

Pemodelan dan Optimalisasi Kinerja Jaringan Perpipaan Sistem Distribusi Air Bersih Menggunakan Epanet 2.2 (Studi Kasus: Desa Sumberejo, Kabupaten Madiun)

Alvia Nuriati Ramadhani dan Raden Kokoh Haryo Putro*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : radenkokoh.tl@upnjatim.ac.id

Kata Kunci:

distribusi, EPANET, hidrolis, kecepatan aliran, kehilangan tekanan, perpipaan, PERUMDAM

ABSTRAK

Kebutuhan air harus berbanding lurus dengan penyediaan air bersih. Pemerintah melalui program Sustainable Development Goals pada poin enam berupaya memenuhi target pada tahun 2030. Sistem hidrolis menjadi aspek penting karena aliran dan tekanan berpengaruh terhadap kelangsungan sistem hidrolis yang terjadi. Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis kuantitatif dengan studi kasus pengembangan jaringan distribusi di Desa Sumberejo. Pemodelan jaringan distribusi menggunakan software EPANET v.2.2 untuk menganalisis debit, kecepatan aliran, tekanan, dan kehilangan tinggi tekan secara berkelanjutan untuk 10 tahun mendatang serta melakukan evaluasi dan optimalisasi pada sumber air yang digunakan. Berdasarkan hasil simulasi EPANET v.2.2 pada tahun 2022 menunjukkan terdapat 24 buah pipa dengan kecepatan bermasalah, 43 junction dengan tekanan yang bermasalah, dan 3 buah pipa dengan headloss gradient bermasalah. Sehingga dilakukan rekomendasi perbaikan jaringan distribusi disesuaikan dengan kriteria perencanaan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016 untuk mengoptimalkan kinerja sistem distribusi hingga 10 tahun mendatang. Kehilangan tinggi tekan maksimum jaringan distribusi tahun 2022 sebesar 14,26 m/km dan direkomendasikan perbaikan sehingga sampai tahun 2032 menjadi 7,10 m/km.

Keyword:

distribution, EPANET, hydraulics, flow rate, headloss, piping, PERUMDAM

ABSTRACT

Water needs must be directly proportional to the supply of clean water. The government, through the Sustainable Development Goals program in point six, is trying to meet the target by 2030. The hydraulic system is an important aspect because flow and pressure influence the continuity of the hydraulic system. This research was carried out using a quantitative analysis method with a case study of distribution network development in Sumberejo Village. Distribution network modeling uses EPANET v.2.2 software to analyze discharge, flow velocity, pressure and headloss on an ongoing basis for the next 10 years as well as evaluate and optimize the water sources used. Based on the EPANET v.2.2 simulation results in 2022, it shows that there are 24 pipes with problematic speeds, 43 junctions with problematic pressures, and 3 pipes with problematic headloss gradients. So recommendations for improvements to the distribution network are made in accordance with the planning criteria of Minister of Public Works Regulation Number 27 of 2016 to optimize the performance of the distribution system for the next 10 years. The maximum headloss in the distribution network in 2022 is 14.26 m/km and improvements are recommended so that by 2032 it becomes 7.10 m/km.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan air bersih merupakan jumlah air bersih yang dibutuhkan dan harus tersedia untuk memenuhi kebutuhan serta menentukan besarnya perubahan tingkat kebutuhan air di masa mendatang. Faktor yang memengaruhi kebutuhan air adalah pertumbuhan penduduk, tingkat ekonomi, kebiasaan masyarakat yang dinamis baik di pedesaan maupun perkotaan (Salilama *et al.*, 2020). Hal ini mendorong pemerintah untuk mengupayakan pemenuhan target pada poin enam program pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development*

goals (SDGs) terkait air bersih dan sanitasi layak pada tahun 2030 dengan target pemenuhan akses air minum yang universal, merata, aman, dan terjangkau (Ashari, 2023). Berdasarkan data PERUMDAM Tirta Dharma Purabaya, hingga April 2023 diketahui bahwa PERUMDAM Kabupaten Madiun telah melayani 52.782 Sambungan Rumah (SR) dengan total penduduk terlayani sebanyak 553.666 jiwa atau mencapai 72,7% dari jumlah penduduk di Kabupaten Madiun. Penyediaan air bersih saat ini sangat penting karena terjadinya peningkatan kebutuhan air bersih sehingga air bersih hingga air minum menjadi faktor penting

dalam terwujudnya kesejahteraan nasional. Oleh karena itu, pemenuhan pasokan air yang efektif penting dilakukan untuk merancang jaringan distribusi baru atau mengembangkan jaringan yang sudah ada sehingga dapat memperluas pelayanan.

Sistem distribusi air bersih merupakan infrastruktur hidraulik yang mengalirkan air bertekanan. Pada sistem distribusi air bersih di wilayah pelayanan PERUMDA Air Minum Kabupaten Madiun, pipa distribusi terletak mulai dari sumur pompa untuk penyediaan air bersih hingga ke titik sambungan rumah pelanggan, adapun komponen pendukung seperti pipa, *valve*, hidran, meter air, dan lain sebagainya yang mengakomodasi dalam mengalirkan air pada jaringan pipa. Pada saluran tertutup, debit air yang mengalir memiliki dua bentuk energi potensial yaitu yang diakibatkan oleh tekanan dan elevasi (Suyitno, 2008 dalam Riduan *et al.*, 2017). Pada jaringan distribusi air, aliran, dan tekanan menjadi sebuah tantangan ketika seorang perencana melakukan perencanaan jaringan distribusi air. Hal ini karena aliran dan tekanan berpengaruh terhadap kelangsungan sistem hidraulik yang terjadi dalam proses distribusi. Permasalahan yang timbul relatif kompleks dalam analisis dan desain jaringan pipa terutama pada jaringan yang terdiri dari beberapa macam pipa (Desta *et al.*, 2022).

Permasalahan umum yang sering terjadi dalam proses distribusi air yaitu terjadinya kehilangan tekanan air yang besar. Kehilangan tekanan disebabkan oleh dua hal, yaitu *headloss major* dan *headloss minor*. Terjadinya kehilangan tekanan yang disebabkan karena adanya gesekan antara air dengan dinding pipa disebut dengan *headloss major*, sedangkan *headloss minor* terjadi karena adanya belokan pada pipa, pengecilan dan pembesaran penampang pipa, percabangan pipa, dan lain-lain (Priyati *et al.*, 2019). Tekanan minimum yang dipersyaratkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016 yaitu (0,5-1,0) atm atau setara dengan (5-10) meter air, tekanan maksimum untuk pipa PVC yaitu (6-8) atm atau setara dengan (62-83) meter air. Sisa tekanan minimum satu bar atau 10 meter kolom air (mka) berlaku pada pipa sekunder dan pipa tersier. Sedangkan sisa tekanan minimum pada jalur pipa induk harus lebih besar dari 10 meter air (PERMEN PU 27, 2016).

Konsep aliran dalam sistem perpipaan bertekanan menjelaskan bahwa dengan besarnya energi yang sama sepanjang pipa antara titik satu dan titik dua, tekanan energi akan berkurang akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa, yang disebut kerugian sisa tekanan. Tekanan pada pipa perlu diawasi agar tidak terlalu rendah, sebab tekanan yang terlalu rendah akan mengakibatkan air yang mengalir melalui saluran distribusi tercemar (Safii, 2012 dalam Riduan *et al.*, 2017).

Pada perencanaan pengembangan jaringan distribusi di Desa Sumberejo, Kecamatan Madiun direncanakan menggunakan air yang bersumber dari air tanah sumur dalam yaitu sumur bor unit Banjarsari. Ditinjau dari tekanan sumur bor unit Banjarsari merupakan lokasi yang ideal untuk dimanfaatkan sebagai sumber air baku atau dibuat zona karena adanya ketersediaan *head*. Namun, penggunaan sumur ini juga diperlukan analisis untuk mengetahui tekanan air pada jaringan pipa distribusi yang menuju Desa Sumberejo. Terlalu banyak tekanan dan faktor daya fisik pipa yang rendah dapat menyebabkan risiko terjadinya *non-revenue*

water (NRW) yang besar (Ambarwati *et al.*, 2022). Berdasarkan hal itu, maka perlu dilakukan analisis terkait kondisi eksisting perencanaan pengembangan dan untuk mengetahui batas zona dari sumber air sumur bor unit Banjarsari. Proses ini dilakukan dengan meninjau kapasitas input sistem (*supply*), kapasitas *hydraulic* pipa eksisting dan kebutuhan air pelanggan (*demand*) sesuai penugasan (*delineasi*) (Wirawan *et al.*, 2020).

Permasalahan yang terjadi dari sistem distribusi air harus segera mendapat solusi. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi pihak pengelola saat ini dan jangka yang panjang, sehingga perlu dilakukan penelitian dan kajian. Berdasarkan hal itu, alternatif penanganan permasalahan air bersih yang diajukan penulis dengan melakukan analisis kondisi eksisting dan merekomendasikan alternatif dengan perbaikan jaringan distribusi pada zona sumur bor unit Banjarsari dengan menggunakan pemodelan jaringan distribusi air minum menggunakan bantuan *software EPANET v.2.2*. Analisis yang dilakukan yaitu dengan melakukan pengukuran pola sebaran tekanan pada jaringan distribusi eksisting yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi jaringan distribusi alternatif yang telah disesuaikan dengan standar kriteria perencanaan jaringan distribusi berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016. Penelitian juga dilakukan untuk menganalisis kondisi pada sistem jaringan distribusi air meliputi debit, kecepatan aliran, tekanan, dan kehilangan tekanan yang diakibatkan adanya gesekan pada dinding pipa pada sistem jaringan pipa distribusi air bersih untuk 10 tahun mendatang serta mengevaluasi sumber air yang akan digunakan dengan mengoptimalkan kinerja sumber air dalam pemenuhan parameter hidraulik secara berkelanjutan sampai tahun yang direncanakan. Hal ini dilakukan agar pihak pengelola air minum dapat memberikan pelayanan yang baik dari aspek teknisnya berdasarkan Rencana Pengamanan Air Minum (RPAM) yaitu kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan). Sistem jaringan tertutup PERUMDA Air Minum diharapkan mampu memenuhi kebutuhan air penduduk dengan pendistribusian air bersih secara merata dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan analisis kuantitatif yang terdiri dari beberapa tahapan, yakni: (a) tahap persiapan, yang dengan melakukan studi literatur serta mengumpulkan data primer dan data sekunder; (b) tahap penelitian, yang terdiri dari pembuatan peta jaringan eksisting dengan memanfaatkan *software ArcMap 10.8*, perhitungan kebutuhan air (*base demand*), dan melakukan pemodelan jaringan distribusi perpipaan dengan menggunakan *software EPANET 2.2*; (c) tahap analisis, yang dilakukan dengan menganalisis parameter kecepatan aliran, tekanan air dan kehilangan tekanan pada model jaringan distribusi perpipaan yang telah disimulasikan menggunakan *software EPANET v.2.2* serta apabila terdapat parameter yang tidak memenuhi kriteria pipa distribusi maka dilakukan pembuatan rekomendasi perbaikan sistem jaringan distribusi air bersih dengan menyesuaikan kriteria pipa distribusi berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016 (Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2016).

Lokasi penelitian dilakukan pada wilayah pengembangan pelayanan PERUMDA Air Minum Tirta Dharma Purabaya yaitu di Desa Sumberejo, Kecamatan Madiun, Kabupaten Madiun. Data yang diperlukan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan diperoleh dengan melakukan perhitungan kebutuhan air (*base demand*) dengan melakukan proyeksi kebutuhan air bersih masyarakat Desa Sumberejo untuk 10 tahun mendatang. Perhitungan kebutuhan air minum dilakukan dengan perkiraan jumlah penduduk dan fasilitas umum untuk 10 tahun mendatang dikalikan dengan rata-rata pemakaian air pelanggan di wilayah Kabupaten Madiun. Tujuan dilakukan perhitungan proyeksi kebutuhan air ini untuk menentukan jumlah kebutuhan air per orang per harinya. Data primer juga diperoleh dengan melakukan observasi atau pengamatan kondisi lapangan untuk meninjau keadaan daerah perencanaan pengembangan, pengamatan meliputi, keadaan jalan, keadaan pemukiman, elevasi wilayah, dan keadaan jaringan eksisting. Sedangkan untuk data sekunder yang digunakan adalah peta RT/RW Kabupaten Madiun yang digunakan untuk memastikan arah pengembangan daerah serta data eksisting daerah pelayanan sumur bor unit Banjarsari yang meliputi jaringan pipa distribusi.

Data-data yang diinputkan ke dalam *software* EPANET v.2.2 seperti elevasi, diameter pipa, jenis pipa, panjang pipa, kekasaran pipa, *demand*, *head*, dan debit pompa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis terhadap jaringan distribusi eksisting pada perencanaan jaringan distribusi di wilayah pengembangan pelayanan Desa Sumberejo.

3.1 Analisis keadaan eksisting

Analisis keadaan eksisting dilakukan untuk menganalisis data eksisting yang diperoleh dari PERUMDAM dengan analisis perhitungan yang akan dilakukan. Analisis meliputi, analisis pada sistem jaringan distribusi eksisting yang disesuaikan dengan kebutuhan air rata-rata dengan menggunakan perhitungan secara *manual* maupun menggunakan *software* EPANET v.2.2 pada tahun 2022 berdasarkan perencanaan yang dilakukan PERUMDAM.

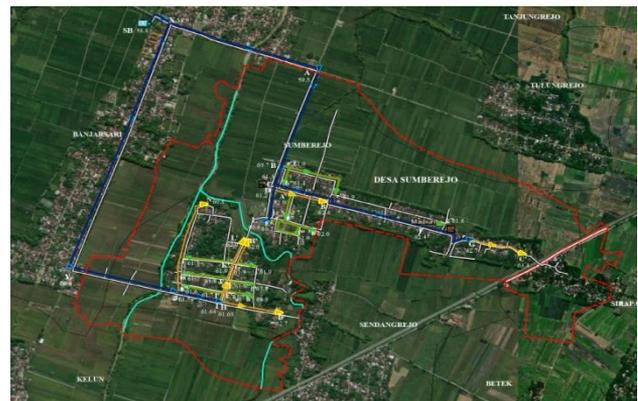
3.1.1 Kondisi wilayah desa sumberejo

Salah satu wilayah yang berada di Kabupaten Madiun adalah Desa Sumberejo yang secara administratif berada di Kecamatan Madiun. Luas wilayah Desa Sumberejo sebesar 2,20 km². Jarak Desa Sumberejo ke ibukota kabupaten sekitar 8 km. Kondisi topografi desa Sumberejo terletak pada ketinggian 58 sampai 64 mdpl, desa ini beriklim tropis dan memiliki dua musim yang berbeda yaitu musim kemarau berlangsung dari bulan April sampai Oktober dan musim hujan berlangsung dari bulan Oktober sampai Maret.

Salah satu permasalahan yang dihadapi masyarakat Desa Sumberejo adalah tidak keluarnya air pada keran air pada musim kemarau karena sumber air tanah produksinya berkurang sehingga masyarakat harus menurunkan pompa air untuk lebih menjangkau air di dalam tanah yang lebih dalam. Kondisi ini dapat terjadi sepanjang musim kemarau dan apabila musim hujan terkadang air dari sumur keluar

mengalami kekeruhan. Hal ini terjadi karena terjadi kontaminasi limpasan air hujan karena adanya kebocoran pada sumur. Selain itu, juga karena proses infiltrasi-permeasi tanah pada lapisan atas dan larutan koloid tanah di sekitar sumur.

Kondisi seperti itu membuat kebutuhan air bersih masyarakat Desa Sumberejo memerlukan pelayanan dari PERUMDAM Tirta Dharma Purabaya. Berikut ini, pada gambar 1 menunjukkan peta Desa Sumberejo dan rencana jaringan pipa eksisting yang akan dilakukan pemasangan untuk pendistribusian air dari sumber air sumur bor unit Banjarsari menuju ke Desa Sumberejo.



Gambar 1. Peta Jaringan Distribusi Desa Sumberejo

3.1.2 Kebutuhan Air

Rata-rata kebutuhan air ditentukan berdasarkan kebutuhan air domestik dan non domestik. Kebutuhan air rumah tangga merupakan kebutuhan air domestik, sedangkan kebutuhan non domestik adalah kebutuhan air yang berasal dari fasilitas umum dan fasilitas lainnya. Hasil perhitungan tingkat kebutuhan air penduduk Desa Sumberejo diketahui bahwa kebutuhan air penduduk Desa Sumberejo pada tahun 2032 sebesar 0,008546 m³/detik atau kebutuhan air per orang per hari adalah 107 lt/orang/hari. Nilai tersebut lebih besar dibanding kebutuhan air maksimal untuk kategori kota kecil yaitu 100 lt/orang/hari berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan air aktual masyarakat lebih tinggi dari baku mutu penggunaan air bersih dalam kriteria perencanaan. Selain itu, karena penggunaan air yang tidak terduga, jumlah air yang digunakan terkadang melebihi standar konsumsi air harian. Tingginya nilai guna air PERUMDAM di Kabupaten Madiun dikarenakan masyarakat menggunakan air untuk berbagai kegiatan seperti memasak, MCK, dan kebutuhan air lainnya. Dalam beberapa kegiatan seperti hajatan, kegiatan pembangunan, dll, masyarakat juga sering menggunakan air PERUMDAM, karena lebih murah dan persediaan airnya cukup banyak. Hal ini sangat memengaruhi peningkatan konsumsi air. Selain itu, penggunaan air rata-rata pelanggan lebih tinggi dari standar kebutuhan air harian yang juga menunjukkan tingkat kesadaran masyarakat terhadap penggunaan air yang belum sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan. Konsumsi air PERUMDAM yang tinggi dipengaruhi oleh kebiasaan masyarakat yang tidak efisien dalam menggunakan air. Selain itu, berdasarkan kebiasaan sebagian masyarakat yang

cenderung menguras air tanpa digunakan, air dibiarkan mengalir sepanjang hari sehingga menyebabkan konsumsi air rata-rata kebutuhan air yang lebih tinggi dari standar. Kehilangan air berdasarkan data eksisting PERUMDA Air Minum Tirta Dharma Purabaya sebesar 18,75%.

3.1.3 Analisis sistem distribusi jaringan pipa eksisting

Proses distribusi air ke Desa Sumberejo menggunakan sumber air baku yang berasal dari sumber air tanah sumur bor unit Banjarsari. Berdasarkan data PERUMDA Air Minum, sumur bor unit Banjarsari memiliki kapasitas desain 16 liter/detik dengan *head* sebesar 80 m. Sistem distribusi yang terlayani oleh sumur bor unit Banjarsari menggunakan sistem pemompaan. Penggunaan sistem pemompaan disebabkan oleh perbedaan elevasi di wilayah pelayanan, Letak sumur bor unit Banjarsari lebih rendah dibandingkan dengan elevasi tertinggi pada daerah pelayanan sehingga harus menggunakan sistem pemompaan. Pada pengembangan jaringan distribusi di Desa Sumberejo ini dibagi menjadi dua blok pelayanan yaitu Desa Sumberejo bagian utara dan bagian selatan. Hal ini dilakukan karena pada Desa Sumberejo terdapat aliran sungai yang besar sehingga memisahkan wilayah Desa Sumberejo.

3.1.4 Analisis jaringan pipa eksisting menggunakan *epanet* v.2.2

Pemodelan jaringan distribusi yang akan dilakukan dengan menginputkan data-data seperti panjang pipa, elevasi, diameter pipa, kekasaran pipa, debit node/blok, data sumber air sumur bor yang digambarkan oleh reservoir berupa elevasi, data pompa berupa debit dan *head*. Pada pemodelan jaringan distribusi ini tidak menginputkan data instabilitas pemompaan yang diinputkan pada menu *pattern* pada *software* EPANET v.2.2.

Hasil *running* yang akan diperlihatkan pada EPANET v.2.2 sebagai hasil dari node dan *links* (pipa). Hasil *running* node menyatakan hasil dari tekanan, *demand*, *base demand*, dan *head*. Tekanan adalah sisa tekanan sesudah mengalami beberapa gesekan, baik yang disebabkan oleh panjang pipa ataupun kekasaran pipa. *Demand* adalah aliran atau permintaan air pada jam puncak, dihitung dengan mengalikan permintaan *baseline* dengan pengali jam puncak. *Base demand* merupakan debit atau kebutuhan air yang dimasukkan pada setiap node tapping. Hasil *running* pada *links* (pipa) akan menampilkan *velocity*, *flow*, dan *unit headloss*. Menurut SNI 7509-2011 dan PerMen PU Umum Nomor 27 Tahun 2016, sistem pengaliran distribusi air perlu diperhatikan kriteria teknis yaitu kuatnya tekanan pada jaringan pipa distribusi. Untuk mengevaluasi simulasi hidraulis EPANET, maka hasil data kecepatan aliran, tekanan, dan unit *headloss* pada EPANET akan dibandingkan dengan standar kecepatan aliran, tekanan, dan *headloss* sesuai pada tabel 1.

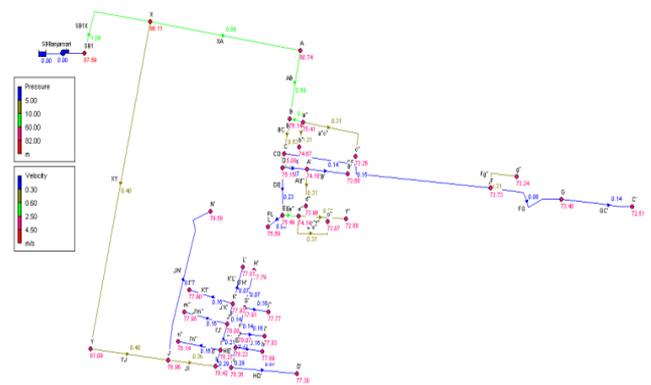
Tabel 1. Kriteria Pipa Distribusi

Uraian	Notasi	Kriteria
Debit Perencanaan	Q puncak	Kebutuhan air jam maksimum $Q_{max} = F_{max} \times Q_{rata-rata}$
Faktor jam puncak	F puncak	1,15 – 3

Uraian	Notasi	Kriteria
Kecepatan aliran air dalam pipa		
a) Kecepatan minimum	V min	0,3 – 0,6 m/det
b) Kecepatan maksimum		
– Pipa PVC atau ACP	V max	3,0 – 4,5 m/det
– Pipa baja atau DCIP	V max	6,0 m/det
Tekanan air dalam pipa		
a) Tekanan minimum	H min	(0,5 – 1,0) atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh
b) Tekanan maksimum		
– Pipa PVC	H maks	6 – 8 atm
– Pipa DCIP		10 atm
– Pipa PE 100		12,4 MPa
– Pipa PE 80		9,0 MPa

Sumber: PERMEN PU Nomor 27 Tahun 2016

Berikut ini pada gambar 2 merupakan hasil simulasi pada jaringan pipa eksisting.



Gambar 2. Hasil *Pressure* dan *Velocity* Pada Jaringan Pipa Eksisting

(Sumber : Analisis EPANET v.2.2, 2023)

Berdasarkan hasil simulasi pada *software* EPANET v.2.2, menunjukkan pemberitahuan bahwa proses *running* berhasil sehingga dalam sistem pemodelan ini menunjukkan hasil hidraulis yang terjadi pada sistem distribusi di Desa Sumberejo. Hasil analisis menggunakan EPANET v.2.2 pada gambar 2 menunjukkan kondisi eksisting pada tahun 2022 keadaan hidraulis pada *junction* dan *link*. Sisa tekan pada *junction* harus memenuhi standar kriteria yaitu (10 – 82) meter. Hasil simulasi pada jaringan eksisting menunjukkan bahwa terdapat 21 *junction* memiliki sisa tekan pada rentang nilai (72,51 – 87,59) m. Nilai tekanan sisa berubah tergantung pada jarak daerah pelayanan dari sumber utama. Tekanan pada sistem pipa sangat tergantung pada laju aliran produksi, ketinggian lokasi pelanggan, dan jarak ke lokasi pelanggan. Tingkat tempat tinggal pelanggan yang lebih tinggi dari pelanggan lain akan memiliki tekanan yang lebih rendah (Paryono & Susilo, 2014). Hasil simulasi pada EPANET v.2.2 menunjukkan sisa tekan yang tergolong besar merupakan tekanan maksimum, karena berdasarkan kriteria perencanaan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016 sisa tekan pada jaringan perpipaan menggunakan pipa PVC minimum 1 atm atau setara 10 m dan tekanan maksimum sebesar 6 – 8 atm atau setara (61 – 82) m.

Terdapat dua titik yang memiliki sisa tekan lebih dari 82 m. Tekanan yang berlebihan dapat merusak pipa, dimana pipa rentan terhadap kebocoran yang dapat meningkatkan tingkat kebocoran pada jaringan distribusi. PRV dan BPT dapat digunakan untuk mengatur *overpressure* (Sukmawardani, 2021). Solusi yang akan dilakukan untuk mengatasi *overpressure* yaitu dengan menggunakan katup pelepas tekanan (*pressure reducing valve*). Hal ini sesuai dengan ketentuan pemasangan sistem penyediaan air minum untuk mengatasi kekurangan tekanan dapat digunakan *booster pump* (PERMEN PU 27, 2016).

Aspek-aspek yang dianalisis pada *links* hasil simulasi jaringan distribusi seperti kecepatan (*velocity*) dan unit *headloss*. Hasil simulasi menunjukkan pada *links* jaringan distribusi didapatkan untuk jaringan pipa dengan debit aliran lebih rendah dari kriteria (<0,3 m/s) yakni pipa DE, EL, CF, FG, DA', A'B', GC', IH, JN', HD', HE', E'F', F'G', G'H', II', I'J', J'K', K'L', E'h'', F'i'', G'j'', I'n'', J'm'', dan K'l''. Pada pipa dengan kecepatan di bawah kriteria, kecepatan dapat menghambat aliran air dan berpotensi menyebabkan sedimentasi. Untuk mengatasi hal tersebut, solusi untuk menambah kecepatan standar adalah dengan mengganti pipa dengan diameter yang lebih kecil dari pipa eksisting. Kecepatan air yang melebihi kriteria dapat menyebabkan pipa menjadi aus dan berpotensi menyebabkan kebocoran. Solusinya adalah dengan memasang sambungan paralel dengan pipa yang sudah ada (Sukanto, 2017).

Adanya hubungan antara perubahan tekanan dan kecepatan ditunjukkan dalam persamaan Bernoulli berikut.

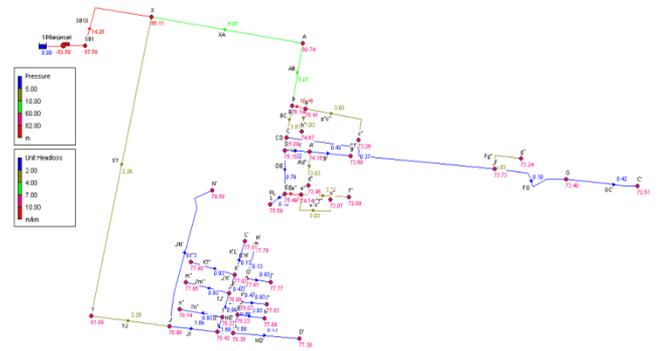
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + h_1\rho g = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + h_2\rho g \quad (1)$$

Keterangan:

- P_1 = Tekanan pada pipa I (tinggi)
- P_2 = Tekanan pada pipa II (rendah)
- ρ = Massa jenis fluida
- v_1 = Kecepatan fluida pada pipa I
- v_2 = Kecepatan fluida pada pipa II
- h_1 = Ketinggian pipa I
- h_2 = Ketinggian pipa II

Jadi secara teoritis, saat aliran dipercepat, tekanannya turun. Sedangkan pada aliran berkecepatan rendah (ekspansi), tekanan akan meningkat (Sarjito *et al.*, 2017). Kecepatan fluida yang semakin besar di dalam pipa maka semakin rendah tekanannya, begitu pula sebaliknya semakin rendah kecepatan fluida di dalam pipa maka semakin tinggi tekanannya (Sultan *et al.*, 2020).

Hasil analisis untuk parameter unit *headloss* atau kehilangan tekanan menggunakan EPANET v.2.2 pada jaringan pipa distribusi eksisting ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil *Pressure* dan *Unit Headloss* pada Jaringan Pipa Eksisting

(Sumber : Analisis EPANET v.2.2, 2023)

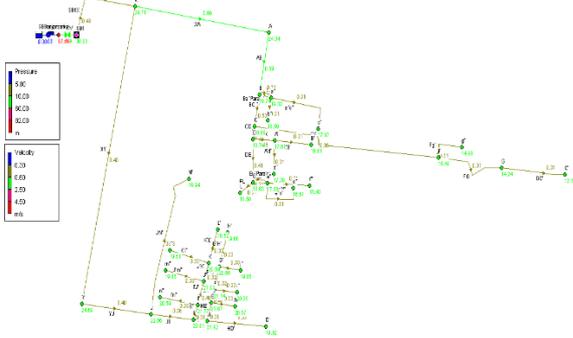
Berdasarkan hasil simulasi pada EPANET v.2.2, unit *headloss* dapat diketahui bahwa terdapat tiga pipa yang nilainya diatas kriteria (>10 m/km). Pipa tersebut yaitu pipa Ee'' dan pipa Ba'' yang memiliki *headloss* sebesar 10,96 m/km serta pipa SB1X dengan *headloss* sebesar 14,26 m/km. Menurut Linsey dan Franzini (1986) dalam Irvandi (2017) besarnya nilai *headloss* dipengaruhi oleh kecepatan aliran, pada pipa dengan kecepatan tinggi, penurunan tekanan bahkan lebih besar. Hal ini disebabkan karena gesekan antara aliran dan dinding pipa atau karena siku. Penurunan tekanan unit yang besar dapat mengakibatkan penurunan tekanan di ujung pipa yang mencegah air mengalir kembali ke jaringan pipa sekunder. Penurunan tekanan sebanding dengan kecepatan tetapi berbanding terbalik dengan diameter pipa, semakin kecil diameter pipa, semakin besar penurunan tekanan. Nilai maksimum penurunan tekanan yang terjadi pada saluran SB1X adalah 14,26 m/km. Hal ini terjadi karena debit yang melewati pipa SB1X besar sehingga terjadi gesekan antara alira air dan dinding pipa serta aliran air tersebut melewati belokan sehingga mengakibatkan nilai kehilangan tekanannya cukup besar. Solusi untuk menurunkan nilai unit *headloss* adalah penggantian pipa atau pemasangan paralel pipa pada jaringan distribusi eksisting (Sukanto, 2017). Hal ini juga dilakukan pada penelitian yang dilakukan Widodo (2017) bahwa memasang pipa secara paralel dapat mengurangi penurunan tekanan pipa dan meningkatkan tekanan pada sambungan.

3.2 Rekomendasi jaringan eksisting

Berdasarkan dari hasil analisis *running* dengan data kondisi eksisting maka dilakukan upaya rekomendasi jaringan distribusi untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada eksisting yang dipasang untuk menurunkan nilai *headloss* yang terjadi pada pipa. Untuk mengatasi nilai *headloss* yang melebihi standar kriteria maka dilakukan penggantian diameter pipa atau memasang pipa secara paralel dengan diameter yang sama atau lebih kecil (Sukanto, 2017). Pada pengembangan jaringan distribusi di Desa Sumberejo dapat dilakukan dengan mengganti pipa dengan ukuran diameter yang lebih kecil dibanding dengan pipa eksisting. Penggantian diameter pipa dilakukan untuk memperbaiki permasalahan pada hasil simulasi jaringan distribusi eksisting. Pemasangan pipa baru harus memiliki ukuran diameter sama atau lebih kecil dibandingkan dengan pipa yang sudah ada. Penggantian diameter pipa ini akan

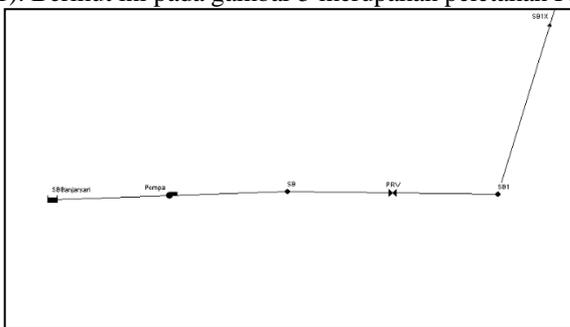
menurunkan *velocity* sehingga kecepatan aliran akan meningkat. Untuk mengatasi permasalahan sisa tekan yang besar pada jaringan distribusi di Desa Sumberejo, maka dilakukan pengoptimalan penggunaan *valve* dengan *setting* sesuai dengan sisa tekan yang diharapkan. Pada analisis jaringan alternatif ini dilakukan *setting valve* sebesar 30 mka.

Berikut ini pada gambar 4 menunjukkan hasil *running* simulasi pada jaringan distribusi perpipaan eksisting setelah dilakukan pergantian diameter pipa, pemasangan pipa secara paralel pada tiga ruas pipa, pemasangan *valve*, dan pengaturan *head* pompa menjadi 30 m.



Gambar 4. Hasil *Pressure* dan *Velocity* Pada Jaringan Pipa Rekomendasi
(Sumber : Analisis EPANET v.2.2, 2023)

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan di atas, dengan menggunakan *software EPANET v.2.2* menunjukkan hasil bahwa area layanan dimana jaringan perpipaan memiliki tekanan sisa lebih besar dari 82 mka dapat diperbaiki dengan memasang PRV. PRV diletakkan dekat dengan sumur bor unit Banjarsari dan pompa eksisting tepatnya sebelum meter induk di awal jaringan pada pipa yang memiliki sisa tekan lebih dari (61 – 82) mka. Dari pemasangan PRV ini diharapkan sisa tekan dapat disesuaikan dengan standar kriteria perencanaan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016 yaitu minimal (5 – 10) mka sehingga *setting* pada PRV diinputkan sebesar 25 mka dengan tujuan menyesuaikan sisa tekan dari titik peletakan PRV sampai titik terjauh memiliki sisa tekan yang masih sesuai kriteria yang diharapkan. PRV digunakan untuk mengurangi tekanan hingga 80% (Sukmawardani *et al*, 2021). Berikut ini pada gambar 5 merupakan peletakan PRV.

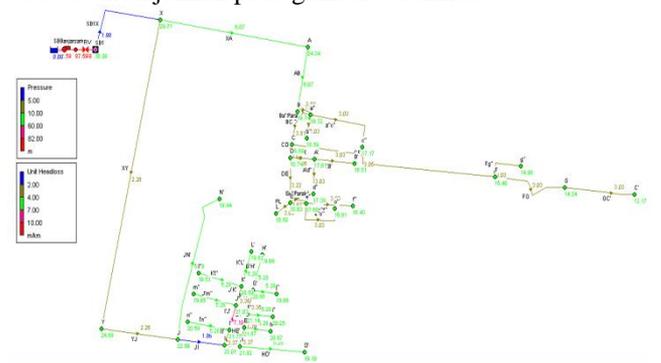


Gambar 5. Peletakan PRV
(Sumber : Analisis EPANET v.2.2, 2023)

Berdasarkan hasil analisis pada jaringan pipa alternatif dengan dilakukan penggantian diameter pipa, pemasangan pipa paralel dan pemasangan PRV didapatkan hasil bahwa

pada jaringan pipa alternatif memiliki sisa tekan pada rentang nilai (12,17 – 30,00) m. Hal ini sesuai dengan *setting* tekanan yang diharapkan yaitu 30 mka. Hasil sisa tekan tersebut sudah sesuai dengan kriteria perencanaan penyediaan sistem distribusi berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Sukmawardani (2021) bahwa pemasangan PRV dapat membantu dalam menurunkan tekanan yang besar pada jaringan perpipaan. Sisa tekan yang sesuai dengan kriteria ini akan mampu mendistribusikan air hingga titik terjauh dari jangkauan sumber air. Analisis kecepatan aliran pada pipa yaitu 0,31 – 1,09 m/s hal ini sudah sesuai dengan kriteria yaitu 0,3 – 4,5 m/s. Berdasarkan hasil analisis, pada jaringan pipa alternatif untuk kategori sisa tekan dan kecepatan sudah sesuai dengan standar perencanaan sehingga adanya penyesuaian dengan kriteria desain ini dapat menjadi acuan untuk melakukan identifikasi terhadap permasalahan dan kemungkinan terjadinya kebocoran yang terjadi pada jaringan distribusi eksisting. Identifikasi titik kebocoran dapat dilakukan dengan memasang *District Meter Area (DMA)* untuk memudahkan dalam penanganan titik kebocoran.

Hasil simulasi untuk nilai kehilangan tekanan atau *headloss* ditunjukkan pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Hasil *Pressure* dan *Unit Headloss* pada Jaringan Pipa Rekomendasi
(Sumber : Analisis EPANET v.2.2, 2023)

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan *software EPANET v.2.2*, menunjukkan nilai kehilangan tekanan pada jaringan distribusi alternatif sebesar (1,86 – 7,10) m/km sehingga nilai tersebut sudah sesuai dengan kriteria perencanaan untuk pipa distribusi berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan melakukan analisis pada jaringan distribusi eksisting dengan menggunakan pemodelan pada *software EPANET v.2.2*, dapat disimpulkan bahwa jaringan pipa eksisting pada tahun 2022 dapat mengalirkan debit sesuai yang dibutuhkan menuju ke tapping di Desa Sumberejo. Debit air yang mengalir dari SB Banjarsari menuju Desa Sumberejo sebesar 8,546 L/detik. Hasil simulasi EPANET v.2.2 pada tahun 2022 menunjukkan terdapat 24 buah pipa dengan kecepatan bermasalah, 21 *junction* dengan tekanan yang bermasalah, dan 3 buah pipa dengan *headloss gradient* bermasalah.

Jaringan pipa eksisting yang terpasang memiliki kecepatan aliran sebesar (0,07 – 1,09) m/detik, tekanan sebesar (72,51 – 87,59) m sehingga masih ada yang belum sesuai dengan standar kriteria sehingga direkomendasikan pemasangan atau penggantian dengan alternatif pipa. Rekomendasi ini dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem distribusi di Desa Sumberejo hingga 10 tahun mendatang yaitu tahun 2032. Hasil analisis pada pipa alternatif tekanan sebesar (12,17 – 30,00) m, kecepatan aliran pada pipa yaitu (0,31 – 0,69) m/detik sehingga semua kategori sudah sesuai dengan kriteria perencanaan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016. Sistem pendistribusian dari sumur bor unit Banjarsari ke sambungan rumah pelanggan akan dibantu dengan adanya satu buah pompa dan satu unit PRV dengan *setting head* 30 mka yang terletak dekat dengan sumur bor unit Banjarsari. Hal ini dikarenakan *head* pada sumur bor unit Banjarsari sebesar 80 m dapat menyebabkan tekanan yang terlalu besar melebihi kriteria perencanaan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 27 Tahun 2016.

Kehilangan tekanan yang terjadi pada jaringan distribusi air bersih Desa Sumberejo berdasarkan perencanaan eksisting PERUMDAM Tirta Dharma Purabaya berada pada rentang (0,1 – 14,26) m/km sehingga ada yang melebihi kriteria standar perencanaan yaitu < 10 m/km. Kehilangan tekanan berdasarkan alternatif pipa pada jaringan distribusi Desa Sumberejo sebesar (1,86 – 7,10) m/km sehingga aliran air dapat sampai hingga titik terjauh pada sambungan rumah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan jurnal ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan PERUMDAM Tirta Dharma Purabaya Kabupaten Madiun yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak lain yang turut serta berkontribusi secara penuh dan tidak bisa penulis tuliskan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, R., Dijaya, R. (2022). *Pengelolaan Non-Revenue*
Ambarwati, R., Dijaya, R. (2022). *Pengelolaan Non-Revenue Water Di Indonesia*. Pustaka Rumah Cinta. Jawa Tengah, Indonesia.
- Ashari, A. S. (2023). Perencanaan Sistem Distribusi Penyediaan Air Bersih Desa Sugihmanik, Kecamatan Tanggunharjo, Kabupaten Grobogan. (*Doctoral dissertation*, Universitas Diponegoro).
- Desti, W. M., Feyessa, F. F., & Debela, S. K. (2022). Modeling and optimization of pressure and water age for evaluation of urban water distribution systems performance. *Heliyon*, 8(11), e11257.
- Irvandi, A., Jati, D. R., & Kadaria, U. (2017). Analisis Kehilangan Air Pipa Transmisi PDAM Tirta Sebalu Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis*, 1–10.

<https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jurlis/article/view/45137%0A>

- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 27/PRT/M/2016 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.
- Paryono, Susilo, H. (2014). Analisa Jaringan Distribusi Air PDAM Giri Tirta Sari (Studi Kasus Perumahan Griya Bulusulur Permai Wonogiri). *Jurnal Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik. Universitas Mercu Buana Jakarta*.
- Priyati, A., Abdullah, S. H., & Hafiz, K. (2019). Analisis Head Losses Akibat Belokan Pipa 90° (Sambungan Vertikal) Dengan Pemasangan Tube Bundle. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 7(1), 95–104.
- Sukmawardani, M. A., Sururi, M. R. and Sutadian, A. D. (2021). Evaluasi Hidrolis Jaringan Distribusi Air Minum Sistem Beber PDAM Tirta Jati Kabupaten Cirebon, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(1), pp. 058–067.
- Riduan, R., Firmansyah, M., & Fadhilah, S. (2017). Evaluasi Tekanan Jaringan Distribusi Zona Air Minum Prima (Zamp) Pdam Intan Banjar Menggunakan Epanet 2.0. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 3(1), 12–20.
- Salilama, A., Ahmad, D., & Madjowa, N. F. (2020). Analisis Kebutuhan Air Bersih (PDAM) di Wilayah Kota Gorontalo. *RADIAL- Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 6(2), 102–114. <https://stitek-binataruna.ejournal.id/radial/article/view/169>
- Sarjito, Subroto, & Kurniawan, A. (2017). Studi Distribusi Tekanan Aliran Melalui Pengecilan Saluran Secara Mendadak Dengan Belokan Pada Penampang Segi Empat. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 17(1), 8–22.
- Sukanto, R. T. (2017). Analisis dan Perencanaan Pengembangan Sistem Distribusi Air Minum PDAM Kota Banyuwangi. Skripsi. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sultan, A. D., Rizky, Hidayat, Mulyani, S., & Yusuf, W. A. (2020). Analysis of the Effect of Cross-sectional Area on Water Flow Velocity by Using Venturimeter Tubes. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 94–99.
- Widodo, I. R., & Indarjanto, H. W. (2017). Peningkatan Pelayanan Penyediaan Air Minum Kota Blitar. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Wirawan, T., Helard, D., & Komala, P. S. (2020). Evaluasi Sistem Jaringan Distribusi Dan Perencanaan Pengendalian Tekanan Pada Zona Spam Jawa Gadut, Kecamatan Pauh, Pdam Kota Padang. *Jurnal Rekayasa*, 10(1), 121–136.