Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)
Volume 8, No 1, Juni 2026, pp 176-190
p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

Perencanaan dan Evaluasi Hidraulika Jaringan Distribusi Air Bersih Menggunakan EPANET pada Kawasan Industri Medan Deli, Sumatera Utara

Nina Pebriana[1]*, Silvia Yulita Ratih[1], Herianto[2]

[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Surakarta, Jl. Raya Palur Km 5, Surakarta; Telp. 0271-825117

[2]lumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Surakarta, Surakarta

Email: ninapebriana@gmail.com

Abstrak

Kawasan Industri Medan Deli memerlukan sistem distribusi air bersih yang mampu melayani kebutuhan tenant dengan debit dan tekanan yang memadai. Penelitian ini bertujuan menghitung kebutuhan air 42 tenant, merencanakan Jaringan Distribusi Utama (JDU) dan Jaringan Distribusi Bagi (JDB), serta mengevaluasi tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi menggunakan EPANET 2.2. Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif melalui pemeriksaan data kebutuhan air, penyusunan tata letak jaringan menggunakan AutoCAD 2020, pembangunan model hidraulika, dan evaluasi hasil simulasi. Kebutuhan air wilayah pelayanan diperoleh sebesar 486.320 m³/bulan atau setara dengan debit rata-rata 187,62 L/s pada asumsi operasi 30 hari per bulan dan 24 jam per hari. JDU direncanakan menggunakan pipa HDPE berdiameter nominal 600, 500, dan 300 mm dengan panjang total 2.750 m, sedangkan JDB menggunakan diameter nominal 300 dan 200 mm dengan panjang total 2.661,80 m. Hasil simulasi menunjukkan tekanan pada seluruh junction berada pada kisaran 21,11–29,93 m dan tidak ditemukan tekanan negatif. Meskipun demikian, beberapa ruas menunjukkan kecepatan aliran sangat rendah, kecepatan tinggi, atau unit headloss ekstrem sehingga memerlukan pemeriksaan input dan optimasi diameter. Sistem dilengkapi dua reservoir berkapasitas masing-masing 1.500 m³ dan pompa dengan head rencana 30 m. Konfigurasi jaringan telah mampu mempertahankan tekanan positif pada seluruh titik pelayanan, tetapi verifikasi data, optimasi ruas bermasalah, dan simulasi ulang masih diperlukan sebelum rancangan diterapkan.

Kata kunci: Analisis hidraulika; EPANET; Jaringan distribusi air bersih; Kawasan industri; Reservoir.

Abstract

The Medan Deli Industrial Estate requires a clean water distribution system capable of supplying tenants with adequate flow and pressure. This study aims to calculate the water demand of 42 tenants, design the Main Distribution Network (JDU) and Secondary Distribution Network (JDB), and evaluate pressure, flow velocity, and energy loss using EPANET 2.2. A quantitative approach was applied through water-demand data verification, network layout preparation using AutoCAD 2020, hydraulic model development, and simulation-result evaluation. The water demand within the study area was 486,320 m³/month, equivalent to an average flow rate of 187.62 L/s based on an operating period of 30 days per month and 24 hours per day. The JDU was designed using nominal HDPE pipe diameters of 600, 500, and 300 mm with a total length of 2,750 m, while the JDB used nominal diameters of 300 and 200 mm with a total length of 2,661.80 m. The simulation results showed that pressures at all junctions ranged from 21.11 to 29.93 m, with no negative pressure. However, several pipe sections exhibited very low velocities, high velocities, or extreme unit headloss values, indicating the need for input verification and pipe-diameter optimization. The system includes two reservoirs, each with a capacity of 1,500 m³, and a distribution pump with a design head of 30 m. The proposed network configuration maintained positive pressure at all service points, although data verification, optimization of problematic pipe sections, and re-simulation are required before implementation.

***Keywords**: Clean water distribution network; EPANET; Hydraulic analysis; Industrial area; Reservoir.*

Copyright © 2026 The Author(s)
This is an open access article under the CC -NC-SA license.

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu sumber daya strategis yang berperan penting dalam mendukung keberlanjutan aktivitas industri, pertumbuhan ekonomi, dan pembangunan wilayah. Seiring dengan berkembangnya kawasan industri di Indonesia, kebutuhan air bersih mengalami peningkatan yang signifikan, baik untuk proses produksi, sanitasi, pendinginan peralatan, maupun kebutuhan operasional lainnya. Ketersediaan sistem distribusi air yang andal menjadi faktor penting dalam menjamin kontinuitas pasokan air serta mendukung produktivitas sektor industri.

Kawasan Industri Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara menghadapi kesenjangan antara kebutuhan dan pasokan air bersih. Berdasarkan data teknis kawasan, kebutuhan air industri secara keseluruhan telah mencapai sekitar 930.000 m³/bulan, sedangkan kapasitas pasokan eksisting sekitar 250.000 m³/bulan. Pada sebagian wilayah pengembangan, jaringan distribusi dan fasilitas penyimpanan air belum tersedia secara memadai. Kondisi tersebut menimbulkan kebutuhan untuk merencanakan jaringan distribusi yang mampu menyalurkan air menuju tenant secara andal dan tetap memenuhi kriteria hidraulika.

Data kapasitas dan kebutuhan kawasan tersebut digunakan sebagai informasi kondisi awal, sedangkan lingkup perencanaan penelitian ini dibatasi pada kebutuhan 42 tenant yang tercakup dalam wilayah pelayanan yang dianalisis.Kinerja jaringan distribusi ditentukan oleh kemampuannya mengalirkan debit kebutuhan dengan tekanan, kecepatan, dan kehilangan energi yang masih berada dalam batas perencanaan. Tekanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan air tidak mencapai titik pelayanan, sedangkan tekanan yang terlalu tinggi meningkatkan risiko kebocoran. Kecepatan yang terlalu rendah berpotensi menimbulkan stagnasi dan pengendapan, sedangkan kecepatan yang terlalu tinggi meningkatkan kehilangan energi dan beban pemompaan. Oleh karena itu, penentuan diameter pipa, konfigurasi jaringan, kapasitas reservoir, dan head pompa harus dianalisis secara terpadu.

Analisis hidraulika merupakan tahapan penting dalam perencanaan jaringan distribusi air bersih. Tujuan utama analisis hidraulika adalah memastikan bahwa seluruh komponen jaringan mampu mendistribusikan air dengan tekanan dan kecepatan yang memenuhi standar pelayanan. Salah satu metode yang umum digunakan dalam perhitungan kehilangan energi pada jaringan distribusi adalah persamaan Hazen–Williams. Persamaan Hazen–Williams banyak digunakan dalam analisis jaringan distribusi air karena dapat memperkirakan kehilangan energi berdasarkan debit, diameter pipa, panjang pipa, dan koefisien kekasaran. Parameter utama yang dianalisis meliputi debit aliran, tekanan, kecepatan, serta kehilangan energi (*headloss*). Nilai headloss yang tinggi menunjukkan efisiensi jaringan yang rendah dan berpotensi meningkatkan kebutuhan energi pemompaan.

EPANET merupakan perangkat lunak simulasi hidraulika yang dikembangkan oleh U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA) untuk menganalisis perilaku aliran dan kualitas air dalam jaringan distribusi. Perangkat lunak ini mampu mensimulasikan tekanan, debit, kecepatan aliran, kehilangan energi, serta perubahan muka air pada reservoir dan tangki penyimpanan. Keunggulan EPANET terletak pada kemampuannya melakukan simulasi jaringan yang kompleks dengan jumlah node dan pipa yang besar. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa EPANET digunakan sebagai alat bantu analisis hidraulika dalam mendukung proses perencanaan maupun evaluasi jaringan distribusi air bersih. Adji dan Amalia (2023) menggunakan EPANET untuk memodelkan distribusi air pada kawasan industri dan menemukan beberapa titik dengan tekanan yang melebihi batas desain. Muflih (2024) memanfaatkan EPANET untuk merencanakan jaringan distribusi pada kawasan pedesaan dan memperoleh distribusi tekanan yang memenuhi standar pelayanan. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa EPANET dapat menjadi alat yang efektif dalam mengoptimalkan desain jaringan distribusi air bersih.

Kontribusi khusus penelitian ini adalah penyusunan model perencanaan distribusi air bersih pada wilayah pelayanan 42 tenant di Kawasan Industri Medan Deli dengan mengintegrasikan perhitungan kebutuhan air, pembagian jaringan menjadi JDU dan JDB, penggunaan diameter dalam pipa HDPE sebagai input EPANET, serta evaluasi tekanan, kecepatan aliran, dan unit headloss. Integrasi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

bagian jaringan yang telah memenuhi kriteria pelayanan dan ruas yang masih memerlukan optimasi.

Berdasarkan hasil kajian literatur, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya membahas evaluasi jaringan distribusi air bersih pada kawasan permukiman maupun evaluasi jaringan yang telah beroperasi. Penelitian mengenai perencanaan jaringan distribusi air bersih pada kawasan industri dengan integrasi perhitungan kebutuhan air, pembagian JDU–JDB, evaluasi tekanan, kecepatan aliran, unit headloss, serta perencanaan reservoir menggunakan EPANET masih relatif terbatas. Oleh karena itu penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui penyusunan model hidraulika yang dapat dijadikan dasar perencanaan sistem distribusi air bersih pada kawasan industri.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) menghitung kebutuhan air pada wilayah pelayanan yang mencakup 42 tenant; (2) merencanakan konfigurasi dan dimensi JDU serta JDB; (3) mengevaluasi tekanan pada junction, kecepatan aliran, dan unit headloss menggunakan EPANET 2.2; dan (4) merencanakan kapasitas reservoir serta head pompa yang mendukung sistem distribusi. Hasil penelitian diharapkan memberikan dasar teknis bagi pengembangan sistem distribusi air bersih pada kawasan industri dengan kebutuhan debit yang bervariasi.

2. METODE

2.1 Lokasi dan Rancangan Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada wilayah pelayanan Kawasan Industri Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berupa perencanaan teknis dan pemodelan hidraulika jaringan distribusi air bersih. Lingkup penelitian meliputi pengolahan kebutuhan air 42 tenant, penyusunan jalur Jaringan Distribusi Utama (JDU) dan Jaringan Distribusi Bagi (JDB), penentuan diameter pipa, pemodelan jaringan menggunakan EPANET 2.2, serta evaluasi reservoir dan sistem pemompaan. Seluruh proses pengolahan data, pembangunan model hidraulika, simulasi, analisis hasil, interpretasi, dan penyusunan rekomendasi dilakukan oleh peneliti berdasarkan data teknis yang tersedia.

Gambar 1. Lokasi Kawasan Industri Medan Deli, Kota Medan, Sumatera Utara
Sumber: Google Earth dan dokumen teknis kawasan, diolah peneliti

2.2 Jenis dan Sumber Data

Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis perencanaan kawasan yang tersedia pada instansi pengelola kawasan industri. Dokumen tersebut digunakan sebagai bahan analisis, sedangkan seluruh proses pengolahan data, pemodelan hidraulika menggunakan EPANET 2.2, analisis hasil simulasi, dan penyusunan kesimpulan dilakukan oleh peneliti.

Tabel 1. Jenis, sumber dan penggunaan data penelitian

No	Data	Jenis Data	Sumber	Penggunaan
1	Daftar dan kebutuhan air 42 tenant	Sekunder	Dokumen teknis kawasan	Menghitung kebutuhan total dan debit tiap blok
2	Tata letak kawasan dan jaringan jalan	Primer dan Sekunder	Observasi serta dokumen kawasan	Menentukan jalur JDU dan JDB
3	Elevasi titik jaringan	Sekunder	Dokumen Teknis	Input elevasi junction EPANET
4	Panjang dan diameter pipa	Sekunder dan hasil perencanaan	Dokumen teknis serta hasil analisis	Input karakteristik link EPANET
5	Spesifikasi pipa HDPE	Sekunder	Data teknis pipa	Menentukan diameter dalam dan koefisien kekasaran
6	Reservoir dan pompa	Sekunder	Dokumen Perencanaan	Menentukan kapasitas penyimpanan dan head

2.3 Pengolahan Kebutuhan Air

Pengolahan kebutuhan air dilakukan berdasarkan data kebutuhan bulanan masing-masing tenant. Tahap pertama adalah memeriksa kelengkapan nama tenant, lokasi blok, jenis kegiatan industri, dan nilai kebutuhan air. Tahap kedua adalah menjumlahkan kebutuhan seluruh tenant untuk memperoleh kebutuhan bulanan wilayah pelayanan. Tahap ketiga adalah mengelompokkan kebutuhan berdasarkan blok atau zona pelayanan untuk menentukan pembagian debit pada junction. Tahap keempat adalah mengubah kebutuhan bulanan menjadi

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

debit rata-rata dengan memperhitungkan jumlah hari operasi dan waktu operasi sistem.

$$Q_r = \frac{V_b \times 1000}{n_h \times t_0 \times 3600} \quad (1)$$

Keterangan :
Qr = debit rata-rata kebutuhan air (L/s);
V_b = volume kebutuhan bulanan (m³/bulan);
n_h = jumlah hari operasi dalam satu bulan (hari/bulan);
t_0 = waktu operasi sistem per hari (jam/hari);
1.000 = faktor konversi m3 menjadi liter; dan
3.600 = faktor konversi jam menjadi detik.

$$Q_r = \frac{486.320 \times 1000}{30 \times 24 \times 3600} = 187{,}62\ L/S$$

Berdasarkan asumsi operasi 30 hari per bulan dan 24 jam per hari, kebutuhan air sebesar 486.320 m³/bulan setara dengan debit rata-rata 187,62 L/s. Debit tersebut selanjutnya didistribusikan ke setiap junction berdasarkan kebutuhan tenant atau blok pelayanan yang dilayani.
Nilai tersebut digunakan sebagai dasar pembagian kebutuhan pada junction dalam model hidraulika.
Debit pada setiap junction ditetapkan berdasarkan kebutuhan tenant yang dilayani oleh cabang jaringan tersebut. Dengan demikian, pembagian debit dalam model tidak dilakukan secara merata, tetapi mengikuti distribusi kebutuhan aktual masing-masing blok pelayanan.
Debit hasil konversi selanjutnya dibagi ke setiap junction sesuai dengan kebutuhan masing-masing blok pelayanan. Pembagian debit tersebut menjadi dasar penentuan beban hidraulika pada model EPANET sehingga simulasi mampu merepresentasikan kondisi distribusi air pada wilayah pelayanan penelitian

2.4 Penyusunan Jaringan Distribusi

Jalur jaringan disusun dengan mengikuti koridor jalan eksisting agar pemasangan, pemeriksaan, dan pemeliharaan pipa lebih mudah dilakukan. Jaringan dibagi menjadi JDU dan JDB. JDU menyalurkan debit dari reservoir dan rumah pompa menuju titik-titik percabangan utama, sedangkan JDB menyalurkan air dari JDU menuju tenant atau kelompok tenant. Layout awal disusun menggunakan AutoCAD 2020, kemudian setiap ruas diterjemahkan menjadi link dan setiap titik percabangan atau pelayanan diterjemahkan menjadi junction dalam model EPANET.
Diameter awal ditentukan secara bertahap berdasarkan besarnya debit yang melewati setiap ruas. Diameter terbesar ditempatkan pada ruas awal yang membawa debit gabungan, kemudian diperkecil setelah terjadi pembagian debit pada cabang jaringan. Diameter tersebut selanjutnya diuji melalui simulasi EPANET dan disesuaikan apabila menghasilkan tekanan, kecepatan, atau kehilangan energi yang tidak memenuhi kriteria evaluasi.

2.5 Pemodelan Hidraulika Menggunakan EPANET

Model hidraulika dibangun menggunakan EPANET 2.2. Elemen model terdiri atas reservoir, pompa, junction, dan pipa. Data yang dimasukkan pada junction meliputi elevasi dan kebutuhan dasar, sedangkan data pipa meliputi titik awal, titik akhir, panjang, diameter dalam, dan koefisien kekasaran Hazen–Williams. Diameter yang dimasukkan ke dalam EPANET adalah diameter dalam pipa, bukan diameter nominal luar. Untuk pipa HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6, diameter nominal 600, 500, 300, dan 200 mm dimodelkan menggunakan diameter dalam masing-masing sebesar 537,60; 426,40; 268,60; dan 170,60 mm. Data tersebut sesuai dengan konfigurasi pipa yang digunakan dalam perencanaan.
Simulasi dilakukan untuk memperoleh debit pada setiap pipa, tekanan pada setiap junction, kecepatan aliran, dan unit headloss. Proses simulasi dilakukan secara iteratif. Apabila hasil awal menunjukkan tekanan terlalu rendah, kecepatan terlalu tinggi, atau kehilangan energi berlebihan, diameter atau pembagian jaringan diperiksa kembali dan model dijalankan ulang sampai diperoleh konfigurasi yang dapat melayani seluruh titik.

2.6 Kriteria Evaluasi Hidraulika

Evaluasi hidraulika dilakukan terhadap tekanan pada junction, kecepatan aliran pada pipa, dan unit headloss. Tekanan digunakan untuk menilai kemampuan sistem mempertahankan energi pelayanan pada seluruh titik kebutuhan. Kecepatan digunakan untuk mengidentifikasi ruas dengan kondisi aliran sangat rendah atau terlalu tinggi, sedangkan unit headloss digunakan untuk menilai tingkat kehilangan energi per satuan panjang pipa. Evaluasi

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

dilakukan pada seluruh junction dan pipa. Ruas yang menunjukkan nilai ekstrem diidentifikasi berdasarkan nomor elemen, diameter, debit, dan posisinya dalam jaringan untuk menentukan kebutuhan optimasi.

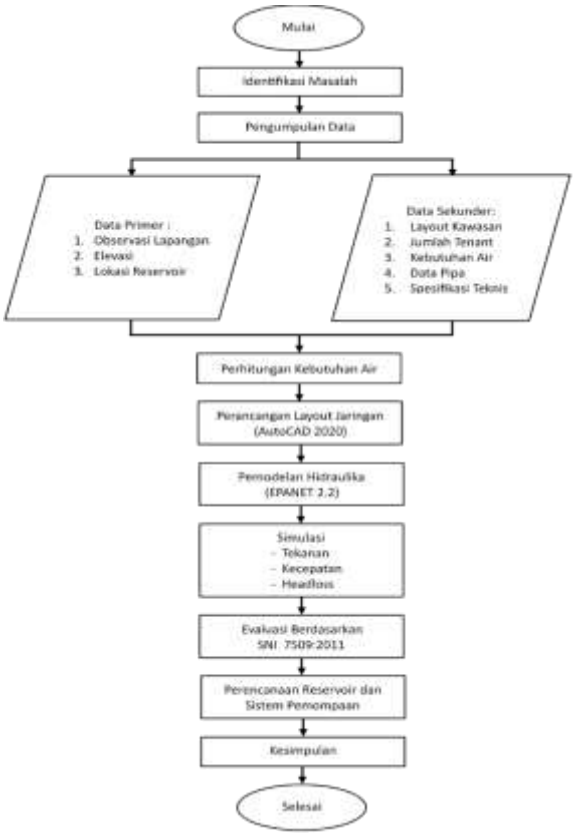
2.7 Perencanaan Reservoir dan Sistem Pemompaan

Berdasarkan data desain dalam dokumen teknis, sistem direncanakan menggunakan dua reservoir tipe glass-fused-to-steel tank dengan kapasitas masing-masing 1.500 m³. Data tersebut digunakan sebagai komponen input dan evaluasi dalam model jaringan, bukan sebagai hasil perhitungan volume reservoir dari pola kebutuhan jam-jaman.

Reservoir direncanakan sebagai fasilitas penyimpanan sementara sebelum air dialirkan ke jaringan distribusi. Berdasarkan dokumen perencanaan, digunakan dua unit reservoir tipe glass fused steel tank dengan kapasitas masing-masing 1.500 m³, diameter 19,611 m, dan tinggi 5,45 m. Total kapasitas penyimpanan yang direncanakan sebesar 3.000 m³. Sistem pemompaan menggunakan pompa sentrifugal dengan head rencana 30 m untuk menyediakan energi yang diperlukan dalam mengatasi perbedaan elevasi dan kehilangan energi jaringan. Karena dokumen sumber tidak menampilkan secara lengkap kurva pompa, efisiensi pompa, nilai Net Positive Suction Head, dan simulasi operasi reservoir terhadap pola kebutuhan jam-jaman, pembahasan sistem pemompaan dalam penelitian ini dibatasi pada head rencana dan keterkaitannya dengan tekanan hasil simulasi.

2.8 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian disusun mulai dari pengumpulan dan verifikasi data, perhitungan kebutuhan air, penyusunan tata letak jaringan, pembangunan model EPANET, simulasi hidraulika, evaluasi hasil, hingga penyusunan rekomendasi. Tahapan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Hasil penyusunan peneliti,2026

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan dilakukan secara bertahap mulai dari analisis kebutuhan air, perencanaan jaringan distribusi utama (JDU) dan jaringan distribusi bagi (JDB), evaluasi parameter hidraulika menggunakan EPANET 2.2, hingga perencanaan reservoir dan sistem pemompaan. Setiap hasil simulasi dianalisis berdasarkan kriteria teknis sistem distribusi air bersih serta dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu untuk menilai kinerja sistem yang direncanakan.

3.1 Analisis Kebutuhan Air

Data kebutuhan air mencakup 42 tenant pada wilayah pelayanan yang dianalisis. Hasil penjumlahan kebutuhan seluruh tenant menghasilkan volume kebutuhan sebesar 486.320 m³/bulan. Nilai tersebut merupakan kebutuhan pada lingkup 42 tenant dan bukan kebutuhan keseluruhan Kawasan Industri Medan Deli. Berdasarkan asumsi operasi selama 30 hari per bulan dan 24 jam per hari, kebutuhan 486.320 m³/bulan dikonversi menjadi debit rata-rata sebesar 187,62 L/s.

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

Distribusi kebutuhan antar-tenant tidak seragam karena jenis kegiatan dan kapasitas produksi setiap industri berbeda. Tenant dengan kebutuhan besar memberikan kontribusi dominan terhadap debit cabang yang melayaninya, sedangkan cabang dengan tenant berkebutuhan kecil menerima debit lebih rendah. Perbedaan tersebut menjadi dasar pembagian kebutuhan pada junction dan penentuan diameter pipa pada setiap ruas.

Perhitungan kebutuhan air merupakan tahapan awal dalam perencanaan jaringan distribusi karena besarnya debit yang diperoleh akan menentukan kapasitas pipa, reservoir, serta sistem pemompaan. Kebutuhan air dihitung berdasarkan kebutuhan masing-masing tenant kemudian direkapitulasi menurut blok pelayanan sehingga diperoleh pembagian debit pada setiap junction dalam model EPANET.

Tabel 2. Rekapitulasi Kebutuhan Air Berdasarkan Blok Pelayanan

No	Blok Pelayanan	Jumlah tenant	Kebutuhan Air(m3/bulan)	Debit Rata-rata (L/S)	Persentase (%)
1	Blok A	7	156,10	60,22	32,10
2	Blok B	2	160,15	61,79	32,93
3	Blok C	8	14,17	5,47	2,92
4	Blok D	3	10,44	4,03	2,15
5	Blok E	0	0,00	0,00	0,00
6	Blok F	2	22,19	8,56	4,56
7	Blok G	4	80,70	31,13	16,59
8	Blok H	5	3,68	1,42	0,76
9	Blok I	5	35,03	13,51	7,20
10	Blok J	6	3,87	1,49	0,79
Total		**42**	**486,33**	**187,62**	**100,00**

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian

Sumber : Hasil pengolahan peneliti berdasarkan data kebutuhan 42 tenant.

Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa distribusi kebutuhan air pada setiap blok pelayanan tidak bersifat seragam. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh jumlah tenant, jenis aktivitas industri, dan besarnya kebutuhan proses produksi pada masing-masing blok. Oleh karena itu, pembagian debit pada model EPANET tidak dilakukan secara merata, tetapi disesuaikan dengan kebutuhan aktual setiap blok sehingga simulasi hidraulika dapat merepresentasikan kondisi pelayanan yang lebih realistis. Pendekatan ini juga menghasilkan distribusi tekanan yang lebih sesuai dibandingkan apabila seluruh junction diberikan debit yang sama.

Berdasarkan Tabel 2, kebutuhan air tidak terdistribusi secara merata pada seluruh blok pelayanan. Blok B memiliki kebutuhan terbesar, yaitu 160.150 m³/bulan atau 61,79 L/s, dengan kontribusi sebesar 32,93% terhadap kebutuhan total. Kebutuhan terbesar berikutnya terdapat pada Blok A sebesar 156.100 m³/bulan atau 60,22 L/s, dengan kontribusi sebesar 32,10%. Meskipun Blok A memiliki tujuh tenant dan Blok B hanya memiliki dua tenant, kebutuhan Blok B lebih tinggi karena salah satu tenant pada blok tersebut memiliki kebutuhan air industri yang dominan. Data dalam TA menunjukkan bahwa Blok B terdiri atas Soci Mas dengan kebutuhan sebesar 160.000 m³/bulan dan Era Cipta Binakarya sebesar 150 m³/bulan.

Blok G menempati urutan ketiga dengan kebutuhan sebesar 80.700 m³/bulan atau 31,13 L/s, yaitu 16,59% dari kebutuhan total. Sementara itu, kebutuhan Blok I sebesar 35.030 m³/bulan atau 13,51 L/s dan Blok F sebesar 22.190 m³/bulan atau 8,56 L/s. Blok C dan Blok D masing-masing memiliki kebutuhan sebesar 14.170 m³/bulan dan 10.440 m³/bulan. Blok H dan Blok J memiliki kebutuhan relatif kecil, masing-masing sebesar 3.680 m³/bulan dan 3.870 m³/bulan. Data sumber tidak mencantumkan tenant pada Blok E sehingga kebutuhan blok tersebut dicatat sebesar 0 m³/bulan. Daftar tenant dalam TA terdiri atas Blok A sampai Blok J, dengan jumlah keseluruhan 42 tenant.

Perbedaan kebutuhan antarblok menunjukkan bahwa jumlah tenant tidak selalu berbanding lurus dengan besarnya kebutuhan air. Besarnya kebutuhan lebih dipengaruhi oleh jenis industri, kapasitas kegiatan, dan kebutuhan operasional masing-masing tenant. Oleh karena itu, pembagian debit pada model EPANET tidak dilakukan secara merata, tetapi mengikuti kebutuhan pada masing-masing blok pelayanan.

Konsentrasi kebutuhan pada Blok A dan Blok B menyebabkan ruas awal Jaringan Distribusi Utama harus mengalirkan debit yang relatif besar. Setelah terjadi percabangan menuju blok-blok pelayanan, debit aliran berkurang sehingga diameter pipa dapat diturunkan secara bertahap. Pola kebutuhan tersebut menjadi dasar penggunaan pipa berdiameter nominal 600 mm dan 500 mm pada bagian utama jaringan serta pipa berdiameter lebih kecil pada jaringan distribusi bagi.

3.2 Perencanaan Jaringan Distribusi

Perencanaan jaringan distribusi air bersih dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan air setiap tenant pada Kawasan Industri Medan Deli. Tahapan perencanaan dimulai dengan identifikasi kondisi eksisting, penentuan jalur

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

perpipaan, pembagian zona pelayanan, serta penentuan dimensi pipa yang mampu memenuhi kebutuhan debit pada masing-masing blok kawasan industri. Jalur perpipaan dirancang mengikuti jaringan jalan yang telah tersedia sehingga memudahkan pelaksanaan konstruksi, operasi, dan pemeliharaan sistem distribusi.

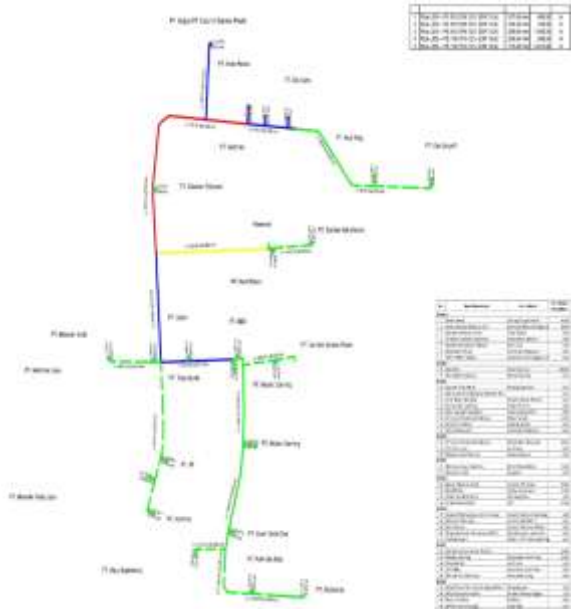
Sistem distribusi yang direncanakan menggunakan sistem cabang (branch system), yaitu air dialirkan dari reservoir menuju jaringan distribusi utama kemudian diteruskan ke jaringan distribusi pembagi hingga mencapai seluruh tenant. Sistem ini dipilih karena sesuai dengan konfigurasi kawasan industri yang memiliki pola jalan teratur dan memudahkan pengaturan distribusi air pada setiap blok pelayanan. Konsekuensi penggunaan sistem cabang adalah aliran menuju titik pelayanan umumnya bergantung pada satu jalur utama. Oleh karena itu, gangguan pada ruas tertentu dapat memengaruhi pelayanan di bagian hilir. Pemilihan sistem ini dilakukan karena mengikuti pola jalan dan konfigurasi pelayanan pada wilayah penelitian, tetapi aspek redundansi jaringan belum dianalisis dalam penelitian ini.

Jaringan distribusi terdiri atas Jaringan Distribusi Utama (JDU) dan Jaringan Distribusi Bagi (JDB). JDU berfungsi mengalirkan debit utama dari rumah pompa menuju setiap blok kawasan industri menggunakan pipa berdiameter 600 mm, 500 mm, dan 300 mm dengan total panjang sekitar 2.750 m. Selanjutnya, air didistribusikan melalui JDB menggunakan pipa berdiameter 300 mm dan 200 mm dengan panjang sekitar 2.661,80 m hingga mencapai masing-masing tenant. Pemilihan diameter pipa mempertimbangkan kebutuhan debit, kehilangan energi (headloss), tekanan pelayanan, dan kemudahan pengembangan jaringan di masa mendatang.

Selain pipa utama, jaringan distribusi juga dilengkapi berbagai aksesoris seperti gate valve, tee, elbow, reducer, dan perlengkapan sambungan lainnya untuk mendukung pengoperasian sistem. Penempatan aksesoris dilakukan pada titik-titik percabangan dan perubahan arah aliran sehingga memudahkan pengendalian distribusi serta kegiatan pemeliharaan jaringan.

Setelah rancangan jaringan selesai disusun menggunakan AutoCAD, seluruh data geometri jaringan, panjang pipa, diameter pipa, elevasi, serta kebutuhan debit pada setiap junction dimasukkan ke dalam perangkat lunak EPANET untuk dilakukan simulasi hidraulika. Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja jaringan melalui analisis tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi sebelum desain akhir ditetapkan. Model jaringan selanjutnya dibangun menggunakan EPANET 2.2 dengan menerjemahkan titik percabangan dan titik pelayanan sebagai junction, sedangkan setiap ruas pipa dimodelkan sebagai link. Data yang dimasukkan meliputi elevasi junction, kebutuhan dasar pada setiap titik pelayanan, panjang pipa, diameter dalam pipa, dan koefisien kekasaran Hazen–Williams. Model tersebut digunakan untuk menganalisis tekanan pada junction, kecepatan aliran, dan unit headloss pada setiap ruas jaringan.

Setelah kebutuhan air diperoleh, tahapan berikutnya adalah menyusun konfigurasi jaringan distribusi berdasarkan kondisi jalan kawasan industri dan lokasi masing-masing tenant. Penyusunan jaringan dilakukan agar seluruh titik pelayanan memperoleh pasokan air melalui jalur distribusi yang efisien dengan panjang pipa yang masih ekonomis.



Gambar 3. Layout Rencana Jaringan Distribusi Air Bersih

Layout jaringan menunjukkan bahwa jalur perpipaan mengikuti koridor jalan utama kawasan industri sehingga memudahkan pelaksanaan konstruksi maupun kegiatan operasi dan pemeliharaan. Selain mempertimbangkan kemudahan akses, konfigurasi jaringan juga dirancang untuk meminimalkan panjang pipa yang tidak

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

diperlukan sehingga kehilangan energi dapat ditekan.

Gambar 3 memperlihatkan layout jaringan distribusi air bersih yang direncanakan pada Kawasan Industri Medan Deli. Jalur perpipaan mengikuti jaringan jalan eksisting sehingga mempermudah pemasangan pipa dan akses pemeliharaan. Sistem distribusi menggunakan pola cabang dengan Jaringan Distribusi Utama (JDU) sebagai penyalur utama dan Jaringan Distribusi Bagi (JDB) sebagai penyalur menuju setiap tenant. Konfigurasi tersebut dirancang untuk menyalurkan debit sesuai kebutuhan setiap cabang dan selanjutnya dievaluasi menggunakan EPANET untuk mengetahui tekanan, kecepatan, dan kehilangan energi yang dihasilkan.

3.2.1 Pembagian Jaringan Distribusi Utama (JDU) dan Jaringan Distribusi Bagi (JDB)

Sistem distribusi air bersih pada Kawasan Industri Medan Deli dibagi menjadi dua tingkatan, yaitu Jaringan Distribusi Utama (JDU) dan Jaringan Distribusi Bagi (JDB). Pembagian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi distribusi debit, menjaga kestabilan tekanan pada seluruh kawasan pelayanan, serta memudahkan pengoperasian dan pengembangan jaringan di masa mendatang.

Jaringan Distribusi Utama (JDU) berfungsi sebagai jaringan induk yang mengalirkan air dari reservoir menuju setiap zona pelayanan dengan kapasitas debit yang relatif besar. Oleh karena itu, JDU menggunakan diameter pipa yang lebih besar agar kehilangan energi (headloss) dapat diminimalkan dan tekanan pelayanan tetap terjaga hingga ke titik percabangan. Berdasarkan hasil perencanaan, JDU menggunakan pipa berdiameter 600 mm, 500 mm, dan 300 mm (Outside Diameter/OD), sedangkan pada simulasi EPANET digunakan diameter dalam (Inside Diameter/ID) sebesar 537,60 mm, 426,40 mm, dan 268,60 mm sesuai standar dimensi pipa yang digunakan.

Jaringan Distribusi Bagi (JDB) berfungsi mendistribusikan air dari JDU menuju masing-masing tenant. Karena debit yang dialirkan lebih kecil dibandingkan jaringan utama, JDB menggunakan diameter pipa 300 mm dan 200 mm (OD) atau 268,60 mm dan 170,60 mm (ID) pada model EPANET. Pemilihan diameter tersebut disesuaikan dengan kebutuhan air pada setiap blok pelayanan sehingga distribusi air tetap berlangsung secara merata dan efisien.

Penentuan diameter pipa dilakukan berdasarkan debit yang mengalir pada masing-masing ruas jaringan. Semakin besar debit yang dialirkan maka diameter pipa yang digunakan semakin besar untuk menjaga tekanan tetap stabil serta mengurangi kehilangan energi selama proses distribusi.

Tabel 3. Rencana Diameter dan Panjang Pipa JDU dan JDB

Jaringan	Material	Diameter dalam model(D)	Diameter Nominal/ luar(OD)	Panjang (m)
JDU	HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6	537,60 mm	600 mm	450 m
JDU	HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6	426,40 mm	500 mm	750 m
JDU	HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6	268,60 mm	300 mm	1550 m
JDB	HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6	268,60 mm	300 mm	248 m
JDB	HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6	170,60 mm	200 mm	2413,8 m
Total JDU	-	-	-	2750 m
Total JDB	-	-	-	2661,8 m

Sumber : Pengolahan data penelitian, 2026

Hasil perencanaan menunjukkan bahwa Jaringan Distribusi Utama menggunakan diameter nominal 600 mm, 500 mm, dan 300 mm, sedangkan Jaringan Distribusi Bagi menggunakan diameter nominal 300 mm dan 200 mm. Pemilihan diameter tersebut telah mempertimbangkan kebutuhan debit pada masing-masing ruas sehingga aliran tetap dapat dipertahankan menuju seluruh blok pelayanan. Perbedaan diameter antar ruas juga menunjukkan adanya penyesuaian terhadap perubahan debit sepanjang jaringan distribusi.Tabel 3 menunjukkan bahwa JDU memiliki panjang total 2.750 m, yang terdiri atas pipa nominal 600 mm sepanjang 450 m, pipa 500 mm sepanjang 750 m, dan pipa 300 mm sepanjang 1.550 m. JDB memiliki panjang total 2.661,80 m, yang terdiri atas pipa nominal 300 mm sepanjang 248 m dan pipa 200 mm sepanjang 2.413,80 m. Dalam pemodelan EPANET digunakan diameter dalam, yaitu 537,60; 426,40; 268,60; dan 170,60 mm, karena diameter hidraulik yang memengaruhi luas aliran adalah diameter bagian dalam pipa.

3.2.2 Pembahasan Pemilihan Diameter Pipa

Pemilihan diameter pipa dilakukan berdasarkan kebutuhan debit pada masing-masing segmen jaringan, sehingga kapasitas aliran yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan air seluruh tenant tanpa menyebabkan kehilangan

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

energi yang berlebihan. Diameter 600 mm ditempatkan pada jalur utama yang menerima debit terbesar dari reservoir, kemudian secara bertahap diperkecil menjadi 500 mm dan 300 mm seiring dengan berkurangnya debit akibat percabangan menuju setiap zona pelayanan. Pendekatan ini menghasilkan distribusi aliran yang lebih efisien sekaligus menjaga tekanan jaringan tetap berada pada rentang pelayanan yang diinginkan.

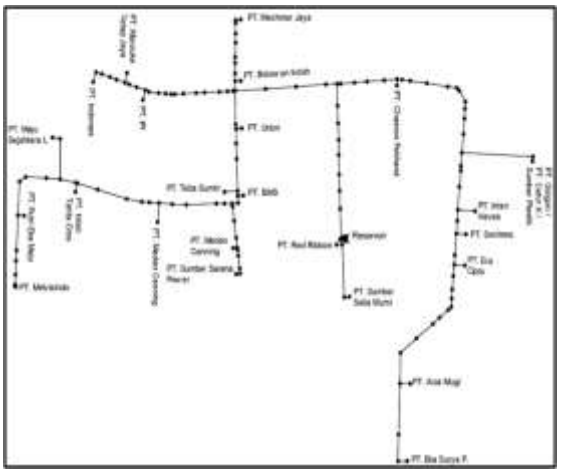
Pada jaringan distribusi bagi, penggunaan diameter 300 mm dan 200 mm disesuaikan dengan kebutuhan debit yang lebih kecil pada masing-masing tenant. Penggunaan diameter 300 mm dan 200 mm pada JDB disesuaikan dengan penurunan debit setelah percabangan dari JDU. Diameter tersebut diuji berdasarkan hasil simulasi, terutama terhadap nilai kecepatan dan unit headloss. Ruas dengan kecepatan terlalu rendah mengindikasikan diameter relatif besar terhadap debit yang mengalir, sedangkan ruas dengan kecepatan dan unit headloss tinggi mengindikasikan diameter relatif kecil atau pembagian debit yang terkonsentrasi. Berdasarkan hasil simulasi hidraulika, konfigurasi diameter tersebut mampu menghasilkan tekanan jaringan sekitar 20–30 m (±2–3 bar), sehingga memenuhi persyaratan pelayanan minimum tanpa terjadi tekanan negatif pada jaringan.

Material utama yang dipilih adalah HDPE PE100 PN 12,5 SDR 13,6 karena memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi, fleksibilitas tinggi, dan umur layanan yang panjang. Pada beberapa titik khusus digunakan GI/Steel Medium sebagai pipa pelindung atau penyesuaian terhadap kondisi lapangan. Kombinasi material dan variasi diameter tersebut menghasilkan tekanan positif pada seluruh junction, tetapi keandalannya masih perlu dinilai dengan mempertimbangkan ruas yang memiliki kecepatan dan unit headloss di luar rentang yang diharapkan.

3.3 Hasil Simulasi Hidraulika Menggunakan EPANET

Model jaringan distribusi air bersih disimulasikan menggunakan EPANET dengan memasukkan data elevasi setiap junction, kebutuhan air pada titik pelayanan, panjang dan diameter pipa, koefisien kekasaran Hazen–Williams, serta karakteristik reservoir dan pompa. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi tiga parameter utama, yaitu tekanan pada junction, kecepatan aliran dalam pipa, dan kehilangan energi pada jaringan. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menilai kemampuan sistem dalam mendistribusikan air secara stabil ke seluruh zona pelayanan.

Model hidraulika kemudian dibangun menggunakan EPANET 2.2 berdasarkan konfigurasi jaringan, elevasi junction, panjang pipa, diameter pipa, koefisien kekasaran, kebutuhan debit, reservoir, dan sistem pemompaan. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi distribusi tekanan, kecepatan aliran, serta kehilangan energi pada seluruh jaringan distribusi.



Gambar 4. Model jaringan distribusi air bersih pada EPANET
Sumber : Hasil pemodelan EPANET 2.2, 2026

Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh komponen jaringan telah saling terhubung sesuai dengan konfigurasi perencanaan. Model hidraulika berhasil melakukan perhitungan distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi pada setiap ruas pipa sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja sistem distribusi air bersih.

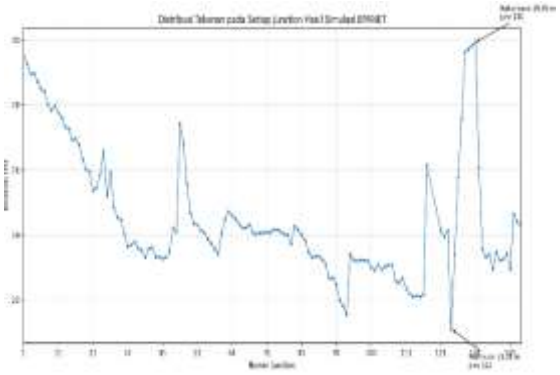
Parameter hidraulika yang dianalisis meliputi tekanan pada junction, kecepatan aliran dalam pipa, dan kehilangan energi (unit headloss). Ketiga parameter tersebut merupakan indikator utama untuk menilai apakah sistem distribusi air bersih telah memenuhi kriteria pelayanan teknis.

3.3 Evaluasi Tekanan pada Junction

Tekanan pada junction merupakan salah satu parameter utama untuk mengevaluasi kemampuan jaringan dalam menyalurkan air menuju seluruh titik pelayanan. Tekanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan air tidak mencapai titik pelayanan, sedangkan tekanan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

kebocoran dan kerusakan komponen jaringan. Oleh karena itu, hasil tekanan pada seluruh junction dianalisis untuk mengetahui tingkat pelayanan hidraulika sistem yang direncanakan. Hasil simulasi terhadap 141 junction menunjukkan bahwa tekanan berada pada rentang 21,11–29,93 m. Tekanan minimum sebesar 21,11 m terjadi pada Junc 124, sedangkan tekanan maksimum sebesar 29,93 m terjadi pada Junc 131. Selisih tekanan antara kedua titik tersebut sebesar 8,82 m. Variasi tekanan dipengaruhi oleh perbedaan elevasi junction, jarak terhadap sumber tekanan, debit kebutuhan pada setiap cabang, panjang dan diameter pipa, serta kehilangan energi yang terjadi sepanjang jaringan.



Gambar 5. Distribusi Tekanan pada Setiap Junction Hasil Simulasi EPANET
Sumber: Hasil pemodelan EPANET 2.2, 2026

Gambar 5 menunjukkan bahwa seluruh junction menunjukkan tekanan positif pada kondisi simulasi, sehingga model memperlihatkan ketersediaan energi tekan pada seluruh titik pelayanan pada kondisi simulasi. Tekanan minimum sebesar 21,11 m setara dengan sekitar 2,11 bar, sedangkan tekanan maksimum sebesar 29,93 m setara dengan sekitar 2,99 bar. Rentang tekanan tersebut menunjukkan bahwa sistem pemompaan dengan head rencana 30 m masih mampu menyediakan tekanan pelayanan pada seluruh jaringan yang dimodelkan.

Tekanan minimum pada Junc 124 menunjukkan bahwa titik tersebut menerima energi tekan lebih rendah dibandingkan junction lainnya. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh posisi junction yang lebih jauh dari sumber tekanan, elevasi yang lebih tinggi, atau akumulasi kehilangan energi pada ruas-ruas pipa yang dilalui sebelum aliran mencapai titik tersebut. Sebaliknya, tekanan maksimum pada Junc 131 menunjukkan bahwa kehilangan energi menuju titik tersebut relatif lebih kecil atau elevasi junction relatif lebih rendah. Interpretasi tersebut perlu dicocokkan kembali dengan elevasi dan posisi kedua junction pada model EPANET agar penyebab perbedaan tekanan dapat dijelaskan berdasarkan kondisi jaringan yang sebenarnya.

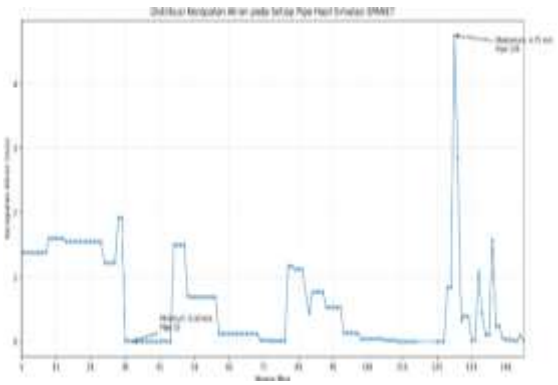
Tidak ditemukannya tekanan negatif menunjukkan bahwa konfigurasi jaringan, diameter pipa, dan head pompa yang digunakan dalam model mampu mempertahankan kontinuitas tekanan pada seluruh titik pelayanan. Hasil ini lebih baik dibandingkan penelitian Adji dan Amalia (2023), yang menemukan tekanan negatif pada jam pemakaian kritis pada jaringan distribusi kawasan industri. Perbedaan hasil dapat dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan, besar kebutuhan, diameter pipa, elevasi wilayah, serta karakteristik sistem pemompaan yang digunakan.

Meskipun seluruh junction memiliki tekanan positif, hasil tersebut belum secara langsung membuktikan bahwa sistem telah optimal. Penilaian kinerja jaringan juga harus mempertimbangkan kecepatan aliran dan unit headloss pada setiap ruas pipa. Selain itu, tekanan yang diperoleh masih merupakan hasil simulasi dan belum dikalibrasi menggunakan data pengukuran tekanan lapangan. Oleh karena itu, verifikasi lapangan tetap diperlukan sebelum rancangan diterapkan pada tahap konstruksi dan operasional.

Selain tekanan pada junction, kinerja hidraulika jaringan juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran pada setiap ruas pipa.

3.4 Evaluasi Kecepatan Aliran

Evaluasi kecepatan diperlukan untuk mengidentifikasi ruas dengan aliran sangat rendah maupun ruas yang mengalami kecepatan berlebih.



Gambar 6. Distribusi Kecepatan Aliran pada Setiap Pipa Hasil Simulasi EPANET
Sumber: Hasil pemodelan EPANET 2.2, 2026

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

Gambar 6 menunjukkan distribusi kecepatan aliran pada setiap ruas pipa berdasarkan hasil simulasi EPANET. Nilai kecepatan aliran pada jaringan berada pada rentang 0,00–4,75 m/s. Kecepatan minimum sebesar 0,00 m/s teridentifikasi pada Pipe 33, sedangkan kecepatan maksimum sebesar 4,75 m/s terjadi pada Pipe 126. Variasi kecepatan tersebut dipengaruhi oleh perbedaan debit aliran, diameter pipa, pola pembagian kebutuhan air, serta posisi setiap ruas dalam jaringan distribusi.

Kecepatan yang relatif rendah pada beberapa ruas menunjukkan bahwa debit yang melewati pipa tersebut sangat kecil atau aliran berada dalam kondisi mendekati stagnan. Kondisi ini perlu diperhatikan karena kecepatan yang terlalu rendah dapat meningkatkan potensi pengendapan dan memperpanjang waktu tinggal air di dalam pipa. Sementara itu, kecepatan maksimum sebesar 4,75 m/s pada Pipe 126 tergolong tinggi sehingga ruas tersebut perlu dievaluasi lebih lanjut terhadap diameter pipa, debit yang dilayani, serta potensi kehilangan energi yang terjadi.

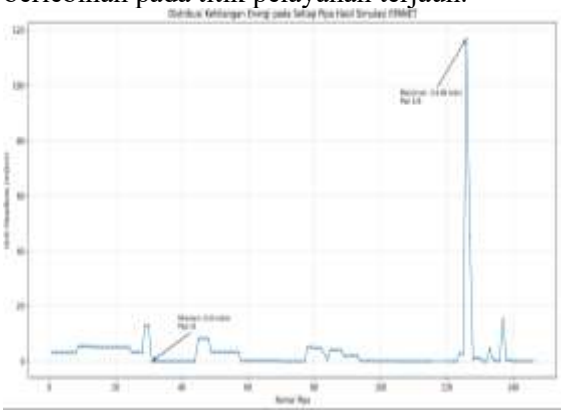
Dengan demikian, meskipun jaringan secara umum dapat mendistribusikan air menuju seluruh zona pelayanan, hasil simulasi menunjukkan adanya beberapa ruas dengan kecepatan sangat rendah dan satu ruas dengan kecepatan relatif tinggi. Ruas-ruas tersebut perlu menjadi titik perhatian dalam penyempurnaan desain agar sistem distribusi memiliki kondisi hidraulika yang lebih seragam dan efisien.

Distribusi tekanan yang relatif stabil menunjukkan bahwa kombinasi antara diameter pipa, konfigurasi jaringan, elevasi lokasi, serta kapasitas pompa telah mampu menjaga keseimbangan energi hidraulik sepanjang jaringan distribusi. Tekanan yang berada pada rentang hasil simulasi menunjukkan bahwa air masih dapat dialirkan menuju seluruh junction tanpa mengalami tekanan negatif. Kondisi ini penting untuk menjamin kontinuitas pelayanan, mengurangi potensi masuknya kontaminan akibat tekanan rendah, serta meningkatkan keandalan sistem distribusi air bersih pada kawasan industri.

Variasi kecepatan aliran pada setiap ruas pipa dipengaruhi oleh perubahan debit yang mengalir dan diameter pipa yang digunakan. Ruas dengan debit lebih besar cenderung memiliki kecepatan yang lebih tinggi apabila diameter pipa tidak bertambah secara proporsional. Sebaliknya, ruas dengan debit relatif kecil akan menghasilkan kecepatan aliran yang rendah. Oleh karena itu, pemilihan diameter pipa harus mempertimbangkan keseimbangan antara kapasitas aliran, kehilangan energi, dan efisiensi operasi sistem distribusi.

3.5 Evaluasi Kehilangan Energi

Kehilangan energi merupakan penurunan tinggi energi yang terjadi selama air mengalir di dalam pipa. Besarnya kehilangan energi dipengaruhi oleh panjang dan diameter pipa, debit aliran, koefisien kekasaran, serta keberadaan aksesoris jaringan. Evaluasi headloss diperlukan untuk memastikan bahwa kehilangan energi tidak menyebabkan penurunan tekanan yang berlebihan pada titik pelayanan terjauh.



Gambar 7. Distribusi Unit Headloss pada Setiap Pipa Hasil Simulasi EPANET Sumber: Hasil pemodelan EPANET 2.2, 2026

Gambar 7 menunjukkan distribusi kehilangan energi (unit headloss) pada setiap ruas pipa berdasarkan hasil simulasi EPANET. Nilai kehilangan energi bervariasi dari 0,00 m/km hingga 116,88 m/km. Nilai minimum terjadi pada Pipe 31, sedangkan nilai maksimum terjadi pada Pipe 126. Perbedaan kehilangan energi tersebut dipengaruhi oleh debit aliran, diameter pipa, panjang pipa, serta karakteristik hidraulik jaringan distribusi.

Sebagian besar ruas pipa memiliki nilai unit headloss yang relatif kecil sehingga kehilangan energi akibat gesekan masih tergolong rendah. Akan tetapi, terdapat lonjakan yang sangat tinggi pada Pipe 126, yang mengindikasikan ruas tersebut menerima debit besar atau memiliki kondisi hidraulik yang menyebabkan gesekan lebih tinggi dibandingkan ruas lainnya.

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

Kondisi ini perlu menjadi perhatian dalam evaluasi desain karena kehilangan energi yang besar akan meningkatkan kebutuhan tekanan pompa dan dapat menurunkan efisiensi sistem distribusi air.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan distribusi mampu mengalirkan air ke seluruh wilayah pelayanan, namun beberapa ruas dengan kehilangan energi tinggi perlu dievaluasi lebih lanjut untuk memperoleh distribusi tekanan yang lebih merata dan meningkatkan efisiensi operasional sistem.

Besarnya kehilangan energi dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, debit aliran, serta kekasaran permukaan pipa. Pada beberapa ruas dengan debit relatif besar, nilai unit headloss meningkat akibat bertambahnya gesekan antara air dan dinding pipa. Meskipun demikian, Tekanan positif pada seluruh junction menunjukkan bahwa keseimbangan energi model masih tercapai pada kondisi simulasi. Namun, nilai unit headloss yang tinggi pada ruas tertentu harus dianalisis berdasarkan panjang ruas untuk memperoleh kehilangan energi aktual, kemudian dibandingkan dengan head pompa dan tekanan sisa jaringan.

3.6 Interpretasi Kinerja Hidraulika

Secara umum hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem distribusi air bersih yang direncanakan telah mampu memenuhi fungsi pelayanan dasar, yaitu mengalirkan air menuju seluruh titik pelayanan dengan tekanan positif. Walaupun masih dijumpai beberapa ruas dengan kecepatan atau kehilangan energi yang relatif tinggi, kondisi tersebut hanya terjadi pada ruas tertentu sehingga dapat diperbaiki melalui optimasi diameter pipa tanpa mengubah konfigurasi jaringan secara keseluruhan. Dengan demikian, hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi jaringan dapat digunakan sebagai model awal perencanaan, tetapi ruas dengan kecepatan dan unit headloss ekstrem harus dioptimasi dan disimulasikan kembali sebelum rancangan digunakan sebagai dasar pelaksanaan sistem distribusi air bersih kawasan industri.

3.7 Perencanaan Reservoir dan Sistem Pemompaan

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan air dan simulasi hidraulika menggunakan EPANET, sistem distribusi air bersih pada Kawasan Industri Medan Deli memerlukan fasilitas penyimpanan air (reservoir) dan sistem pemompaan untuk menjaga kontinuitas pelayanan kepada seluruh tenant. Reservoir berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara yang menyeimbangkan fluktuasi antara debit produksi dan debit pemakaian air, sedangkan sistem pemompaan berfungsi memberikan tekanan yang cukup agar air dapat didistribusikan ke seluruh jaringan perpipaan.

Hasil perencanaan menunjukkan bahwa kebutuhan air kawasan industri mencapai 486.320 m^3/bulan atau sekitar 187,62 L/s. Berdasarkan desain teknis yang digunakan sebagai sumber data, sistem dilengkapi dua unit reservoir dengan kapasitas masing-masing 1.500 m^3 atau total 3.000 m^3. Kapasitas tersebut berfungsi sebagai penyimpanan dan penyeimbang operasional, tetapi kecukupannya terhadap fluktuasi kebutuhan jam-jaman belum dievaluasi karena data pola pemakaian dan skenario operasi reservoir tidak tersedia secara lengkap. Reservoir menggunakan tipe Glass Fused Steel Tank (GFST) dengan diameter 19,611 m dan tinggi 5,45 m. Pemilihan tipe reservoir tersebut mempertimbangkan kemudahan pemasangan, ketahanan terhadap korosi, serta biaya pemeliharaan yang relatif rendah dibandingkan reservoir beton konvensional.

Sistem distribusi air menggunakan pompa sentrifugal (centrifugal pump) sebagai pompa distribusi utama. Berdasarkan hasil perhitungan hidraulika, Pompa distribusi direncanakan dengan head nominal 30 m. Pada model simulasi, nilai tersebut menghasilkan tekanan junction sekitar 21,11–29,93 m. Namun, pemilihan pompa akhir tetap memerlukan kurva hubungan debit-head, efisiensi, daya, Net Positive Suction Head, kondisi pipa hisap, serta skenario operasi beberapa pompa. Head pompa yang direncanakan dipilih agar mampu mengatasi kehilangan energi sepanjang jaringan distribusi sekaligus mempertahankan tekanan pelayanan pada seluruh junction. Dengan mempertimbangkan elevasi jaringan dan kebutuhan debit, sistem pemompaan mampu memberikan energi yang cukup sehingga distribusi air tetap berlangsung secara kontinu menuju seluruh blok pelayanan. Kombinasi reservoir dan pompa memberikan dasar konfigurasi sistem distribusi, tetapi kinerjanya pada jam puncak masih harus diperiksa melalui simulasi periode panjang.

Selain memenuhi kebutuhan operasional, keberadaan reservoir juga meningkatkan

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

keandalan sistem distribusi karena mampu menyediakan cadangan air apabila terjadi gangguan pasokan dari sumber utama. Sistem ini juga memberikan fleksibilitas dalam pengoperasian pompa sehingga umur peralatan menjadi lebih panjang dan konsumsi energi dapat dikendalikan.

Gambar 8. Situasi Rencana Reservoir
Sumber: Dokumen peneliti, 2026

Gambar 8 menunjukkan lokasi penempatan reservoir pada kawasan industri. Reservoir ditempatkan pada lokasi yang mudah diakses serta berada dekat dengan rumah pompa sehingga kehilangan energi pada pipa hisap dan pipa tekan dapat diminimalkan. Penempatan tersebut juga memudahkan kegiatan operasi dan pemeliharaan sistem distribusi air.

Gambar 9. Tata Letak Reservoir dan Rumah Pompa
Sumber: Dokumen teknis perencanaan, diolah peneliti, 2026

Gambar 9 memperlihatkan tata letak dua unit reservoir beserta fasilitas pendukungnya. Layout dirancang agar distribusi air menuju jaringan utama berlangsung efisien, menyediakan ruang yang memadai untuk akses inspeksi dan pemeliharaan, serta memungkinkan pengembangan kapasitas penyimpanan apabila kebutuhan air kawasan industri meningkat pada masa mendatang.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan head pompa 30 m pada model menghasilkan tekanan junction sebesar 21,11–29,93 m pada skenario yang dianalisis. Namun, hasil tersebut belum cukup untuk menetapkan kapasitas pompa akhir maupun membuktikan kecukupan reservoir terhadap fluktuasi kebutuhan. Pemilihan pompa akhir masih harus didasarkan pada kurva debit–head, efisiensi, daya, NPSH, kondisi pipa hisap, serta skenario operasi pompa. Kapasitas reservoir juga perlu diperiksa menggunakan pola kebutuhan jam-jaman, waktu pengisian, waktu pengosongan, cadangan operasional, dan kebutuhan darurat. Reservoir tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara, tetapi juga berperan sebagai penyeimbang fluktuasi kebutuhan air selama periode operasi. Secara fungsi, reservoir dapat membantu menyeimbangkan perbedaan antara suplai dan kebutuhan serta menyediakan volume penyangga selama operasi pompa. Besarnya kemampuan penyangga tersebut tetap bergantung pada muka air awal, pola kebutuhan, pola pengisian, dan skenario operasi pompa. Oleh karena itu, reservoir menjadi salah satu komponen penting dalam menjaga stabilitas sistem distribusi secara keseluruhan.

3.8 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa konfigurasi jaringan mampu mempertahankan tekanan positif pada seluruh titik pelayanan untuk skenario simulasi yang digunakan. Namun, evaluasi kecepatan dan unit headloss mengidentifikasi beberapa ruas yang masih memerlukan pemeriksaan dan optimasi. Total kebutuhan air yang harus dilayani sebesar 486.320 m³/bulan atau sekitar 187,62 L/s, kemudian didistribusikan melalui jaringan distribusi utama (JDU) sepanjang 2.750 m dan jaringan distribusi bagi (JDB) sepanjang 2.661,80 m. Sistem tersebut didukung oleh dua unit reservoir berkapasitas masing-masing 1.500 m³ dan pompa sentrifugal dengan head 30

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

m sehingga mampu mempertahankan tekanan pelayanan pada seluruh jaringan.

Hasil penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian Rachmat Hidayat Dairi (2022) yang menggunakan EPANET sebagai perangkat lunak analisis hidraulika dalam perencanaan jaringan distribusi air bersih. Perbedaannya terletak pada sistem pengaliran yang digunakan. Penelitian Rachmat Hidayat Dairi menerapkan sistem gravitasi pada wilayah permukiman, sedangkan penelitian ini menggunakan sistem pemompaan karena karakteristik kawasan industri memerlukan tekanan distribusi yang lebih stabil untuk memenuhi kebutuhan air setiap tenant.

Penelitian ini juga memiliki kesamaan dengan penelitian Faiz Muflih (2024) yang melakukan analisis hidraulika jaringan distribusi air menggunakan perangkat lunak pemodelan. Namun, penelitian tersebut menggunakan WaterCAD, sedangkan penelitian ini menggunakan EPANET sebagai perangkat lunak simulasi. Selain itu, penelitian Faiz Muflih berfokus pada pelayanan air bersih kawasan permukiman, sedangkan penelitian ini difokuskan pada kawasan industri yang memiliki kebutuhan air lebih besar dan pola konsumsi yang berbeda.

Dibandingkan dengan penelitian Hesti Kalensun (2016), penelitian ini memiliki kesamaan dalam penggunaan reservoir sebagai komponen utama sistem distribusi air bersih. Perbedaannya terletak pada skala pelayanan dan metode distribusi. Penelitian Hesti Kalensun menggunakan sistem gravitasi untuk melayani kebutuhan masyarakat, sedangkan penelitian ini memadukan reservoir dan pompa sentrifugal untuk memenuhi kebutuhan air kawasan industri dengan kapasitas yang jauh lebih besar.

Penelitian Muhammad Purnama Adji dan Aussie Amalia (2023) menunjukkan bahwa beberapa ruas jaringan mengalami tekanan berlebih, kecepatan aliran yang tidak memenuhi kriteria, bahkan tekanan negatif pada jam-jam tertentu akibat tingginya kebutuhan air. Berbeda dengan penelitian tersebut, hasil simulasi EPANET pada penelitian ini menunjukkan tekanan jaringan berada pada kisaran 21,11–29,93 m tanpa tekanan negatif sehingga sistem distribusi yang direncanakan mampu memberikan pelayanan yang lebih stabil terhadap seluruh tenant kawasan industri. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi berupa desain jaringan distribusi air bersih yang tidak hanya menentukan dimensi pipa berdasarkan kebutuhan air, tetapi juga mengintegrasikan simulasi hidraulika, perencanaan reservoir, serta sistem pemompaan dalam satu rancangan yang komprehensif. Pendekatan tersebut menghasilkan sistem distribusi yang memenuhi kebutuhan debit, menjaga tekanan pelayanan, serta meningkatkan keandalan distribusi air pada kawasan industri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan pemodelan menggunakan EPANET mampu memberikan evaluasi hidraulika yang komprehensif sebagaimana dilaporkan oleh Adji dan Amalia (2023) serta Muflih (2024). Namun demikian, penelitian ini memiliki ruang lingkup yang lebih luas karena tidak hanya mengevaluasi parameter hidraulika, tetapi juga mengintegrasikan analisis kebutuhan air 42 tenant, pembagian jaringan menjadi JDU dan JDB, perencanaan reservoir, serta sistem pemompaan dalam satu model perencanaan. Dibandingkan penelitian terdahulu, kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan model untuk wilayah pelayanan 42 tenant industri dengan kebutuhan yang bervariasi serta penggabungan analisis kebutuhan air, pembagian JDU dan JDB, penggunaan diameter dalam pipa HDPE, evaluasi tekanan, kecepatan, unit headloss, dan komponen reservoir serta pompa. Meskipun tekanan positif telah diperoleh pada seluruh junction, ditemukannya beberapa ruas dengan parameter ekstrem menunjukkan bahwa pemodelan hidraulika harus dilanjutkan dengan pemeriksaan input, optimasi diameter, dan simulasi ulang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, kebutuhan air pada wilayah pelayanan 42 tenant sebesar 486.320 m^3/bulan atau setara dengan debit rata-rata 187,62 L/s pada asumsi operasi 30 hari per bulan dan 24 jam per hari. Jaringan Distribusi Utama direncanakan menggunakan pipa HDPE berdiameter nominal 600, 500, dan 300 mm dengan panjang total 2.750 m, sedangkan Jaringan Distribusi Bagi menggunakan diameter nominal 300 dan 200 mm dengan panjang total 2.661,80 m. Hasil simulasi EPANET menunjukkan tekanan seluruh junction berada pada rentang 21,11–29,93 m dan tidak ditemukan tekanan negatif pada skenario simulasi.

p-ISSN 2714-9021
e-ISSN 2714-9013

Rentang tekanan tersebut menunjukkan bahwa seluruh junction masih memenuhi tekanan pelayanan minimum menurut kriteria perencanaan sistem distribusi air bersih. Nilai tekanan relatif seragam karena konfigurasi jaringan menggunakan pola distribusi bercabang dengan variasi elevasi yang tidak terlalu besar. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa distribusi tekanan pada jaringan telah mampu memberikan pelayanan yang stabil pada seluruh titik pelayanan tanpa mengalami kehilangan tekanan yang menyebabkan tekanan negatif.

Meskipun demikian, beberapa ruas menunjukkan kecepatan sangat rendah, kecepatan tinggi, atau unit headloss ekstrem sehingga konfigurasi belum dapat dinyatakan optimal. Sistem dilengkapi dua reservoir berkapasitas masing-masing 1.500 m^3 dan pompa dengan head rencana 30 m berdasarkan dokumen teknis perencanaan. Kecukupan reservoir dan pemilihan pompa akhir belum dapat ditetapkan hanya dari simulasi kondisi tunggal karena masih memerlukan pola kebutuhan jam-jaman, kurva debit–head pompa, efisiensi, NPSH, serta skenario operasi. Oleh karena itu, model perlu diverifikasi, ruas bermasalah perlu dioptimasi, dan simulasi periode panjang perlu dilakukan sebelum rancangan digunakan sebagai dasar pelaksanaan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Universitas Surakarta dan pihak-pihak yang telah mendukung penyediaan data serta penyusunan penelitian ini.

4. DAFTAR PUSTAKA

American Water Works Association. (2017). M55: PE Pipe–Design and Installation (2nd ed.). American Water Works Association.

Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 19-6728.1-2002: Penyusunan Neraca Sumber Daya Air. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 7509:2011 Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum. Badan Standardisasi Nasional.

Dairi, R. H. (2022). Analisis jaringan distribusi air bersih menggunakan EPANET pada Kecamatan Mawasangka Timur. Jurnal Teknik Sipil, 11(2), 45–54.

Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2018). Pedoman Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kalensun, H., Kawet, L., & Halim, F. (2016). Perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih di Kelurahan Pangolombian Kecamatan Tomohon Selatan. Jurnal Sipil Statik, 4(2), 105–115.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). Peraturan Menteri PUPR Nomor 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta.

Muflih, F. (2024). Analisis jaringan distribusi air bersih menggunakan WaterCAD pada sistem penyediaan air minum. Jurnal Teknik Sipil, 15(1), 20–31.

Purnama Adji, M., & Amalia, A. (2023). Evaluasi kinerja jaringan distribusi air bersih menggunakan EPANET pada kawasan industri. Jurnal Rekayasa Sipil, 19(1), 56–67.

Rossman, L. A. (2020). EPANET 2.2 User Manual. United States Environmental Protection Agency (EPA).

Triatmodjo, B. (2019). Hidraulika II (Edisi Revisi). Beta Offset.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Pedoman Teknis Penyelenggaraan SPAM. Direktorat Jenderal Cipta Karya.