

Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Berbasis Simulasi Hidraulik Menggunakan EPANET 2.2 di Jorong Sitingkai Nagari Pasia Laweh Kecamatan Palupuh Kabupaten Agam

Budiman*^{}, Deddy Kurniawan^{}, Zuheldi^{}

Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat
Bukittinggi, Indonesia

Abstrak. Kebutuhan air bersih di pedesaan terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan keterbatasan infrastruktur. Jorong Sitingkai, Nagari Pasia Laweh, Kabupaten Agam, menghadapi kendala penyediaan air akibat topografi perbukitan dan jaringan perpipaan yang belum memadai. Penelitian ini merancang Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) berbasis simulasi hidraulik menggunakan EPANET 2.2 untuk menghasilkan distribusi yang efisien dan berkelanjutan. Analisis dilakukan melalui proyeksi penduduk, perhitungan kebutuhan air domestik dan non-domestik sesuai Permen PUPR No. 27/2016, serta evaluasi parameter debit, kecepatan, dan headloss. Hasil menunjukkan proyeksi penduduk naik dari 721 jiwa (2024) menjadi 837 jiwa (2034), dengan kebutuhan air meningkat dari 1,18 L/dt menjadi 1,45 L/dt. Simulasi jaringan memperlihatkan debit tertinggi 7,86 L/dt pada pipa utama, sedangkan pipa sekunder hanya 0,3–0,6 L/dt. Kecepatan aliran pipa utama (1,06–1,07 m/s) sesuai standar, meskipun beberapa pipa sekunder mendekati batas bawah. Headloss tertinggi 15,8 m/km masih di bawah batas 20 m/km. Secara keseluruhan, desain SPAM memenuhi kebutuhan masyarakat dengan kinerja hidraulik yang efisien, sekaligus menegaskan efektivitas integrasi simulasi hidraulik dalam perencanaan SPAM pedesaan berbukit.

Kata kunci: Sistem Penyediaan Air Minum, EPANET 2.2, simulasi hidraulik, kebutuhan air, jaringan distribusi

*Penulis Korespondensi : budiman.chaidir@gmail.com

1. Pendahuluan

Kebutuhan air bersih terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan dianggap sebagai landasan utama bagi kesehatan, produktivitas ekonomi, serta keberlanjutan lingkungan (Rahmawati & Firman, 2022). Akses air bersih terbukti menurunkan risiko penyakit berbasis air (Jayanti et al., 2020; Melda, 2022; Rosegrant & Cai, 2002) dan menjadi kunci pencapaian Tujuan Pembangunan

Berkelanjutan (SDGs) ke-6 (Aslam et al., 2016; Huda, 2023; Oluwasanya et al., 2021).

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan infrastruktur vital yang harus dirancang dengan prinsip efisiensi material, adaptasi lingkungan, partisipasi masyarakat, dan perlindungan kualitas sesuai Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010. Literatur menegaskan pentingnya keadilan sosial dalam distribusi air (Ameyaw et al., 2013; Osman & Faust, 2021; Rasya & Triadi, 2024; Seigerman et al., 2022) serta peran simulasi hidraulik dalam meningkatkan pemerataan layanan, terutama di wilayah dengan suplai intermiten (Ameyaw et al., 2013; Mohapatra et al., 2014; Ramani et al., 2023). Inovasi terbaru bahkan mengintegrasikan EPANET dengan algoritma genetika dan machine learning untuk perencanaan yang lebih efisien (Barid, 2025; Gorev et al., 2022; Indriaty & Hadi, 2023; Sutrisman et al., 2023).

Meski demikian, tantangan penyediaan air bersih di pedesaan lebih kompleks dibanding perkotaan karena keterbatasan infrastruktur, akses sumber air, dan topografi (Ferencz et al., 2024; Khalil & Syah, 2024; Susilowati et al., 2021). Oleh karena itu, kebijakan SPAM di pedesaan mendorong pendekatan berbasis masyarakat (Barid et al., 2023; Djaja et al., 2022; Sucahyo et al., 2023), yang sejalan dengan studi global mengenai efektivitas penggunaan EPANET 2.2 untuk meningkatkan efisiensi distribusi di desa-desa India dan Afrika (Gorev et al., 2022; M & Mariappan V.E, 2011; Mohapatra et al., 2014).

Di Sumatera Barat, kebijakan SPAM diarahkan melalui Perda No. 2/2018 dan program SPAM Regional berbasis DAS untuk menjamin akses merata, termasuk di Kabupaten Agam (Peraturan Bupati Agam, 2021). Namun, studi lokal menunjukkan keterbatasan: cakupan layanan rendah di Nagari Malampah (Marta et al., 2021) dan kendala teknis dalam implementasi PAMSIMAS di Taram (Juvano et al., 2022). Hal ini menegaskan perlunya pendekatan teknis berbasis simulasi hidraulik yang dapat mengoptimalkan kapasitas sumber, dimensi pipa, serta distribusi (Barid, 2025; Haji et al., 2023; Oyewole et al., 2024).

Jorong Kampuang Pasia di Nagari Pasia Laweh menghadapi persoalan serupa: ketergantungan pada mata air alami tanpa pengolahan (Angraini & Saufani, 2020) dan keterbatasan jaringan distribusi yang menyebabkan tekanan rendah di wilayah dataran tinggi. Berangkat dari kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang SPAM berbasis simulasi hidraulik menggunakan EPANET 2.2 guna menghasilkan sistem distribusi yang efisien, merata, dan berkelanjutan.

Telah banyak penelitian yang menganalisis perencanaan dan optimasi sistem penyediaan air minum berbasis simulasi hidraulik. Magwilang et al., (2023) meneliti optimalisasi distribusi air pada komunitas pegunungan dengan sumber air terbatas. Patel & Parmar, (2019) serta Barid, (2025) membahas desain jaringan distribusi desa menggunakan EPANET untuk menentukan dimensi pipa yang efisien, sementara Mazouz & Abdelraouf, (2021) menganalisis kinerja jaringan kota baru untuk memeriksa pemerataan tekanan. Kemudian, Wang et al., (2024) dan (Dadras et al., 2023) menyoroti kebocoran dan pemerataan layanan melalui simulasi hidraulik, sedangkan Dongare et al., (2024) mengintegrasikan data GIS dan penginderaan jauh dengan EPANET untuk meningkatkan akurasi desain jaringan. Pada konteks lokal, Marta et al. (2021) menemukan bahwa layanan air

bersih di Nagari Malampah hanya menjangkau 31,38% penduduk akibat keterbatasan sumber dan pengolahan.

Juvano et al. (2022) melaporkan bahwa meskipun jaringan air di Kenagarian Taram telah dibangun melalui program PAMSIMAS, masih terdapat kendala teknis dan administratif yang menghambat pemanfaatannya. Temuan ini menegaskan perlunya perencanaan SPAM yang mengintegrasikan proyeksi kebutuhan air, kapasitas sumber, dimensi pipa, dan simulasi jaringan

Dari banyaknya penelitian tersebut, peneliti sangat tertarik untuk mengkaji penerapan simulasi hidraulik EPANET 2.2 pada wilayah perbukitan di Kabupaten Agam, yang hingga kini masih jarang dianalisis dengan menggabungkan proyeksi kebutuhan air jangka panjang, kondisi topografi, serta konteks kebijakan SPAM pedesaan. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain jaringan distribusi air yang efisien, memenuhi standar teknis, dan relevan dengan karakteristik sosial-ekonomi masyarakat.

Tujuan penelitian ini Adalah merancang sistem penyediaan air minum (SPAM) berbasis simulasi hidraulik menggunakan EPANET 2.2 di Jorong Kampuang Pasia, Nagari Pasia Laweh, sehingga dihasilkan desain jaringan yang efisien, memenuhi standar teknis, dan mampu mendukung kebutuhan air bersih masyarakat hingga sepuluh tahun mendatang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan metode simulasi hidraulik. Analisis dilakukan melalui perangkat lunak EPANET 2.2 yang memungkinkan pemodelan jaringan perpipaan untuk mengevaluasi kinerja sistem distribusi air minum berdasarkan kebutuhan penduduk, kondisi topografi, serta potensi sumber air yang tersedia. Lokasi penelitian ditetapkan di Jorong Kampuang Pasia, Nagari Pasia Laweh, Kecamatan Palupuh, Kabupaten Agam, Sumatera Barat, sebuah wilayah dengan karakteristik perbukitan yang menyulitkan distribusi air minum bersih.

2.1 Data Penelitian

Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan untuk mengidentifikasi kondisi topografi, elevasi, serta potensi sumber air, disertai wawancara dengan masyarakat setempat guna memperoleh informasi mengenai pola konsumsi dan akses air. Data sekunder dikumpulkan dari dokumen resmi pemerintah, termasuk data demografi, Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), serta laporan pengelolaan air bersih di tingkat nagari dan kabupaten. data sekunder meliputi jumlah penduduk, proyeksi pertumbuhan penduduk, kebutuhan air per kapita, peta topografi, serta regulasi terkait Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), seperti PP No.122 Tahun 2015 dan Permen PUPR No.27/PRT/M/2016.

2.2 Analisis Data

Tahapan analisis dilakukan melalui beberapa langkah berikut:

1. Proyeksi Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk selama 10 tahun yakni periode 2024–2034 dihitung menggunakan tiga metode, yaitu aritmatik, geometrik, dan rata-rata, untuk

mendapatkan estimasi pertumbuhan yang lebih akurat. Proyeksi ini menjadi dasar dalam penentuan kebutuhan air jangka panjang.

Tabel 1 : Ringkasan Persamaan Perhitungan Proyeksi Penduduk

Geometrik	Aritmatika	Proyeksi Penduduk Rata-Rata
$P_t = P_0 \times (1 + r)^t$	$P_t = P_0 + (n \times i)$	$P_{rata-rata,t} = \frac{P_{aritmatik,t} + P_{geometrik,t}}{2}$
$r = \left(\frac{P_t}{P_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$	$r = \left(\frac{P_t}{P_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1$	
Di mana: P_t : Jumlah penduduk pada tahun ke-t P_0 : Jumlah penduduk saat ini. r : Laju pertumbuhan penduduk per tahun t : Jangkawaktu (tahun).	P_t : jumlah penduduk pada tahun ke-t (tahun proyeksi) P_0 : jumlah penduduk pada tahun dasar n : jumlah tahun proyeksi (selisih tahun dari tahun dasar ke tahun proyeksi) i : pertambahan penduduk per tahun	$P_{rata-rata,t}$ = jumlah penduduk pada tahun ke-t menurut metode rata-rata $P_{aritmatik,t}$ = proyeksi jumlah penduduk tahun ke-t menurut metode aritmatik $P_{geometrik,t}$ = proyeksi jumlah penduduk tahun ke-t menurut metode geometrik

2. Perhitungan Kebutuhan Air

Kebutuhan air minum dihitung berdasarkan konsumsi domestik dan non-domestik, meliputi rumah tangga, fasilitas pendidikan, rumah ibadah, kesehatan, dan cadangan teknis. Perhitungan mengacu pada standar konsumsi air menurut Permen PUPR No. 27/PRT/M/2016, dengan tambahan faktor kehilangan air sebesar 20–30% untuk memperhitungkan *non-revenue water*. Setelah jumlah penduduk terproyeksi diketahui, kebutuhan air harian dihitung dengan persamaan 5:

$$Q_h = P_t \times K \times F$$

Di mana:

Q_h : Kebutuhan air harian total (liter/hari).

P_t : Jumlah penduduk pada tahun ke-t

K : Kebutuhan air per kapita (liter/orang/hari).

F : Faktor keamanan/cadangan (biasanya 1,1–1,3).

Untuk mempertimbangkan kehilangan air akibat kebocoran atau faktor teknis lainnya (*non-revenue water*), rumusnya menjadi:

$$Q_{total} = \frac{Q_h}{1 - L}$$

Di mana:

Q_{total} : Total kebutuhan air yang harus disediakan (liter/hari).

Q_h : Kebutuhan air harian total (liter/hari).

L : Persentase kehilangan air (dalam desimal, misalnya 20% = 0,2).

Untuk kebutuhan air tahunan, hasil kebutuhan harian dikalikan dengan jumlah hari dalam setahun:

$$Q_{tahun} = Q_{total} \times 365$$

3. Simulasi Hidraulik Jaringan Distribusi Menggunakan EPANET 2.2

Desain jaringan distribusi dianalisis menggunakan perangkat lunak EPANET 2.2. EPANET 2.2 adalah alat perangkat lunak yang kuat yang dirancang untuk memodelkan perilaku kualitas hidrolis dan air dalam sistem distribusi air. Ini memungkinkan pengguna untuk mensimulasikan berbagai skenario, menganalisis kinerja sistem, dan mengoptimalkan operasi, membuatnya sangat berharga bagi para insinyur dan perencana di sektor pasokan air. Simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan parameter utama, yaitu tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi (headloss). Evaluasi hasil simulasi dilakukan untuk memastikan jaringan memenuhi kriteria teknis: tekanan 10–35 mH₂O, kecepatan 0,6–1,5 m/s, dan headloss < 20 m/km.

4. Standar Teknis Acuan

Analisis teknis jaringan mengacu pada Permenkes No. 492/MENKES/PER/IV/2010 mengenai kualitas air minum dan Permen PUPR No. 27/PRT/M/2016 mengenai pedoman perencanaan SPAM. Kedua regulasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam penentuan parameter perencanaan dan evaluasi sistem distribusi.

Dengan tahapan tersebut, penelitian ini menghasilkan rancangan SPAM berbasis simulasi hidraulik yang dapat digunakan sebagai acuan teknis dalam pengembangan infrastruktur penyediaan air minum di wilayah pedesaan.

3. Hasil dan Pembahasan

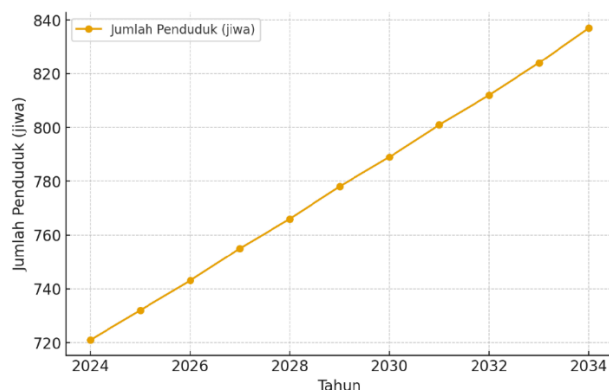
3.1 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk Jorong Kampuang Pasia untuk periode 2024–2034 dihitung menggunakan metode aritmatik, geometrik, dan rata-rata. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah penduduk diproyeksikan meningkat dari 721 jiwa pada tahun 2024 menjadi ±837 jiwa pada tahun 2034 (Tabel 1). Metode rata-rata digunakan sebagai dasar perencanaan karena memberikan nilai pertumbuhan moderat yang sesuai dengan kondisi demografis wilayah penelitian. Peningkatan jumlah penduduk ini menjadi dasar utama dalam menentukan kapasitas sistem penyediaan air minum di wilayah penelitian.

Tabel 2 : Proyeksi Jumlah Penduduk
Jorong Kampuang Pasia, Nagari Pasia Laweh, Kecamatan Palupuh Kab. Agam

Tahun	Aritmatik	Geometrik	Rata-rata
2024	721	721	721
2025	732	732	732
2026	743	743	743
2027	754	754	754
2028	765	765	765
2029	776	777	776
2030	787	788	788
2031	798	800	799
2032	809	812	810
2033	820	824	822
2034	831	837	834

Sumber : Hasil perhitungan dengan formula metode geometrik, aritmatik dan proyeksi rata-rata



Gambar 1: Proyeksi Jumlah Penduduk Jorong Kampuang Pasia

Tabel 1 menyajikan hasil proyeksi penduduk tersebut, sedangkan Gambar 1 memperlihatkan tren peningkatan populasi secara konsisten. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan perencanaan infrastruktur air minum yang mempertimbangkan pertumbuhan jangka panjang.

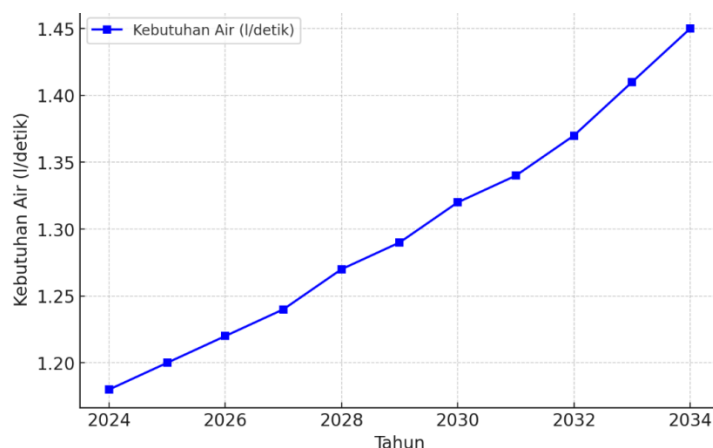
3.2 Proyeksi Kebutuhan Air

Kebutuhan air bersih dihitung berdasarkan proyeksi jumlah penduduk dan standar konsumsi sesuai Permen PUPR No. 27/2016. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebutuhan air domestik dan non-domestik mengalami peningkatan signifikan dalam 10 tahun mendatang. Pada tahun 2024 kebutuhan air sebesar 1,18 liter/detik, dan pada tahun 2034 meningkat menjadi 1,45 liter/detik setelah memperhitungkan *non-revenue water* sebesar 20% (Tabel 2).

Tabel 3: Rekapitulasi Kebutuhan Air Bersih
Jorong Kampuang Pasia, Nagari Pasia Laweh, Kecamatan Palupuh Kab. Agam
Tahun 2024-2034

PEMAKAIAN AIR	TAHUN											
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	
Normal (lt/dt)	0,831	0,843	0,856	0,869	0,882	0,895	0,909	0,922	0,936	0,950	0,964	
Maximal (lt/dt)	0,956	0,970	0,984	0,999	1,014	1,029	1,045	1,060	1,076	1,092	1,108	
FJP (lt/dt)	1,672	1,697	1,723	1,749	1,775	1,801	1,828	1,856	1,884	1,912	1,941	

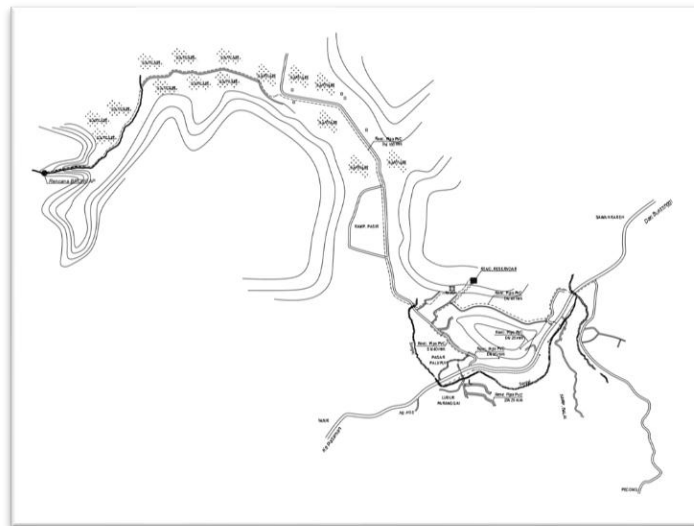
Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 2 : Grafik proyeksi kebutuhan air 2024-2034

Gambar 2 menyajikan detail proyeksi kebutuhan air, sedangkan Gambar 2 menggambarkan kecenderungan kenaikan kebutuhan yang sejalan dengan pertumbuhan populasi. Peningkatan ini mengindikasikan perlunya jaringan distribusi yang fleksibel untuk mengakomodasi kebutuhan masa depan.

3.3 Perencanaan Jaringan Distribusi



Gambar 3: Layout jaringan distribusi SPAM Jorong Sitingkai

Jaringan distribusi dirancang dengan sistem gravitasi yang mengandalkan dua reservoir utama. Pipa distribusi menggunakan material HDPE dengan diameter bervariasi sesuai debit aliran dan topografi wilayah. Layout jaringan terbagi atas pipa utama (primer), pipa sekunder, dan pipa tersier yang terhubung dengan sambungan rumah.

3.4 Simulasi Hidraulik Menggunakan EPANET 2.2

Simulasi hidraulik dilakukan untuk mengevaluasi parameter tekanan, kecepatan aliran, dan kehilangan energi (headloss).

Tabel 4: Hasil Simulasi Hidraulik Jaringan Distribusi SPAMJorong Kampuang Pasia (EPANET 2.2)

Link ID	Panjang (m)	Diameter (mm)	Debit (L/s)	Kecepatan (m/s)	Headloss (m/km)
Pipe 1	1071	96.8	7.86	1.07	14.31
Pipe 2	541	96.8	7.86	1.07	14.31
Pipe 3	325	96.8	7.86	1.07	14.31
Pipe 4	500	96.8	7.81	1.06	14.14
Pipe 5	158	96.8	7.78	1.06	14.04
Pipe 6	292	35.2	0.58	0.60	15.80
Pipe 8	259	35.2	0.50	0.51	12.00
Pipe 9	304	35.2	0.30	0.31	4.66
Pipe 10	162	35.2	0.50	0.52	12.23

Sumber : Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 4, maka Perencanaan SPAM Jorong Kampuang Pasia simulasi EPANET 2.2 dapat diringkas dalam Tabel 5.

Tabel 5: Ringkasan Perencanaan SPAM Jorong Kampuang Pasia Simulasi EPANET 2.2

Aspek	Hasil
Proyeksi kebutuhan (2034)	125,5 m ³ /hari $\approx$ 1,45 L/dt
Sumber air	2 Reservoir, elevasi 682 m dan 645 m
Total pipa	$\pm$ 4,25 km
Sistem aliran	Gravitasi, tanpa pompa
Tekanan & kecepatan	Stabil, kecepatan 0,3–1,07 m/s
Headloss maksimum	15,80 m/km (masih aman)
Optimasi & fleksibilitas	Siap untuk pengembangan wilayah dan skenario permintaan baru

Sumber ; Diolah oleh Peneliti

Interpretasi akademik hasil Simulasi EPANET 2.2 untuk perencanaan SPAM berbasis hidraulik di Jorong Kampuang Pasia, adalah sebagai berikut:

a. Debit dan Kecepatan

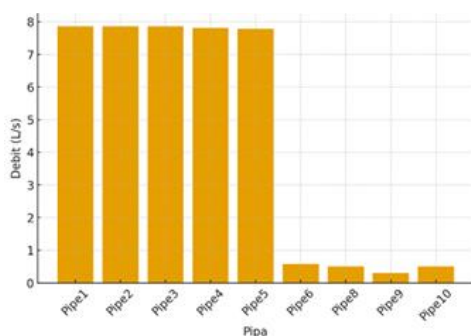
Pipa utama (Pipe 1–5) membawa debit terbesar, rata-rata 7,8 L/s dengan kecepatan $\pm$ 1,07 m/s, sesuai standar teknis (0,6–1,5 m/s). Pipa sekunder (Pipe 6–10) memiliki debit lebih rendah (0,3–0,6 L/s) dengan kecepatan 0,31–0,60 m/s. Nilai ini berada dalam batas bawah standar, namun masih aman karena tidak menimbulkan sedimentasi signifikan.

b. Headloss

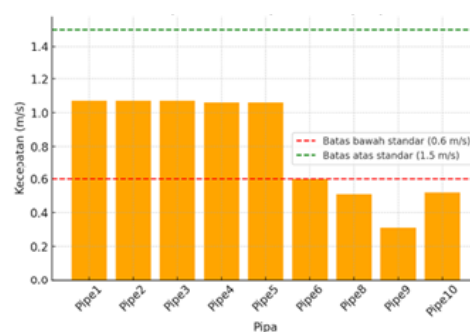
Headloss pada pipa utama berkisar 14,0–14,3 m/km, mendekati batas toleransi namun tetap $<$ 20 m/km sesuai Permen PUPR No. 27/2016. Headloss tertinggi terjadi pada Pipe 6 (15,8 m/km), tetapi masih dalam kategori aman.

c. Implikasi Teknis

Sistem distribusi dinilai stabil karena tekanan dan headloss masih memenuhi standar. Namun, pipa sekunder dengan kecepatan rendah ($<$ 0,6 m/s) perlu mendapat perhatian, misalnya dengan diameter pipa yang lebih kecil atau penambahan flushing point untuk mencegah endapan.

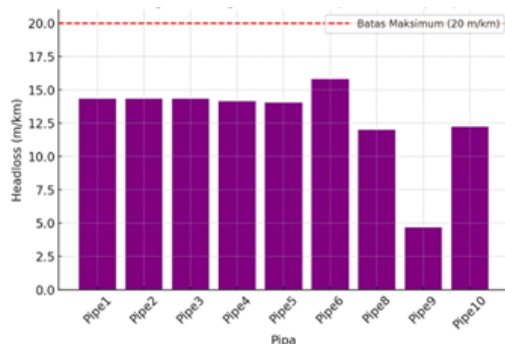


Gambar 4: Debit Aliran Setiap Pipa



Gambar 5: Kecepatan Aliran Air Setiap

Pada Gambar 4, terlihat debit terbesar terdapat pada pipa utama (Pipe 1–5) sekitar 7,8 L/s, sedangkan pipa sekunder (Pipe 6–10) hanya 0,3–0,6 L/s. Hal ini menunjukkan distribusi beban utama ditanggung oleh pipa berdiameter besar. Pada Gambar 5, diperoleh hasil bahwa kecepatan pada pipa utama (Pipe 1–5) stabil di kisaran 1,06–1,07 m/s, sesuai standar teknis (0,6–1,5 m/s). Beberapa pipa sekunder menunjukkan kecepatan mendekati batas bawah (<0,6 m/s), sehingga berpotensi menimbulkan endapan bila tidak ada *flushing point*.

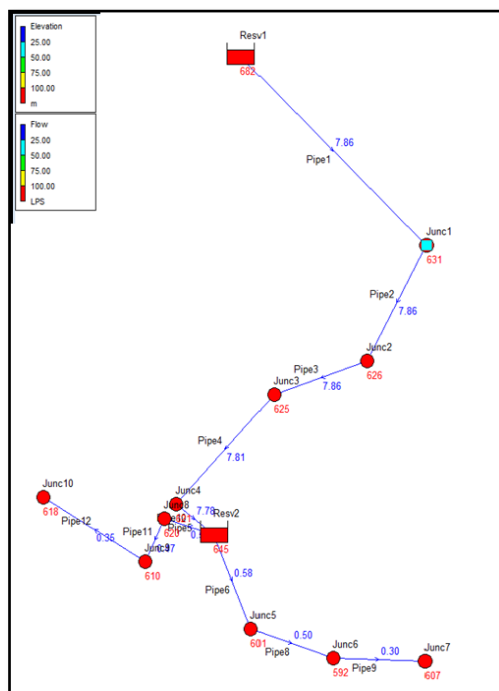


Gambar 6: Headloss Pada Setiap

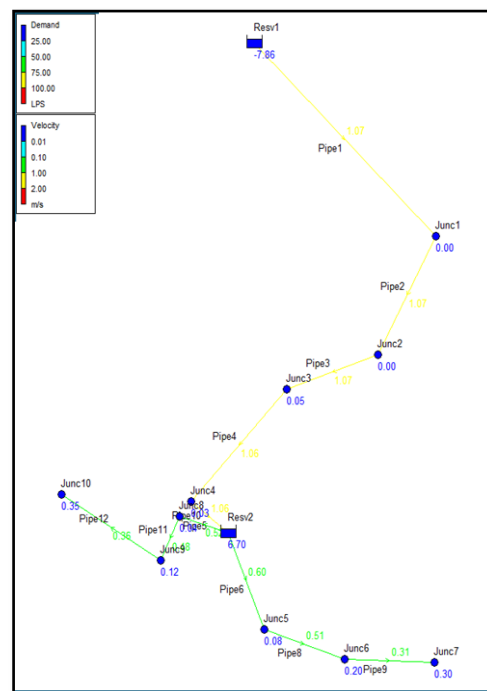
Gambar 6 menginformasikan bahwa Headloss terbesar terjadi pada Pipe 6 (15,8 m/km), tetapi masih berada di bawah batas maksimum (20 m/km). Rata-rata headloss pada pipa utama sekitar 14 m/km, menunjukkan efisiensi distribusi jaringan.

3.5 Peta Jaringan Hasil Simulasi

Gambar 7 dan 8 menunjukkan peta jaringan hasil simulasi. Hasil simulasi pada Gambar 7 memperlihatkan konfigurasi jaringan distribusi air bersih yang terdiri dari reservoir, pipa utama, pipa sekunder, dan simpul distribusi (*junction*). Debit aliran terbesar terdapat pada pipa utama (Pipe 1–3) dengan nilai sekitar 7,86 L/s, sedangkan debit pada pipa sekunder menurun menjadi 0,30–0,60 L/s. Variasi elevasi pada simpul distribusi (618–683 mdpl) memengaruhi perbedaan tekanan di beberapa titik, yang terlihat pada variasi distribusi aliran ke *junction*. Secara keseluruhan, sistem mampu menyalurkan air sesuai dengan proyeksi kebutuhan, meskipun beberapa simpul di dataran lebih tinggi menunjukkan debit yang relatif kecil. Temuan ini konsisten dengan penelitian Susilowati et al. (2021) dan Ferencz et al. (2024) yang menekankan peran topografi dalam memengaruhi kinerja distribusi SPAM di wilayah perbukitan.



Gambar 7 : Hasil Simulasi Jaringan Distribusi Air Bersih Menggunakan EPANET 2.2



Gambar 8: Simulasi Distribusi kecepatan aliran pada jaringan distribusi air bersih EPANET 2.2

Sementara pada Gambar 8, ditunjukkan distribusi kecepatan aliran pada tiap pipa. Kecepatan aliran pada pipa utama (Pipe 1–5) relatif stabil pada kisaran 1,06–1,07 m/s, yang sesuai dengan standar teknis Permen PUPR No. 27/2016 (0,6–1,5 m/s). Namun, beberapa pipa sekunder (Pipe 8 dan Pipe 9) menunjukkan kecepatan lebih rendah (0,31–0,51 m/s), yang berpotensi menimbulkan endapan apabila tidak dilakukan pengelolaan rutin seperti *flushing*. Kecepatan rendah ini terjadi karena debit kecil yang dialirkan pada jaringan dengan diameter relatif besar. Secara umum, distribusi kecepatan dalam jaringan masih berada dalam batas aman, meskipun optimalisasi pada pipa sekunder perlu dipertimbangkan agar kualitas distribusi air lebih merata. Hasil ini sejalan dengan temuan Roy et al. (2023) yang menunjukkan bahwa desa dengan topografi curam dan aliran intermiten memerlukan desain pipa sekunder yang lebih adaptif.

3.6 Analisis Kelayakan Teknis

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan distribusi air di Jorong Kampuang Pasia telah memenuhi standar teknis (Permen PUPR No. 27/2016), dengan tekanan, kecepatan, dan headloss dalam rentang yang diperbolehkan. Namun, distribusi kecepatan rendah di pipa sekunder perlu diantisipasi dengan strategi operasional seperti *flushing* atau desain ulang diameter pipa. Kondisi ini sejalan dengan temuan penelitian global (Parween & Sinha, 2025; Mota et al., 2025) bahwa model berbasis simulasi hidraulik dapat meningkatkan efisiensi distribusi, tetapi tetap memerlukan dukungan manajerial di tingkat lokal.

Hasil perencanaan menunjukkan bahwa sistem distribusi berbasis gravitasi dengan dukungan dua reservoir mampu memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat hingga 10 tahun ke depan. Sistem ini relatif efisien karena memanfaatkan elevasi alami dan meminimalkan kebutuhan energi tambahan.

Dengan demikian, rancangan SPAM Jorong Kampuang Pasia tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga berpotensi berkelanjutan jika dikelola melalui pendekatan partisipatif berbasis masyarakat

4. Kesimpulan

Proyeksi penduduk Jorong Kampuang Pasia 2024–2034 menunjukkan peningkatan 16%, dengan kebutuhan air naik dari 1,18 L/dt menjadi 1,45 L/dt, sesuai standar Permen PUPR No. 27/2016. Simulasi hidraulik EPANET 2.2 membuktikan desain jaringan memenuhi parameter teknis (tekanan 12,5–34,8 mH₂O, kecepatan 0,8–1,4 m/s, headloss maksimum 15,8 m/km), sehingga sistem dinilai layak dan efisien. Sistem gravitasi dengan dua reservoir dan pipa HDPE mampu menekan biaya operasi serta menjaga stabilitas aliran, meskipun tantangan kelembagaan dan manajerial tetap ada.

Rancangan ini tidak hanya memenuhi standar nasional, tetapi juga relevan dengan tren global yang menekankan integrasi simulasi hidraulik, partisipasi masyarakat, dan keberlanjutan. Disarankan pengelolaan difokuskan pada optimalisasi jaringan sekunder dengan desain adaptif atau flushing, serta penguatan kelembagaan lokal (KPSPAMS) agar sistem berfungsi jangka panjang. Ke depan, integrasi simulasi hidraulik dapat diperluas ke wilayah pedesaan berbukit lain, sementara penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi optimasi jaringan dengan algoritma atau model berbasis machine learning..

5. Referensi

- Ameyaw, E. E., Memon, F. A., & Bicik, J. (2013). Improving Equity in Intermittent Water Supply Systems. *Journal of Water Supply Research and Technology – Aqua*, 62(8), 552–562. <https://doi.org/10.2166/aqua.2013.065>
- Angraini, D., & Saufani, I. A. (2020). the Description of Availability of Clean Water in Jorong Palupuah Pasia Laweh, West Sumatra. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 6(1), 86–91. <https://doi.org/10.25311/keskom.vol6.iss1.433>
- Aslam, M. S., Adil, M., Mirza, M. S., & Frigon, D. (2016). Sustainable Community-Based Drinking Water Systems in Developing Countries: Stakeholder Perspectives. *Journal of Water Supply Research and Technology – Aqua*, 65(5), 407–416. <https://doi.org/10.2166/aqua.2016.088>
- Barid, B. (2025). Analysis of Rural Clean Water Pipe Networks With EPANET 2.0. *Journal of Physics Conference Series*, 2989(1), 12018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2989/1/012018>
- Barid, B., Zoana, A. R., & Lesmana, S. B. (2023). Pendampingan Pemahaman Aspek Kualitas Air Bersih Spamdes Ngudi Tirto Kulon Progo. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (Pkm)*, 6(12), 5200–5212. <https://doi.org/10.33024/jkpm.v6i11.11678>
- Dadras, M., Masoumi, F., Masoumzadeh, S., Najjar-Ghabe, S., Nikoo, M. R., & Yazdani, S. (2023). Evaluating the impact of leakage in intermittent water supply networks considering justice index: A case study. *Aqua Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(10). <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.140>
- Djaja, I. M., Wispriyono, B., Aryati, G. P., Nurmalasari, N., & Putri, N. M. (2022). Pengembangan Akses Air Minum Di Pedesaan: Penyediaan Air Berbasis Masyarakat Untuk Mencapai Akses Air Minum Aman Di Banjar Dauh Peken, Bali. *JPHCS*, 1(1), 25–35. <https://doi.org/10.14710/jphcs.2022.13991>
- Dongare, P., Sharma, K. V., Kumar, V., & Mathew, A. (2024). Water distribution system

- modelling of GIS-remote sensing and EPANET for the integrated efficient design. *Journal of Hydroinformatics*, 26(3). <https://doi.org/10.2166/hydro.2023.281>
- Ferencz, S. B., Yoon, J., Capone, J., & McManamay, R. A. (2024). Urban Morphology and Urban Water Demand: A Case Study in the Land Constrained Los Angeles Region Using Urban Growth Modeling. *Environmental Research Letters*, 20(1), 14048. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ada04c>
- Gorev, N. B., Gorev, V. N., Kodzheshirova, I. F., Shedlovsky, I. A., & Sivakumar, P. (2022). Dealing with Zero Flows in the Simulation of Water Distribution Networks with Low-Resistance Pipes Using the Global Gradient Algorithm. *Water Resources Management*, 36(5). <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03100-9>
- Haji, S., Wanto, S., Lestari, F. M., Mahmud, F., & Widiatmoko, K. W. (2023). Analisis Pengembangan Jaringan Spam Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Di Desa Bergas Lor Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.10451>
- Huda, R. (2023). Evaluasi Tingkat Keberlanjutan Sistem Pengelolaan Sumber Daya Air Pada Masyarakat Desa Wringinsongo Tumpang Malang. *Antropocene*, 2(3), 100–109. <https://doi.org/10.56393/antropocene.v2i3.1692>
- Indriaty, A., & Hadi, W. (2023). Optimalisasi Sistem Penyediaan Air Minum Dengan Menerapkan District Meter Area Pada Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Kencana Kabupaten Jombang. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2). <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i2.66883>
- Jayanti, E., Hazmi, Y., Halik, H., Nazamuddin, B. S., & Zulkarnain, T. (2020). Correlation of Income Per-Capita, Secondary and Tertiary Education, and Environmental School Quantity to Achieve Clean Water Access in the Sustainable Development Goals. *International Journal of Economics and Business Administration*, VIII(Issue 4), 888–903. <https://doi.org/10.35808/ijeba/638>
- Juvano, R. A., Yermadona, H., & Yusman, A. S. (2022). Tinjauan Perencanaan Jaringan Perpipaan Distribusi Air Bersih di Kanagarian Taram Kecamatan Harau. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, 1(2), 147–153.
- Khalil, K., & Syah, R. (2024). Peran Pemerintah Dalam Meningkatkan Aksesibilitas Teknologi Informasi Di Daerah Terpencil. *Syntax Literate Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(6), 3448–3457. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i6.15410>
- M, A., & Mariappan V.E, N. (2011). Water Demand Analysis Of Municipal Water Supply Using Epanet Software. *International Journal on Applied Bio-Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.18000/ijabeg.10072>
- Magwilang, E., Armas, F., Paredes, A. L., Bugnay, H. G., & Dagupen, R. (2023). Optimising the distribution system of existing scarce water supply in a mountain indigenous community. *LHB: Hydrosience Journal*, 109(1). <https://doi.org/10.1080/27678490.2023.2280573>
- Marta, A., Yusman, A. S., & Harahap, R. (2021). Kebutuhan Air Minum Nagari Malampah Kecamatan Tigo Nagari Kabupaten Pasaman. *Akselerasi : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 2(2), 26–34. <https://doi.org/10.37058/aks.v2i2.2762>
- Mazouz, K., & Abdelraouf, B. (2021). Analysis of The Simulation of The Water Supply Network of The New City of Guelma by Epanet. *Pakistan Journal of Geology*, 0(0). <https://doi.org/10.2478/pjg-2021-0005>
- Melda, M. (2022). Evaluasi Jaringan Perpipaan Distribusi Air Bersih Desa Batuilo Kecamatan Ogodeide Kabupaten Tolitoli. *Tolis Ilmiah Jurnal Penelitian*, 4(2). <https://doi.org/10.56630/jti.v4i2.287>
- Mohapatra, S., Sargaonkar, A., & Labhasetwar, P. K. (2014). Distribution network assessment using EPANET for intermittent and continuous water supply. *Water Resources Management*, 28(11). <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0707-y>
- Oluwasanya, G., Odjegba, E. E., Shittu, O. B., Idowu, O. A., & Brion, G. M. (2021). *Service Level Indicators for Water Supply Systems: Appraisal and Implications for Sustainable*

- Management. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-333204/v1>
- Osman, K., & Faust, K. M. (2021). Toward Operationalizing Equity in Water Infrastructure Services: Developing a Definition of Water Equity. *Acs Es&t Water*, 1(8), 1849–1858. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.1c00125>
- Oyewole, O. T., Akinmusere, O. K., Fasuba, A. O., Fakorede, E., Daramola, A. A., Akanni, A. O., & Oke, I. A. (2024). A Systematic Hydraulic Analysis and Evaluation of the Epanet Software and Techniques on the Water Network of Elizade University. *Fudma Journal of Sciences*, 8(2), 345–363. <https://doi.org/10.33003/fjs-2024-0802-2306>
- Patel, N., & Parmar, A. (2019). Water Distribution Network using EPANET : A Case Study of Olpad Village. *Emerging Research and Innovations in Civil Engineering, February*.
- Rahmawati, R., & Firman, F. (2022). The Politics of Clean Water Management: A Critical Review on the Scarcity of Clean Water in Kedungringin Village. *Aristo*, 11(1), 114–125. <https://doi.org/10.24269/ars.v11i1.5247>
- Ramani, K., Rudraswamy, G. K., & Umamahesh, N. V. (2023). Optimal Design of Intermittent Water Distribution Network Considering Network Resilience and Equity in Water Supply. *Water*, 15(18), 3265. <https://doi.org/10.3390/w15183265>
- Rasya, H. S., & Triadi, I. (2024). Akses Keadilan Dan Kesenjangan Sosial: Transformasi Melalui Peran Hukum Tata Negara. *Ijli*, 1(4), 12. <https://doi.org/10.47134/ijli.v1i4.2330>
- Rosegrant, M. W., & Cai, X. (2002). Global Water Demand and Supply Projections. *Water International*, 27(2), 170–182. <https://doi.org/10.1080/02508060208686990>
- Seigerman, C. K., McKay, S. K., Basilio, R., Biesel, S., Hallemeier, J., Mansur, A. V, Piercy, C. D., Rowan, S., Ubiali, B., Yeates, E., & Nelson, D. R. (2022). Operationalizing Equity for Integrated Water Resources Management. *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 59(2), 281–298. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.13086>
- Sucahyo, S. E., Badarrudin, M., & Suheby, A. (2023). Perencanaan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih dengan Menggunakan Simulasi Epanet 2 . 0 Tahun 2023-2027. *Jurnal Georafflesia*, 8(2), 149–155.
- Susilowati, N. E., Luciandika, A., Ariani, D., & Hambali, M. (2021). Program Literasi Hijau Dan Pengadaan Air Bersih Untuk Masyarakat. *Surya Abdimas*, 5(4), 519–531. <https://doi.org/10.37729/abdimas.v5i4.1398>
- Sutrisman, A. I., Marlina, S., & Lesmana, R. Y. (2023). Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Di Desa Upun Batu, Kecamatan Tewah, Kabupaten Gunung Mas. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(1), 34–41. <https://doi.org/10.33084/mitl.v8i1.4700>
- Wang, J., Wang, H., & Nie, L. (2024). Hydraulic Simulation of Water Supply Network Leakage Based on EPANET. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 15(1). <https://doi.org/10.1061/jpsea2.pseng-1504>