

EVALUASI SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI AIR BERSIH PERUMDA AIR MINUM TIRTA SEWAKADARMA KOTA DENPASAR DI KELURAHAN PADANGSAMBIAN

Putu Doddy Heka Ardana^{1*}, I Gusti Ngurah Eka Partama² dan Ni Putu Ninak Widian Putri³

E-mail: doddyhekaardana@unr.ac.id^{1*}, epartama@gmail.com², ninakwidian.00@gmail.com³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai

ABSTRAK

Sistem jaringan distribusi air bersih di perkotaan menghadapi tantangan serius berupa tekanan air di bawah standar dan tingkat kebocoran tinggi. PAMTSK Denpasar mencatat tingkat kehilangan air mencapai 39% selama 2020–2022 pada SPAM Penet yang melayani Kelurahan Padangsambian, dengan tekanan jam puncak hanya 0,6–0,8 bar, jauh di bawah standar minimal 1 bar sesuai Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kondisi eksisting sistem jaringan distribusi air bersih dan mengidentifikasi model distribusi terbaik melalui simulasi hidrolis menggunakan EPANET 2.2. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif berbasis pemodelan jaringan pipa dengan lima skenario simulasi (Pemodelan I–V). Data primer diperoleh melalui wawancara dan observasi lapangan, sedangkan data sekunder bersumber dari laporan teknis PAMTSK Denpasar. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Pemodelan-V dengan integrasi Faktor Jam Puncak, standar kehilangan air nasional 20%, dan tiga penambahan koneksi pipa merupakan alternatif terbaik. Debit pada titik sadap Jalan Gunung Sanghyang sebesar 126,43 l/dt tidak melampaui kapasitas produksi 150 l/dt. Tekanan pada seluruh titik pantau (P1–P6) berada pada rentang 1,19–5,32 bar pada jam puncak, dengan tekanan maksimum 6,84 bar pada jam malam minimum yang masih di bawah kuat tekan pipa. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model evaluasi SPAM berbasis EPANET di wilayah perkotaan tropis sebagai acuan peningkatan kualitas pelayanan air minum berkelanjutan.

Kata kunci: sistem jaringan distribusi air bersih, sistem penyediaan air minum, EPANET

ABSTRACT

Urban drinking water distribution systems in tropical cities face serious challenges including low pressure and high water loss rates. The Penet Drinking Water Supply System (SPAM Penet) operated by PAMTSK Denpasar, serving Kelurahan Padangsambian and four surrounding sub-districts in West Denpasar, recorded a water loss rate of 39% over 2020–2022, with peak-hour pressure at monitoring points reaching only 0.6–0.8 bar; below the minimum standard of 1 bar stipulated in Minister of Public Works Regulation No. 18/2007. This study aims to evaluate the existing distribution network condition and identify the optimal hydraulic model using EPANET 2.2 simulation. A quantitative descriptive method was adopted, applying five progressive modeling scenarios (Modeling I–V) with variations in peak-hour factor, water loss rate, and pipe connection configurations. Primary data were collected through field interviews and direct observation, while secondary data were sourced from PAMTSK Denpasar technical reports. Results demonstrate that Modeling-V, integrating peak-hour factor, 20% national water loss standard, and three additional strategic pipe connections, is the most effective alternative. The tapping discharge at Jalan Gunung Sanghyang reached 126.43 l/s, within the 150 l/s production capacity. Residual pressure across all monitoring nodes (P1–P6) ranged from 1.19 to 5.32 bar during peak hours, with a maximum night-minimum pressure of 6.84 bar, safely below the pipe compressive strength. This study contributes a replicable EPANET-based evaluation framework for urban drinking water systems, providing a scientific basis for improving service continuity and reducing non-revenue water.

Keywords: clean water distribution network system, drinking water supply system, EPANET

1. PENDAHULUAN

Air bersih adalah salah satu kebutuhan yang paling penting yang menjadi kebutuhan dasar bagi kelangsungan hidup manusia. Kebutuhan air bersih dari tahun ketahun pun terus meningkat dengan adanya pertumbuhan penduduk. Air di bumi ini begitu melimpah tetapi untuk keperluan air minum sangatlah terbatas. Ketersediaan air harus terpenuhi saat diperlukan, oleh karena itu air memiliki peranan yang sangat krusial dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat (Darmadi, 2019).

Untuk memenuhi kebutuhan air tersebut diperlukan suatu badan yang berguna untuk mengolah dan mendistribusikan air bersih. Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Kota Denpasar (PAMTSK Denpasar) merupakan salah satu lembaga atau instansi pemerintah daerah yang memiliki peran dalam memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat di Kota Denpasar. Kinerja pelayanan PAMTSK Denpasar sebagai perusahaan yang menyalurkan air bersih ke masyarakat tidak terlepas dari sistem distribusi jaringan perpipaan yang terangkai dalam sistem pipa, pompa, *reservoir*, dan perlengkapan lainnya. Proses pengolahan air dilakukan terlebih dahulu untuk menjadikan air bersih menjadi air minum dengan tetap memperhatikan faktor kualitas, kuantitas dan kontinuitas air.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada Tahun 2021, Kecamatan Denpasar Barat memiliki jumlah penduduk 206.958 jiwa, yang mana 35.732 jiwa (17,27%) berada di Wilayah Kelurahan Padangsembian. Berdasarkan data PAMTSK Denpasar pada bulan Desember 2021, jumlah sambungan rumah (SR) yang terlayani di Denpasar Barat sebanyak 25.013 unit dengan jumlah pemakaian air sebesar 5.673.811 m³. Kelurahan Padangsembian terdapat 5.022 SR dengan pemakaian air sebesar 1.160.863 m³ (20,46 %), Desa Tegal Harum dan Desa Tegal Kerta dengan pemakaian air sebesar 1.034.261 m³ (18,23 %), Desa Pemecutan Kelod dengan pemakaian air sebesar 640.642 m³ (11,29 %), Desa Padangsembian Kelod dengan pemakaian air sebesar 698.992 m³ (12,32%), Desa Padangsembian Kaja dengan pemakaian air sebesar 435.697 m³ (7,68 %), Kelurahan Pemecutan dengan pemakaian air sebesar 591.493 m³ (10,42 %), Kelurahan Dauh Puri dengan pemakaian air sebesar 331.390 m³ (5,84 %), Desa Dauh Puri Daging dengan pemakaian air sebesar 128.887 m³ (2,27 %), Desa Dauh Puri Kauh dengan pemakaian air sebesar 167.000 m³ (2,94 %), Desa Dauh Puri Klod dengan pemakaian air sebesar 484.586 m³ (8,54 %). Hal ini menjadikan masyarakat di Kelurahan Padangsembian sebagai pengguna air PAMTSK Denpasar terbesar di Kecamatan Denpasar Barat.

Berdasarkan data Resume Laporan Triwulan I Tahun 2022 Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Periode Januari-Maret 2022, sumber air baku PAMTSK Denpasar untuk wilayah Kelurahan Padangsembian, Padangsembian Kelod, Pemecutan Kelod, Tegal Kertha dan Tegal Harum mendapatkan suplai air dari Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Penet yang berasal dari air permukaan Sungai Penet dan distribusikan kepada pelanggan dengan menggunakan sistem pompa dorong (*booster pump*) dan sistem pengaliran gravitasi. Dimana pompa dorong tersedia di SPAM Penet dan *reservoir* tersedia di Desa Buduk, Kecamatan Mengwi, Kabupaten. Penggunaan sumber air baku untuk pengolahan air minum di SPAM Penet berasal dari air permukaan yaitu air sungai Penet yang sangat dipengaruhi oleh lingkungan, iklim dan cuaca dimana pada musim kemarau debit air yang mengecil dan pada saat musim hujan kadar kekeruhan air tinggi, sehingga menjadi permasalahan bagi pelanggan atau masyarakat pengguna air PAMTSK Denpasar sering mendapatkan debit air yang kecil pada jam-jam puncak. Selain itu permasalahan yang terjadi pada sistem jaringan distribusi PAMTSK Denpasar adalah terjadi kehilangan air atau kebocoran pipa transmisi dimana tingkat kebocoran/kehilangan air di sistem distribusi PAMTSK Denpasar selama tiga tahun terakhir (2020-2022) diperkirakan sebesar 39%.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji evaluasi sistem penyediaan air minum (SPAM) menggunakan berbagai pendekatan. Pabura et al. (2024) mengevaluasi kinerja SPAM di Kecamatan Tapalang, Kabupaten Mamuju, dan menemukan bahwa optimalisasi unit distribusi secara signifikan meningkatkan cakupan pelayanan kepada masyarakat. Barikiyah et al. (2023) menganalisis distribusi air minum PDAM Kota Mojokerto dengan simulasi EPANET dan menunjukkan bahwa pemodelan hidraulik mampu mengidentifikasi titik kritis tekanan pada jam puncak. Fitriana et al. (2024) melakukan evaluasi kinerja teknis jaringan distribusi PDAM Way Rilau di Bandar Lampung menggunakan EPANET 2.2 dan membuktikan efektivitas simulasi berbasis perangkat lunak dalam perencanaan perbaikan sistem distribusi. Nugroho et al. (2018) menganalisis jaringan perpipaan distribusi air bersih menggunakan EPANET 2.0 di Kelurahan Harapan Baru, Kota Samarinda, dan mengkonfirmasi bahwa simulasi dapat menggambarkan kondisi hidraulik eksisting secara akurat. Ansyhari dan Hadi (2021) mengevaluasi SPAM di Kecamatan Rasanae Timur pascabencana banjir dan menunjukkan pentingnya analisis indeks kekritisitas air dalam pengelolaan distribusi.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut memberikan kontribusi penting, terdapat kesenjangan (*research gap*) yang signifikan: belum ada studi yang secara komprehensif mengintegrasikan analisis kehilangan air tinggi (di atas 30%), pemodelan Faktor Jam Puncak, dan perbaikan koneksi jaringan secara simultan dalam satu skenario optimasi pada sistem SPAM perkotaan berbasis air permukaan di Bali. Sebagian besar studi yang ada berfokus pada satu aspek evaluasi saja, tanpa mempertimbangkan kompleksitas interaksi antara variabel debit, tekanan, dan kehilangan air secara bersamaan. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan lima skenario pemodelan EPANET 2.2 yang sistematis dan progresif, dimulai dari kondisi eksisting hingga simulasi perbaikan optimal dengan tiga penambahan koneksi pipa, yang disesuaikan dengan kondisi riil SPAM Penet di Kelurahan Padangsembian, Kota Denpasar. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengevaluasi kondisi eksisting kuantitas dan kontinuitas sistem jaringan distribusi air bersih di Kelurahan Padangsembian; (2) mengidentifikasi model distribusi terbaik melalui simulasi EPANET 2.2; dan (3) memberikan rekomendasi teknis berbasis data untuk peningkatan kualitas pelayanan PAMTSK Denpasar. Kontribusi penelitian ini mencakup tersedianya model hidraulik tervalidasi sebagai referensi pengelola SPAM dalam pengambilan keputusan teknis di wilayah perkotaan tropis.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan perlu dilakukan suatu evaluasi terhadap jaringan distribusi air bersih di Kelurahan Padangsembian untuk mengetahui kondisi kuantitas dan kontinuitas sistem jaringan distribusi yang pada akhirnya nanti bisa berkontribusi dalam peningkatan kualitas pelayanan air bersih PAMTSK khususnya di wilayah Padangsembian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) merupakan suatu kesatuan sarana dan prasarana penyediaan air minum yang meliputi unit air baku, unit produksi, unit distribusi, unit pelayanan, dan unit pengelolaan, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007. SPAM bertujuan menjamin ketersediaan air minum yang memenuhi standar kualitas, kuantitas, dan kontinuitas bagi masyarakat. Standar teknis yang harus dipenuhi mencakup kecepatan aliran dalam pipa antara 0,3 hingga 3 m/dt, tekanan pelayanan minimum 1 bar (10 m) dan maksimum 8 bar (80 m), serta headloss tidak melebihi 10 m/km. Kinerja SPAM sangat dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi, yang terdiri dari Jaringan Distribusi Utama (JDU), pipa distribusi sekunder, titik tapping, katup-katup, dan instrumen pengukuran tekanan. Permasalahan umum yang dihadapi sistem SPAM perkotaan meliputi tekanan tidak memadai pada jam puncak, kehilangan air fisik akibat kebocoran

pipa, dan ketidaksesuaian diameter pipa dengan kebutuhan debit aktual. Kehilangan air atau Non-Revenue Water (NRW) pada sistem distribusi Indonesia secara rata-rata masih tinggi, dengan standar nasional yang ditetapkan sebesar 20%. Pengelolaan SPAM yang efektif membutuhkan evaluasi hidraulik berkala yang dapat mengidentifikasi titik-titik kritis dalam jaringan dan memberikan dasar ilmiah bagi keputusan perbaikan infrastruktur.

EPANET merupakan perangkat lunak simulasi hidraulik berbasis komputer yang dikembangkan oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) dan dirancang khusus untuk memodelkan perilaku hidraulik dan kualitas air pada sistem distribusi air minum bertekanan (Rossman, 2000). Program ini mampu mensimulasikan aliran air dalam pipa, tekanan pada node, tinggi energi hidraulik, serta kehilangan energi di seluruh jaringan distribusi dalam kondisi *steady-state* maupun *extended period simulation* (EPS). EPANET 2.2, versi terbaru yang digunakan dalam penelitian ini, menawarkan kemampuan yang lebih baik dalam simulasi multi-skenario dan analisis kehilangan air terlokalisasi. Dalam konteks penelitian SPAM di Indonesia, EPANET telah banyak diaplikasikan oleh para peneliti sebagai alat validasi dan optimasi jaringan pipa distribusi. Nugroho et al. (2018) dan Oktafianto dan Wibawa (2018) membuktikan bahwa simulasi EPANET mampu menggambarkan kondisi hidraulik eksisting secara akurat dan mengidentifikasi segmen pipa dengan kecepatan aliran di bawah persyaratan teknis. Pemodelan dengan EPANET memungkinkan operator sistem melakukan pengujian berbagai skenario perbaikan tanpa harus melakukan perubahan fisik pada jaringan yang ada, sehingga efisiensi biaya perencanaan dapat ditingkatkan secara signifikan. Dengan kemampuan input data berupa panjang pipa, diameter, koefisien kekasaran (Hazen-Williams), elevasi node, pola permintaan, dan karakteristik pompa, EPANET menjadi alat analisis yang komprehensif dan andal dalam evaluasi sistem jaringan distribusi air minum.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Pokok penelitian ini yaitu Evaluasi dan Analisis Sistem Jaringan Distribusi Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Kota Denpasar (PAMTSK Denpasar) khususnya di Kelurahan Padangsambian, Kecamatan Denpasar Barat. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif, yaitu pendekatan penelitian ilmiah yang menggabungkan analisis deskriptif terhadap kondisi eksisting dengan pengukuran dan perhitungan kuantitatif yang terstruktur dan sistematis (Sugiyono, 2019). Metode deskriptif kuantitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan menggambarkan dan menganalisis kondisi nyata sistem jaringan distribusi air bersih berdasarkan data terukur di lapangan secara objektif, serta melakukan pemodelan matematis melalui simulasi hidraulik untuk menghasilkan alternatif solusi yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Pendekatan ini berawal dari identifikasi masalah lapangan (tekanan rendah dan kehilangan air tinggi), pengumpulan data primer dan sekunder, pemodelan hidraulik dengan simulasi program *software* EPANET 2.2, analisis komparatif antar lima skenario pemodelan, dan penyusunan rekomendasi teknis berbasis temuan empiris. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk data kuantitatif tekanan (bar), kecepatan aliran (m/dt), dan debit (l/dt) yang dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku.

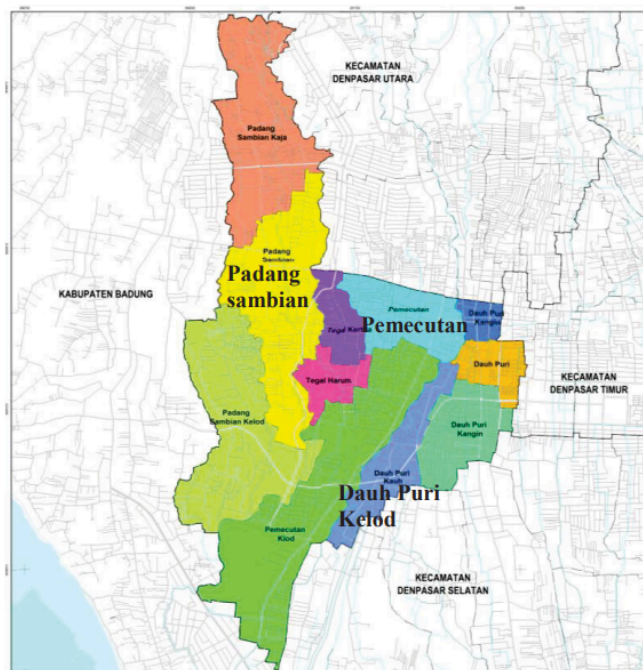
3.2 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian yang dilaksanakan di Kecamatan Denpasar Barat Kabupaten/Kota Denpasar, khususnya di wilayah Kelurahan Padangsambian dengan batas wilayah:

- a. Utara Desa Padangsambian Kaja
- b. Timur Desa Pemecutan Kaja, Desa Tegal Kertha, Desa Tegal Harum, Desa Pemecutan Klod
- c. Selatan Desa Padangsambian Klod
- d. Barat Kabupaten Badung

3.3 Identifikasi masalah

Identifikasi masalah bertujuan untuk perumusan dan meninjau suatu masalah yang terjadi di lapangan. Masalah pada penelitian ini adalah kondisi kuantitas dan kontinuitas pelayanan air minum saat ini di Kelurahan Padangsambian, Kecamatan Denpasar Barat, dengan begitu akan diteliti hidrolis jaringan pipa Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) menggunakan pemodelan Program EPANET.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Kelurahan Padangsambian, Kecamatan Denpasar Barat
(Sumber: RDTR Kecamatan Denpasar Barat 2022)

3.4 Pengumpulan data

Proses pengumpulan data pada penelitian ini dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis data yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang di peroleh secara langsung pada penelitian atau data yang dihasilkan dari observasi peneliti. Peneliti melakukan wawancara langsung kepada Kepala Sub Bagian Distribusi dan Kepala Bagian Teknik Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Kota Denpasar (PAMTSK Denpasar) mengenai distribusi air bersih serta jaringan perpipaan serta pengamatan langsung pada kondisi SPAM Penet dan *Reservoir* Buduk. Data primer ini digunakan sebagai data tambahan untuk mengevaluasi jaringan distribusi ini.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang di peroleh dari pihak kedua, yaitu pihak pengelola instansi, dimana data ini merupakan data mutlak. Pada penelitian ini, penulis memperoleh data dalam bentuk laporan. Data Sekunder yang didapat dari instansi terkait, yaitu antara lain:

- a. Peta jaringan pipa transmisi di Kecamatan Denpasar Barat.
- b. Data teknis sistem jaringan perpipaan di Kecamatan Denpasar Barat.
- c. Data jumlah pelanggan pergolongan PAMTSK Denpasar, data distribusi dan konsumsi PAMTSK Denpasar selama 7 bulan dari Bulan Januari 2022 s/d Juli 2022.

3.5 Unit Distribusi SPAM Kelurahan Padangsambian

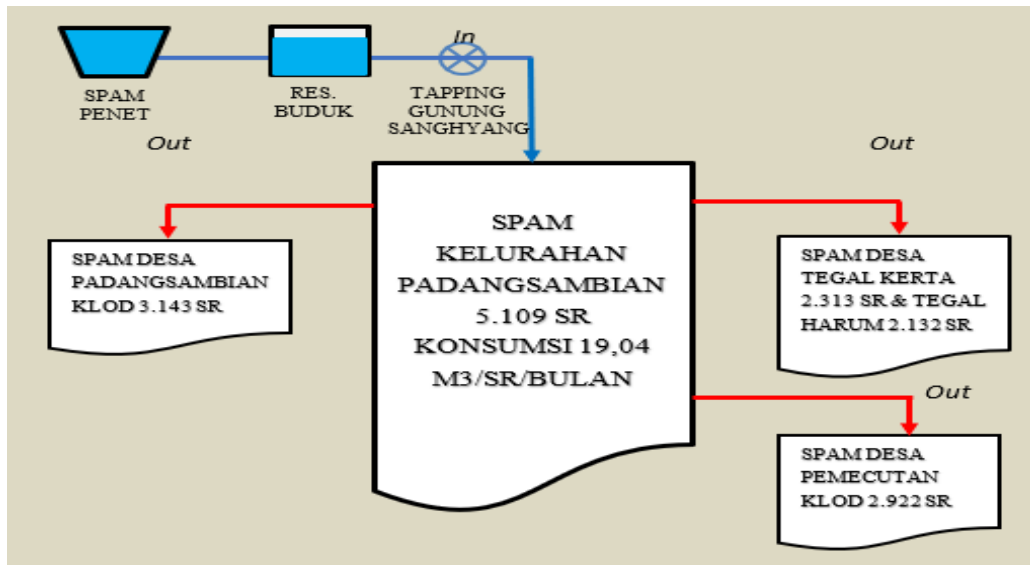
Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Kelurahan Padangsambian secara garis besarnya terdiri atas Jaringan Pipa Distribusi Utama (JDU), pipa distribusi lainnya, titik *tapping* distribusi, katup-katup, dan manometer. Untuk mengetahui tingkat kuantitas dan kontinuitas layanan di tunjukkan data estimasi aliran air dan tekanan jam puncak serta jam malam minimum. Pipa JDU dan pipa distribusi lainnya, memuat data diameter (mm), jenis pipa, panjang pipa (meter), elevasi (mdpl), kekasan dinding pipa (Chw), jumlah pelanggan, dan nama jalan. Data titik penyadapan atau *off-take* penyuplai (*input*) air curah ke SPAM Kelurahan Padangsambian dan mensuplai (*output*) ke SPAM Desa Tegal Kerta, Desa Padangsambian Kelod, dan Desa Tegal Harum serta Desa Pemecutan Kelod. Data debit air ini bersifat estimasi, karena meter air distribusi pada penyadapan Gunung Sanghyang mengalami kerusakan dan penyadapan lainnya belum memiliki Distrik Meter Area (DMA).

3.6 Pemodelan SPAM dengan program EPANET

Pemodelan SPAM sudah mencakup SPAM Penet sampai dengan titik penyadapan atau *off-take* Jalan Gunung Sanghyang dan SPAM Kelurahan Padangsambian dan suplai ke SPAM lain yang masih dalam orientasi pelayanan SPAM Penet, sesuai skema sistem distribusi SPAM Kelurahan Padangsambian pada Gambar 2. Pemodelan dibuat sebanyak 5 model, yaitu pemodelan jaringan distribusi hanya untuk pelayanan Kelurahan Padangsambian, pemodelan jaringan distribusi pelayanan dengan estimasi debit ke Pelayanan Padangsambian Kelod, Pelayanan Tegal Kerta, dan Pelayanan Tegal Harum serta Pemecutan Kelod, pemodelan jaringan distribusi sesuai perhitungan Faktor Jam Puncak (FJP), pemodelan jaringan distribusi sesuai dengan data estimasi kehilangan air yaitu 39% dan standar kehilangan air Nasional 20%, Pemodelan perbaikan sistem jaringan distribusi dengan koneksi jaringan pipa atas pemodelan yang terdahulu.

Evaluasi jaringan distribusi air minum ini akan didasarkan pada kriteria desain yang terdapat dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 tentang penyelenggaraan pengembangan sistem penyediaan air minum yang meliputi:

1. Kecepatan aliran air dalam pipa disyaratkan sebesar 0.3 m/dt s/d 3 m/dt.
2. Tinggi tekanan disyaratkan mencapai titik terjauh minimum sebesar 10 m atau 1 Bar dan maksimum disyaratkan sebesar 80 m atau 8 bar.



3. Headloss pada pipa < 10 m/km.

Gambar 2. Skema Sistem Distribusi SPAM Kelurahan Padangsambian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi eksisting

Kondisi eksisting pada daerah layanan Kelurahan Padangsambian saja. Kondisi eksisting ini menunjukkan sistem belum mampu melayani supply air bersih secara maksimal. Berdasarkan kondisi eksisting mendapatkan tekanan pada jam puncak di Manometer 1 dan Manometer 3 masing-masing yaitu 0,6 bar dan 0,8 bar yang berarti tekanan pada eksisting masih dibawah persyaratan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 yaitu 1 bar, dimana kondisi ini menyebabkan terdapat pelanggan tidak mendapatkan air pada jam puncak. Dilihat dari Tabel 1 keadaan eksisting manometer pada Kelurahan Padangsambian masih sedikit yang menyebabkan kurangnya monitoring dalam hidrolis jaringan Kelurahan Padangsambian maupun untuk suplai ke wilayah lain.

Tabel 1 Data Tekanan Air

ID Manometer	Lokasi	Jam Puncak (Bar)	Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 (Bar)	Jam Malam Minimum (Bar)	Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007 (Bar)
P1	Tapping Gunung Sanghayang)	0,60		0,60	
P2	Tapping Koneksi ke Padangsambian Klod	1,45		1,80	
P3	Tapping Koneksi ke Gunung Agung	0,80	1,00	1,40	8,00
P4	Jl. Buana Permata Hijau	N/A		N/A	

P5	Perum Taman Buana	N/A	N/A
P6	Jl. Gunung Talang	N/A	N/A

4.2 Pemodelan EPANET

Pemodelan-I, Berdasarkan pemodelan eksisting dengan EPANET hidrolis pipa secara menyeluruh menunjukkan telah memenuhi persyaratan, terdapat selisih tekanan yang tinggi antar eksisting dan Pemodelan-1 EPANET, mengindikasikan adanya kehilangan air yang tidak terdeteksi pada jaringan pipa. Pada JDU dengan kecepatan aliran yang kurang dari persyaratan yaitu pada ID 137 sebesar 0,11 m/dt, 113 sebesar 0,01 m/dt dan 68 sebesar 0,06 m/dt yang menyebabkan kecilnya aliran air yang diterima oleh pelanggan dan pada kondisi ini diameter pipa masih dapat mengalirkan air lebih besar, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komparasi tekanan air eksisting dengan Pemodelan-I

ID Manometer	Tekanan Air pada Jaringan (Bar)		Tekanan Air pada Pemodelan-I (Bar)	
	Jam Puncak	Jam Malam Minimum	Jam Puncak	Jam Malam Minimum
	P1 (Jl. Gunung Sangyang)	0,60	0,60	4,75
P2 (Jl. Tangkuban Perahu)	1,45	1,80	6,04	6,59
P3 (Jl. Gunung Agung)	0,80	1,40	4,80	5,58
P4 (Jl. Buana Permata Hijau)	N/A	N/A	6,03	6,59
P5 (Perum Taman Buana)	N/A	N/A	2,33	6,52
P6 (Jl. Gunung Talang)	N/A	N/A	5,03	6,86

Pemodelan-II, kondisi dimana pelayanan SPAM Penet menyuplai air pada SPAM Kelurahan Padangsembian dan pelayanan wilayah lain yaitu Desa Padangsembian Kelod, Desa Tegal Kertha dan Tegal Harum dan Desa Pemecutan Kelod. Kondisi pada Pemodelan-II belum mampu melayani supply air bersih, debit jam puncak *tapping* Gunung Sanghyang sebesar 173,36 l/dt melebihi dari kapasitas sistem jaringan yaitu 150 l/dt. Pada tekanan terdapat nilai yang negatif pada P5 sebesar -0,27 bar dan P6 sebesar 0.38 bar masih dibawah persyaratan yaitu 1 bar yang berarti pelanggan tidak dapat air selama 3 jam dari pukul 05.00 – 07.00, seperti terlihat pada Tabel 3. Hal ini mengindikasikan seluruh pelanggan belum mendapatkan pelayanan dalam 24 jam secara maksimal.

Tabel 3. Komparasi tekanan air eksisting dengan Pemodelan-II

ID Manometer	Tekanan Air pada Jaringan (Bar)		Tekanan Air pada Pemodelan-II (Bar)	
	Jam Puncak	Jam Malam Minimum	Jam Puncak	Jam Malam Minimum
	P1 (Jl. Gunung Sangyang)	0,60	0,60	3,74
P2 (Jl. Tangkuban Perahu)	1,45	1,80	4,79	6,57
P3 (Jl. Gunung Agung)	0,80	1,40	3,57	5,56
P4 (Jl. Buana Permata Hijau)	N/A	N/A	4,27	6,56
P5 (Perum Taman Buana)	N/A	N/A	-0,27	6,47

P6 (Jl. Gunung Talang)	N/A	N/A	0,38	6,78
------------------------	-----	-----	------	------

Pemodelan-III, kondisi dimana pelayanan SPAM Penet ke SPAM Kelurahan Padangsambian dan pelayanan wilayah lain dengan menghitung suplai Faktor Jam Puncak (FJP). Berdasarkan Tabel 4, kondisi pada Pemodelan-III ini mampu melayani supply air bersih, karena debit jam puncak *tapping* Gunung Sanghyang 118,02 l/dt tidak melebihi kapasitas sistem jaringan yaitu 150 l/d. Pada tekanan P5 sebesar 0,73 bar yang mengindikasikan tekanan air dibawah persyaratan yaitu 1 bar. Selain itu terdapat kecepatan aliran air yang kurang dari persyaratan 0,30 m/dt yaitu pada ID 113 sebesar 0,24 m/dt yang menyebabkan kecilnya aliran air yang diterima oleh pelanggan. Berdasarkan tekanan dan kecepatan aliran air yang masih dibawah persyaratan maka pemodelan ini mengindikasikan seluruh pelanggan belum mendapatkan pelayanan dalam 24 jam secara maksimal.

Tabel 4. Komparasi tekanan air eksisting dengan Pemodelan-III

ID Manometer	Tekanan Air pada Jaringan (Bar)		Tekanan Air pada Pemodelan-III (Bar)	
	Jam Puncak	Jam Malam Minimum	Jam Puncak	Jam Malam Minimum
	P1 (Jl. Gunung Sangyang)	0,60	0,60	4,13
P2 (Jl. Tangkuban Perahu)	1,45	1,80	5,29	6,58
P3 (Jl. Gunung Agung)	0,80	1,40	4,04	5,57
P4 (Jl. Buana Permata Hijau)	N/A	N/A	5,02	6,57
P5 (Perum Taman Buana)	N/A	N/A	0,73	6,49
P6 (Jl. Gunung Talang)	N/A	N/A	2,26	6,81

Pemodelan-IV, kondisi dimana pelayanan SPAM Penet mengairi SPAM Kelurahan Padangsambian dan pelayanan wilayah lain dengan menghitung suplai Faktor Jam Puncak (FJP) dengan estimasi tingkat kehilangan air sebesar 39%. Kondisi pada Pemodelan-IV belum mampu melayani supply air bersih, karena debit jam puncak *tapping* Gunung Sanghyang 161,41 L/dt melebihi kapasitas sistem jaringan yaitu 150 l/dt. Pada energi ketinggian terdapat tekanan negatif pada P5 sebesar -2,89 bar dan pada P6 sebesar 0,42 masih dibawah persyaratan yaitu 1 bar yang menyebabkan pelanggan tidak dapat air pada jam puncak pagi selama 5 jam dan pada jam puncak sore selama 3 jam. Terdapat kecepatan aliran air yang kurang dari persyaratan 0,30 m/dt yaitu pada ID 113 sebesar 0,24 m/dt yang menyebabkan kecilnya aliran air yang diterima oleh pelanggan, seperti terlihat pada Tabel 5. Berdasarkan tekanan dan kecepatan aliran air yang masih dibawah persyaratan maka pemodelan ini mengindikasikan seluruh pelanggan belum mendapatkan pelayanan dalam 24 jam secara maksimal.

Tabel 5. Komparasi tekanan air eksisting dengan Pemodelan-IV

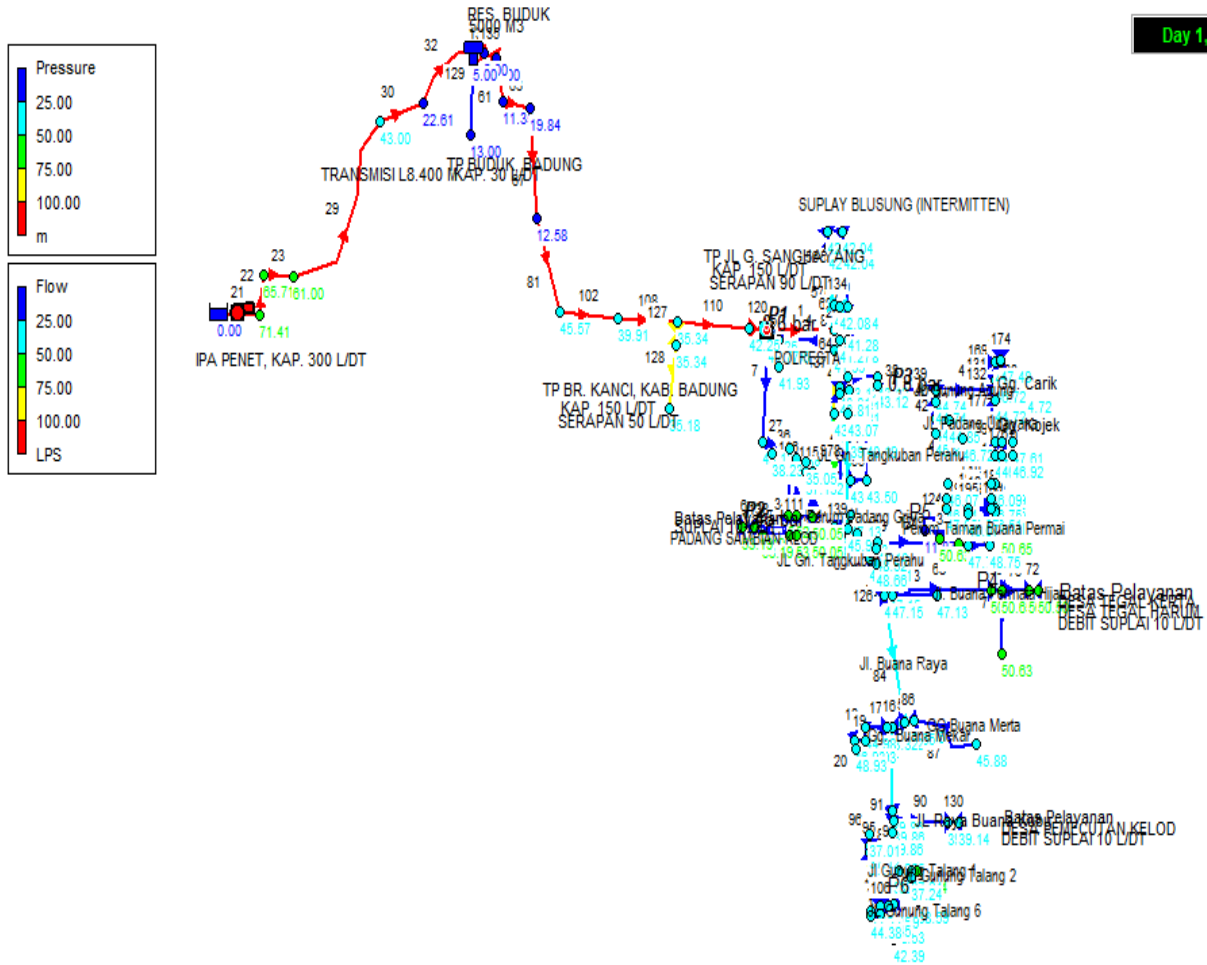
ID Manometer	Tekanan Air pada Jaringan (Bar)		Tekanan Air pada Pemodelan-IV (Bar)	
	Jam Puncak	Jam Malam Minimum	Jam Puncak	Jam Malam Minimum

P1 (Jl. Gunung Sangyang)	0,60	0.60	3,87	5,27
P2 (Jl. Tangkuban Perahu)	1,45	1.80	5,01	6,57
P3 (Jl. Gunung Agung)	0,80	1.40	3,53	5,56
P4 (Jl. Buana Permata Hijau)	N/A	N/A	4,71	6,56
P5 (Perum Taman Buana)	N/A	N/A	-2,89	6,42
P6 (Jl. Gunung Talang)	N/A	N/A	0,42	6,77

Pemodelan V, kondisi dimana pelayanan SPAM Penet mengairi SPAM Kelurahan Padangsembian dan pelayanan wilayah lain dengan menghitung suplai Faktor Jam Puncak (FJP) dengan tingkat kehilangan air 20% (standar kehilangan air Nasional) dan dengan penambahan koneksi pipa karena terdapat ketidaksesuaian kecepatan aliran air terhadap dimensi pipa untuk upaya pemerataan energi dan distribusi air, yaitu:

- Penambahan koneksi di Jalan Tangkuban Perahu pipa Ø150 mm (Pipe ID 119) dikoneksikan ke pipa JDU Ø400 mm (Pipa ID 113) dari *Node* 16 ke *Node* 33 berupa koneksi katup (*valve* ID 138).
- Penambahan koneksi di Pertigaan Jalan Tangkuban Perahu dan Jalan Buana Raya dari pipa Ø200 mm (Pipa ID 62) dikoneksikan ke pipa Ø400 mm (Pipa ID 9) dari *Node* 11 ke *Node* 18 (*valve* ID 139).
- Penambahan koneksi di Jalan Buana Raya, dari pipa Ø200 mm (Pipa ID 126) dikoneksikan ke pipa Ø300 mm (Pipa ID 80) berupa koneksi katup (*valve* ID 140).

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 6, pemodelan mampu melayani *supply* air bersih, karena energi kinetik (debit) jam puncak *tapping* Gunung Sanghyang 126,43 L/dt tidak melebihi kapasitas sistem jaringan yaitu 150 l/dt. Pada tekanan di P1 sampai dengan P6 sebesar 1,19 bar sampai dengan 5,32 bar yang mengindikasikan seluruh pelanggan 24 jam mendapatkan pelayanan dan tekanan diatas persyaratan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007, serta pada jam malam minimum maksimal tekanan 6,84 bar yang masih dibawah kuat tekan pipa.



Gambar 3. Hasil *running* pada Pemodelan-V

Tabel 6. Komparasi tekanan air eksisting dengan Pemodelan-V

ID Manometer	Tekanan Air pada Jaringan (Bar)		Tekanan Air pada Pemodelan-V (Bar)	
	Jam Puncak	Jam Malam Minimum	Jam Puncak	Jam Malam Minimum
	P1 (Jl. Gunung Sangyang)	0,60	0.60	4.22
P2 (Jl. Tangkuban Perahu)	1,45	1.80	5.32	6.57
P3 (Jl. Gunung Agung)	0,80	1.40	4.31	5.57
P4 (Jl. Buana Permata Hijau)	N/A	N/A	5.06	6.57
P5 (Perum Taman Buana)	N/A	N/A	1.19	6.50
P6 (Jl. Gunung Talang)	N/A	N/A	3.87	6.84

Hasil perbandingan kelima pemodelan EPANET menunjukkan pola yang konsisten dan progresif dalam hal peningkatan kinerja hidraulik jaringan distribusi. Pemodelan-I (kondisi eksisting ideal tanpa kehilangan air) menunjukkan bahwa secara teoritis tekanan memenuhi persyaratan, namun terdapat kesenjangan signifikan antara tekanan simulasi dengan data manometer lapangan, mengindikasikan adanya kehilangan air tidak terdeteksi yang bersifat sistemik. Pemodelan-II yang memasukkan suplai ke wilayah sekitar menghasilkan debit melebihi kapasitas sistem ($173,36 \text{ l/dt} > 150 \text{ l/dt}$), menyebabkan tekanan negatif pada titik P5 dan P6. Pemodelan-III dengan koreksi Faktor Jam Puncak (FJP) berhasil mereduksi debit menjadi $118,02 \text{ l/dt}$, namun tekanan pada P5 masih sebesar $0,73 \text{ bar}$, di bawah

ambang batas 1 bar. Pemodelan-IV yang menginkorporasi tingkat kehilangan air aktual 39% menghasilkan kondisi paling kritis dengan debit 161,41 l/dt yang melampaui kapasitas dan tekanan negatif pada P5 (-2,89 bar). Kondisi ini secara tegas membuktikan bahwa tingkat kehilangan air sebesar 39% bersifat tidak berkelanjutan dan harus diturunkan secara sistematis. Pemodelan-V menjadi solusi yang paling komprehensif karena mengintegrasikan tiga intervensi teknis sekaligus: penerapan FJP, penggunaan standar kehilangan air nasional 20%, dan penambahan tiga koneksi pipa baru yang secara strategis ditempatkan di Jalan Tangkuban Perahu, Pertigaan Tangkuban Perahu-Buana Raya, dan Jalan Buana Raya untuk pemerataan energi hidraulik di seluruh jaringan.

Keunggulan Pemodelan-V secara kuantitatif dapat dilihat dari beberapa aspek. Dari sisi kuantitas, debit pada titik sadap Jalan Gunung Sanghyang sebesar 126,43 l/dt memberikan cadangan kapasitas produksi sebesar 23,57 l/dt (15,7%) dari total kapasitas 150 l/dt, yang memadai untuk mengakomodasi pertumbuhan pelanggan dalam jangka pendek. Dari sisi kontinuitas, seluruh enam titik pantau (P1 hingga P6) mencatat tekanan pada jam puncak antara 1,19 bar (P5, Perum Taman Buana) hingga 5,32 bar (P2, Jl. Tangkuban Perahu), yang seluruhnya berada dalam rentang persyaratan Permen PU No. 18/2007. Tekanan pada jam malam minimum mencapai maksimum 6,84 bar di titik P6 (Jl. Gunung Talang), nilai ini masih aman di bawah kuat tekan operasional pipa yang umumnya mencapai 8–10 bar untuk kelas pipa standar yang digunakan. Penambahan koneksi katup (valve ID 138, 139, 140) terbukti efektif mendistribusikan beban hidraulik secara merata dan menghilangkan kondisi dead-end yang menjadi titik rawan stagnasi aliran pada ID pipa 113 dengan kecepatan awal hanya 0,01 m/dt. Dengan demikian, Pemodelan-V tidak hanya memenuhi standar tekanan minimal, tetapi juga meningkatkan kualitas layanan melalui pemerataan tekanan yang lebih konsisten di seluruh wilayah pelayanan Kelurahan Padangsembian.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat sebagai pertimbangan dalam interpretasi hasil. Pertama, data debit yang digunakan bersifat estimasi karena meter air distribusi pada titik sadap Gunung Sanghyang mengalami kerusakan dan belum tersedia Distrik Meter Area (DMA) pada seluruh titik penyadapan, sehingga akurasi validasi model bergantung pada data manometer yang tersedia. Kedua, pemodelan dilakukan berdasarkan kondisi pada periode Januari–Juli 2022, sehingga variasi musiman debit Sungai Penet yang signifikan antara musim kemarau dan musim hujan belum sepenuhnya tercakup dalam analisis. Ketiga, simulasi EPANET dalam penelitian ini difokuskan pada aspek hidraulik kuantitas dan kontinuitas, tanpa mencakup analisis kualitas air seperti residu klorin dan risiko kontaminasi yang juga relevan dalam penilaian kinerja SPAM secara komprehensif. Keempat, penambahan koneksi pipa yang direkomendasikan dalam Pemodelan-V memerlukan kajian teknis lanjutan terkait kondisi eksisting jalan, utilitas bawah tanah yang ada, dan koordinasi dengan Dinas Pekerjaan Umum setempat sebelum dapat diimplementasikan.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian lanjutan disarankan meliputi beberapa arah berikut. Pertama, pemasangan DMA permanen di seluruh zona layanan SPAM Penet diperlukan agar data debit aktual tersedia untuk validasi model yang lebih akurat dan pemantauan kehilangan air yang berkelanjutan. Kedua, penelitian lanjutan perlu mengintegrasikan analisis kualitas air menggunakan fitur simulasi water quality EPANET, khususnya untuk memantau persebaran residu klorin dan waktu tinggal air (water age) yang berpengaruh terhadap risiko kontaminasi. Ketiga, pengembangan model prediksi kebutuhan air jangka panjang (2030–2045) berbasis pertumbuhan penduduk dan perubahan pola penggunaan lahan di Kelurahan Padangsembian perlu dilakukan sebagai landasan perencanaan kapasitas infrastruktur SPAM. Keempat, penelitian komparatif antarwilayah pelayanan SPAM Penet di

Denpasar Barat berpotensi menghasilkan gambaran sistemik tentang kinerja jaringan distribusi perkotaan di Bali, yang dapat dijadikan basis kebijakan pengembangan SPAM Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Kota Denpasar secara menyeluruh.

5. KESIMPULAN

Evaluasi sistem jaringan distribusi air bersih PAMTSK Denpasar di Kelurahan Padangsambian secara tegas menunjukkan bahwa kondisi eksisting belum memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007. Tekanan air pada jam puncak di Jalan Gunung Sanghyang dan Jalan Gunung Agung masing-masing hanya 0,6 bar dan 0,8 bar, jauh di bawah standar minimal 1 bar, sementara kecepatan aliran pada ruas pipa ID 137, 113, dan 68 berkisar antara 0,01 hingga 0,11 m/dt, jauh di bawah batas minimal 0,30 m/dt. Kondisi ini secara kolektif mengakibatkan sejumlah pelanggan tidak mendapatkan layanan air bersih yang memadai selama 24 jam, terutama pada jam-jam puncak pagi dan sore hari. Dari lima skenario pemodelan yang dikaji menggunakan EPANET 2.2, Pemodelan-V terbukti sebagai alternatif terbaik yang mampu mengintegrasikan Faktor Jam Puncak (FJP), standar kehilangan air nasional 20%, dan tiga penambahan koneksi pipa strategis secara simultan. Hasil simulasi Pemodelan-V menunjukkan debit pada titik sadap Jalan Gunung Sanghyang sebesar 126,43 l/dt, yang masih dalam batas kapasitas produksi 150 l/dt. Tekanan pada seluruh titik pantau P1 hingga P6 berada pada rentang 1,19 hingga 5,32 bar pada jam puncak, dan tekanan maksimum 6,84 bar pada jam malam minimum, seluruhnya memenuhi persyaratan teknis dan berada di bawah kuat tekan operasional pipa. Dengan demikian, Pemodelan-V menjamin seluruh pelanggan mendapatkan layanan air bersih secara kontinyu selama 24 jam dengan kuantitas dan tekanan yang memadai sesuai standar nasional.

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa tindakan strategis perlu segera dilaksanakan oleh PAMTSK Denpasar. Instalasi tiga unit koneksi pipa sesuai konfigurasi Pemodelan-V merupakan prioritas utama yang secara langsung akan memperbaiki distribusi tekanan dan meningkatkan kecepatan aliran pada segmen-segmen pipa kritis. Pemasangan tiga unit Distrik Meter Area (DMA) beserta manometer di batas wilayah Padangsambian Kelod, Tegal Kertha, Tegal Harum, dan Pemecutan Kelod sangat mendesak dilakukan agar pengelola dapat memantau debit dan tekanan secara real-time serta mendeteksi lokasi kebocoran secara lebih presisi. Program penurunan kehilangan air dari 39% menuju standar nasional 20% harus dijadikan target operasional jangka menengah yang terukur, mengingat selisih 19% tersebut setara dengan sekitar 28,5 l/dt debit yang hilang dari sistem dan berdampak langsung pada kualitas dan kuantitas layanan kepada pelanggan. Secara lebih luas, penelitian ini memberikan model evaluasi SPAM berbasis EPANET yang dapat direplikasi untuk wilayah layanan PAMTSK lainnya di Kota Denpasar maupun oleh pengelola SPAM di kota-kota lain di Indonesia yang menghadapi permasalahan serupa terkait tekanan rendah dan tingkat kehilangan air yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma (PAMTSK) Kota Denpasar yang telah memberikan izin, data teknis, dan dukungan penuh selama proses pengumpulan data penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini sebagai bagian dari kegiatan penelitian terapan bidang pengelolaan sumber daya air dan infrastruktur perkotaan. Penulis juga berterima kasih kepada seluruh reviewer yang telah memberikan masukan konstruktif untuk meningkatkan kualitas naskah ini, serta kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BPSDM, P. (2018). *Modul 9: Pengenalan Program EPANET*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan.
- Barikiyah, S., Utama, T. T., Nengse, S., & Setyowati, R. D. N. (2023). Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Air Minum PDAM Kota Mojokerto Instalasi Pengolahan Air (IPA) Wates Zona Pelayanan Pengolahan Air Prajurit Kulon. *Jurnal Reka Lingkungan*, 11(2), 152–161. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/lingkungan/article/view/8055>
- Darmadi. (2019). *Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih Di Kecamatan Koto Tangah Kota Padang*. Padang: Program Studi Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang .
- Departemen Kesehatan. (2002). *Keputusan Menteri Kesehatan RI No 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air Minum*. Jakarta.
- Ditjen Cipta Karya. (1996). *Kriteria Perencanaan*. Jakarta: Ditjen Cipta Karya : Dinas Pekerjaan Umum.
- Fitriana, I. R., Mashuri, & Dwipayana, M. A. (2024). PDAM Way Rilau Drinking Water Distribution Network Technical Performance Evaluation with EPANET 2.2: Case Study East Teluk Betung Service Area, Bandar Lampung. *Journal of Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.36706/jceit.v5i1.3691>
- Gunawan, R. (2008). Analisis Sumberdaya Air Daerah Aliran Sungai Bah Bolon Sebagai Sarana Pendukung Pengembangan Wilayah di Kabupaten Simalungun dan Asahan. *Wahana Hijau Jurnal Perencanaan dan Pengembangan Wilayah*, 2(1).
- Hadisoebroto, R., Astono, W., & Putra, R. A. (2007). *Kajian Pola Pemakaian Air Bersih di Tiga Apartemen di Jakarta*.
- Handayani, N. (2005). Evaluasi Jaringan Distribusi PDAM Way Rilau Pada Blok Zone 75 (Teluk Betung - Panjang Lampung). Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Kamala, K. R. (1999). *Environmental Engineering; Water Supply Sanitary Engineering and Pollution*. Tata McGraw Hill.
- Kause, M., Frans, J. H., & Utomo, S. (2020). Evaluasi Dan Perencanaan Pengembangan Jaringan Air Bersih Di Kota Soe. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2).
- Kencanawati, M., Maslina, & Noviatna, W. (2021). *Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi PDAM Di Jalan Pembangunan Kota Balikpapan*. Balikpapan: Prodi Teknik Sipil Universitas Balikpapan.
- KIMPRASWIL, N. (2002). *Pedoman Petunjuk Teknis Manual* (Vol. 6 (II dan III)).
- Nasution, A. N. (2021). *Evaluasi Perhitungan Kebutuhan Air Bersih PDAM Tirta Deli Kecamatan Lubuk Pakam Kabupaten Deli Serdang*. Medan: Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Nugroho, S., Meicahayanti, I., & Nurdiana, J. (2018). Analisa Jaringan Perpipaian Distribusi Air Bersih Menggunakan EPANET 2.0 Di Kelurahan Harapan Baru, Kota Samarinda. *TEKNIK: Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekeyasaan*, 39(1). <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i1.15192>
- Oktafianto, N., & Wibawa, M. B. (2018). Sistem Informasi Geografis (SIG) Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Daroy Banda Aceh Menggunakan ArcGIS 10.3 Serta Evaluasi Sistem Jaringan

- Distribusi Menggunakan EPANET 2.0. *Journal of Informatics and Computer Science*, 4(1). <https://doi.org/10.33143/jics.Vol4.Iss1.496>
- Pabura, F. S., Musa, R., & Mallombasi, A. (2024). Evaluasi Pelayanan Kinerja Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Kecamatan Tapalang Kabupaten Mamuju. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 167–175. <https://doi.org/10.52005/teslink.v6i1.351>
- Paranoan, A. (2018). *Analisa Kinerja Jaringan Sistem Distribusi Air Bersih Di Kabupaten Ende*. Makassar: Program Pascasarjana, Universitas Hasanuddin.
- Peavy, H. S. (1985). *Environmental Engineering*. McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
- Peraturan Walikota Denpasar Nomor 59 Tahun 2022 Tentang Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Perencanaan Barat Tahun 2022-2042.
- Permen PUPR. (2007). *Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum* (Vol. 18/PRT/M/2007).
- Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma. (2022). *Resume Laporan Triwulan I Tahun 2022 Perumda Air Minum Tirta Sewakadarma Periode Januari-Maret 2022*.
- Rival, Y., Masduki, A., & Marsono, B. D. (2006). Evaluasi Sistem Distribusi Dan Rencana Peningkatan Pelayanan Air Bersih PDAM Kota Gorontalo. *Jurnal SMARTek*, 4(2).
- Rosita, N. D., & Lubis, Z. (2016). Evaluasi Sistem Distribusi Air Bersih Di Desa Sendangrejo, Kecamatan Lamongan, Kabupaten Lamongan. *Jurnal CIVILLA*, 1(2). <https://doi.org/10.30736/cvl.v1i2.568>
- Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2.0 Users Manual*. Cincinnati: United State Enviromental Protection Agency.
- Silalahi, D. (2003). *Pengaturan Hukum Sumber Daya Air Dan Lingkungan Hidup di Indonesia*. Bandung.
- Solikhah, I., & Handriyono, R. E. (2021). *Evaluasi Sistem Distribusi Air Minum Di Kecamatan Bendungan Kabupaten Trenggalek Menggunakan Software EPANET*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - ITATS.
- Sudarmadji. (2007). *Analisis Bahan Makanan dan Pertanian*. Penerbit Liberty. Yogyakarta.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Syahrul. (2013). *Analisis Rencana Kebutuhan Air Bersih Di Desa Bakealu Kecamatan Wakorumba Selatan Kabupaten Muna*. Program Studi D-III Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo.
- Triatmadja, R. (2007). *Sistem Penyediaan Air Minum Perpipaan*. Penerbit UGM Press. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. (1996). *Hidrolika-I*. Penerbit Beta Offset. Yogyakarta.
- Zuhair, F. (2022). *Evaluasi Jaringan Pipa Distribusi Dengan Program EPANET 2.0 Di Perumahan Karang Sari Permai, Kecamatan Siantar Martoba, Kota Pematangsiantar*. *ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(5), 997-1002.
- Zulpiadi, Kartini, & Wibowo, H. (2018). *Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM di Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Kubu Raya*. Kalimantan Barat: Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.