi debit yang lebih merata dibandingkan kondisi eksisting. Temuan ini sejalan dengan Kadhim dkk. [5] yang menekankan pentingnya kalibrasi parameter hidrolis dalam meningkatkan akurasi model simulasi jaringan distribusi. Temuan ini juga menunjukkan bahwa integrasi antara proyeksi kebutuhan air, simulasi hidrolis berbasis WaterCAD, dan analisis biaya merupakan pendekatan yang efektif untuk mendukung perencanaan jaringan distribusi air bersih pada kawasan pertambangan yang memiliki karakteristik kebutuhan air berbeda dengan kawasan permukiman umum, sebagaimana juga ditunjukkan oleh Montes [6] pada kajian proyeksi kebutuhan air industri pertambangan skala makro.

Dari aspek pemenuhan kebutuhan air untuk proyeksi karyawan, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah karyawan dari 17.975 jiwa pada tahun 2026 menjadi 18.188 jiwa pada tahun 2035 turut meningkatkan kebutuhan air rata-rata menjadi 19,167 L/dt (0,019167 m<sup>3</sup>/dt), yang terdiri atas kebutuhan domestik sebesar 15,972 L/dt dan non-domestik sebesar 3,194 L/dt. Nilai kebutuhan tersebut masih jauh berada di bawah debit andalan sumber air sebesar 58,98 L/dt, sehingga kapasitas sumber air dam masih memiliki margin yang memadai untuk memenuhi kebutuhan air hingga

akhir periode perencanaan tahun 2035 tanpa memerlukan penambahan sumber air baru. Kondisi ini menunjukkan bahwa optimasi jaringan distribusi yang dilakukan melalui penyesuaian diameter pipa, penambahan pompa, dan bak pelepas tekan sudah cukup untuk mengakomodasi pertumbuhan kebutuhan air akibat proyeksi penambahan karyawan, sehingga pemenuhan kebutuhan air pada kawasan hunian karyawan lebih ditentukan oleh kapasitas dan konfigurasi jaringan distribusi (dimensi pipa, tekanan, dan sistem pemompaan) dibandingkan oleh keterbatasan debit sumber air itu sendiri.

Penelitian ini menggunakan data kebutuhan air dan jumlah karyawan tahun 2025 sebagai dasar perencanaan, sehingga penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data operasional dengan periode pengamatan yang lebih panjang serta mempertimbangkan pola pertumbuhan hunian karyawan dan variasi kondisi operasional jaringan, agar hasil proyeksi kebutuhan air dan simulasi hidraulik dapat menggambarkan kondisi sistem secara lebih akurat.

#### 4. KESIMPULAN

1. Total panjang jaringan distribusi hasil optimasi adalah 5.237,77 m, terdiri atas pipa transmisi 1.656,99 m dan pipa distribusi 3.580,78 m.
2. Metode Double Exponential Smoothing (DES) memberikan akurasi proyeksi karyawan lebih baik (MAPE 0,783%) dibandingkan Double Moving Average (MAPE 1,319%), dengan proyeksi jumlah karyawan meningkat dari 17.975 jiwa (2026) menjadi 18.188 jiwa (2035).
3. Total kebutuhan air rata-rata pada tahun rencana 2035 adalah 19,167 L/dt ( $0,019167 \text{ m}^3/\text{dt}$ ), terdiri atas kebutuhan domestik 15,972 L/dt dan non-domestik 3,194 L/dt, dengan debit andalan sumber air 58,98 L/dt yang masih mencukupi.
4. Diameter pipa standar yang digunakan adalah 500 mm (transmisi) dan 400 mm (distribusi) dengan koefisien Hazen-Williams  $C=140$ ; hasil simulasi WaterCAD V8i menunjukkan seluruh parameter tekanan dan kecepatan aliran telah memenuhi kriteria desain.
5. Total biaya pembangunan sistem distribusi air bersih berdasarkan RAB adalah sebesar Rp5.051.424.808, mencakup pekerjaan persiapan, sipil, mekanikal, perpipaan, elektrik dan instrumentasi, serta testing dan commissioning.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Alifianto, R. Haribowo, and M. Sholichin, "Evaluasi dan pengembangan sistem distribusi air bersih menggunakan WaterCAD V8i (Studi kasus: PDAM Sidoarjo Unit Kedunguling)," *Jurnal Teknik Pengairan*, vol. 16, no. 1, pp. 45–56, 2025.
- [2] A. Ramadhanty, R. Haribowo, and B. Nugroho, "Perencanaan ulang jaringan distribusi air bersih menggunakan WaterCAD di Kecamatan Sukun Kota Malang," *Jurnal Teknik Pengairan*, vol. 12, no. 2, pp. 89–99, 2021.
- [3] M. Rivai, Hasanuddin, and D. Prasetyo, "Analisis kinerja jaringan distribusi air bersih menggunakan EPANET 2.0," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 29, no. 1, pp. 55–65, 2023.
- [4] R. Patil, S. Kulkarni, and V. Deshpande, "Long-term water supply planning using WaterCAD for rural regions," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 45–58, 2025.
- [5] H. A. Kadhim, S. A. Al-Hamdani, and A. S. Mahdi, "Effect of Hazen-Williams roughness coefficient on hydraulic model calibration," *Water Practice & Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 789–798, 2021.
- [6] C. Montes, "Water consumption projections in the Chilean copper mining industry," *Resources Policy*, vol. 62, pp. 1–10, 2019.
- [7] A. Warsa, "Evaluasi kebutuhan air bersih pada fasilitas kilang minyak," *Jurnal Teknik Industri*, vol. 15, no. 1, pp. 41–52, 2024.
- [8] Direktorat Jenderal Cipta Karya, *Pedoman Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta, Indonesia, 2016.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 6738:2015 Tata Cara Perhitungan Debit Andalan Sungai*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2015.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 7509:2011 Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2011.