

PERENCANAAN SISTEM DISTRIBUSI AIR BERSIH DI KAMPUNG TUMBIT MELAYU KECAMATAN TELUK BAYUR KABUPATEN BERAU KALIMANTAN TIMUR MENGGUNAKAN SOFTWARE EPANET 2.2

Muhammad Kurnia Ardiansyah¹, Azizah Rokhmawati², Budi Santoso³

Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: 22101051017@gmail.com

Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: azizah.rachmawati@unisma.ac.id

Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

e-mail: budisan@unisma.ac.id

ABSTRACT

Hingga saat ini, jaringan distribusi air bersih yang layak belum tersedia di Kampung Tumbit Melayu, Kecamatan Teluk Bayur, Kabupaten Berau. Kondisi ini membuat sekitar 3.256 warga (data 2024) terus mengandalkan sumur gali, tampungan air hujan, dan air sungai untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Untuk mengatasi persoalan tersebut, studi ini menyusun rancangan sistem distribusi air bersih berbasis EPANET 2.2 yang mencakup proyeksi jumlah penduduk periode 2025–2035, perhitungan kebutuhan air, penetapan dimensi pipa, hingga pengujian kinerja hidrauliknya. Di antara tiga metode proyeksi yang dibandingkan, metode aritmatika terpilih sebagai yang paling sesuai ($r = 0,933$), dengan hasil proyeksi 5.502 jiwa dan debit puncak 8,25 L/s pada tahun 2035. Sistem dirancang berupa jaringan bercabang berbahan pipa HDPE ($C = 130$) yang terdiri atas 31 *junction*, satu *reservoir* (+12 m), satu bak penampung (+45 m), serta dua unit pompa. Hasil simulasi memperlihatkan tekanan berkisar 33,03–68,64 mH₂O, kecepatan aliran 0,28–0,74 m/s, dan unit headloss 1,33–10,39 m/km, dengan seluruh nilai tersebut memenuhi ketentuan SNI 7509:2011 maupun pedoman Ditjen Cipta Karya 2007.

Keywords: *Clean Water Distribution, EPANET 2.2, Population Projection, Hydraulic Simulation, HDPE Pipe*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Akses terhadap air bersih pada dasarnya adalah hak dasar setiap warga negara sekaligus prasyarat utama bagi kehidupan masyarakat yang sehat. Sayangnya, hak tersebut masih jauh dari terpenuhi di sebagian besar wilayah pedesaan Indonesia, sehingga kesenjangan layanan air minum antara kota dan desa tetap menjadi persoalan yang belum terselesaikan hingga kini. Hal ini sejalan dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 18 Tahun 2007, yang mengamanatkan pemerintah daerah untuk mengembangkan sistem penyediaan air minum secara bertahap dan terencana [1].

Persoalan tersebut tampak jelas di Kampung Tumbit Melayu, Kecamatan Teluk Bayur, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, tempat 3.256 jiwa penduduk (data 2024) belum

terlayani jaringan perpipaan air bersih secara terorganisasi. Untuk kebutuhan sehari-hari, warga masih mengandalkan sumur gali, tampungan air hujan, dan air sungai, yang membawa dua konsekuensi sekaligus, yaitu ketidakpastian pasokan saat musim kemarau serta risiko kontaminasi yang dapat mengganggu kesehatan [2].

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, perencanaan jaringan distribusi air kerap memanfaatkan EPANET 2.2, sebuah perangkat lunak buatan U.S. Environmental Protection Agency yang mampu menggambarkan perilaku hidraulika jaringan pipa secara komprehensif, mencakup pola sebaran tekanan, kecepatan aliran, hingga kehilangan tinggi energi [3][4]. Kemampuan simulasi tersebut memungkinkan dimensi pipa maupun kapasitas pompa ditetapkan secara lebih akurat sebelum tahap konstruksi berlangsung, sehingga investasi

infrastruktur yang dibangun menjadi lebih efisien dan tepat sasaran.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Jaringan distribusi air bersih yang terkelola secara baik belum tersedia di Kampung Tumbit Melayu.
2. Analisis kuantitatif terhadap kebutuhan air, baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang, belum pernah dilakukan.
3. Evaluasi tekanan dan debit jaringan berdasarkan standar SNI melalui analisis hidraulik EPANET 2.2 juga belum pernah diterapkan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Seperti apa gambaran kondisi eksisting penyediaan dan distribusi air bersih yang berlangsung di Kampung Tumbit Melayu saat ini?
2. Bagaimana rancangan sistem distribusi air bersih yang optimal dapat disusun dengan bantuan Software EPANET 2.2?
3. Berapa besar dimensi pipa yang diperlukan agar jaringan air bersih mampu memenuhi kebutuhan masyarakat?

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini dibatasi hanya pada perencanaan sistem distribusi air bersih menggunakan *software* EPANET 2.2, dengan cakupan berikut:

1. Detail instalasi pengolahan air minum (IPA) tidak dibahas dalam penelitian ini
2. Data yang dipakai mencakup kondisi topografi wilayah, kebutuhan air masyarakat, serta parameter teknis pipa.
3. Analisis dibatasi pada kondisi operasional normal dan tidak mencakup skenario kegagalan sistem.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi kondisi eksisting penyediaan dan distribusi air bersih di Kampung Tumbit Melayu.
2. Menyusun rancangan sistem distribusi air bersih yang optimal dengan bantuan EPANET 2.2.

3. Menetapkan dimensi pipa jaringan air bersih yang paling optimal.

1.6 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan kontribusi referensi ilmiah di bidang teknik sipil, terutama pada kajian perencanaan distribusi air bersih berbasis simulasi EPANET.
2. Menjadi masukan bagi pemerintah daerah dalam merencanakan pembangunan sistem distribusi air bersih di Kampung Tumbit Melayu, sekaligus turut mendukung pencapaian target SDGs poin ke-6.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Secara administratif, Kampung Tumbit Melayu berada di Kecamatan Teluk Bayur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur, dengan luas wilayah kurang lebih 3.686 hektar. Wilayah ini berbatasan dengan Kampung Bena Baru (Kecamatan Sambaliung) di sisi utara, Kampung Tumbit Dayak (Kecamatan Sambaliung) di sisi timur dan selatan, serta Kampung Labanan Makmur (Kecamatan Teluk Bayur) di sisi barat. Topografinya didominasi perbukitan yang mencakup sekitar 65% luas wilayah, sedangkan sisanya (35%) berupa dataran yang dimanfaatkan sebagai lahan pertanian dan permukiman.

Pergantian dua musim, kemarau dan penghujan, turut memengaruhi ketersediaan sekaligus kualitas air di wilayah ini. Debit air cenderung menurun tajam saat kemarau, sehingga perencanaan sistem distribusi perlu memperhitungkan cadangan yang mencukupi. Mayoritas penduduk Kampung Tumbit Melayu—yang berjumlah 3.256 jiwa pada 2024—bekerja di sektor pertanian. Karakteristik topografi berbukit di wilayah ini menjadi salah satu faktor penentu dalam menetapkan elevasi reservoir, kapasitas pompa, serta jalur pipa distribusi.

2.2 Metode Proyeksi Penduduk

Untuk memperkirakan besarnya kebutuhan air pada masa mendatang, diperlukan proyeksi pertumbuhan penduduk. Tiga pendekatan yang lazim dipakai untuk

keperluan ini adalah metode Aritmatika, Geometrik, dan Eksponensial.

Metode Aritmatika cocok diterapkan pada daerah dengan pola pertumbuhan penduduk yang relatif konstan, dengan persamaan $P_n = P_0 + (K_a \times n)$; P_n menyatakan jumlah penduduk pada tahun ke- n , P_0 jumlah penduduk pada tahun awal, K_a laju pertumbuhan penduduk per tahun, dan n selang waktu proyeksi (tahun), sementara K_a sendiri diperoleh dari $K_a = (P_n - P_0) / n$.

Sementara itu, metode Geometrik dirumuskan sebagai $P_n = P_0 (1 + r)^n$, dengan r sebagai laju pertumbuhan penduduk (%) dan n jumlah tahun proyeksi, sedangkan metode Eksponensial mengandalkan pendekatan regresi linier $\hat{Y} = a + bX$, dengan konstanta a dan b diperoleh melalui perhitungan statistik terhadap data historis penduduk.

Penentuan metode terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien korelasi (r) yang dihitung melalui $r = [n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)] / \sqrt{\{[n\sum y^2 - (\sum y)^2][n\sum x^2 - (\sum x)^2]\}}$, kemudian metode dengan nilai r paling mendekati satu dipilih sebagai dasar proyeksi.

2.3 Kriteria Kebutuhan Air Bersih

Merujuk pada SNI 6728.1:2015 serta pedoman Ditjen Cipta Karya (2007), standar kebutuhan air bersih domestik ditetapkan berdasarkan kategori wilayah pelayanan seperti tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Air Berdasarkan Kategori Wilayah

No	Kategori Wilayah	Jumlah Penduduk (jiwa)	Kebutuhan (L/orang/hari)
1	Metropolitan	> 1.000.000	150
2	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	120
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	100
4	Kota Kecil	25.000 – 100.000	90
5	Ibukota Kecamatan	10.000 – 25.000	60
6	Pedesaan	< 10.000	50

Sumber: SNI 6728.1:2015 dan Ditjen Cipta Karya, 2007

Dengan jumlah penduduk 3.256 jiwa (2024), Kampung Tumbit Melayu masuk dalam kategori Pedesaan, sehingga standar kebutuhan domestik yang berlaku adalah 50 L/orang/hari, kebutuhan non-domestik diasumsikan 20% dari nilai tersebut, dan kehilangan air (water loss) ditetapkan sebesar 20% dari total kebutuhan keseluruhan.

2.4 Koefisien Hazen-Williams dan Kriteria Pipa

Besarnya kehilangan tinggi tekanan pada pipa dianalisis menggunakan persamaan Hazen-Williams $Q = 0,2785 \times C \times d^{2w63} \times S^{0w54}$, dengan Q sebagai debit aliran (L/detik), C koefisien kekasaran pipa, d diameter pipa (m), dan S kemiringan hidraulis (m/m). Nilai koefisien C untuk beberapa jenis material pipa dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Koefisien Hazen-Williams Beberapa Jenis Pipa

No	Jenis Material Pipa	Nilai C
1	Pipa HDPE	130
2	Pipa PVC	120–140
3	Asbes Cement	120
4	Ductile Cast Iron (DCIP)	110
5	Besi Tuang (CIP)	110
6	Pipa Baja (Steel Pipe)	110

Sumber: EPANET 2.2 User's Manual (Rossman, 2000)

Perencanaan ini menggunakan pipa berbahan HDPE dengan koefisien $C = 130$, yang mengindikasikan permukaan dinding pipa yang relatif licin sehingga gesekan dan kehilangan energinya kecil. Adapun parameter hidraulis acuan mengikuti pedoman Ditjen Cipta Karya (2007), yaitu tekanan minimum 10 mH₂O, tekanan maksimum 80 mH₂O, kecepatan aliran minimum 0,3 m/detik, kecepatan maksimum 3,0 m/detik, dan batas kehilangan tekanan maksimum 15 m/km.

2.5 Sistem Pengaliran dalam Distribusi

Pada dasarnya terdapat tiga alternatif sistem pengaliran yang dapat diterapkan dalam distribusi air minum. Sistem Gravitasi diterapkan ketika elevasi sumber air berada

lebih tinggi dibandingkan daerah layanan, sehingga air dapat mengalir secara alami tanpa bantuan pompa; sistem ini tergolong paling hemat dari sisi biaya operasional dan pemeliharaan.

Apabila beda tinggi antara sumber air dan daerah layanan belum mampu menghasilkan tekanan yang memadai, Sistem Pemompaan menjadi pilihan, di mana pompa berfungsi mendorong aliran air; sistem ini dapat diwujudkan melalui pemompaan menuju elevated reservoir maupun pemompaan langsung. Adapun Sistem Kombinasi memadukan prinsip gravitasi dan pemompaan sekaligus, disesuaikan dengan kondisi topografi daerah layanan.

Mengacu pada kondisi tersebut, Kampung Tumbit Melayu menerapkan sistem kombinasi, yaitu pompa dipakai untuk mengalirkan air dari sumber (intake sungai) menuju bak penampung pada elevasi +45 m, kemudian air diteruskan secara gravitasi ke seluruh junction melalui jaringan pipa primer, sekunder, dan tersier.

2.6 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk untuk kurun waktu 2025–2035 pada studi ini disusun melalui tiga pendekatan, yaitu metode aritmatika, geometrik, dan eksponensial, dengan koefisien korelasi (r) sebagai parameter pembanding—metode yang nilai r -nya paling mendekati satu selanjutnya dijadikan dasar proyeksi [5].

Merujuk SNI 6728.1:2015 [6], kebutuhan domestik untuk kawasan pedesaan ditetapkan sebesar 50 L/orang/hari, sedangkan kebutuhan non-domestik diperhitungkan sebesar 20% darinya, dan kehilangan air (water loss) diasumsikan 20% dari total kebutuhan domestik maupun non-domestik. Debit desain sistem kemudian diperoleh dengan menerapkan faktor hari maksimum ($F_{\max} = 1,3$) dan faktor jam puncak ($F_{\text{peak}} = 1,8$) [1].

2.7 Pemodelan EPANET 2.2

Simulasi pada EPANET 2.2 memerlukan sejumlah data masukan, di antaranya elevasi masing-masing junction (7–22 m), head reservoir (+12 m), elevasi bak penampung (+45 m), dimensi serta panjang pipa, dan koefisien kekasaran Hazen-Williams $C = 130$, ditambah kurva pompa ($H-Q$) dan pola fluktuasi

kebutuhan air selama 24 jam dengan faktor puncak 1,8 pada pukul 17.00. Pendekatan Extended period simulation (EPS) dipilih supaya dinamika hidraulik jaringan dapat diamati secara rinci sepanjang satu siklus operasi penuh [7].

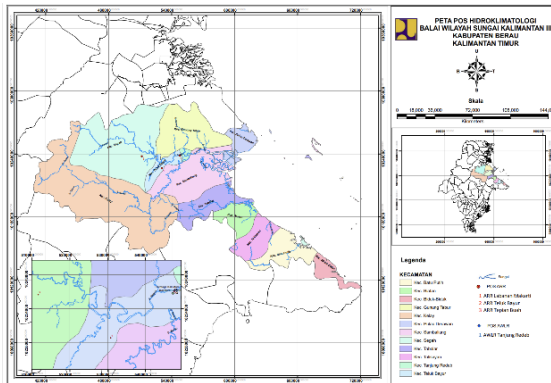
Pada prinsipnya, fungsi utama jaringan distribusi air bersih adalah mengalirkan air dari sumber atau reservoir menuju seluruh wilayah layanan tanpa mengabaikan standar tekanan dan debit yang berlaku, yakni tekanan layanan minimum 10 mH₂O dan maksimum 80 mH₂O [7], serta kecepatan aliran pipa yang idealnya dijaga pada rentang 0,3–1,5 m/s guna mencegah sedimentasi sekaligus menghindari pemborosan energi akibat gesekan berlebih.

Sejumlah penelitian terdahulu turut menegaskan keandalan EPANET sebagai alat bantu perencanaan distribusi air di kawasan pedesaan. Evaluasi berbasis EPANET memungkinkan identifikasi dini terhadap titik-titik jaringan yang tekanan atau kecepatannya berada di luar batas standar [3], dengan hasil yang lebih dapat dipercaya dibandingkan perhitungan empiris tanpa simulasi [8]. Di lingkup Indonesia, pendekatan simulasi numerik seperti ini juga terbukti efektif diterapkan baik untuk perencanaan maupun evaluasi sistem air bersih perdesaan [9][10]. Nilai lebih penelitian ini dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya terletak pada penggunaan EPANET versi 2.2 yang paling mutakhir, keterpaduan antara proyeksi kependudukan dan analisis hidraulika, serta pemanfaatan SNI 7509:2011 dan Permen PU No. 18/2007 sebagai acuan evaluasi [11].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Pendekatan

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik, dengan lokasi kajian di Kampung Tumbit Melayu, Kecamatan Teluk Bayur, Kabupaten Berau—kawasan seluas kurang lebih 3.686 hektar yang topografinya terdiri atas 65% perbukitan dan 35% dataran rendah. Variasi relief tersebut menjadi salah satu pertimbangan utama dalam menentukan elevasi reservoir, kapasitas pompa, dan jalur jaringan pipa.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: Google Earth, 2026

3.2 Pengumpulan Data

Data primer dikumpulkan melalui survei langsung ke lapangan serta pendokumentasian kondisi eksisting sumber air, sedangkan data sekunder terdiri atas: (1) data jumlah penduduk periode 2020–2024 yang bersumber dari BPS Kecamatan Teluk Bayur; (2) peta kontur topografi wilayah; (3) data debit sumber air baku; dan (4) ketentuan teknis SNI 6728.1:2015 beserta Permen PU No. 18/2007.

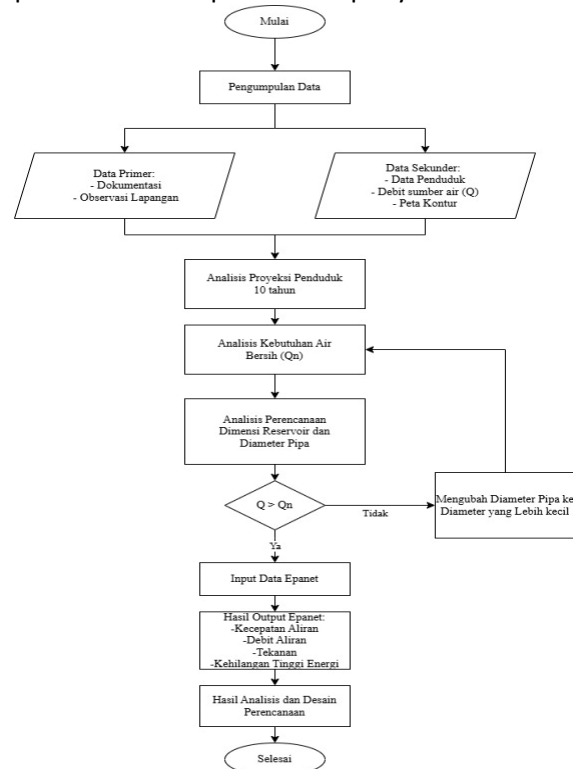
3.3 Tahapan Analisis

Secara garis besar, tahapan analisis pada penelitian ini terdiri atas empat langkah, yaitu: (1) menyusun proyeksi penduduk periode 2025–2035 melalui metode Aritmatika, Geometrik, dan Eksponensial, dengan metode terpilih ditentukan berdasarkan nilai r tertinggi; (2) menghitung kebutuhan air domestik (50 L/orang/hari), non-domestik (20% dari domestik), kehilangan air (20%), $Q_{hmax} = 1,3 \times Q_r$, dan $Q_{peak} = 1,8 \times Q_r$; (3) menetapkan dimensi pipa melalui persamaan $Q = V \times A$ yang kemudian dikonversi ke diameter standar HDPE yang tersedia di pasaran (25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110 mm); serta (4) melakukan pemodelan dan simulasi Extended Period Simulation (EPS) selama 24 jam pada EPANET 2.2, sekaligus mengevaluasi hasilnya terhadap standar SNI 7509:2011 dan Ditjen Cipta Karya 2007.

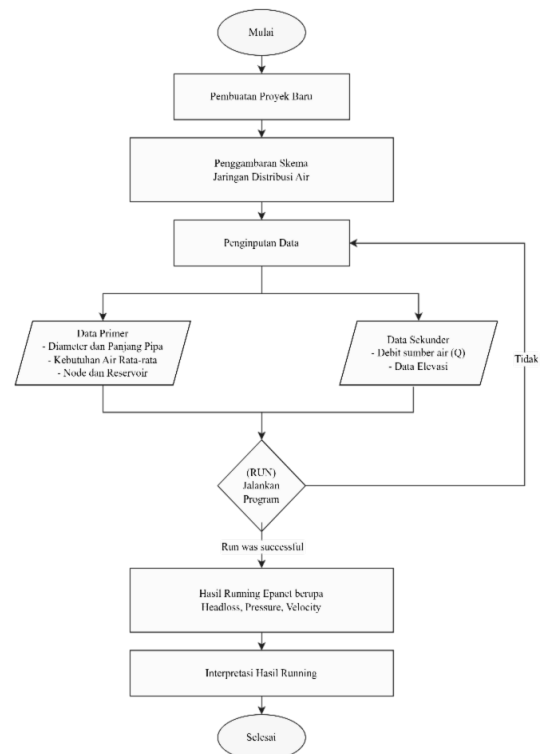
3.4 Tahapan Penelitian

Alur penelitian ini diawali dengan perumusan masalah, dilanjutkan studi pustaka, pengumpulan data, proyeksi penduduk, perhitungan kebutuhan air, perencanaan

jaringan pipa, pemodelan pada EPANET 2.2, evaluasi kinerja hidraulis, dan diakhiri dengan penarikan kesimpulan serta penyusunan saran.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Dokumen Pribadi, 2026



Gambar 3. Diagram Alir EPANET 2.2
Sumber: Penelitian, 2026

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Eksisting

Survei lapangan yang dilakukan mengungkap lima temuan utama terkait kondisi air bersih di Kampung Tumbit Melayu. Pertama, jaringan distribusi air yang dikelola secara kelembagaan belum tersedia. Kedua, seluruh kebutuhan air warga masih mengandalkan sumur gali, tampungan air hujan, dan sungai. Ketiga, jarak antara sumber air dan permukiman bervariasi cukup lebar, yakni 100 hingga 500 meter. Keempat, air yang dikonsumsi warga belum melalui proses pengolahan yang layak. Kelima, debit sejumlah sumur menurun tajam ketika musim kemarau tiba, sehingga ketersediaan air menjadi semakin sulit diprediksi.

4.2 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk

Data historis jumlah penduduk periode 2020–2024 dijadikan basis proyeksi, dengan angka yang bergerak dari 2.603 jiwa pada 2020 menjadi 3.256 jiwa pada 2024. Melalui metode aritmatika, laju pertumbuhan penduduk rata-rata tercatat mencapai 6,27% per tahun, dan hasil proyeksi ketiga metode untuk periode 2025–2035 selengkapnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Proyeksi Jumlah Penduduk Kampung Tumbit Melayu 2025–2035

No	Tahun	Aritmatika	Geometrik	Eksponensial
1	2025	3.460	3.480	3.473
2	2026	3.664	3.720	3.705
3	2027	3.868	3.977	3.951
4	2028	4.072	4.251	4.215
5	2029	4.276	4.544	4.496
6	2030	4.480	4.857	4.795
7	2031	4.684	5.192	5.115
8	2032	4.888	5.550	5.456
9	2033	5.092	5.932	5.820
10	2034	5.296	6.341	6.207
11	2035	5.502	6.778	6.621

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

Pemilihan metode terbaik didasarkan pada perbandingan nilai koefisien korelasi seperti tertuang pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Koefisien Korelasi Ketiga Metode Proyeksi

No	Metode Proyeksi	Koefisien Korelasi (r)
1	Aritmatika	0,933
2	Geometrik	0,885
3	Eksponensial	0,865

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

Tabel 4 memperlihatkan keunggulan metode aritmatika dengan koefisien korelasi $r = 0,933$, mengungguli metode geometrik ($r = 0,885$) dan eksponensial ($r = 0,865$), sehingga metode ini dipilih sebagai acuan proyeksi. Berdasarkan hasilnya, jumlah penduduk diperkirakan meningkat dari 3.460 jiwa pada 2025 menjadi 5.502 jiwa pada 2035, dengan penambahan linier sekitar 204 jiwa setiap tahunnya.

4.3 Kebutuhan Air Bersih

Berikut disajikan rangkuman proyeksi kebutuhan air untuk seluruh komponen pada awal (2025) dan akhir (2035) periode perencanaan, dengan mengacu pada hasil proyeksi metode Aritmatika.

Angka Qpeak tahun 2035 yang sebesar 8,25 L/detik dijadikan dasar utama dalam menetapkan kapasitas seluruh komponen jaringan distribusi. Qhmax diperoleh dengan mengalikan kebutuhan rata-rata dengan faktor hari maksimum ($fmd = 1,3$), sementara Qpeak dihasilkan melalui faktor jam puncak ($fpeak = 1,8$), keduanya sesuai kategori penduduk 1.000–10.000 jiwa menurut SNI 6728.1:2015.

Seluruh komponen kebutuhan air, baik domestik, non-domestik, maupun kehilangan air, dihitung berdasarkan hasil proyeksi metode aritmatika, dengan debit rata-rata (Qr) meningkat dari 2,88 L/s pada 2025 menjadi 4,59 L/s pada 2035. Pada tahun 2035 tersebut, debit hari maksimum (Qhmax) tercatat 5,96 L/s, sementara debit jam puncak (Qpeak) mencapai 8,25 L/s, yang kemudian dijadikan patokan debit desain bagi seluruh komponen sistem.

Tabel 5. Rekapitulasi Proyeksi Kebutuhan Air Bersih 2025 dan 2035

Komponen	Satuan	2025	2035
Jumlah Penduduk	jiwa	3.460	5.502
Kebutuhan Domestik (Qd)	L/detik	2,00	3,18
Kebutuhan Non-Domestik (Qn)	L/detik	0,40	0,64
Kehilangan Air (Qa)	L/detik	0,48	0,76
Kebutuhan Rata-rata (Qr)	L/detik	2,88	4,59
Debit Hari Maksimum (Qhmax)	L/detik	3,74	5,96
Debit Jam Puncak (Qpeak)	L/detik	5,18	8,25

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

4.3.1 Sumber Air Baku (Intake)

Air permukaan (sungai) di sekitar wilayah tersebut dijadikan sumber air baku dalam perencanaan sistem distribusi air bersih di Kampung Tumbit Melayu. Penentuan titik intake didasarkan pada hasil survei lapangan dengan mempertimbangkan ketersediaan debit, kemudahan akses, jarak ke permukiman, serta elevasi yang memungkinkan pengaliran air, baik secara gravitasi maupun dengan bantuan pompa.

Elevasi sumber air (reservoir) dimodelkan pada +12 m dari datum dalam EPANET 2.2. Mengingat topografi Kampung Tumbit Melayu yang bergelombang dengan rentang elevasi 7–22 m, distribusi air ke seluruh wilayah layanan membutuhkan bantuan dua unit pompa. Debit andalan yang dipakai sebagai basis perencanaan adalah kebutuhan air jam puncak tahun 2035, yaitu $Q_{peak} = 8,25$ L/detik, di mana air dari intake sungai dipompakan melalui pipa transmisi HDPE Ø110 mm menuju bak penampung pada elevasi +45 m, sebelum akhirnya didistribusikan secara gravitasi ke 31 junction layanan.

4.3.2 Perhitungan Dimensi Pipa

Penetapan dimensi pipa menjadi salah satu tahap krusial dalam perencanaan sistem distribusi air bersih. Diameter pipa dihitung berdasarkan persamaan kontinuitas $Q = V \times A$ dengan kecepatan aliran referensi sebagai

acuan, lalu hasilnya dibulatkan ke diameter standar HDPE yang beredar di pasaran sesuai SNI 06-4829-2005. Debit desain yang dipakai adalah Q_{peak} tahun 2035 sebesar 8,25 L/detik, dengan koefisien Hazen-Williams $C = 130$.

Tabel 6. Distribusi Debit Rencana per Jenis Pipa

No	Jenis Pipa	Q Desain (L/detik)
1	Transmisi	8,25
2	Primer	3,50
3	Sekunder (Ø63 mm)	1,09
4	Sekunder (Ø50 mm)	0,73
5	Tersier	0,36

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

Nilai diameter teoritis diperoleh melalui persamaan $D = \sqrt[4]{(4Q / \pi \cdot V)}$; misalnya pada pipa transmisi ($Q = 8,25$ L/detik; $V = 0,56$ m/detik) diperoleh $D = \sqrt[4]{(4 \times 0,00825 / \pi \times 0,56)} = 0,137$ m atau setara 136,96 mm, yang kemudian dibulatkan menjadi diameter standar 110 mm. Ukuran ini terbukti optimal berdasarkan hasil simulasi EPANET, dengan kecepatan 0,56 m/detik dan headloss 3,67 m/km yang keduanya memenuhi standar yang berlaku.

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Diameter Pipa Rencana

No	Jenis Pipa	Q (L/s)	V Ref (m/s)	D Teoritis (mm)	D Rencana (mm)	V Aktual (m/s)
1	Transmisi	8,25	0,56	136,96	110	0,87
2	Primer	3,50	0,55	90,00	90	0,55
3	Sekunder (Ø63)	1,09	0,35	63,00	63	0,35
4	Sekunder (Ø50)	0,73	0,37	50,00	50	0,37
5	Tersier	0,36	0,45	32,00	32	0,45

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

Kehilangan tinggi energi kemudian diverifikasi menggunakan persamaan Hazen-Williams $S = (Q / 0,2785 \times C \times D^{2w63})^{1/0w54}$ dan $hf = S \times L \times 1000$ (m/km), dan hasilnya memperlihatkan bahwa seluruh ruas pipa berada di bawah batas maksimum headloss 15 m/km yang disyaratkan SNI 7509:2011.

Tabel 8. Verifikasi Unit Headloss Pipa Rencana

No	Jenis Pipa	D (mm)	Q (L/s)	V (m/s)	HL Hitung (m/km)	HL EPANET (m/km)	Evaluasi
1	Transmisi	110	8,25	0,87	8,39	3,67	Memenuhi
2	Primer	90	3,50	0,55	5,12	1,86–7,80	Memenuhi
3	Sekunder	50–63	0,73–1,09	0,35–0,37	4,27–9,72	1,33–6,45	Memenuhi
4	Tersier	32	0,36	0,45	9,83	9,58–10,39	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

Tabel 9. Rekapitulasi Spesifikasi Pompa Distribusi

No	Pompa	Fungsi	Debit Rencana (L/s)	Head Pompa (m)	Efisiensi (%)	Daya Terhitung (kW)	Daya Terpasang (HP)
1	Pompa 1 (Utama)	Menaikkan air dari intake menuju bak penampung, beroperasi pada jam puncak	4,13	46,31	65	2,89	4
2	Pompa 2 (Booster)	Menjaga tekanan dan kontinuitas aliran pada jam pemakaian menengah/minimum	2,06	26,49	65	0,82	1,5

Sumber: Hasil Perhitungan, 2026

4.3.3 Detail Spesifikasi Pompa Distribusi

Spesifikasi teknis pompa distribusi disusun berdasarkan kriteria debit pompa menurut SNI 6728.1:2015, dipadukan dengan hasil simulasi hidraulika EPANET 2.2. Kedua unit pompa bertugas menaikkan air dari sumber (elevasi +12 m) ke bak penampung (elevasi +45 m) sekaligus mengompensasi kehilangan energi sepanjang pipa transmisi, dengan debit Pompa 1 ditetapkan 50% dari Q_{peak} dan Pompa 2 sebesar 25% dari Q_{peak} . Mengacu pada Q_{peak} tahun 2035 sebesar 8,25 L/s, diperoleh debit Pompa 1 = 4,13 L/s dan Pompa 2 = 2,06 L/s.

Perhitungan daya pompa mengacu pada persamaan daya hidrolis $P = (\rho \times g \times Q \times H) / (1000 \times \eta)$, dengan $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, serta efisiensi pompa (η) diasumsikan sebesar 65% untuk tipe sentrifugal skala kecil-menengah. Dengan head hasil simulasi EPANET sebagai acuan, diperoleh daya Pompa 1 sebesar 2,89 kW ($\approx 4 \text{ HP}$) dan Pompa 2 sebesar 0,82 kW ($\approx 1,5 \text{ HP}$), dengan rekapitulasi spesifikasi kedua pompa ditampilkan pada tabel berikut.

Hasil perhitungan daya tersebut kemudian dibulatkan ke ukuran motor standar

terdekat yang tersedia di pasaran, dengan tambahan faktor koreksi keamanan 10–15%. Mengingat karakteristik debit dan head yang tergolong kecil, jenis pompa sentrifugal (*centrifugal pump*) *horizontal single stage* dinilai paling sesuai untuk kedua unit, mengingat tipe ini umum dipakai pada sistem penyediaan air bersih skala perdesaan karena perawatannya mudah dan suku cadangnya tersedia luas. Meski demikian, penentuan tipe dan merek pompa aktual di lapangan tetap perlu dikonfirmasi lebih lanjut menggunakan kurva pompa (*pump curve*) dari katalog produsen, agar titik operasi tepat berada pada perpotongan antara kurva pompa dan kurva sistem hasil pemodelan EPANET 2.2.

4.3.4 Data Input EPANET 2.2

Sebelum simulasi dijalankan, seluruh hasil perhitungan perencanaan dimasukkan terlebih dahulu ke dalam model EPANET 2.2, mencakup parameter junction (elevasi), pipa (panjang, diameter, C), pompa (kurva H-Q), bak penampung (elevasi +45 m), reservoir (head +12 m), serta pola fluktuasi kebutuhan air

selama 24 jam dengan faktor puncak 1,8 pada pukul 17.00.

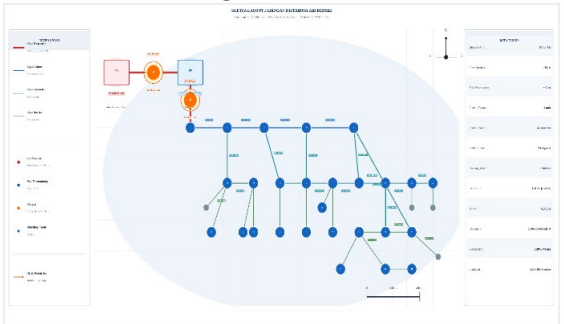
Tabel 10. Rekapitulasi Data Input EPANET 2.2

Parameter Input	Nilai/Keterangan
Jumlah Junction	31 titik (elevasi 7–22 m dpl)
Head Reservoir	+12 m dpl
Elevasi Bak Penampung	+45 m dpl
Jumlah Pompa	2 unit
Koefisien Hazen-Williams (C)	130 (pipa HDPE)
Debit Jam Puncak (Qpeak)	8,25 L/detik (2035)
Faktor Jam Puncak (fpeak)	1,8 (pukul 17.00)
Durasi Simulasi (EPS)	24 jam
Diameter Pipa	25–110 mm (HDPE)
Jumlah Ruas Pipa	29 ruas

Sumber: Hasil Perencanaan, 2026

4.4 Perencanaan Jaringan Pipa

Mengingat pola permukiman Kampung Tumbit Melayu yang memanjang mengikuti jalur jalan utama desa, jaringan bercabang (branch system) dinilai sebagai pilihan yang paling sesuai, dengan alur distribusi yang direncanakan sebagai berikut: Sumber Air → Pompa → Pipa Transmisi → Bak Penampung (+45 m) → Pipa Primer → Pipa Sekunder → Pipa Tersier → Sambungan Rumah.



Gambar 4. Pemodelan Layout Jaringan Menggunakan EPANET 2.2

Sumber: Hasil Pemodelan EPANET 2.2, 2026

adalah: Sumber Air → Pompa → Pipa Transmisi → Bak Penampung (+45 m) → Pipa Primer →

Pipa Sekunder → Pipa Tersier → Sambungan Rumah.

Secara keseluruhan, jaringan yang dirancang terdiri atas 31 junction, 1 reservoir, 1 bak penampung, 2 unit pompa, dan 29 ruas pipa berdiameter 25–110 mm, dengan material HDPE dipilih karena ketahanannya terhadap korosi, kemudahan pemasangan pada medan berbukit, serta usia pakai yang dapat melampaui 50 tahun [6]. Detail spesifikasi pipa selengkapnya tersaji pada Tabel 3.

Tata letak jaringan distribusi mengikuti pola jalan utama desa dengan sistem percabangan (branching system), di mana reservoir utama berada pada elevasi +12 m sebagai titik suplai awal, sebelum air dipompakan menuju bak penampung pada elevasi +45 m yang berperan sebagai cadangan tekanan bagi wilayah berbukit. Selanjutnya, air mengalir secara gravitasi dari bak penampung melalui pipa primer, sekunder, hingga tersier menuju 31 titik sambungan rumah yang tersebar di sepanjang koridor permukiman. Tata letak semacam ini memungkinkan distribusi berlangsung efisien karena panjang pipa transmisi dapat diminimalkan, sementara tekanan layanan tetap terjaga dalam rentang standar SNI 7509:2011 di seluruh titik simpul.

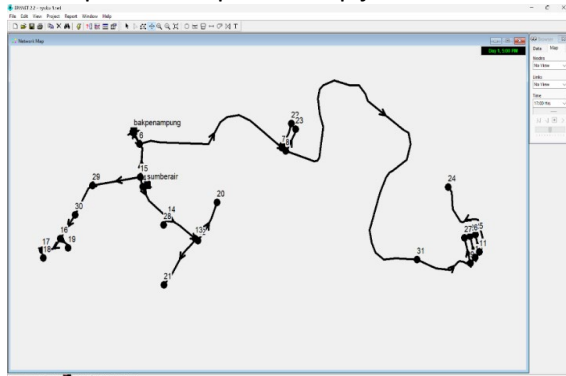
Tabel 11. Spesifikasi Diameter dan Material Pipa Rencana

Jenis Pipa	Diameter (mm)	Material	Nilai C Hazen-Williams	Keterangan
Transmisi	110	HDPE	130	Sumber air ke bak penampung
Primer	75–90	HDPE	130	Bak penampung ke distribusi
Sekunder	50–63	HDPE	130	Distribusi ke blok pelayanan
Tersier	25–40	HDPE	130	Jaringan ke sambungan rumah

Sumber: Hasil Perencanaan, 2026

4.5 Pemodelan EPANET 2.2

Setelah seluruh parameter jaringan ditetapkan, data tersebut dimasukkan ke dalam model EPANET 2.2 untuk menjalankan simulasi berdurasi 24 jam, yang ditandai dengan munculnya notifikasi “Run was successful” sebagai indikasi proses berjalan tanpa kendala. Pemeriksaan hasil dilakukan melalui fitur Network Table – Links untuk mengevaluasi parameter pipa, serta Network Table – Nodes untuk parameter pada setiap junction.

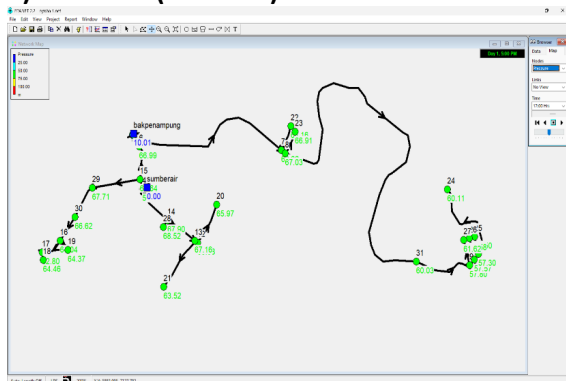


Gambar 5. Pemodelan Layout Jaringan Menggunakan EPANET 2.2

Sumber: Hasil Pemodelan EPANET 2.2, 2026

4.6 Hasil Simulasi Hidraulika

a) Tekanan (Pressure)



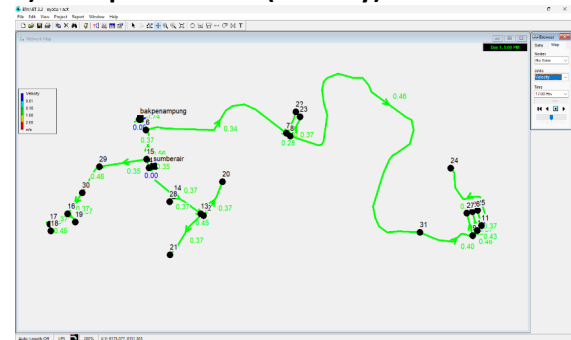
Gambar 6. Distribusi Tekanan (Pressure) pada Seluruh Junction

Sumber: Hasil Simulasi EPANET 2.2, 2026

Pada kondisi jam puncak, tekanan di seluruh junction tercatat berkisar antara 33,03 mH₂O (Junc 32, elevasi 22 m) hingga 68,64 mH₂O (Junc 15, elevasi 12 m). Rentang tersebut berada jauh di atas batas minimum 10 mH₂O yang disyaratkan SNI 7509:2011 [11], namun tetap berada di bawah ambang maksimum 80 mH₂O, dan tidak ditemukan satu pun titik dengan tekanan negatif, sehingga risiko aliran

balik (backflow) yang berpotensi mencemari air distribusi dapat dipastikan tidak terjadi.

b) Kecepatan Aliran (Velocity)

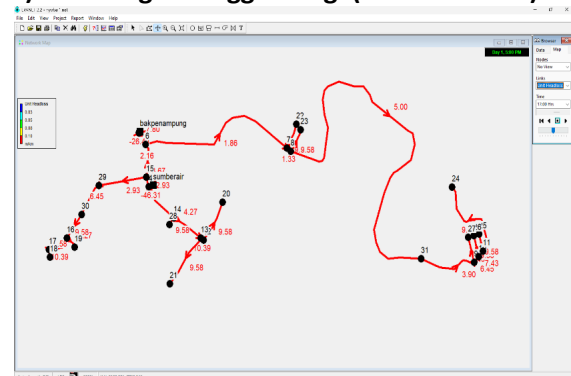


Gambar 7. Kecepatan Aliran (Velocity) pada Ruas Pipa Distribusi

Sumber: Hasil Simulasi EPANET 2.2, 2026

Kecepatan aliran pada jam puncak berada pada rentang 0,28–0,74 m/s. Hanya satu ruas pipa sekunder berdiameter 90 mm yang tercatat sedikit di bawah batas minimal 0,3 m/s, yaitu 0,28 m/s, namun penyimpangan tersebut relatif kecil sehingga belum berpotensi memicu sedimentasi. Adapun ruas-ruas pipa lainnya berada pada kisaran 0,34–0,74 m/s, sejalan dengan rekomendasi Ditjen Cipta Karya 2007.

c) Kehilangan Tinggi Energi (Unit Headloss)



Gambar 8. Unit Headloss pada Ruas Pipa Distribusi

Sumber: Hasil Simulasi EPANET 2.2, 2026

Secara keseluruhan, unit headloss jaringan berada pada rentang 1,33–10,39 m/km, dengan pipa transmisi berdiameter 110 mm mencatat nilai terendah sebesar 3,67 m/km, sementara pipa primer dan sekunder masing-masing berada pada 1,86–7,80 m/km dan 1,33–6,45 m/km. Nilai headloss tertinggi justru ditemukan pada pipa tersier berdiameter 25–32 mm (9,58–10,39 m/km) akibat ukuran diameternya yang lebih kecil, meskipun angka tersebut tetap

berada di bawah batas maksimum 15 m/km sesuai ketentuan SNI 7509:2011.

d) Kontinuitas Pelayanan

Selama simulasi berlangsung 24 jam, seluruh 29 ruas pipa tercatat dalam status aktif (Open) tanpa ada satu pun yang kering atau tertutup, kedua pompa beroperasi normal, dan seluruh 31 junction memperoleh pasokan air secara kontinu bahkan pada saat beban puncak berlangsung.

4.7 Evaluasi Kelayakan Sistem

Penilaian kelayakan sistem secara menyeluruh dilakukan dengan membandingkan seluruh parameter hasil simulasi terhadap standar teknis yang berlaku, dengan rangkuman hasilnya disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Evaluasi Kinerja dan Kelayakan Sistem

Parameter	Standar	Hasil Simulasi	Evaluasi
Kecepatan aliran	0,3–1,5 m/s	0,28–0,74 m/s	Memenuhi
Tekanan minimum	≥ 10 mH ₂ O	33,03 mH ₂ O	Memenuhi
Tekanan maksimum	≤ 80 mH ₂ O	68,64 mH ₂ O	Aman
Tekanan negatif	Tidak boleh	Tidak ada	Aman
Unit headloss	≤ 15 m/km	1,33–10,39	Memenuhi
Kinerja pompa	Tambah head	–26 s.d – 46 m	Berfungsi
Kontinuitas suplai	Seluruh node	Semua terlayani	Layak

Sumber: Hasil Running EPANET 2.2, 2026

Berdasarkan Tabel 12, seluruh parameter hidraulik yang dievaluasi terbukti memenuhi, bahkan sebagian melampaui, kriteria teknis yang ditetapkan, sehingga sistem distribusi air bersih hasil perencanaan ini dapat dinyatakan laik secara hidraulika dan siap diimplementasikan untuk melayani kebutuhan warga Kampung Tumbit Melayu hingga tahun 2035.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Kampung Tumbit Melayu hingga kini belum memiliki infrastruktur distribusi air bersih yang terkelola, sehingga seluruh 3.256 jiwa penduduknya (2024) masih bergantung pada sumur gali, tampungan air hujan, dan sumber air sungai yang rawan tercemar serta mengalami penurunan debit saat kemarau. Untuk menjawab persoalan tersebut, disusun rancangan jaringan distribusi berbahan pipa HDPE dengan diameter 32 mm untuk pipa tersier, 50–63 mm untuk sekunder, 90 mm untuk primer, dan 110 mm untuk pipa transmisi.
2. Hasil simulasi EPANET 2.2 memperlihatkan tekanan berkisar 33,03–68,64 mH₂O, kecepatan aliran 0,28–0,74 m/s, dan unit headloss 1,33–10,39 m/km, dengan seluruh parameter tersebut memenuhi ketentuan SNI 7509:2011 dan Ditjen Cipta Karya 2007, sehingga sistem dinilai layak secara hidraulika untuk dioperasikan.
3. Metode aritmatika ($r = 0,933$) terpilih sebagai pendekatan proyeksi terbaik dengan estimasi penduduk mencapai 5.502 jiwa dan Q_{peak} sebesar 8,25 L/s pada 2035, dan atas dasar itu sistem dirancang berupa jaringan bercabang berpipa HDPE ($C=130$) yang mencakup 31 junction, 1 reservoir (+12 m), 1 bak penampung (+45 m), 2 unit pompa, dan 29 ruas pipa berdiameter 25–110 mm.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan optimasi terhadap diameter pipa tersier yang nilai headloss-nya mendekati batas maksimum, guna meningkatkan efisiensi energi pada jaringan pelayanan.
2. Operasional pompa sebaiknya disesuaikan dengan pola kebutuhan air harian agar konsumsi energi listrik dapat ditekan sekaligus memperpanjang umur pakai peralatan.
3. Pemantauan tekanan dan debit perlu dilakukan secara berkala, minimal setiap enam bulan sekali, guna mendeteksi kebocoran maupun penurunan kinerja jaringan sejak dini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pekerjaan Umum. (2007). Peraturan Menteri PU Nomor 18 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta.
- [2] Azizah, E. N., Noerhayati, E., & Suprpto, B. (2025). Studi Perencanaan Sistem Distribusi Pipa Air Bersih pada Kecamatan Tulangan Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 639–646.
- [3] Susanto, I. S., Nugroho, B. J., & Muhammad, N. F. (2024). Evaluation of the PDAM Tirta Agung Pipe Network at Tuk Ngasinan Subsystem. *Journal Innovation of Civil Engineering*, 5(1), 34–47.
- [4] Rossman, L. A. (2000). EPANET 2 Users Manual. Cincinnati, OH: U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory.
- [5] Purnama, S., Hadisusanto, N., & Widyastuti, M. (2019). Analisis Kebutuhan dan Proyeksi Ketersediaan Air Bersih di Wilayah Perdesaan: Pendekatan Berbasis Pertumbuhan Penduduk dan Standar Konsumsi SNI. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10(1), 45–57.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2015). SNI 6728.1:2015 Penyusunan Neraca Spasial Sumber Daya Alam – Bagian 1: Sumber Daya Air. Jakarta: BSN.
- [7] Ditjen Cipta Karya. (2007). Pedoman Teknis Penyusunan Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- [8] Zalfain, M., Noerhayati, E., & Rahmawati, A. (2024). Mitigating environmental pollution from tofu industry wastewater: Case of Suyanto Tofu Factory, Mojokerto. *Journal Innovation of Civil Engineering*, 2(1), 31–48.
- [9] Noerhayati, E., & Rokhmawati, A. (2021). Studi Perencanaan Jaringan Distribusi Kebutuhan Air Bersih Di Kabupaten Bengkulu Tengah. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-Journal)*, 9(4), 280–292.
- [10] Waspodo, R. S. B., & Susanto, R. H. (2020). Perencanaan Sistem Distribusi Air Bersih Desa Terpencil Menggunakan EPANET: Studi Kasus di Kawasan Pedesaan Sumatera Selatan. *Jurnal Irigasi*, 15(2), 87–98.
- [11] Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 7509:2011 Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta: BSN.