

EVALUASI KINERJA JARINGAN DISTRIBUSI AIR ASRAMA VYATRA MENGGUNAKAN SIMULASI HIDRAULIK EPANET 2.2

Enrico Dicky Pratama¹, Muhammad Roni Hajianto¹, Andi Muhammad Rafly Putra
Negara^{1*}

¹Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu, Blora, 58315

*E-mail: andirafly0812@gmail.com

ABSTRAK

Sistem distribusi air bersih di Asrama Vyatra PEM Akamigas menghadapi beberapa permasalahan teknis, seperti tingginya *headloss*, variasi tekanan antar gedung, dan penggunaan material pipa yang beragam sehingga menurunkan efisiensi aliran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja jaringan perpipaan eksisting dan menganalisis kehilangan energi, distribusi tekanan, serta karakteristik aliran menggunakan simulasi hidraulik EPANET 2.2. Metode penelitian meliputi survei lapangan, pengumpulan data material dan dimensi pipa, pemodelan jaringan pada EPANET 2.2, perhitungan manual *headloss* mayor dan minor, serta validasi tekanan, debit, dan elevasi. Hasil perhitungan manual menunjukkan *headloss* mayor sebesar 215,510 meter dan *headloss* minor sebesar 23,547 meter, sehingga total *losses* mencapai 239,057 meter. Sementara itu, simulasi EPANET 2.2 menghasilkan *headloss* yang lebih tinggi yaitu sekitar 740,74 meter akibat pemodelan detail kondisi hidraulik, variasi diameter, kekasaran pipa, serta distribusi beban antar node. Hasil simulasi juga menunjukkan kecepatan aliran yang rendah (0,00 hingga 0,03 m/s) dan tekanan yang tidak merata dengan *head* 40,33 hingga 48,341 meter, yang mengindikasikan distribusi air kurang optimal. Perbedaan signifikan antara perhitungan manual dan EPANET 2.2 menjelaskan bahwa perangkat lunak mampu mempresentasikan kondisi jaringan secara lebih komprehensif. Berdasarkan evaluasi tersebut, sistem perpipaan eksisting dinilai tidak efisien dan perlu perancangan ulang jaringan perpipaan dengan penyesuaian diameter pipa, pemilihan material yang lebih sesuai, serta optimasi pompa untuk meningkatkan performa dan keandalan distribusi air.

Kata kunci: EPANET 2.2, jaringan distribusi air, *headloss*, simulasi hidraulik, Asrama Vyatra

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan dan keandalan sistem distribusi air bersih merupakan faktor penting dalam mendukung aktivitas sehari-hari, terutama pada fasilitas hunian komunal seperti asrama mahasiswa. Sistem distribusi air bersih adalah pendistribusian atau pembagian air melalui sistem perpipaan dari bangunan pengolahan (reservoir) ke daerah pelayanan (konsumen) [1]. Sistem perpipaan pada dasarnya berfungsi untuk mengalirkan dan mendistribusikan air bersih ke daerah pelayanan sehingga kebutuhan akan air bersih dapat tercukupi [2]. Selain itu sistem perpipaan juga berfungsi untuk membuang air kotor di suatu tempat tanpa perlu mencemari bagian-bagian yang lain [3]. Namun dalam praktiknya, banyak jaringan perpipaan mengalami penurunan performa akibat usia infrastruktur, pemilihan material yang kurang sesuai, serta tidak adanya evaluasi hidraulik secara berkala. Kondisi tersebut dapat menyebabkan inefisiensi aliran, ketidakseimbangan tekanan, hingga meningkatnya kehilangan energi (*headloss*) pada jaringan distribusi. Desain kurang efisien, saluran yang rusak, atau pipa yang tidak memenuhi kebutuhan modern dapat menyebabkan pemborosan air yang besar dan meningkatkan biaya operasional [4]. Keseimbangan air di suatu wilayah dikatakan surplus apabila jumlah air yang tersedia melebihi kehilangan air yang terjadi [5].

Asrama Vyatra PEM Akamigas merupakan salah satu fasilitas hunian dengan jumlah penghuni besar yang sangat mengandalkan kontinuitas suplai air bersih untuk kebutuhan sanitasi, kebersihan, serta aktivitas domestik harian. Meskipun suplai air bersumber dari sistem PPSDM Migas, distribusi internal menuju masing-masing gedung asrama dilakukan melalui jaringan perpipaan eksisting yang telah beroperasi selama bertahun-tahun. Studi awal menunjukkan adanya beberapa permasalahan teknis seperti variasi tekanan antar gedung, tingginya penggunaan energi pompa, serta dugaan adanya kehilangan air dan ketidakefisienan jaringan akibat material pipa yang beragam dan usia infrastruktur yang relatif tua. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kinerja jaringan perpipaan belum optimal dan berpotensi meningkatkan biaya operasional asrama. Beberapa kelemahan dari sistem eksisting yang teridentifikasi antara lain:

1. Headloss yang tinggi, disebabkan oleh variasi material pipa (galvanis, PVC, HDPE), diameter yang tidak seragam, serta panjang jalur distribusi yang cukup besar.
2. Jumlah fitting yang banyak, seperti elbow, valve, dan sambungan lain, yang meningkatkan *minor losses* dalam sistem.
3. Tidak meratanya tekanan dan debit antar node, sehingga beberapa gedung mengalami aliran kurang stabil.
4. Risiko kebocoran dan penurunan kualitas air, terutama pada pipa galvanis berusia lama yang rentan korosi.
5. Ketergantungan pada pompa tanpa analisis hidraulik terukur, sehingga operasional kurang efisien dan cenderung boros energi.

Software EPANET 2.2 adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir di dalam jaringan pipa [6]. EPANET memungkinkan simulasi tekanan di setiap node, debit aliran di setiap pipa, headloss mayor dan minor, usia air, hingga analisis kualitas air. EPANET 2.2 menajaki aliran air di tiap pipa, kondisi tekanan air di tiap titik dan kondisi konsentrasi bahan kimia yang mengalir di dalam pipa selama dalam periode pengaliran. Sebagai tambahan, usia air (*water age*) dan pelacakan sumber dapat juga disimulasikan [7]. EPANET 2.2 di desain sebagai alat untuk mencapai dan mewujudkan pemahaman tentang pergerakan dan nasib kandungan air minum dalam jaringan distribusi dan juga dapat digunakan untuk berbagai analisa berbagai aplikasi jaringan distribusi. Sebagai contoh untuk pembuatan desain, kalibrasi model hidrolis, analisa strategi untuk merealisasikan kualitas air dalam suatu sistem. Antara lain berisi:

1. Alternatif penggunaan sumber dalam berbagai sumber dalam satu sistem.
2. Alternatif pemompaan dalam penjadwalan pengisian/pengosongan tangki. [8]
3. Penggunaan treatment, misal klorinasi pada tangki penyimpanan. [9]
4. Pembersihan pipa dan pengantiannya.

Perhitungan hidraulik dan pemodelan kualitas air pada jaringan distribusi dalam penelitian ini mengikuti prosedur dan definisi variabel yang dijelaskan dalam manual EPANET 2.2. [10]

2. METODE

Metodologi penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama yang disusun secara sistematis agar proses analisis jaringan distribusi air menggunakan EPANET 2.2 dapat dilakukan secara terstruktur dan menghasilkan model hidraulik yang akurat. Tahapan tersebut meliputi pengumpulan data, penyusunan model jaringan, penetapan parameter teknis, proses simulasi, serta analisis hasil.

1. Pengumpulan Data Pengumpulan data dilakukan melalui survei primer di Asrama Vyatra PEM Akamigas yang mencakup dimensi pipa, jenis material, panjang pipa, jumlah fitting, elevasi tiap titik, kapasitas penampungan air, tekanan aktual, debit aliran, serta kondisi operasional pompa. Data sekunder diperoleh dari literatur, standar industri, serta panduan teknis EPANET 2.2 yang digunakan sebagai acuan pemodelan.
2. Penyusunan Model Jaringan pada EPANET 2.2 Pemodelan jaringan dilakukan dengan membangun skema perpipaan berdasarkan hasil survei lapangan dan peta topografi. Setiap elemen perpipaan dimasukkan sesuai kondisi aktual, meliputi:
 - Node ● (junction) pada titik percabangan, perubahan diameter, atau titik layanan gedung.
 - Reservoir □ sebagai sumber utama air dari PPSDM Migas.
 - Tank ⊙ sebagai penampungan air tiap gedung sesuai jumlah unit eksisting.
 - Elevasi Δh tiap node dan tank yang diambil dari data lapangan dan Google Earth Pro.
 - Pipa — dengan input material, diameter, panjang, serta nilai kekasaran sesuai jenis pipa.
 - Pump ◆ Elemen penambah energi (head).

Selanjutnya, desain proyek difokuskan pada analisis kondisi eksisting sistem distribusi air dan perancangan ulang jaringan dengan tiga alternatif desain. Simulasi menggunakan *software* EPANET 2.2 dilakukan untuk menghitung *head loss* dan *head pompa*, sedangkan perhitungan biaya instalasi dan operasional didasarkan pada data teknis serta hasil simulasi. Tahapan pelaksanaan meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data lapangan, pembuatan model jaringan pada EPANET 2.2, simulasi hidrolik, hingga evaluasi keekonomian dan keandalan sistem. Alat dan bahan yang digunakan mencakup laptop dengan *software* pendukung.



Gambar 1 Pemodelan Menggunakan Epanet dengan Google Earth Pro

3. PEMBAHASAN

A. Hasil

Dalam membandingkan nilai *Head Loss* dan *Head Installation* pada jaringan perpipaan yang ada, perhitungan dilakukan berdasarkan data lapangan yang telah dikumpulkan. Salah satu data penting adalah pemakaian air bersih di asrama PEM Akamigas tahun 2025, dengan rata-rata konsumsi harian sebesar $180,32\text{m}^3$ untuk kebutuhan mandi, mencuci, dan memasak. Data ini menjadi acuan utama dalam pengelolaan sistem distribusi air agar pasokan tetap mencukupi serta membantu mengidentifikasi pola penggunaan dan potensi pemborosan.

Jumlah Penduduk Asrama Per-gedung

Di area asrama mahasiswa PEM Akamigas terdapat gedung hunian, rumah dinas, dan masjid. Rekapitulasi berikut menyajikan jumlah penghuni serta unit penampungan di tiap gedung. Tabel 1 menunjukkan distribusi jumlah jiwa dan penampungan air di 10 gedung asrama dengan total 1,389 jiwa dan 14 unit penampungan, yang menjadi dasar perhitungan kebutuhan air bersih per gedung.

Tabel 1. Data Jumlah Jiwa Pada Tiap Gedung Asrama

No	Gedung	Jumlah Pengguna (Orang)	Jumlah Penampungan Air (Unit)
1	Vyatra 1	188	1
2	Vyatra 2	180	2
3	Vyatra 3	80	2
4	Vyatra 4	112	2
5	Vyatra 5	160	2
6	Vyatra 6	60	1
7	Vyatra 7	220	1
8	Vyatra 8	356	1
9	Wisma Tamu	30 (Asumsi)	1
10	Rumah Dinas	3 (Asumsi)	1
Total		1389 Jiwa	14

Data Sistem Jaringan Perpipaan Kondisi Saat Ini

Untuk mempermudah pembuatan skema model jaringan perpipaan di area asrama mahasiswa PEM Akamigas, digunakan bantuan *software* Google Earth Pro. Skema jaringan perpipaan eksisting ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan skema sistem perpipaan pada kondisi eksisting pada gambar 1., pipa utama berwarna biru muda terhubung langsung ke penampungan air *underground* di tiap gedung. Data teknis pendukung meliputi material pipa, kapasitas penampungan, spesifikasi *fitting*, dan daya pompa yang digunakan.



Gambar 2 Skematik Jaringan Perpipaan Air Bersih Pada Kondisi Saat Ini

Tabel 2. Data Material dan Dimensi Pipa yang Digunakan Pada Kondisi Saat Ini

Kondisi Saat Ini				
Lokasi Perpipaan	Material	Diameter		Panjang (m)
		Inch	m	
Perpipaan PPSDM Migas	HDPE	3	0,0781	280
Perpipaan Utama	Galvanis	3	0,080	903,98
		2	0,050	89,01
Perpipaan gedung	PVC	2	0,05250	966,23
	PVC	1,5	0,04089	74,44
	PVC	1	0,02664	1027,42
Total				3,341

Menentukan nilai *Headloss*

Penentuan nilai *head loss* pada jaringan pipa dilakukan untuk menghitung kerugian energi akibat gesekan aliran fluida dan gangguan lokal seperti belokan atau katup, yang mempengaruhi efisiensi sistem perpipaan secara keseluruhan .

a. Kecepatan Cairan Pada Pipa

$$V = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \quad (1)$$

Keterangan:

V (Kecepatan cairan (m/s))

Q (Debit aliran (m³/s)) = 0,002083333 m³/s

D (Diameter inside (m)) = 0,0781 m

π = 3,14

V (Kecepatan cairan (m/s)) = $\frac{0,00208333 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,0781^2 (\text{m})}$

b. Reynold number (Rn)

$$Rn = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (2)$$

Keterangan:

P (Massa jenis air (kg/m³)) = 995,7 kg/m³

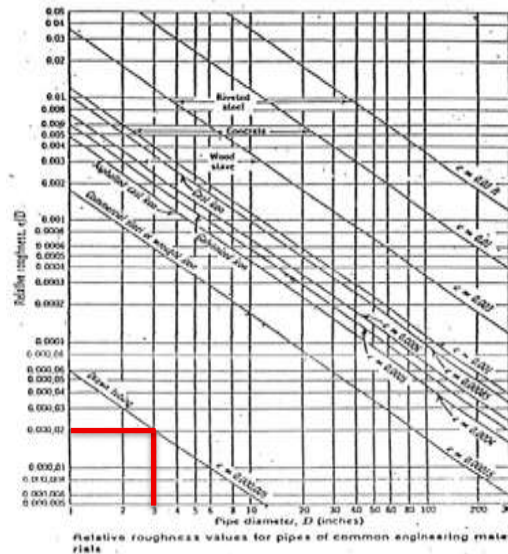
v (Kecepatan aliran (m/s)) = 0,435 m/s

D (Diameter inside (m)) = 0,0781 m

μ = 0,0007975 Ns/m³

Re = $Rn = \frac{995,7 (\text{kg}/\text{m}^3) \times 0,435 (\text{m}/\text{s}) \times 0,0781 (\text{m})}{0,0007975 (\text{Ns}/\text{m}^3)}$
= 42463,157 (Aliran Turbulen)

c. Mencari *Relative roughness* (ϵ/D)



Gambar 3 Grafik Relative Roughness

Nilai ϵ/D didapatkan dari grafik Relative Roughness Values berdasarkan jenis material pipa HDPE (High-Density Polyethylene) dengan diameter 3" [15], sehingga didapatkan nilai $\epsilon/D = 0,00002$.

d. Mencari Friction factor (f) menggunakan persamaan Colebrook-White

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

Keterangan :

ϵ/D (Relative Roughness) = 0,00002

Re = 42463,157 (Aliran turbulen)

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{0,00002}{3,7} + \frac{5,74}{42463,157^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,021621$$

e. Menghitung *Head Loss Mayor*

$$H_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Keterangan :

F (Friction Factor) = 0,021621

L (Panjang Pipa (m)) = 280 m

D (Diameter Pipa (m)) = 0,0781 m

v (Kecepatan Cairan Pipa (m/s)) = 0,435 m/s

g (Gravitasi) = 9,87 m/s²

$$H_f = 0,021621 \times \frac{280(m)}{0,0781(m)} \times \frac{0,435^2(m)}{2 \times 9,87(m/s^2)}$$

$$H_f = 0,0752 \text{ m}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, dilakukan perhitungan variasi *head loss mayor* berdasarkan perubahan material pipa, diameter, dan panjang pipa. Hasil perhitungan masing-

masing konfigurasi ditampilkan pada tabel berikut:

1. Mayor Losses Kondisi saat ini

Tabel berikut menunjukkan nilai head loss mayor pada Kondisi saat ini berdasarkan jenis material, diameter, dan panjang pipa yang digunakan.

Tabel 3 Perhitungan *Mayor Losses* Kondisi saat ini

Data Pipa				Hf (m)
Desain perpipaan	Material	Di (m)	L (m)	
Kondisi saat ini	HDPE	0,0781	280	0,0752
	Galvanis	0,080	903,98	36,708
		0,050	89,01	0,164
	PVC	0,05250	966,23	22,551
		0.04089	74,4	5,998
		0.02664	1072,42	150,088
Total				215,510

Berdasarkan tabel di atas, total mayor losses pada Kondisi saat ini (Kondisi saat ini) dari seluruh jenis pipa yang digunakan adalah sebesar 215,510 meter, yang diakibatkan oleh variasi material, diameter, dan panjang pipa.

f. Menghitung *Minor losses* (Darcy-Weisbach)

$$hL = n \times K \times \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Keterangan :

n (Jumlah fitting (buah)) = 6 buah

K (Nilai Koefisien) = 10 untuk Globe Valve

v (Kecepatan cairan (m/s)) = 0,435 m/s

g (Gravitasi (m/s²)) = 9,87 m/s²

hL (*Minor Losses*) = 1 (buah) x 10 x $\frac{0,435^2 \text{ (m/s)}}{2 \times 9,87 \text{ (m/s}^2\text{)}}$

hL (*Minor Losses*) = 0,096 m

Dengan rumus yang sama dalam jenis fitting yang berbeda, maka didapatkan hasil seperti berikut :

a. Perhitungan Minor Losses Kondisi saat ini

Tabel 4 Perhitungan *Minor Losses* Kondisi saat ini

Kondisi	D (m)	Jenis Fitting	K	Jumlah fitting	hL (m)
Kondisi saat ini	0,0781	Globe Valve	10	1	0,096
		Gate Valve	0,15	1	0,001
		Check Valve	2	1	0,019
		Elbow 45	0,2	4	0,008
	0,080	Globe Valve	10	6	0,524
		Check Valve	2	1	0,017
		Elbow 90	0,3	1	0,017
	0,050	Tee Branch	1	5	0,0286
	0,06518	Tee Line	0,2	15	0,059
	0,05250	Elbow 90	0,3	2	0,028
		Tee Branch	1	5	0,235

		Ball Valve	0.05	12	0,028
	0.04089	Tee Line	0.2	30	0,767
	0,02664	Ball Valve	0.05	3	0,106
		Elbow 90	0.3	50	10,645
		Tee Branch	1	10	7,097
		Tee Line	0.2	10	1,419
Total					23,547

Pada Tabel 4 Kondisi saat ini, beragam komponen sambungan seperti valve, elbow, dan fitting lainnya digunakan, yang menyebabkan akumulasi kehilangan tekanan total sebesar 23,547 meter dari seluruh elemen yang terpasang dalam sistem perpipaan.

g. Headloss Total

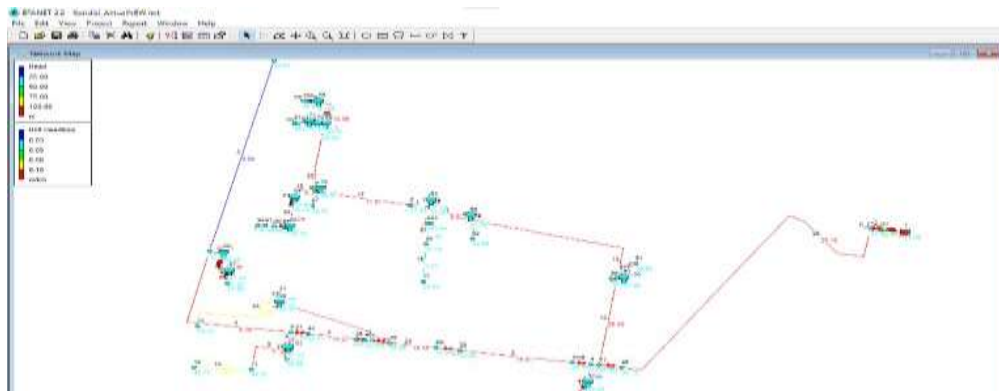
Hasil perhitungan menunjukkan nilai *headloss* total pada sistem jaringan perpipaan tiap desain. Nilai ini mencerminkan akumulasi kehilangan energi akibat gesekan di seluruh jalur pipa. Berdasarkan data pada tabel 5, dapat disimpulkan bahwa Kondisi saat ini memiliki *headloss* total sebesar 239,057 m mengindikasikan bahwa modifikasi desain perpipaan dalam kondisi ini memiliki kehilangan energi yang cukup banyak dan memungkinkan kurang efektif.

Tabel 5 Perhitungan Head Loss Total

Desain Perpipaan	Hf (m)	hL (m)	Head Loss Total (m)
Kondisi saat ini	215,510	23,547	239,057

1. Hasil Analisa Jaringan pipa menggunakan EPANET 2.2

Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem perpipaan yang sedang berjalan. *Head loss* menggambarkan kehilangan energi akibat gesekan dan turbulensi aliran, sedangkan *head installation* menunjukkan total energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari sumber ke pengguna.



Gambar 4 Sketsa Jaringan Perpipaan Kondisi saat ini

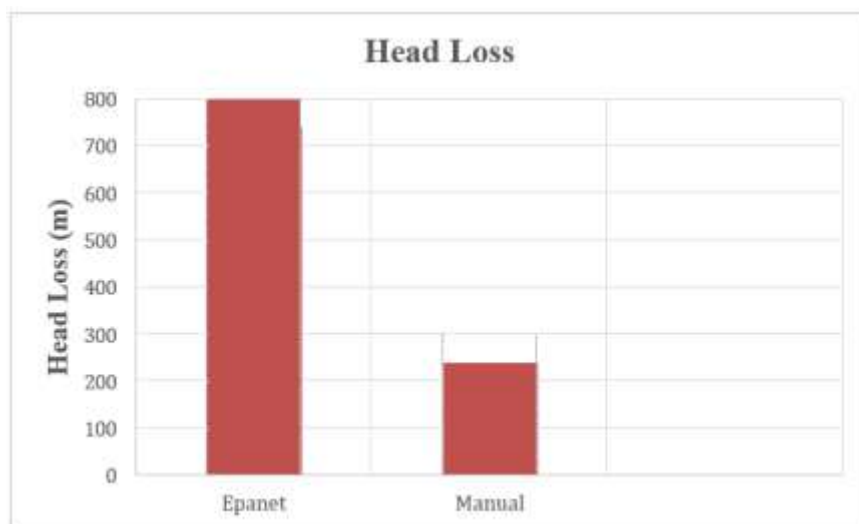
Hasil simulasi pada gambar 4 menunjukkan peningkatan signifikan pada nilai *unit headloss* yang ditunjukkan oleh lebih banyaknya pipa berwarna merah dengan nilai *headloss* tinggi sebesar 740,74 m. Selain itu, perbedaan tekanan (*head*) antar node menjadi lebih besar, yang mengindikasikan distribusi aliran tidak merata dan potensi ketidakseimbangan sistem. Kondisi ini berisiko menurunkan efisiensi jaringan, meningkatkan beban kerja pompa, dan mempercepat kerusakan sistem perpipaan, sehingga evaluasi dan optimalisasi sangat diperlukan. Pemantauan tekanan dan debit aliran secara digital diperlukan untuk meningkatkan

efisiensi sistem dan mengurangi risiko gangguan jaringan.

Tabel 7. Pressure pada node

<i>Node ID</i>	<i>Demand CMH</i>	<i>Head m</i>	<i>Pressure m</i>	<i>Quality</i>
Junc 4	0.00	40.33	10.33	0.00
Junc 5	0.05	40.33	10.33	0.00
Junc 6	0.05	40.33	10.33	0.00
Junc 7	0.00	40.33	10.33	0.00
Junc 8	0.00	40.33	10.33	0.00
Junc 9	0.05	40.33	10.33	0.00
Junc 10	0.02	44.83	13.83	0.00
Junc 11	0.04	44.83	13.83	0.00
Junc 12	0.05	48.41	18.41	0.00

Hasil simulasi hidraulik tabel 7 pada jaringan menunjukkan bahwa nilai head pada sebagian besar node berada pada kisaran 40,33 m, dengan tekanan operasional sekitar 10,33 m. Node dengan kebutuhan air (demand) lebih tinggi, seperti Junc 10, Junc 11, dan Junc 12, menunjukkan kenaikan head dan tekanan yang lebih besar, masing-masing mencapai 44,83–48,41 m dan tekanan 13,83–18,41 m.



Gambar 5 Grafik Perbandingan Headloss

Gambar 5 menunjukkan perbandingan nilai headloss antara hasil perhitungan simulasi menggunakan EPANET dan hasil perhitungan manual. Nilai headloss dari simulasi EPANET tercatat sebesar ± 740 m, jauh lebih tinggi dibandingkan perhitungan manual yang hanya sekitar ± 280 m. Perbedaan signifikan ini disebabkan oleh perhitungan EPANET yang memper-timbangkan seluruh elemen jaringan secara lebih detail, termasuk variasi diameter pipa, kondisi hidraulik tiap segmen, serta distribusi aliran pada node. Sementara itu, perhitungan manual umumnya menggunakan pendekatan ideal dengan penyederhanaan pada beberapa parameter sehingga menghasilkan nilai headloss yang lebih rendah. Grafik ini menunjukkan bahwa simulasi berbasis perangkat lunak memberikan gambaran lebih komprehensif terhadap kon-disi aktual sistem perpipaan dibandingkan metode manual.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis hidraulik jaringan distribusi air Asrama Vyatra menggunakan EPANET 2.2, penelitian ini berhasil memenuhi tujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem perpipaan pada kondisi eksisting. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jaringan saat ini memiliki *headloss* total sebesar 239,057 meter, yang mengindikasikan tingginya kehilangan energi akibat variasi material pipa, diameter tidak seragam, serta tingginya jumlah fitting. Evaluasi tekanan juga memperlihatkan bahwa distribusi tekanan antar node tidak merata, ditandai dengan perbedaan *head* antara 40,33 hingga 48,41 meter, sehingga aliran menuju beberapa gedung tidak stabil. Kecepatan aliran yang sangat rendah (0,00 hingga 0,003 m/s) menunjukkan bahwa jaringan tidak bekerja pada kondisi hidraulik yang optimal.

Temuan ini menegaskan bahwa sistem perpipaan eksisting belum efisien dan tidak mampu menjamin distribusi air bersih yang merata. Dengan demikian, penelitian ini menyimpulkan bahwa diperlukan perancangan ulang jaringan meliputi diameter pipa, penggunaan material yang lebih sesuai, penataan ulang konfigurasi jaringan, serta optimasi pengoperasian pompa untuk mengurangi *headloss*, menstabilkan tekanan, dan meningkatkan efisiensi teknis maupun operasional.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. E. Margatama, "Perencanaan Pengembangan Sistem Distribusi Air Minum di Kecamatan Pasirian Kabupaten Lumajang, p. 60, 2019.
- [2] K. Toyosada and L. Xu, "The Impact of Electric Bidet Diffusion on Municipal Water Infrastructure," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 4, 2022, doi: 10.3390/w14040639.
- [3] Suhardiyanto, "Perancangan Sistem Plambing Instalasi Air Bersih dan Air Buangan Pada Pembuangan Gedung Perkantoran Bertingkat Tujuh Lantai," *Educ. e Soc.*, vol. 1, no. 1, pp. 1689–1699, 2016, [Online]. Available: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Educacao_PereiraAS_1.pdf
http://www.anpocs.org.br/portal/publicacoes/rbcs_00_11/rbcs11_01.htm
http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7845/1/td_2306.pdf
<https://direitofma2010.files.wordpress.com/2010/>
- [4] A. Kumar and V. Thakur, "Design of Water Distribution System Using Epanet 72 Publications 2,587 Citations See Profile," *Artic. Int. J. Adv. Res.*, no. September, 2015, [Online]. Available: <http://www.journalijar.com>
- [5] B. Menggunakan, A. Epanet, R. P. Quranta, E. Noerhayati, and A. Rahmawati, "AIR BERSIH KECAMATAN KALIPURO KABUPATEN," vol. 14, no. 1, pp. 461–470.
- [6] L. A. Rossman, "Epanet 2 User 's Manual," *Natl. Risk Manag. Res. Lab. Off. Res. Dev. U.S. Environ. Prot. Agency Cincinnati*, no. September, 2000, doi: 10.1177/0306312708089715.
- [7] A. Safitri, S. I. Wahyudi, and Soedarsono, "Simulation of Pipe Networks Using EPANET to Optimize Water Supply: A Case Study for Arjawinangun Area, Indonesia," *Arch. Hydroengineering Environ. Mech.*, vol. 70, no. 1, pp. 17–28, 2023, doi: 10.2478/heem-2023-0002.
- [8] S. Pei, L. Hoang, G. Fu, and D. Butler, "Real-time multi-objective optimization of pump scheduling in water distribution networks using neuro-evolution," *J. Water Process Eng.*, vol. 68, no. August, p. 106315, 2024, doi: 10.1016/j.jwpe.2024.106315.
- [9] Y. Xie *et al.*, "Energy-efficient and reliable coordinated scheduling for water distribution systems: enhancing hydraulic conditions and water quality," *Aqua Water Infrastructure, Ecosyst. Soc.*, vol. 73, no. 11, pp. 2229–2241, 2024, doi: 10.2166/aqua.2024.365.
- [10] G. Bonvin, S. Demasse, and A. Lodi, "Pump scheduling in drinking water distribution

networks with an LP/NLP-based branch and bound,” *Optim. Eng.*, vol. 22, no. 3, pp. 1275–1313, 2021, doi: 10.1007/s11081-020-09575-y