

Evaluasi Hidrolis Jaringan Distribusi Air Minum IPA II Bukit Biru Cabang Tenggara Perumda Tirta Mahakam Kabupaten Kutai Kartanegara

Ilma Azizah*, Mila Dirgawati

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

*Koresponden email: ilma.azizah@mhs.itenas.ac.id

Diterima: 24 Juli 2026

Disetujui: 29 Juli 2026

Abstract

The drinking water distribution network constitutes an essential component of the Drinking Water Supply System (SPAM) that ensures the provision of water services in terms of quantity, quality, and continuity. This research evaluates the performance of the existing drinking water distribution network serving the IPA II Bukit Biru service area, Tenggara Branch, Perumda Tirta Mahakam. The assessment focused on water quantity, service continuity, and hydraulic performance through hydraulic modeling using EPANET 2.2. The findings indicate that the available water supply is capable of serving 13,194 household connections (SR) with an average demand of 25.56 m³ per household per month. Continuous water distribution has been maintained for 24 hours each day, meeting the applicable service standard. Analysis of hourly water consumption identified the peak demand at 08:00 WITA with a peak factor of 1.32. Hydraulic simulation further revealed that 22,95% pipelines exhibited flow velocities below 0.3 m/s, 35,25% pipelines experienced headloss values exceeding 10 m/km, and 10% junctions recorded residual pressures greater than 80 m. These findings indicate that several sections of the distribution network require hydraulic improvement, particularly through pipe diameter optimization and valve regulation to enhance overall system performance

Keywords: *drinking water distribution system, epanet, hydraulic evaluation, headloss, flow velocity*

Abstrak

Sistem distribusi air minum merupakan bagian penting dari Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) yang berfungsi menjamin tersedianya pelayanan air minum dari aspek kuantitas, kualitas, dan kontinuitas. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja jaringan distribusi air minum pada wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru, Cabang Tenggara, Perumda Tirta Mahakam. Evaluasi dilakukan terhadap aspek kuantitas, kontinuitas pelayanan, serta kondisi hidrolis jaringan eksisting melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak EPANET 2.2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan mampu memenuhi kebutuhan air bagi 13.194 Sambungan Rumah (SR) dengan rata-rata konsumsi sebesar 25,56 m³/KK/bulan. Dari aspek kontinuitas, distribusi air telah berlangsung selama 24 jam setiap hari sehingga memenuhi standar pelayanan yang berlaku. Analisis pola pemakaian air memperlihatkan bahwa penggunaan tertinggi terjadi pada pukul 08.00 WITA dengan faktor puncak sebesar 1,32. Simulasi hidrolis menunjukkan masih terdapat 22,95% pipa yang memiliki kecepatan aliran kurang dari 0,3 m/detik, 35,25% pipa dengan nilai kehilangan tekanan melebihi 10 m/km, serta 10% node yang memiliki Tekanan lebih dari 80 m. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa jaringan distribusi masih memerlukan perbaikan teknis melalui penyesuaian diameter pipa dan pengaturan valve pada lokasi yang mengalami permasalahan hidrolis agar kinerja sistem dapat ditingkatkan.

Kata Kunci: *sistem distribusi air minum, epanet, evaluasi hidrolis, kehilangan tekanan, kecepatan aliran*

1. Pendahuluan

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan infrastruktur yang berperan dalam menyediakan pelayanan air minum yang memenuhi kebutuhan masyarakat secara berkelanjutan. Salah satu komponen utama dalam penyelenggaraan SPAM adalah sistem distribusi, yang berfungsi mengalirkan air hasil pengolahan menuju pelanggan dengan tetap mempertahankan aspek kualitas, kuantitas, dan kontinuitas pelayanan sesuai dengan standar yang berlaku [5].

Pertumbuhan jumlah penduduk berpengaruh langsung terhadap peningkatan kebutuhan air minum. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, laju pertumbuhan penduduk Indonesia pada tahun 2023 mencapai 1,13% [1]. Peningkatan jumlah penduduk tersebut mendorong kenaikan kebutuhan air sehingga sistem

distribusi dituntut mampu mempertahankan pelayanan yang optimal. Apabila kapasitas dan kinerja jaringan tidak berkembang seiring meningkatnya kebutuhan, maka kualitas pelayanan air minum berpotensi mengalami penurunan, baik dari aspek kuantitas maupun kontinuitas.

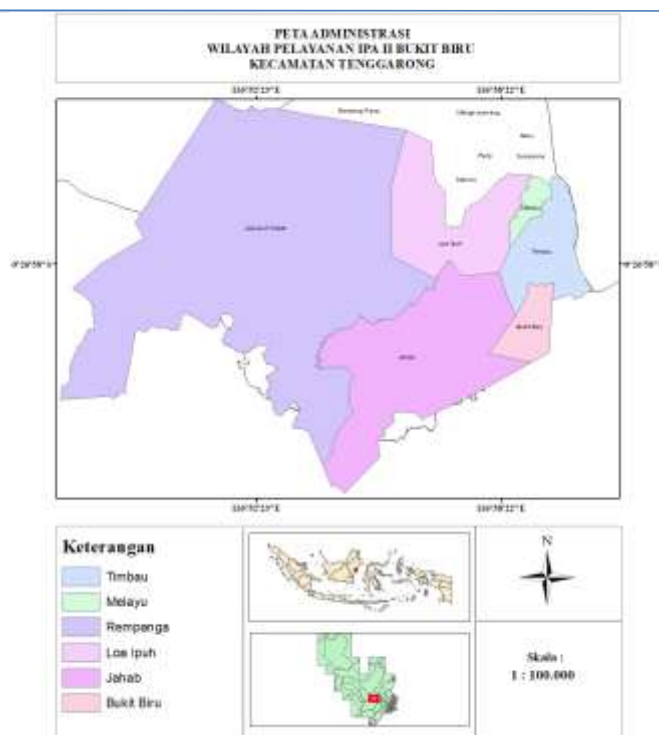
Pemenuhan kebutuhan air minum di Kabupaten Kutai Kartanegara dilaksanakan oleh Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Tirta Mahakam yang melayani masyarakat di Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Salah satu unit pelayanan Perumda Tirta Mahakam adalah Cabang Tenggarong yang melayani wilayah Kecamatan Tenggarong dengan tingkat pelayanan sebesar 96%. Cabang Tenggarong juga merupakan cabang dengan jumlah Sambungan Rumah (SR) terbanyak, yaitu sebanyak 28.882 SR. Pelayanan air minum di Cabang Tenggarong didukung oleh tiga Instalasi Pengolahan Air (IPA) dengan total kapasitas 570,2 L/s dan memanfaatkan Sungai Mahakam sebagai sumber air baku. Namun, tingkat kehilangan air di Cabang Tenggarong tergolong tinggi dibandingkan dengan cabang lainnya. Rata-rata kehilangan air pada tahun 2024 mencapai 46,39%, lebih tinggi jika dibandingkan dengan rata-rata kehilangan air nasional sebesar 33,7%. Tingginya tingkat kehilangan air dapat menyebabkan penurunan kuantitas dan kontinuitas pelayanan air minum. Salah satu penyebab kehilangan air adalah kebocoran pada jaringan perpipaan yang dapat dipengaruhi oleh kondisi hidrolis jaringan yang tidak sesuai dengan kriteria desain yang berlaku [2].

Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan pada sistem distribusi air minum eksisting, meliputi tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi (*headloss*) pada jaringan perpipaan, serta menilai kesesuaian kinerja sistem terhadap kriteria teknis yang berlaku. Hasil evaluasi digunakan untuk menentukan lokasi-lokasi yang mengalami permasalahan hidrolis sehingga dapat menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi perbaikan dan peningkatan kinerja jaringan distribusi air minum di Kecamatan Tenggarong. Selain itu, evaluasi ini juga bertujuan mengidentifikasi faktor-faktor yang berpotensi memengaruhi kualitas pelayanan air minum kepada masyarakat. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam upaya peningkatan kinerja sistem distribusi agar pelayanan air minum dapat berlangsung secara optimal, andal, dan berkelanjutan. Mengingat Kecamatan Tenggarong merupakan pusat pemerintahan, perekonomian, dan kebudayaan di Kabupaten Kutai Kartanegara, evaluasi terhadap kinerja hidrolis jaringan distribusi air minum di wilayah tersebut menjadi penting sebagai dasar untuk mendukung peningkatan kualitas pelayanan air minum kepada masyarakat.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada wilayah pelayanan Instalasi Pengolahan Air (IPA) II Bukit Biru yang berada di Kecamatan Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. IPA II Bukit Biru merupakan salah satu unit pengolahan yang dikelola oleh Perumda Tirta Mahakam Cabang Tenggarong dan berperan dalam melayani kebutuhan air minum di beberapa kelurahan, yaitu Bukit Biru, Timbau, Jahab, Melayu, Loa Ipuh, dan Rempanga dengan kapasitas produksi 180 L/detik dan melayani pelanggan sebanyak 13.194 Sambungan Rumah (SR). sistem distribusi air minum pada wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru menggunakan pola jaringan kombinasi antara pola cabang dan pola melingkar. Pola jaringan tersebut terdiri atas jaringan perpipaan yang mengalirkan air dari reservoir hingga ke wilayah pelayanan melalui pipa utama dan jaringan distribusi. Kondisi topografi dan perbedaan elevasi pada wilayah pelayanan dapat mempengaruhi kondisi hidrolis jaringan distribusi. Oleh karena itu karakteristik sistem distribusi eksisting tersebut menjadi dasar dalam melakukan evaluasi terhadap kontinuitas, kuantitas dan kinerja hidrolis jaringan distribusi air minum menggunakan simulasi Epanet 2.2. Cakupan wilayah pelayanan penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Wilayah Pelayanan IPA II Bukit Biru Kecamatan Tenggarong
Sumber: Hasil analisis, 2024

2.2. Pengumpulan Data

Penelitian memanfaatkan data primer dan data sekunder sebagai dasar analisis. Data primer diperoleh melalui kegiatan observasi lapangan dan dokumentasi terhadap kondisi eksisting jaringan distribusi air minum. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari dokumen teknis milik Perumda Tirta Mahakam serta sumber pendukung lainnya. Data yang digunakan meliputi peta jaringan perpipaan, kebutuhan air pelanggan, faktor jam puncak, jumlah sambungan rumah, dimensi dan panjang pipa, kondisi hidrolis jaringan eksisting, serta data elevasi wilayah penelitian. Seluruh data tersebut digunakan sebagai masukan dalam proses evaluasi dan pemodelan hidrolis menggunakan Epanet 2.2. Rincian kebutuhan data disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data yang Digunakan Dalam Evaluasi Sistem Distribusi

No	Data	Kegunaan Data
1	Jaringan perpipaan*	Menyajikan informasi mengenai posisi dan arah aliran pipa pada jaringan distribusi
2	Data Kebutuhan Air*	Digunakan untuk menentukan nilai kebutuhan air pada setiap node dalam pemodelan Epanet 2.2
3	Faktor Jam Puncak*	Digunakan dalam penyusunan pola pemakaian air pada Simulasi Epanet 2.2
4	Jumlah Pelanggan*	Digunakan untuk mengetahui jumlah pengguna yang memperoleh pelayanan dari sistem distribusi
5	Dimensi dan panjang pipa*	Menjadi parameter masukan dalam proses pemodelan jaringan menggunakan Epanet 2.2
6	Data hidrolis eksisting*	Digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kondisi kinerja hidrolis sistem distribusi pada kondisi aktual
7	Elevasi wilayah Penelitian**	Digunakan untuk mengetahui nilai elevasi pada node sebagai salah satu parameter dalam simulasi Epanet 2.2

Sumber: Hasil analisis, 2024

Keterangan

* = Dokumen Perumda Tirta Mahakam, 2024

** = Google Earth, 2024

2.3. Evaluasi Sistem Distribusi

2.3.1. Evaluasi Kuantitas Air minum

Evaluasi kuantitas air dilakukan untuk mengetahui kemampuan air yang diproduksi oleh PERUMDA Tirta Mahakam dalam memenuhi kebutuhan air minum pelanggan. Evaluasi kuantitas mengacu pada Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 71 Tahun 2016 tentang Perhitungan dan Penetapan Tarif Air Minum, menyatakan bahwa standar kebutuhan pokok air minum adalah kebutuhan air sebanyak 10 m³ per kepala keluarga per bulan atau 60 liter per orang per hari, atau sebesar satuan volume lainnya [6]. Berdasarkan ketentuan tersebut kebutuhan air minum pelanggan dibandingkan dengan kapasitas produksi dan kapasitas distribusi untuk mengetahui tingkat kecukupan kuantitas air minum yang tersedia.

2.3.2. Evaluasi Kontinuitas Air Minum

Evaluasi kontinuitas air minum dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem distribusi dalam menyediakan air minum secara berkelanjutan kepada pelanggan. Pengaliran dalam Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) harus mampu melayani kebutuhan pelanggan Selama 24 jam per hari. Evaluasi kontinuitas air minum mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum, menyatakan bahwa kontinuitas pengaliran air memberikan jaminan pengaliran selama 24 jam per hari [10].

Ketersediaan air yang didistribusikan selama 24 jam digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kontinuitas pelayanan air minum. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis data debit penggunaan air pada setiap jam dalam satu hari untuk mengetahui pola konsumsi air minum pada sistem distribusi wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Data yang digunakan berupa data meter induk pada sistem distribusi wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru yang diperoleh dari dokumen PERUMDA Tirta Mahakam. Pola konsumsi air minum ditentukan dengan menghitung faktor penggunaan air pada setiap jam selama 24 jam. Faktor penggunaan air dihitung menggunakan **Persamaan (1)**

$$F_p = \frac{Q_c}{\bar{Q}} \quad (1)$$

Keterangan:

F_p = Faktor penggunaan air setiap jam

Q_c = Debit Penggunaan air setiap jam (liter/detik)

$\bar{Q}$ = Rata-rata penggunaan air dalam satu hari (liter/detik)

Nilai faktor penggunaan air berdasarkan waktu di setiap jamnya dibuat dalam bentuk diagram garis, untuk mengetahui fluktuasi penggunaan air minum. Fluktuasi penggunaan air berbeda setiap daerahnya, hal ini dipengaruhi oleh perbedaan pola kebiasaan masyarakat di suatu wilayah dalam menggunakan air [6]. Pola konsumsi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan pola penggunaan air pada simulasi pada sistem distribusi.

2.3.3. Simulasi Jaringan Distribusi Eksisting

Evaluasi hidrolis dilakukan menggunakan perangkat lunak Epanet 2.2 untuk memperoleh gambaran kinerja jaringan distribusi pada kondisi eksisting. Pemodelan dilakukan dengan memasukkan data karakteristik jaringan, meliputi diameter, panjang, jenis pipa, koefisien kekasaran, elevasi node, kebutuhan air pada setiap junction, serta pola konsumsi air berdasarkan hasil analisis faktor jam puncak. [4]. Simulasi menghasilkan parameter hidrolis berupa sisa tekanan (*pressure*), kecepatan aliran (*velocity*), dan kehilangan tekanan (*headloss*). Perhitungan kehilangan tekanan menggunakan persamaan *Hazen-Williams* yang diterapkan pada proses simulasi jaringan [13].

Selanjutnya, seluruh hasil simulasi dibandingkan dengan kriteria teknis berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 27 Tahun 2016. Parameter yang dievaluasi meliputi tekanan sebesar 10–80 m, kecepatan aliran antara 0,3–3,0 m/detik, serta kehilangan tekanan maksimum 10 m/km. Hasil evaluasi digunakan untuk mengidentifikasi bagian jaringan yang belum memenuhi kriteria desain sehingga dapat menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi peningkatan kinerja sistem distribusi air minum. Persamaan *Hazen-William* merupakan rumus yang digunakan dalam simulasi hidrolis dilihat pada Persamaan 2.

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times \left(\frac{H_f}{L}\right)^{0,54} \quad (2)$$

Keterangan:

- Q = Debit air (m³/detik)
C = Koefisien Hazen-William
D = Diameter pipa (m)
H_f = Kehilangan tekanan air dalam meter kolom air (mka)
L = Panjang pipa (m)

Hasil simulasi dari Epanet 2.2 kemudian dibandingkan dengan Peraturan Menteri PUPR tahun No. 27 Tahun 2016 yaitu tekanan 10-80 meter. Pemantauan tekanan berfungsi untuk memastikan air yang mengalir ke titik terjauh wilayah pelayanan. Kecepatan aliran dalam pipa 0,3-3,0 meter/detik, pemantauan kecepatan aliran berfungsi untuk memastikan pipa tidak cepat rusak karena adanya endapan akibat dari kecepatan aliran yang di bawah syarat minimum dan pipa yang pecah akibat dari kecepatan aliran yang melebihi syarat maksimum. Kehilangan tekanan kurang dari 10 m/km, pemantauan kehilangan tekanan berfungsi untuk tidak terjadinya kehilangan energi dalam pengaliran pada jaringan distribusi [7].

Evaluasi tekanan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menyediakan tekanan yang mencukupi hingga titik pelayanan terjauh dalam wilayah pelayanan. Kecepatan aliran dianalisis untuk mengetahui kondisi aliran dalam jaringan perpipaan. Kecepatan aliran yang terlalu rendah dapat meningkatkan potensi terjadinya pengendapan, sedangkan kecepatan aliran yang terlalu tinggi dapat meningkatkan potensi kerusakan pada jaringan perpipaan [12]. Sedangkan, kehilangan energi dianalisis untuk mengetahui besarnya energi yang hilang selama proses pengaliran air melalui jaringan perpipaan. Hasil evaluasi terhadap parameter tersebut digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan hidrolis pada sistem distribusi air minum kondisi eksisting.

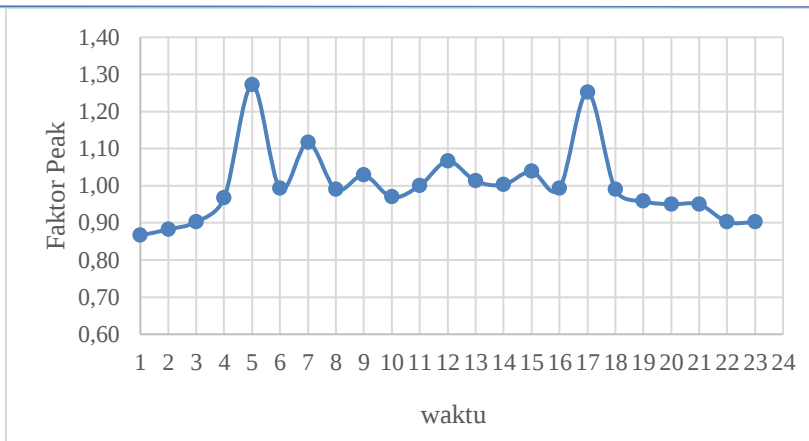
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Evaluasi Kontinuitas Air Minum

Evaluasi kontinuitas dilakukan untuk menilai kemampuan sistem distribusi dalam menyediakan air minum secara berkesinambungan kepada seluruh pelanggan di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Berdasarkan hasil pengamatan terhadap sistem operasional, distribusi air berlangsung selama 24 jam setiap hari dengan dukungan reservoir sebagai fasilitas penyimpanan sebelum air dialirkan ke jaringan distribusi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kontinuitas pelayanan telah memenuhi ketentuan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 mengenai penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum

Fluktuasi penggunaan air minum menunjukkan pola pemakaian air pada setiap jam berdasarkan data meter induk pada wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Analisis fluktuasi penggunaan air dilakukan untuk mengetahui pola pemakaian air pelanggan dan menentukan jam puncak penggunaan air minum. Hasil analisis tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan *demand pattern* pada simulasi jaringan distribusi menggunakan Epanet 2.2.

Berdasarkan hasil analisis selama periode 24 jam, penggunaan air minum tertinggi di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru terjadi pada pukul 08.00 WITA. Faktor debit maksimum yang diperoleh adalah sebesar 1,32. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penggunaan air pada jam puncak mencapai 1,32 kali rata-rata penggunaan air dalam satu hari. Fluktuasi penggunaan air minum pada wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Fluktuasi pemakaian air minum di IPA II Bukit Biru
Sumber: Perumda Tirta Mahakam, 2024

Berdasarkan **Gambar 2**, faktor penggunaan air tertinggi terjadi pada pukul 08.00 WITA dengan nilai 1,32. Kondisi ini dipengaruhi oleh meningkatnya aktivitas domestik masyarakat pada pagi hari, seperti mandi, memasak, mencuci, dan persiapan sebelum berangkat bekerja atau sekolah, sehingga kebutuhan air mencapai puncaknya [1]. Setelah pukul 08.00 WITA, faktor penggunaan air cenderung menurun karena sebagian besar masyarakat telah beraktivitas di luar rumah. Menjelang sore hingga malam hari, konsumsi air kembali meningkat akibat aktivitas rumah tangga setelah masyarakat kembali ke rumah, namun nilainya tidak melebihi jam puncak pagi. Sebaliknya, penggunaan air terendah terjadi pada dini hari karena sebagian besar masyarakat sedang beristirahat sehingga kebutuhan air relatif rendah. Pola tersebut menunjukkan karakteristik konsumsi air yang didominasi oleh pelanggan domestik [3].

3.2. Evaluasi Kuantitas Air Minum

Evaluasi kuantitas air minum dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem distribusi dalam memenuhi kebutuhan air minum pelanggan di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru memiliki jumlah pelanggan sebanyak 13.194 Sambungan Rumah (SR). berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan air minum pelanggan mencapai 25,56 m³ per kepala keluarga per bulan. Nilai ini lebih besar dibandingkan standar kebutuhan pokok air minum sebesar 10 m³ per kepala keluarga per bulan sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 71 Tahun 2016.

Dalam evaluasi kuantitas, tingkat kehilangan air pada Cabang Tenggarong adalah sebesar 46,76%. Tingginya tingkat kehilangan air menunjukkan bahwa sebagian air yang diproduksi tidak dapat dimanfaatkan oleh pelanggan, sehingga dapat menurunkan efisiensi sistem distribusi dan berpotensi memengaruhi ketersediaan air yang dapat didistribusikan. Selain itu, faktor debit maksimum sebesar 1,32 menunjukkan adanya fluktuasi kebutuhan air selama periode pelayanan, dengan debit pada kondisi puncak mencapai 1,32 kali rata-rata penggunaan air. Meskipun tingkat kehilangan air cukup tinggi, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kuantitas air yang tersedia masih mampu memenuhi kebutuhan pelanggan di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Dengan demikian, berdasarkan aspek kuantitas, sistem distribusi telah mampu memenuhi kebutuhan pelanggan, namun pengendalian kehilangan air tetap diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi.

3.3. Analisis Kondisi Eksisting Hidrolis Jaringan Distribusi

Penilaian kondisi hidrolis jaringan dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan tekanan (*headloss*) sesuai dengan kriteria teknis yang berlaku. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui apakah kondisi jaringan eksisting telah memenuhi persyaratan desain sebagai dasar dalam penyelenggaraan sistem distribusi air minum. Berdasarkan kriteria desain pada **Tabel 2**, parameter hidrolis jaringan distribusi yang dievaluasi meliputi kecepatan aliran sebesar 0,3–3,0 m/detik, tekanan sebesar 10–80 meter kolom air (Mka), dan kehilangan tekanan (*headloss*) maksimum sebesar 10 m/km [6]. Berdasarkan hasil evaluasi kondisi eksisting, nilai tekanan pada titik-titik yang ditinjau berada pada rentang 20–69 Mka. Dengan demikian, tekanan pada titik-titik tersebut telah memenuhi batas minimum dan maksimum berdasarkan kriteria desain yang digunakan.

Berbeda dengan parameter tekanan, kecepatan aliran pada beberapa lokasi masih berada di bawah batas minimum sebesar 0,3 m/detik. Pada titik pelayanan dengan jarak sedang hingga terjauh dari instalasi pengolahan, kecepatan aliran berkisar antara 0,04–0,19 m/detik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa

aliran di dalam pipa relatif lambat sehingga berpotensi menyebabkan pengendapan sedimen yang dapat memperbesar hambatan aliran dan menurunkan efisiensi jaringan distribusi. [11]. Endapan sedimen dapat mengurangi luas penampang efektif pipa sehingga meningkatkan hambatan aliran dan berpotensi meningkatkan kehilangan tekanan (*headloss*) pada jaringan perpipaan.

Selain itu, hasil evaluasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa titik dengan nilai *headloss* yang melebihi kriteria maksimum sebesar 10 m/km. Nilai *headloss* tertinggi terdapat pada titik terdekat, yaitu sebesar 38,53 m/km di Jalan Belida dan Simpang Jalan Pesut Belida, serta sebesar 19,61 m/km di depan SMA 2 Tenggaraong. Tingginya nilai *headloss* dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi dan diameter pipa serta besarnya gesekan antara aliran air dan dinding pipa. Pada kondisi jaringan yang memiliki kecepatan aliran rendah, potensi pengendapan sedimen juga dapat meningkatkan hambatan aliran dan berkontribusi terhadap peningkatan kehilangan tekanan.

Tabel 2. Sistem Hidrolis Pipa IPA II Bukit Biru

Jarak	Lokasi	Elevasi (mdpl)	Tekanan (Mka)	Hedloss (m/km)	Velocity (m/s)
Terdekat	Jalan Belida	4	69	38.53	0.92
	Simpang Jalan Pesut Belida	4	69	38.53	0.92
	Depan SMA 2 Tenggaraong	6	67	19.61	0.64
Sedang	Jalan Pesut	4	69	1.4	0.15
	Simpang Gn Menyapa	10	63	1.4	0.15
	Jl Gn Menyapa	11	62	1.26	0.19
Terjauh	Jl Ikip Mekar Sari	53	20	0.65	0.13
	Simpang Gn Jati	34	39	0.05	0.04
	Gn Kelambu Kuning	38	35	0.19	0.07

Sumber: Perumda Tirta Mahakam, 2024

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, sistem distribusi IPA II Bukit Biru masih memiliki permasalahan hidrolis pada beberapa titik, terutama berupa kecepatan aliran yang berada di bawah kriteria minimum dan nilai *headloss* yang melebihi kriteria maksimum. Kondisi hidrolis yang tidak sesuai dengan kriteria desain dapat memengaruhi kinerja jaringan distribusi dan berpotensi meningkatkan risiko gangguan pelayanan serta kehilangan air pada sistem distribusi [9]. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan simulasi hidrolis untuk mengevaluasi kondisi jaringan secara menyeluruh dan mengidentifikasi titik-titik permasalahan pada sistem distribusi eksisting.

3.4. Simulasi Kinerja Hidrolis Jaringan Distribusi dengan Epanet 2.2

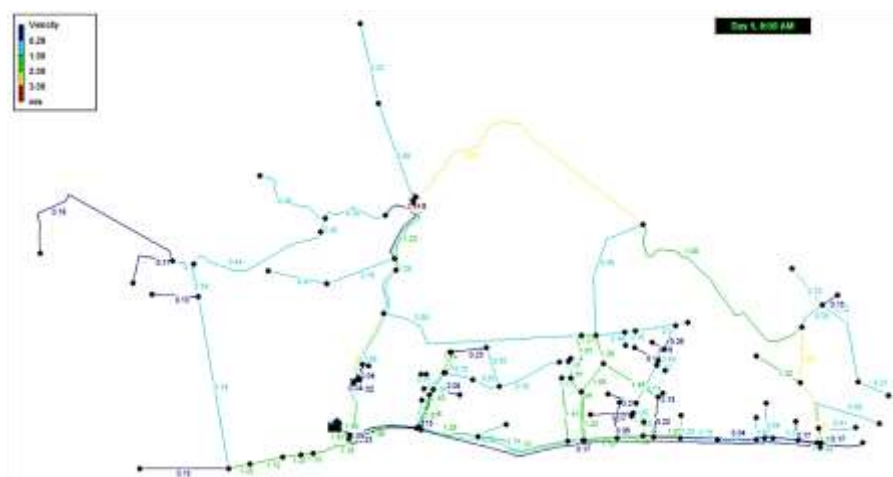
Berdasarkan kinerja hidrolis jaringan distribusi air minum di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru dilakukan menggunakan Epanet 2.2. Data yang digunakan dalam simulasi meliputi elevasi wilayah pelayanan, data pemakaian air minum pada setiap node, panjang pipa, diameter pipa, serta koefisien kekasaran pipa. Parameter hidrolis hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan kriteria teknis berdasarkan Peraturan Menteri PUPR Nomor 27 Tahun 2016. Parameter hidrolis yang dievaluasi meliputi Tekanan pada setiap node, kecepatan aliran, dan kehilangan tekanan (*headloss*) pada setiap pipa (*link*).

Model jaringan yang disimulasikan menggunakan pola konsumsi gabungan dengan dua reservoir dan empat pipa utama sebagai jaringan pendistribusian air di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Model jaringan terdiri atas 120 node dan 122 pipa yang mencakup seluruh wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru. Selanjutnya, hasil simulasi dianalisis berdasarkan parameter kecepatan aliran, kehilangan tekanan (*headloss*) dan tekanan.

Evaluasi Kcepatan Aliran

Kriteria desain yang digunakan untuk mengevaluasi kecepatan aliran adalah sebesar 0,3–3,0 m/detik. Rentang kriteria tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi jaringan distribusi air minum di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru karena jaringan eksisting menggunakan pipa PVC dan HDPE. Batas minimum kecepatan aliran digunakan untuk mengurangi potensi terjadinya pengendapan dalam pipa distribusi, sedangkan batas maksimum digunakan untuk membatasi kecepatan aliran yang terlalu tinggi dan dapat meningkatkan risiko kerusakan jaringan perpipaan.

Hasil simulasi pada kondisi jam puncak menunjukkan bahwa terdapat beberapa pipa yang memiliki kecepatan aliran di bawah kriteria minimum. Nilai kecepatan aliran yang berada di bawah 0,3 m/detik memiliki rentang 0,02–0,26 m/detik. Kecepatan aliran yang rendah dapat dipengaruhi oleh kondisi jaringan perpipaan, termasuk faktor usia pipa yang berpengaruh terhadap nilai koefisien kekasaran Hazen-Williams. Jaringan perpipaan pada Cabang Tenggaraong memiliki usia rata-rata lebih dari 20 tahun [15]. Peningkatan usia pipa dapat menyebabkan perubahan kondisi permukaan bagian dalam pipa dan meningkatkan kekasaran pipa sehingga memengaruhi karakteristik aliran [11]. Kecepatan aliran dalam pipa pada jam puncak terdapat beberapa titik yang tidak memenuhi kriteria minimum kecepatan aliran yang dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Tabel 3**.



Gambar 3. Kecepatan Aliran Wilayah Pelayanan IPA II Bukit Biru
Sumber : Hasil Analisis, 2024

Kecepatan aliran yang tidak memenuhi kriteria minimum sebesar 0,3 m/detik dapat memengaruhi kinerja sistem distribusi air minum secara keseluruhan. Aliran yang terlalu lambat menyebabkan waktu tinggal (*water age*) air di dalam pipa menjadi lebih lama, sehingga meningkatkan potensi pengendapan sedimen dan penumpukan material pada dasar pipa. Kondisi tersebut dapat memperbesar hambatan aliran, menurunkan kapasitas hidrolis jaringan, serta meningkatkan kehilangan energi (*headloss*) pada sistem distribusi. Selain itu, rendahnya kecepatan aliran juga berpotensi menurunkan kualitas air akibat berkurangnya sisa klorin dan meningkatnya kemungkinan pertumbuhan mikroorganisme di dalam jaringan. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat mengurangi keandalan pelayanan, meningkatkan kebutuhan pemeliharaan jaringan, serta memperbesar risiko terjadinya gangguan distribusi air kepada pelanggan. [16]. Berdasarkan hasil simulasi, terdapat 22,95% pipa yang memiliki kecepatan aliran di bawah kriteria minimum. Pipa-pipa yang tidak memenuhi kriteria kecepatan aliran dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Velocity yang tidak Memenuhi Standar

Pipa	Velocity m/s	Pipa	Velocity m/s
Pipe 13	0,13	Pipe 95	0,16
Pipe 16	0,13	Pipe 96	0,26
Pipe 21	0,17	Pipe 105	0,06
Pipe 22	0,18	Pipe 108	0,13
Pipe 29	0,26	Pipe 129	0,17
Pipe 55	0,15	Pipe 130	0,04
Pipe 57	0,11	Pipe 132	0,17
Pipe 58	0,08	Pipe 139	0,17
Pipe 66	0,25	Pipe 134	0,02
Pipe 89	0,21	Pipe 148	0,29
Pipe 91	0,16	Pipe 154	0,04
Pipe 93	0,13	Pipe 7	0,09

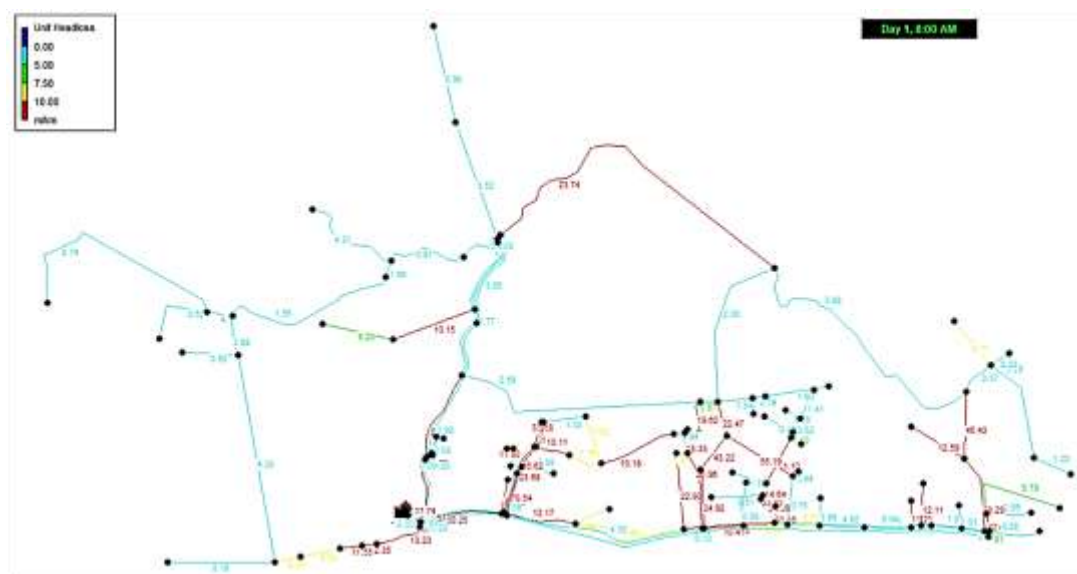
Sumber : Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan **Tabel 3**, terdapat 28 pipa dari 122 pipa (22,95%) pipa yang memiliki kecepatan aliran di bawah kriteria minimum. Kecepatan aliran yang tidak memenuhi kriteria minimum sebesar 0,3 m/detik dapat memengaruhi kinerja sistem distribusi air minum secara keseluruhan. Aliran yang terlalu lambat menyebabkan waktu tinggal (*water age*) air di dalam pipa menjadi lebih lama, sehingga meningkatkan potensi pengendapan sedimen dan penumpukan material pada dasar pipa. Kondisi tersebut dapat memperbesar hambatan aliran, menurunkan kapasitas hidrolis jaringan, serta meningkatkan kehilangan energi (*headloss*) pada sistem distribusi. Selain itu, rendahnya kecepatan aliran juga berpotensi menurunkan kualitas air akibat berkurangnya sisa klorin dan meningkatnya kemungkinan pertumbuhan mikroorganisme di dalam jaringan. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat mengurangi keandalan pelayanan, meningkatkan kebutuhan pemeliharaan jaringan, serta memperbesar risiko terjadinya gangguan distribusi air kepada pelanggan [16].

Kehilangan Tekanan

Kriteria desain yang digunakan untuk mengevaluasi kehilangan tekanan (*headloss*) adalah kurang dari 10 m/km. Kehilangan tekanan merupakan berkurangnya energi aliran akibat adanya gesekan antara air dan dinding pipa serta hambatan lain selama proses pengaliran. Nilai kehilangan tekanan yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya energi yang tersedia untuk mempertahankan tekanan pada node atau titik pelayanan. Oleh karena itu, kehilangan tekanan menjadi salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja hidrolis jaringan distribusi.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa pipa yang memiliki nilai kehilangan tekanan melebihi kriteria desain sebesar 10 m/km. Nilai kehilangan tekanan yang melebihi kriteria tersebut berada pada rentang 10,11–70,54 m/km. Tingginya nilai *headloss* dapat dipengaruhi oleh diameter pipa, panjang pipa, karakteristik kekasaran pipa, serta besarnya debit aliran. Pipa dengan diameter yang lebih kecil cenderung memiliki kehilangan tekanan yang lebih besar pada kondisi aliran yang sama. Nilai *headloss* yang tinggi dapat memengaruhi distribusi tekanan pada node karena sebagian energi aliran hilang selama proses pengaliran [8]. Nilai *headloss* yang melebihi batas maksimum dapat menyebabkan *water hammer* yaitu lonjakan tiba-tiba yang terjadi dalam pipa dan dapat merusak jaringan perpipaan [14]. Terdapat beberapa titik yang memiliki nilai Kehilangan tekanan yang tidak memenuhi kriteria desain atau melebihi 10 m/km dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Tabel 4**.



Gambar 4. Kehilangan Tekanan di Wilayah Pelayanan IPA II Bukit Biru
Sumber : Hasil Analisis, 2024

Tabel 4. Headloss yang tidak Memenuhi Standar

Pipa	Headloss m/km	Pipa	Headloss m/km
Pipe 74	10,11	Pipe 64	22,03
Pipe 30	10,15	Pipe 111	22,47
Pipe 76	10,18	Pipe 147	22,8

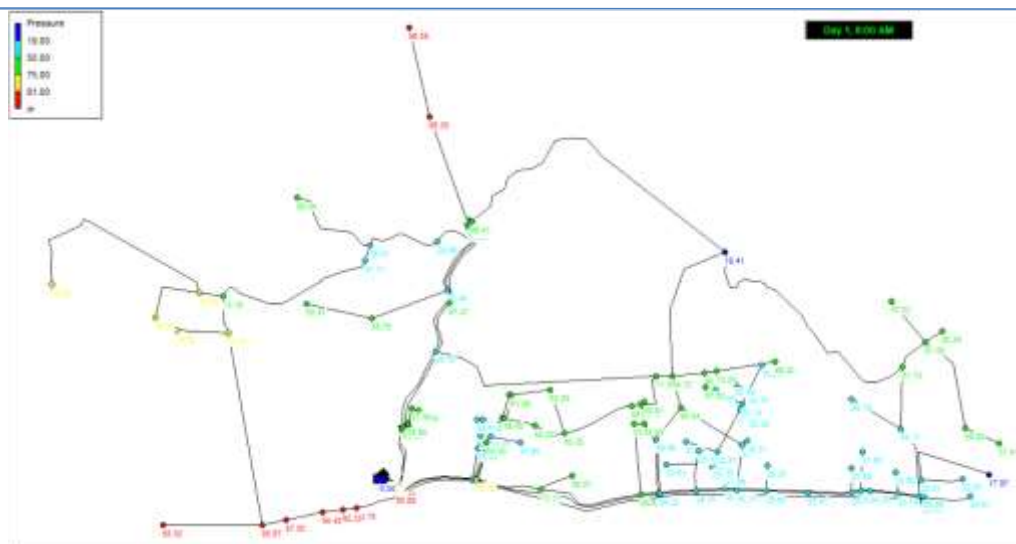
Pipa	Headloss m/km	Pipa	Headloss m/km
Pipe 104	10,41	Pipe 82	22,9
Pipe 90	11,1	Pipe 155	23,27
Pipe 121	11,21	Pipe 86	23,65
Pipe 5	11,55	Pipe 131	23,67
Pipe 53	11,9	Pipe 72	23,68
Pipe 123	12,11	Pipe 18	23,74
Pipe 78	12,17	Pipe 100	24,92
Pipe 4	12,35	Pipe 85	24,99
Pipe 73	12,35	Pipe 98	25,96
Pipe 145	12,59	Pipe 144	29,29
Pipe 3	13,23	Pipe 84	30,16
Pipe 88	14,64	Pipe 65	33,68
Pipe 38	15,5	Pipe 137	42,66
Pipe 62	16,62	Pipe 109	43,22
Pipe 2	17,58	Pipe 158	45,43
Pipe 19	17,74	Pipe 52	47,18
Pipe 47	18,33	Pipe 110	55,19
Pipe 102	19,62	Pipe 60	70,54
Pipe 71	20,25		

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan **Tabel 4**, terdapat 43 pipa dari 122 pipa (35,25%) pipa yang memiliki nilai kehilangan tekanan melebihi kriteria desain. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian energi aliran hilang akibat gesekan antara air dengan dinding pipa maupun karakteristik jaringan distribusi. Kehilangan tekanan yang tinggi dapat menyebabkan tekanan air semakin berkurang sepanjang jaringan, terutama pada ruas pipa yang berada di bagian hilir, sehingga distribusi air menjadi kurang efisien. Apabila kondisi ini terjadi secara terus-menerus, sistem akan membutuhkan energi yang lebih besar untuk mempertahankan tekanan pelayanan, sehingga meningkatkan biaya operasional dan menurunkan keandalan sistem distribusi. Oleh karena itu, ruas pipa yang memiliki nilai *headloss* tinggi perlu menjadi prioritas dalam upaya perbaikan melalui penyesuaian diameter pipa, pengaturan sistem operasi, atau rehabilitasi jaringan.

Evaluasi Tekanan

Kriteria desain yang digunakan untuk mengevaluasi Tekanan adalah sebesar 10–80 meter. Tekanan di bawah batas minimum dapat mengganggu pengaliran air kepada pelanggan karena tekanan yang tersedia tidak mencukupi. Sementara itu, Tekanan yang melebihi batas maksimum dapat meningkatkan tekanan pada jaringan perpipaan dan berpotensi meningkatkan risiko kebocoran pada jaringan distribusi [9]. Terdapat beberapa titik Tekanan yang tidak memenuhi kriteria desain dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Tabel 5**.



Gambar 5. Tekanan di Wilayah Pelayanan IPA II Bukit Biru
Sumber : Hasil Analisis, 2024

Tabel 5. Pressure Melebihi Standar

Node	Pressure m	Node	Pressure m
Junc 7	82,97	Junc T3	92,33
Junc T83	83,94	Junc T2	94,75
Junc T11	85,52	Junc R1	95,27
Junc T9	85,67	Junc T1	95,69
Junc T7	87,5	Junc T99	96,35
Junc T4	90,42	Junc T100	96,59

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan **Tabel 5** pada jam puncak, terdapat 12 node dari 120 node (10%) node yang memiliki nilai Tekanan melebihi kriteria maksimum 80 meter Hal menunjukkan bahwa nilai Tekanan pada jaringan distribusi berada pada rentang 82,97–96,59 meter. Tekanan yang terlalu tinggi pada beberapa titik menunjukkan adanya distribusi tekanan yang belum merata di dalam jaringan. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan beban pada pipa, sambungan, dan perlengkapan jaringan sehingga risiko kebocoran, kerusakan pipa, maupun pecah pipa menjadi lebih besar. Selain itu, tekanan berlebih dapat meningkatkan kehilangan air (*non-revenue water*) dan menurunkan efisiensi operasi sistem distribusi. Oleh karena itu, node yang memiliki tekanan di atas kriteria perlu menjadi prioritas dalam pengendalian tekanan, misalnya melalui pemasangan Pressure Reducing Valve (PRV) atau pengaturan operasi jaringan agar tekanan dapat terdistribusi lebih merata.

3.5. Perbandingan Hasil Simulasi EPANET 2.2 dengan kondisi eksisting

Perbandingan hasil simulasi kinerja hidrolis jaringan distribusi menggunakan Epanet 2.2 dengan kondisi eksisting dilakukan untuk mengetahui kesesuaian hasil pemodelan dengan kondisi jaringan di lapangan. Parameter yang dibandingkan meliputi tekanan, kehilangan tekanan (*headloss*), dan kecepatan aliran pada titik-titik dengan jarak terdekat, sedang, dan terjauh dari IPA II Bukit Biru. Perbandingan hasil simulasi dan kondisi eksisting dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksisting

Jarak	Pressure (Mka)		Headloss (m/km)		Velocity (m/s)	
	Hasil Simulasi	Eksisting	Hasil Simulasi	Eksisting	Hasil Simulasi	Eksisting
Terdekat	65	69	30.16	38.53	1.36	0.92
	62	69	33.68	38.53	1.44	0.92

Jarak	Pressure (Mka)		Headloss (m/km)		Velocity (m/s)	
	Hasil Simulasi	Eksisting	Hasil Simulasi	Eksisting	Hasil Simulasi	Eksisting
Sedang	63	67	16.62	19.61	0.99	0.62
	72	69	5.57	1.4	1.01	0.15
	69	63	1.64	1.4	0.44	0.15
	65	62	2	1.26	0.49	0.19
Terjauh	18	20	0.77	0.65	0.29	0.13
	40	39	0.08	0.05	0.06	0.04
	44	35	0.18	0.19	0.13	0.07

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Berdasarkan **Tabel 6**, terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan kondisi eksisting pada beberapa parameter hidrolis. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan kondisi jaringan perpipaan di lapangan, seperti perbaikan atau penggantian pipa, kebocoran pada jaringan, serta perubahan pola konsumsi air. Selain itu, model Epanet 2.2 merupakan penyederhanaan dari kondisi sistem distribusi yang sebenarnya. Oleh karena itu, beberapa kondisi kompleks yang terjadi di lapangan mungkin tidak seluruhnya dapat direpresentasikan secara akurat dalam model simulasi. Meskipun demikian, hasil simulasi dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi hidrolis jaringan secara umum dan mengidentifikasi permasalahan hidrolis pada sistem distribusi.

3.6. Rekapitulasi Permasalahan Hidrolis Jaringan Eksisting

Berdasarkan hasil evaluasi kondisi eksisting dan simulasi hidrolis menggunakan Epanet 2.2, masih terdapat beberapa parameter hidrolis yang belum memenuhi kriteria desain. Permasalahan tersebut meliputi nilai Tekanan yang melebihi batas maksimum, kecepatan aliran yang berada di bawah batas minimum, serta kehilangan tekanan (*headloss*) yang melebihi batas maksimum. Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa terdapat 12 node dengan nilai Tekanan sebesar 82,97–96,59 m, sedangkan kriteria desain yang digunakan adalah 10–80 m. Selain itu, terdapat 28 pipa dengan kecepatan aliran sebesar 0,02–0,29 m/s, lebih rendah dari kriteria minimum sebesar 0,3 m/s. Permasalahan lainnya adalah terdapat 43 pipa dengan nilai kehilangan tekanan sebesar 10,11–70,54 m/km, yang melebihi kriteria maksimum sebesar 10 m/km. Rekapitulasi permasalahan hidrolis jaringan distribusi IPA II Bukit Biru dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Rekapitulasi permasalahan Hidrolis

Hidrolis Jaringan	Jumlah Pipa/Node	Satuan	Nilai	Kriteria Desain
Pressure	12	m	82.97-96.59	10-80
Velocity	28	m/s	0.02-0.29	0.3-3
Headloss	43	m/km	10.11-70.54	0-10

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Permasalahan hidrolis tersebut menunjukkan bahwa beberapa bagian jaringan distribusi IPA II Bukit Biru belum memenuhi kriteria desain yang digunakan. Upaya peningkatan kinerja jaringan dapat dilakukan melalui evaluasi dan rekayasa teknis pada titik-titik yang mengalami permasalahan. Alternatif penanganan dapat berupa penggantian atau penyesuaian diameter pipa serta pengaturan valve pada titik-titik tertentu sesuai dengan hasil evaluasi hidrolis dan kondisi jaringan di lapangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi, kuantitas air minum di wilayah pelayanan IPA II Bukit Biru mampu memenuhi kebutuhan 13.194 SR dengan kebutuhan sebesar 25,56 m³/KK/bulan, sedangkan kontinuitas pelayanan telah memenuhi standar 24 jam/hari. Hasil simulasi Epanet 2.2 menunjukkan bahwa jaringan distribusi masih memiliki permasalahan hidrolis, yaitu 22,95% pipa dengan kecepatan aliran di bawah 0,3 m/s, 35,25% pipa dengan kehilangan tekanan melebihi 10 m/km, dan 10% node dengan tekanan di atas 80 m. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pengendapan pada pipa, kehilangan energi selama pengaliran, serta peningkatan beban tekanan pada jaringan yang berpotensi mengganggu efisiensi dan keandalan distribusi

air minum. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi dan penanganan teknis, seperti penyesuaian diameter pipa dan pengaturan valve pada titik-titik yang mengalami permasalahan hidrolis.

5. Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Kutai Kartanegara (2024). Kecamatan Tenggarong Dalam Angka 2024. Tenggarong: Badan Pusat Statistik Kabupaten Kutai Kartanegara.
- [2] Daniswara, D. T. (2018). Perencanaan Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih di Desa Sukorejo Kecamatan Gondaglegi, Kabupaten Malang. Malang: Universitas Brawijaya.
- [3] Efendi, A., Bakri, S., Abidin, Z., and Nurhasanah, N. (2024). Analisis Keberlanjutan Program Sistem Penyediaan Air Minum Berbasis Masyarakat Dengan Prespektif Masyarakat Atas Keandalan Program Sebagai Variabel Intervening. *Jurnal Hutan Tropis*, 12, (2), 262.
- [4] Elvika, Z. (2024). *Evaluasi Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih di Kecamatan Ampek Nagari Kabupaten Agam* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat).
- [5] Widiatmoko, K. W., Cahyono, D. B., Roehman, F., Rahman, A. F., Kristiawan, A., & Setiawan, A. (2026). Analisis Perencanaan Jaringan Distribusi Utama SPAM Bugel Kabupaten Sukoharjo Berdasarkan Proyeksi Penduduk dan Simulasi Hidrolika. *Jurnal Civil Engineering Study*, 6(01), 381-395.
- [6] Kementerian Dalam Negeri (2016). Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 71 Tahun 2016 tentang Perhitungan dan Penetapan Tarif Air Minum. Jakarta.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2016). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta.
- [8] Kusaeri, M. H. and Sururi, M. R. (2024). Evaluasi hidrolis distribusi air minum di Samanea Hill, Kecamatan Parung Panjang, Kabupaten Bogor. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)*, 179–195.
- [9] Mathye, R. P., Scholz, M., and Nyende-Byakika, S. (2022). Optimal pressure management in water distribution systems: efficiency indexes for volumetric cost performance, consumption and linear leakage measurements. *Water*, 14, (5), 805.
- [10] Pemerintah Pusat (2015). Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta.
- [11] Pranata, D., Masiku, R. P., Dasmasea, B. C. J., and L Paembonan, M. (2021). Perencanaan sistem penyediaan air minum (SPAM) dan pengolahan air Kelurahan Pattan Uluvalu Kecamatan Saluputti. *Journal Dynamic sainT*, 6, (2), 13–21.
- [12] Reynaldi, B. and Radityaningrum, A. D. (2022). Evaluasi Sistem Instalasi Pengolahan Air Minum Di Perusahaan Umum Daerah Air Minum Maja Tirta Kota Mojokerto. *Environmental Engineering Journal ITATS*, 2, (1), 35–44.
- [13] Solikah, I. and Handriyono, R. E. (2021). Evaluasi Sistem Distribusi Air Minum Di Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek Menggunakan Software EPANET. Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur.
- [14] Toma, Z. T. and Dananto, M. (2022). Evaluating the hydraulic performance of existing water supply distribution system: the case of Teblela Town of Wolaita Zone, Southern Ethiopia. *International Journal of Advanced Multidisciplinary*, 1, (3), 181–198.
- [15] Zamzami, Z., Azmeri, A., and Syamsidik, S. (2018). Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Tawar Kabupaten Aceh Tengah. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 1, (1), 132–141.
- [16] Zlatanović, Lj., Hoek, J. P. van der, and Vreeburg, J. H. G. (2017). An experimental study on the influence of water stagnation and temperature change on water quality in a full-scale domestic drinking water system. *Water Research*, 123, 761–772.