

**OPTIMASI DIAMETER JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR
BERSIH DENGAN METODE PEMROGRAMAN LINEAR
(Studi Kasus Sumur Bor Bandaragin di Kecamatan Pagak
Kabupaten Malang)**

**OPTIMIZATION OF WATER DISTRIBUTION PIPE NETWORK
DIAMETER USING LINEAR PROGRAMMING METHOD
(Case Study of Bor Bandaragin Well in Pagak Districk Malang
Regency)**

¹Yandi A, ²Dr. Heri Suprpto, S.T., M.T.

^{1,2} Universitas Gunadarma

^{1,2} Jl. Margonda Raya No. 100, Depok.

^{1,2} yandi.asmad@gmail.com, heri_gd@yahoo.com

Abstrak

Jaringan pipa air bersih memiliki peran penting untuk memenuhi permintaan air bersih masyarakat setempat. Apabila debit dan kehilangan tinggi tekanan dalam jaringan pipa cukup besar, air tidak akan terdistribusi dengan baik. Oleh sebab itu, salah satu cara untuk menangannya adalah dengan memperhatikan ukuran diameter pipa yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan optimasi jaringan pipa distribusi air dengan mengoptimalkan diameter pipa. Penelitian ini menggunakan metode pemrograman linear dengan bantuan fitur Solver pada Microsoft Excel untuk menyelesaikan masalah optimasi dengan mengubah masalah menjadi bentuk persamaan matematika. Berdasarkan jaringan pipa distribusi air bersih di Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang, terdapat 115 elemen pipa yang perlu dioptimasi. Hasil menunjukkan bahwa ada 4 pipa yang dapat dioptimasi, yakni pipa 6 dan pipa 7 dari diameter 3 inci menjadi 2,5 inci dengan persentase optimasi 25,4%, serta pipa 15 dan pipa 21 dari diameter 2 inci menjadi 1,5 inci dengan persentase optimasi 6,6%. Optimasi diameter pipa tersebut pun mampu meminimalisasi biaya dari Rp811.916.496,36 menjadi Rp797.014.586,26. Hasil penelitian membuktikan bahwa proses optimasi berjalan baik karena penurunan ukuran diameter pada beberapa elemen pipa membuat anggaran biaya pada elemen-elemen pipa tertentu akan ikut menurun.

Kata kunci: Optimasi jaringan pipa, air bersih, pemrograman linear, diameter pipa.

Abstract

The clean water pipeline network plays a crucial role in meeting the demand for clean water of the local community. When the flow rate and pressure loss in the pipeline network are significant, water distribution will be compromised. Therefore, one way to address this issue is by considering the diameter size of the pipes used. This research aims to determine the optimization of the water distribution pipeline network by optimizing the pipe diameter. The study utilizes linear programming method with Solver of Microsoft Excel to solve the optimization problem by converting it into mathematical equations. Based on the clean water distribution pipeline network in Pagak Subdistrict, Malang Regency, there are 115 pipe elements that need optimization. The results show that there are 4 pipes that can be optimized, namely pipe 6 and pipe 7 from a diameter of 3 inches to 2.5 inches with an optimization percentage of 25.4%, and pipe 15 and pipe 21 from a diameter of 2 inches to 1.5 inches with an optimization percentage of 6.6%. Optimizing the diameter of the pipe can also minimize costs from Rp811.916.496,36 to Rp797.014.586,26. The research findings demonstrate that the optimization process is effective as reducing the diameter size of certain pipe elements also reduces the cost allocation for those specific pipe elements.

Keywords: *Pipe network optimization, clean water, linear programming, pipe diameter.*

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi makhluk hidup, terutama manusia. Hal ini menjadikan sektor air bersih mendapat prioritas utama karena berkaitan erat dengan kehidupan masyarakat. Pemenuhan kebutuhan air bersih dapat ditangani dengan berbagai cara sesuai sarana dan prasarana. Di daerah kota, sistem penyediaan air bersih dilakukan dengan sistem perpipaan dan nonperpipaan. Sistem perpipaan dikelola oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), sedangkan sistem nonperpipaan dikelola oleh masyarakat (Frica, 2017).

Jaringan pipa air bersih memiliki peran penting untuk memenuhi permintaan air bersih masyarakat setempat. Sistem distribusi air bersih merupakan jaringan perpipaan yang terdiri dari sistem perpipaan, pompa, reservoir, dan peralatan lain (Glisina, 2020). Hingga saat ini telah dibangun jaringan air baku dengan kapasitas layanan 51,44 m³/detik, yang belum memenuhi target kapasitas sesuai dengan rencana (56 m³/detik) (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2017). Pengembangan jaringan pipa air pun terus perlu ditingkatkan agar makin banyak warga yang memiliki akses air bersih (Said, 2019).

Sulianto (2019) melakukan penelitian tentang programasi linear untuk pencarian diameter pipa optimal pada sistem jaringan pipa distribusi air bersih. Pada penelitian ini, optimasi diameter pipa menggunakan pemrograman linear yang terdiri dari dua fungsi, yaitu fungsi tujuan berupa minimalisasi biaya investasi pipa dan fungsi pembatas berupa panjang setiap elemen pipa. Selain itu, kelemahan dari hasil yang diperoleh adalah setiap elemen pipa terdiri dari ruas-ruas pipa dengan diameter tidak seragam.

Tambahan fungsi konstrain untuk mengantisipasi masalah tersebut sulit dilakukan mengingat fungsi hidrolis pipa merupakan fungsi nonlinier. Jika dikehendaki

hasil perancangan yang ideal, maka harus dilakukan langkah justifikasi menggunakan persamaan diameter ekuivalen untuk setiap elemen pipa. Dalam penelitiannya, Frisca Anandy (2017) membahas tentang optimasi diameter jaringan pipa dalam sistem penyediaan air bersih di Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang, dengan menggunakan *linear programming*.

Pada penelitian ini diambil sampel data jaringan pipa distribusi air bersih di Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang. Dengan bantuan perangkat lunak EPANET 2.0 dan metode *linear programming*, didapat hasil optimasi diameter pada masing-masing pipa di Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang, dengan pemilihan diameter pipa utama antara 3–8 inci dan energi tekan atau energi relatif yang dihasilkan sebesar 7–20 meter sesuai dengan standar yang ditetapkan. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan optimasi diameter pipa pada jaringan distribusi air bersih di subsistem Sumur Bor Bandarangan, Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur dengan kode pos 65168. Kecamatan Pagak memiliki luas wilayah sebesar 90,08 km² serta memiliki 330 RT dan 77 RW.

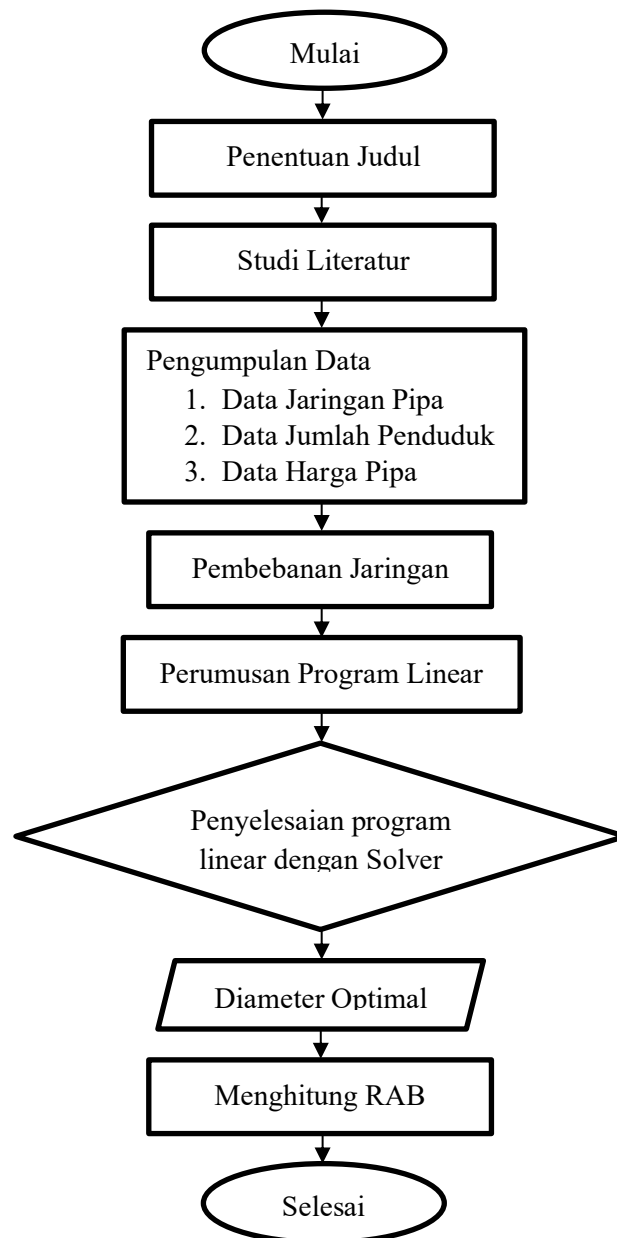
Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan kerangka kerja sistematis yang dibuat dalam bentuk diagram alir agar penelitian memiliki arah yang diinginkan. Beripakan tahapan penelitian dalam analisis optimasi diameter jaringan pipa distribusi air bersih di Kecamatan Pagak.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sebuah instansi. Dalam hal ini, data diperoleh dari penelitian sebelumnya, yakni Studi Evaluasi dan Perencanaan Pengembangan Jaringan

Distribusi Air Bersih di Kecamatan Pagak Kabupaten Malang yang diteliti oleh Hendra Burhanudin. Pada penelitian ini, data sekunder yang digunakan terdiri dari data eksisting pipa dan data jumlah penduduk.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan proses mengubah data mentah menjadi informasi yang berguna dalam sebuah penelitian.

Pengolahan data juga sangat penting dilakukan untuk mempersiapkan analisis lebih lanjut. Dalam penelitian ini, pengolahan data diolah

dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel, terutama pada fitur Solver.

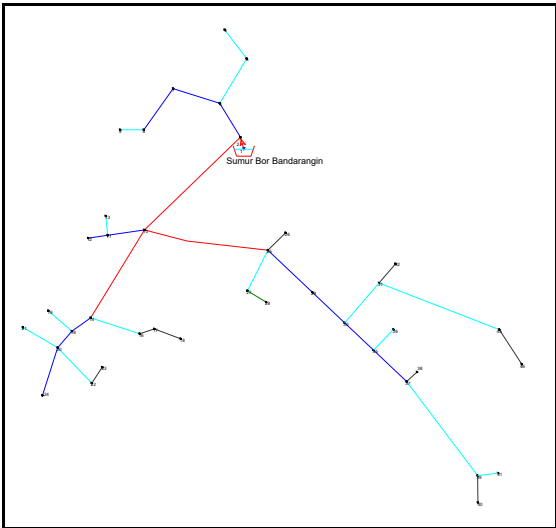
Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengumpulkan data teknis seperti panjang dan elevasi pipa, debit kebutuhan air, serta harga pipa per diameter. Data ini digunakan untuk mengetahui model pemrograman linear dengan tujuan meminimalisasi total biaya pemasangan jaringan pipa. Model diselesaikan menggunakan fitur Solver dan hasil optimasi divalidasi menggunakan rumus Hazen-Williams.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyederhanaan Jaringan Pipa

PDAM Unik Pagak untuk wilayah Kecamatan Pagak mengandalkan pasokan air dari salah satu subsistem, yakni Sumur Bor Bandaragin dengan elevasi sebesar +523m. Jaringan PDAM Unit Pagak memiliki 115 pipa dan 118 node. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman, peta jaringan pipa air PDAM Unit Pagak perlu disederhanakan dengan metode skeletonisasi jaringan, sehingga menjadi 40 pipa dan 41 node. Berikut hasil penyederhanaan peta jaringan pipa air Kecamatan Pagak yang dikelola oleh PDAM Unik Pagak. Setelah dilakukan penyederhnaan dengan metode skeletonisasi, berikut adalah data peta jaringan pipa PDAM Unit Pagak untuk subsistem Bandaragin.



Gambar 2. Hasil Penyederhanaan Jaringan Pipa PDAM Unit Pagak

Tabel 1. Data Teknis PDAM Unit Pagak Setelah Penyederhanaan

No Pipa	Node		Panjang (m)	Diameter		Bahan	CHW
	Dari	Ke		(mm)	(inci)		
1	1	2	5	109,8	4	PVC	150
2	2	3	5	109,8	4	PVC	150
3	3	4	230	85,5	3	PVC	150
4	4	5	269	57,6	2	PVC	150
5	5	6	118	57,6	2	PVC	150
6	4	7	277	85,5	3	PVC	150
7	7	8	237	85,5	3	PVC	150
8	8	9	147	57,6	2	PVC	150

9	3	10	634	109,8	4	PVC	150
10	10	11	193	85,5	3	PVC	150
11	11	12	71	85,5	3	PVC	150
12	11	13	99	57,6	2	PVC	150
13	10	14	515	109,8	4	PVC	150
14	14	15	205	57,6	2	PVC	150
15	15	16	85	46,0	1,5	PVC	150
16	16	17	95	85,5	3	PVC	150
17	17	18	163	57,6	2	PVC	150
18	18	19	90	85,5	3	PVC	150
19	18	20	185	57,6	2	PVC	150
20	20	21	154	57,6	2	PVC	150
21	20	22	76	46,0	1,5	PVC	150
22	22	23	277	85,5	3	PVC	150
23	20	24	629	109,8	4	PVC	150
24	10	25	130	46,0	1,5	PVC	150
25	25	26	212	57,6	2	PVC	150
26	25	27	276	57,6	2	PVC	150
27	27	28	285	85,5	3	PVC	150
28	25	29	190	57,6	2	PVC	150
29	29	30	185	85,5	3	PVC	150
30	30	31	190	57,6	2	PVC	150
31	31	32	80	46	1,5	PVC	150
32	31	33	700	57,6	2	PVC	150
33	33	34	175	46	1,5	PVC	150
34	30	35	190	85,5	3	PVC	150
35	35	36	140	57,6	2	PVC	150
36	35	37	200	85,5	3	PVC	150
37	37	38	75	46	1,5	PVC	150
38	37	39	529	85,5	3	PVC	150
39	39	40	200	46	1,5	PVC	150
40	39	41	283	57,6	2	PVC	150

Kebutuhan Air

Kebutuhan air di wilayah atau permukiman yang dialiri oleh pipa sangat perlu dihitung. Kebutuhan air tersebut akan dihitung untuk mengetahui kehilangan energi pada tiap elemen pipa. Dalam perhitungan kebutuhan air memerlukan data jumlah penduduk. Pada perhitungan proyeksi jumlah penduduk digunakan perhitungan proyeksi

metode geometrik. Metode geometrik menggunakan asumsi bahwa jumlah penduduk akan bertambah secara geometrik menggunakan dasar perhitungan bunga majemuk. Selain itu, penggunaan metode geometrik pada perhitungan proyeksi jumlah penduduk umum dilakukan pada penelitian sejenis. Berikut adalah perhitungan proyeksi jumlah penduduk dan kebutuhan air pada

pemukiman tiap ujung simpul pada tahun 2033.

- a) Kebutuhan air pada pemukiman ujung simpul 6

Jumlah penduduk pada tahun 2023 = 25 jiwa

Proyeksi jumlah penduduk pada tahun 2033:

$$P_n = P_o \times (1+r)^n$$

..... (1)

$$= 25 \times (1+0,001)^{10}$$

$$= 25,251 \text{ jiwa}$$

$$\text{Kebutuhan air per hari} = 150 \text{ liter/hari/orang}$$

$$\text{Kebutuhan air per detik} =$$

$$P_n \times q \times f_{md} \dots\dots\dots (2)$$

$$= 25,251 \text{ jiwa} \times 150 \text{ liter/hari/orang}$$

$$\times 1,2$$

$$= 4545,203 \text{ liter/hari}$$

$$= 0,053 \text{ liter/detik}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan air domestik pada ujung simpul 6, maka kebutuhan air domestik di setiap ujung simpul lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Proyeksi Jumlah Penduduk dan Kebutuhan Air

Ujung Simpul	Jumlah Jiwa	Proyeksi Jumlah Penduduk (2033)	Kebutuhan Air pada Pemukiman	
			(liter/hari)	(liter/detik)
6	25	25,251	4545,203	0,053
9	55	55,552	9999,447	0,116
12	45	45,452	8181,365	0,095
13	40	40,402	7272,325	0,084
17	85	85,854	15453,690	0,179
19	50	50,502	9090,406	0,105
21	85	85,854	15453,690	0,179
23	70	70,703	12726,569	0,147
24	95	95,954	17271,772	0,200
26	40	40,402	7272,325	0,084
28	90	90,904	16362,731	0,189
32	35	35,352	6363,284	0,074
34	45	45,452	8181,365	0,095
36	55	55,552	9999,447	0,116
38	30	30,301	5454,244	0,063
40	60	60,603	10908,487	0,126
41	85	85,854	15453,690	0,179

Kehilangan Energi pada Jaringan Pipa

Kehilangan energi pada setiap elemen jaringan perpipaan diakibatkan oleh ukuran diameter pipa, sehingga diperlukan data debit air yang mengalir pada setiap elemen pipa dan data variasi ukuran diameter pipa yang akan dipakai. Setelah kehilangan energi dihitung, dapat diketahui bahwa energi relatif ini berperan sebagai fungsi pembatas.

$$H_f = \frac{Q^{1,85}}{(0,2785 \times D^{2,68} \times C)^{1,85}} \times L \dots\dots (3)$$

Di mana:

H_f = kehilangan energi (m)

D = diameter pipa (m)

L = panjang pipa (m)

Q = debit (m³/s)

C = koefisien hazen-williams

Dalam penelitian ini, pipa yang digunakan ialah pipa berjenis PVC, sehingga nilai koefisiennya sebesar 150. Berikut besarnya nilai kehilangan energi untuk elemen pipa 1 dan kandidat pipa 1:

$$H_f = \frac{Q^{1,85}}{(0,2785 \times D^{2,68} \times C)^{1,85}} \times L$$

$$H_f = \frac{0,00225^{1,85}}{(0,2785 \times 109,8^{2,68} \times 150)^{1,85}} \times 5$$

$$H_f = 0,0025 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan kehilangan energi yang telah diuraikan pada pipa 1, maka besarnya nilai kehilangan energi pada pipa lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kehilangan Energi Tiap Elemen Pipa

No Pipa	Debit Jam Puncak (m ³ /detik)	Diameter Pipa (mm)	Koefisien HW	Panjang Pipa (m)	Kehilangan Energi
1	0,002253458	109,8	150	5	0,0025
2	0,002223772	109,8	150	5	0,0024
3	0,002194086	85,5	150	230	0,3598
4	0,000430626	57,6	150	269	0,1409
5	0,000138281	57,6	150	118	0,0076
6	0,000108596	85,5	150	277	0,0036
7	0,000262659	85,5	150	237	0,0158
8	0,000232973	57,6	150	147	0,0247
9	0,000203287	109,8	150	634	0,0036
10	0,001733774	85,5	150	193	0,1953
11	0,000357351	85,5	150	71	0,0039
12	0,000171723	57,6	150	99	0,0095
13	0,000155941	109,8	150	515	0,0018
14	0,000387037	57,6	150	205	0,0882
15	0,000357351	46	150	85	0,0934
16	0,000327665	85,5	150	95	0,0044
17	0,000297979	57,6	150	163	0,0432
18	0,000825175	85,5	150	90	0,0231
19	0,000187505	57,6	150	185	0,0208
20	0,000607984	57,6	150	154	0,1527
21	0,000297979	46	150	76	0,0597
22	0,000280319	85,5	150	277	0,0096

23	0,000250633	109,8	150	629	0,0053
24	0,000329543	46	150	130	0,1230
25	0,000959701	57,6	150	212	0,4892
26	0,000155941	57,6	150	276	0,0221
27	0,000343447	85,5	150	285	0,0144
28	0,000313761	57,6	150	190	0,0554
29	0,000430626	85,5	150	185	0,0142
30	0,000400941	57,6	150	190	0,0872
31	0,000371255	46	150	80	0,0943
32	0,00014016	57,6	150	700	0,0460
33	0,000201409	46	150	175	0,0666
34	0,000171723	85,5	150	190	0,0027
35	0,000232973	57,6	150	140	0,0235
36	0,000203287	85,5	150	200	0,0038
37	0,000154063	46	150	75	0,0174
38	0,000124378	85,5	150	529	0,0041
39	0,000546734	46	150	200	0,4827
40	0,000219069	57,6	150	283	0,0425

Tabel 4. Kandidat Diameter Pipa

Kandidat Pipa	Ukuran (inci)	(m)	Bahan	Harga Pipa
1	4	0,114	PVC	Rp135.366,90
2	3	0,089	PVC	Rp108.855,32
3	2,5	0,076	PVC	Rp81.156,32
4	2	0,060	PVC	Rp62.954,64
5	1,5	0,048	PVC	Rp58.826,54
6	1,25	0,042	PVC	Rp48.110,89

Karakteristik Kandidat Pipa

Dalam penggunaan pipa, PDAM Unit Pagak telah memakai standar yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia atau SNI, yakni pipa PVC sesuai standar SNI 06-0084-2002 atau ISO 4422 yang umum digunakan pada proyek pemerintah seperti PU dan PDAM. Kandidat diameter pipa PVC yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Perumusan Pemrograman Linear pada Sistem Jaringan Pipa

Metode pemrograman linear merupakan salah satu metode optimasi yang terbatas pada masalah yang dapat diubah menjadi fungsi

linear. Pemrograman linear terdiri dari dua fungsi, yakni fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Fungsi Tujuan

Berikut fungsi tujuan yang digunakan dalam penentuan optimasi diameter jaringan pipa distribusi air bersih:

$$\text{Min: } \sum_{i=1}^{40} C_i \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

C_i = Cost atau biaya segmen pipa ke-i

Fungsi Pembatas

Fungsi pembatas pertama ialah debit air.

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \geq d_j \text{ untuk setiap titik } j \dots\dots\dots(5)$$

Dengan:

x_i = Debit segmen pipa ke-i

d_j = Kebutuhan debit pada titik ke-j

a_{ij} = 1 jika segmen pipa ke-i mengalir ke titik ke-j, 0 jika tidak

Fungsi pembatas kedua ialah diameter pipa.

$$\sum_{j=1}^n x_i = 1 \text{ untuk setiap segmen pipa } \dots\dots\dots(6)$$

Dengan:

x_{ij} = Variabel biner yang bernilai 1 jika segmen pipa ke-i menggunakan diameter ke-j, dan 0 jika tidak

Fungsi pembatas ketiga ialah total kehilangan energi pipa.

$$\sum_{i=1}^n L_i x_i \leq E_{maks} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan:

L_i = Kehilangan energi per satuan debit pada segmen pipa ke-i

E_{maks} = Batas total kehilangan energi

Diameter Pipa Setelah Optimasi

Proses pengolahan data pada penelitian ini menggunakan Microsoft Excel, tepatnya fitur Solver. Dalam fitur itu, hasil yang diperoleh merupakan panjang pipa. Kandidat diameter pipa diwakili oleh panjang pipa pada hasil tersebut. Berdasarkan hasil pengolahan, terdapat pipa yang mengalami perubahan diameter, yakni pipa 6 dan 7 dari 3 inci menjadi 2,5 inci, serta pipa 15 dan 21 dari 2 inci menjadi 1,5 inci seperti yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pemilihan Ukuran Diameter Pipa Hasil Optimasi

No Pipa	Kandidat Pipa	Value	Diameter Pipa	Diameter Optimasi Pipa
			(inci)	(inci)
1	1	5	4	4
2	1	5	4	4
3	3	230	3	3
4	6	269	2	2
5	6	118	2	2
6	3	277	3	2,5
7	3	237	3	2,5
8	4	147	2	2
9	1	634	4	4
10	2	193	3	3
11	3	71	3	3
12	4	99	2	2
13	1	515	4	4
14	4	205	2	2
15	4	85	2	1,5
16	4	95	3	3
17	4	163	2	2
18	3	90	3	3
19	4	185	2	2
20	4	154	2	2
21	4	76	2	1,5
22	2	277	3	3

23	1	629	4	4
24	6	130	1,5	1,5
25	4	212	2	2
26	4	276	2	2
27	2	285	3	3
28	4	190	2	2
29	2	185	3	3
30	4	190	2	2
31	6	80	1,5	1,5
32	4	700	2	2
33	6	175	1,5	1,5
34	2	190	3	3
35	4	140	2	2
36	2	200	3	3
37	6	75	1,5	1,5
38	2	529	3	3
39	6	200	1,5	1,5
40	5	283	2	2

Tabel 6. Hasil Perhitungan Energi Absolut dan Energi Relatif

Node	Elevasi (m)	Energi Absolut Optimasi (m)	Energi Relatif Optimasi (m)
6	503	522,488	19,488
9	488	522,455	34,455
12	511	522,432	11,432
13	509	522,439	13,439
17	504	522,216	18,216
19	510	522,313	12,313
21	510	522,121	12,121
23	507	522,166	15,166
24	507	522,058	15,058
26	494	522,125	28,125
28	495	521,886	26,886
32	485	521,714	36,714
34	492	521,757	29,757
36	491	521,827	30,827
38	488	521,809	33,809
40	487	521,288	34,288

Pengontrolan Energi Absolut dan Energi Relatif

Setelah penentuan diameter optimal pipa, kontrol energi relatif pada simpul

layanan perlu dilakukan untuk memastikan pemrograman linear telah berhasil menyelesaikan masalah pencarian diameter optimal jaringan pipa. Kondisi optimal

tersebut harus diikuti dengan fungsi pembatas energi relatif, yakni di antara 10–80 m (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18 Tahun 2007).

Berdasarkan hasil perhitungan, diketahui bahwa energi absolut dan energi relatif di setiap node pipa telah sesuai standar seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Rancangan Anggaran Biaya Hasil Optimalisasi

Perhitungan rancangan anggaran biaya menggunakan aplikasi Microsoft Excel, yakni

dengan mengalikan panjang elemen pipa dan AHSP diameter pipa yang telah dioptimasi. Berdasarkan hasil perhitungan, terdapat perbedaan antara rancangan anggaran biaya diameter pipa eksisting sebelum dioptimasi dan sesudah dioptimasi, yakni pada pipa 6 dari Rp30.152.923,64 menjadi Rp22.480.300,64, pipa 7 dari Rp25.798.710,84 menjadi Rp19.234.047,84, pipa 15 dari Rp5.351.144,40 menjadi Rp5.000.255,90, dan pipa 21 dari Rp4.784.552,64 menjadi Rp4.470.817,04, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Rancangan Anggaran Biaya

No Pipa	Panjang (m)	Diameter Pipa Awal (inci)	Diameter Pipa Optimalisasi (inci)	Biaya Awal	Biaya Optimalisasi	Persentase Optimalisasi
1	5	4	4	Rp676.834,50	Rp676.834,50	0,0%
2	5	4	4	Rp676.834,50	Rp676.834,50	0,0%
3	230	3	3	Rp25.036.723,60	Rp25.036.723,60	0,0%
4	269	2	2	Rp16.934.798,16	Rp16.934.798,16	0,0%
5	118	2	2	Rp7.428.647,52	Rp7.428.647,52	0,0%
6	277	3	2,5	Rp30.152.923,64	Rp22.480.300,64	25,4%
7	237	3	2,5	Rp25.798.710,84	Rp19.234.047,84	25,4%
8	147	2	2	Rp9.254.332,08	Rp9.254.332,08	0,0%
9	634	4	4	Rp85.822.614,60	Rp85.822.614,60	0,0%
10	193	3	3	Rp21.009.076,76	Rp21.009.076,76	0,0%
11	71	3	3	Rp7.728.727,72	Rp7.728.727,72	0,0%
12	99	2	2	Rp6.232.509,36	Rp6.232.509,36	0,0%
13	515	4	4	Rp69.713.953,50	Rp69.713.953,50	0,0%
14	205	2	2	Rp12.905.701,20	Rp12.905.701,20	0,0%
15	85	2	1,5	Rp5.351.144,40	Rp5.000.255,90	6,6%
16	95	3	3	Rp10.341.255,40	Rp10.341.255,40	0,0%

17	163	2	2	Rp10.261.606,3 2	Rp10.261.606,3 2	0,0%
18	90	3	3	Rp9.796.978,80	Rp9.796.978,80	0,0%
19	185	2	2	Rp11.646.608,4 0	Rp11.646.608,4 0	0,0%
20	154	2	2	Rp9.695.014,56	Rp9.695.014,56	0,0%
21	76	2	1,5	Rp4.784.552,64	Rp4.470.817,04	6,6%
22	277	3	3	Rp30.152.923,6 4	Rp30.152.923,6 4	0,0%
23	629	4	4	Rp85.145.780,1 0	Rp85.145.780,1 0	0,0%
24	130	1,5	1,5	Rp7.647.450,20	Rp7.647.450,20	0,0%
25	212	2	2	Rp13.346.383,6 8	Rp13.346.383,6 8	0,0%
26	276	2	2	Rp17.375.480,6 4	Rp17.375.480,6 4	0,0%
27	285	3	3	Rp31.023.766,2 0	Rp31.023.766,2 0	0,0%
28	190	2	2	Rp11.961.381,6 0	Rp11.961.381,6 0	0,0%
29	185	3	3	Rp20.138.234,2 0	Rp20.138.234,2 0	0,0%
30	190	2	2	Rp11.961.381,6 0	Rp11.961.381,6 0	0,0%
31	80	1,5	1,5	Rp4.706.123,20	Rp4.706.123,20	0,0%
32	700	2	2	Rp44.068.248,0 0	Rp44.068.248,0 0	0,0%
33	175	1,5	1,5	Rp10.294.644,5 0	Rp10.294.644,5 0	0,0%
34	190	3	3	Rp20.682.510,8 0	Rp20.682.510,8 0	0,0%
35	140	2	2	Rp8.813.649,60	Rp8.813.649,60	0,0%
36	200	3	3	Rp21.771.064,0 0	Rp21.771.064,0 0	0,0%
37	75	1,5	1,5	Rp4.411.990,50	Rp4.411.990,50	0,0%
38	529	3	3	Rp57.584.464,2 8	Rp57.584.464,2 8	0,0%
39	200	1,5	1,5	Rp11.765.308,0 0	Rp11.765.308,0 0	0,0%
40	283	2	2	Rp17.816.163,1 2	Rp17.816.163,1 2	0,0%
Total				Rp811.916.496, 36	Rp797.014.586, 26	

SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, penggunaan metode pemrograman linear dengan bantuan fitur Solver mampu menyelesaikan masalah optimasi diameter

pipa pada jaringan distribusi air bersih di Sumur Bor Bandarangin, Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang. Hasil menunjukkan bahwa ada 4 pipa yang dapat dioptimasi, yakni pipa 6 dan pipa 7 dari diameter 3 inci menjadi 2,5 inci

dengan persentase optimasi 25,4%, serta pipa 15 dan pipa 21 dari diameter 2 inci menjadi 1,5 inci dengan persentase optimasi 6,6%. Optimasi diameter pipa tersebut pun mampu meminimalisasi biaya dari Rp811.916.496,36 menjadi Rp797.014.586,26.

DAFTAR PUSTAKA

- Abideen, A., Shittu and James R., Adewumi. 2022. Design of Water Distribution System for Araromi Community, Ondo State Using EPANET. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 7(5), 18–21.
- Alkali, A., Yadima, S., Usman, B., Ibrahim, U., and A. G. Lawan. 2017. Design of a Water Supply Distribution Network Using EPANET 2.0: A Case Study of Maiduguri Zone 3, Nigeria. *Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 13(3), 347–355.
- Anandy, F., Saleh, C. 2017. Optimasi Diameter Jaringan Pipa dalam Sistem Penyediaan Air Bersih (PDAM) di Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang Menggunakan Linear Programming. *Media Teknik Sipil*, 15(1), 20–33.
- Anisha, G., Kumar, A., Ashok, J. 2017. Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET for Chirala Municipality in Prakasam District of Andhra Pradesh. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(4), 53–60.
- Bellal, H., Chandra, N., Papon, C., Estiak, Y. 2021. Analysis and Design of Water Distribution Network Using EPANET: A Case Study of HSTU Campus of Dinajpur, Bangladesh. *Hydrology*, 9(2), 36–47.
- Dwi, R., Santoso, B. 2021. Analisis Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Perumahan Golden Vienna 1 dan 2 Kota Tangerang Selatan. *Jurnal Ilmiah Desain dan Konstruksi*, 20(1), 84–97.
- Firga, Y., Hariwoko, I. 2017. Analisis Perencanaan dan Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih di PDAM Tulungagung. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 25–29.
- Gisha, H., Mariam, A., Abate, B., 2017. Water Distribution Network Analysis of Bodditi Town by EPANET. *Journal of Information Engineering and Applications*, 6(10), 10–17.
- Harsan, K., Keerthana, L. 2018. Design of Water Distribution Network for a Small Rural Area Using EPANET. *International Journal of Research and Scientific Innovation*, 5(4), 118–122.
- Ikhwan, F., Ivan, I., Faisal, M. 2018. Analisis Sistem Distribusi Air Bersih di Komplek Perumahan Cemara Hijau Medan. *Jurnal Dampak*, 15(2), 93–99.
- Kara, S., Karadirek, E., Muhammatoglu, A. 2018. Hydraulic Modeling of Water Distribution Network in a Tourism Area with Varying Characteristics. *ScienceDirect*, 521–529.
- Marlan, N., Erni, R., Herman, W. 2022. Analisis Jaringan Distribusi Air Bersih Menggunakan EPANET 2.0 (Studi Kasus Perumahan Telkomnas Kecamatan Tamalanrea). *Jurnal Teknik Sipil UKIPaulus-Makassar*, 4(1), 133–138.
- Maulana, A., Charits, M. 2022. Optimasi Jaringan Pipa Air Bersih pada Kecamatan Donomulyo Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 3(2), 107–113.
- Muranho, J., Ferreora, A., Sousa, J., Gomes, A. 2018. Technical Performance Evaluation of Water Distribution Networks based on EPANET. *ScienceDirect*, 1201–1210.
- Nadeem, H., Patil, N., Shivapus, A. 2018. Comparative analysis of Water Distribution Network system remodelled by EPANET and LOOP

- Program. *SSRG International Journal of Civil Engineeri*, 4(1), 11–14.
- Nuryani, Santosa, B. 2020. Analisa Optimasi Diameter Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih dengan Menggunakan Software EPANET, LINGO di Jalur Sentul City PDAM Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Rekayasa Sipil*, 14(2), 136–142.
- Patel, N., Parmar, A. 2019. Water Distribution Network using EPANET: A Case Study of Olpad Village. *GRD Journal for Engineering*, 5(2), 25–30.
- Putra, R., Saleh, C. 2017. Optimasi Diameter Pipa pada Sistem Jaringan Air Bersih Menggunakan Linear Programming di Kecamatan Turen Malang. *Media Teknik Sipil*, 12(1), 80–90.
- Rada, C., Triatmadja, R. 2021. Evaluasi dan Optimasi Jaringan Perpipaan Air Bersih. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*, 10(1), 8–15.
- Ramana, V., Sudheer, S., Rajasekhar, B. 2018. Netrwork Analysis of Water Distribution System in Rural Areas Using EPANET. *ScienceDirect*, 496–505.
- Risdiyanto, A., Harliansyah, M. 2022. Pemilihan Diameter Pipa untuk Optimasi Usia Layan Pipa HDPE dalam Perencanaan Sistem Transmisi Air Baku Intake Linuh di Kabupaten Tapin. *Prosiding Forum Ilmiah Nasional Teknik*, 7(1), 112–124.
- Riza, A., Yunan, H., Reini, S. 2020. Analisis Sistem Air Bersih pada PDAM Tirta Musi (Studi Kasus Pengaliran Booster Tegal Binangun). *Jurnal Teknik*, 7(2), 155–167.
- Roostriawaty, N., Muhammad, E. 2021. Penentuan Diameter Pipa Optimal dalam Perencanaan Sistem Penyediaan Air Bersih di Kecamatan Wonotirto Kabupaten Blitar Provinsi Jawa Timur. *SONDIR*, 5(1), 7–12.
- Setyono, E., Saleh, C. 2020. Optimasi Diameter Jaringan Pipa Terbuka Menggunakan Linear Programming (Studi Kasus pada Subsistem Sumber Air Banyuning PDAM Kota Batu). *Media Teknik Sipil*, 18(2), 123–132.
- Sulianto. 2019. Programasi Linear untuk Pencarian Diameter Pipa Optimal pada Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih. *Media Teknik Sipil*, 13 (1), 91–98.
- Tamunokuro, A., Ishmael, O., Chikadibia, U., Uneke, L. 2020. Design and Simulation of Water Distribution Network Using EPANET 2.0 Hydraulic Solver Software for Okochiri Community, Okrika Local Government Area. *Journal of Advancement in Engineering and Technology*, 8(2), 1–8.
- Tejaswini, R., Monica, M., Ashwini, B. 2020. Design of Water Supply Distribution Network Using EPANET Software – A Case Study of V V Nagar, Mandya. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(8), 3286–3291.
- Utama, Y. 2021. Optimasi Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Daerah Rawan Bencana di Desa Krisik Kecamatan Gandusasi Kabupaten Blitar. *DAKTILITAS*, 1(1), 30–42.
- Wigati, R., Maddeppungeng, A., Krisnanto, I. 2018. Studi Analisis Kebutuhan Air Bersih Pedesaan Sistem Gravitasi Menggunakan Software EPANET 2.0. *Jurnal Kontruksi*, 6(2), 1–9.
- Zamzani, Azmeri, A., Syamsidik, S. 2018. Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM Tirta Tawar Kabupaten Aceh Tengah. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 1(1), 132–141.