

# OPTIMASI DIAMETER JARINGAN PIPA DALAM SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH (PDAM) DI KEC. BULULAWANG KAB. MALANG MENGGUNAKAN LINEAR PROGRAMMING

## *Optimization of Networking Pipe in Water Supply Sistem (PDAM) in Bululawang, Malang Using Linear Programming*

Chairil Saleh<sup>1</sup>, Frica Anandy<sup>2</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang  
Jalan Raya Tlogomas No. 246 Malang 65144

Alamat Korespondensi:

Email: [Frica.anandy@yahoo.co.id](mailto:Frica.anandy@yahoo.co.id)

### **Abstract**

*One of the most important roles of water system supply is piping networking. Performance of water supply sistem service is determined not only by a capacity from the source, but also by water volume which must also be up to the vertices with high flow and adequate pressure as needed. Besides, the effectiveness of a pipeline is measured from the cost of investment and operational cost over life of specified order. In order to achieve adequate pressure and flow conditions it must be analyzed the size carefully. Linear programming represents the completion of operations research techniques that can solve optimization problems. Linear programming is used to minimize cost size of pipe. On this research, a sample information taken by a clean water distribution network in sub-district of Bululawang, district of Malang. By using the method of linear programming the result of optimization in diameter on each pipe in sub-district of Bululawang, district of Malang with the selection of the main pipe diameter between 3 inch to 8 inch and pressure energy or relative energy is 7 meters into 20 meters by license set.*

**Keywords :** Pipe Size, Relative Energy, Pipe Networking, Linear Programming, Optimization

### **Abstrak**

Salah satu peran penting dari sistem penyediaan air bersih adalah jaringan perpipaan. Kinerja pelayanan sistem penyediaan air bersih tidak hanya ditentukan oleh besarnya kapasitas sumber, namun volume air tersebut juga harus sampai pada simpul-simpul layanan dengan aliran dan tinggi tekanan yang memadai sesuai kebutuhan. Disamping itu efektivitas sebuah jaringan pipa juga dapat diukur dari besarnya biaya investasi dan operasionalnya selama usia guna yang ditetapkan. Agar dicapai kondisi tekanan dan debit yang memadai, perlu dilakukan analisis diameter yang cermat. *Linear programming* merupakan satu teknik penyelesaian riset operasi yang dapat menyelesaikan masalah-masalah optimasi. *linear programming* digunakan untuk meminimasi biaya akibat pemakaian diameter pipa. Pada penelitian ini diambil sampel data jaringan pipa distribusi air bersih di Kec.Bululawang Kab.Malang. Dengan metode *linear programming* didapat hasil optimasi diameter pada masing-masing pipa di Kec. Bululawang Kab. Malang dengan pemilihan diameter pipa utama antara 3 inch sampai 8 inch dan energi tekan atau energi relatif yang dihasilkan adalah 7 meter sampai 20 meter sesuai standart ijin yang ditetapkan.

**Kata Kunci :** Diameter pipa, Energi tekan, Jaringan pipa, Linear Programming, Optimasi,

## **PENDAHULUAN**

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan yang paling utama bagi hidup manusia. Tidak tersedianya air bersih akan

berdampak pada keseimbangan hidup manusia. Salah satu peran penting dari sistem penyediaan air bersih adalah jaringan perpipaan. Karena tingkat efektifitas jaringan

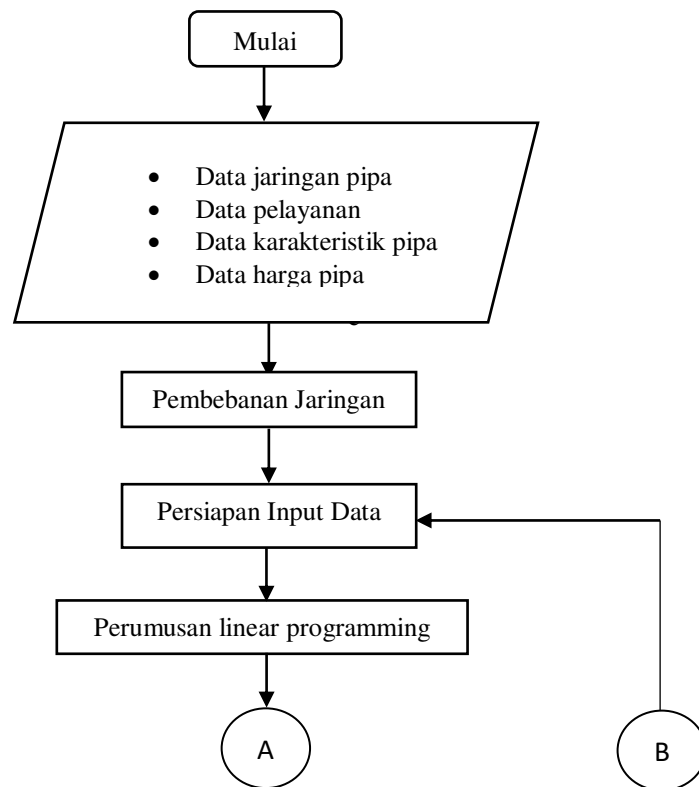
pipa merupakan salah satu factor penentu besarnya kinerja pada sistem penyediaan air bersih.

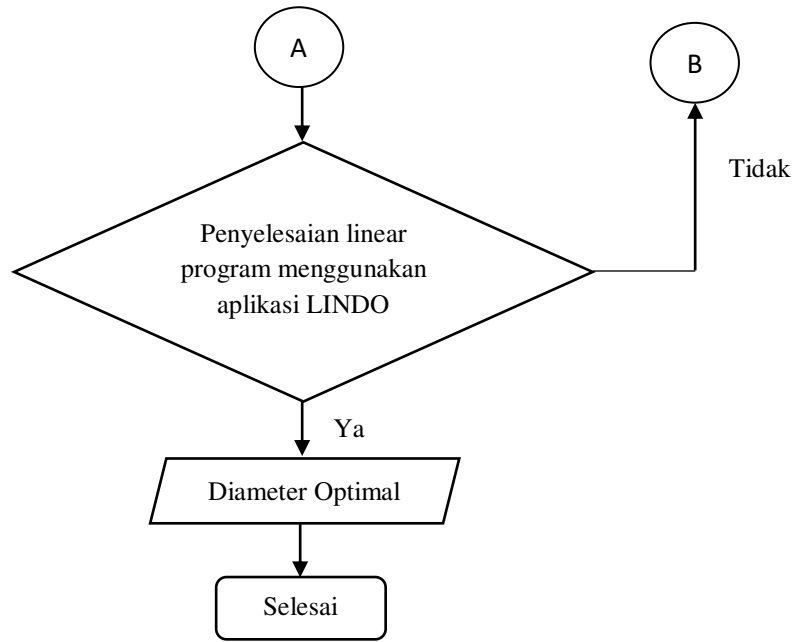
Kinerja pelayanan sistem penyediaan air bersih tidak hanya ditentukan oleh besarnya kapasitas sumber, namun volume air tersebut juga harus sampai pada simpul-simpul layanan dengan aliran dan tinggi tekanan yang memadai sesuai kebutuhan. Disamping itu efektivitas sebuah jaringan pipa juga dapat diukur dari besarnya biaya investasi dan operasionalnya selama usia guna yang ditetapkan. Upaya menemukan diameter pipa optimal yang menghasilkan kinerja sistim jaringan yang memuaskan hanya dapat ditentukan melalui teknik optimasi yang memiliki dua fungsi

tujuan sekaligus, yaitu ;minimasi biaya investasi jaringan dan minimasi beda nilai tinggi energi relatif pada setiap simpul layanan (Sulianto, 2015).

Agar dicapai kondisi tekanan dan debit yang memadai, perlu dilakukan analisis diameter yang cermat. Penentuan diameter secara manual akan memakan waktu dan tenaga. Linear Programing merupakan salah satu metode optimasi yang sederhana namun cukup populer, karena sangat mudah dipahami. Penelitian ini dimaksudkan untuk memanfaatkan linear program untuk optimasi diameter pipa pada sistem jaringan pipa distribusi air bersih di Kec. Bululawang Kab. Malang.

**METODE PENELITIAN**





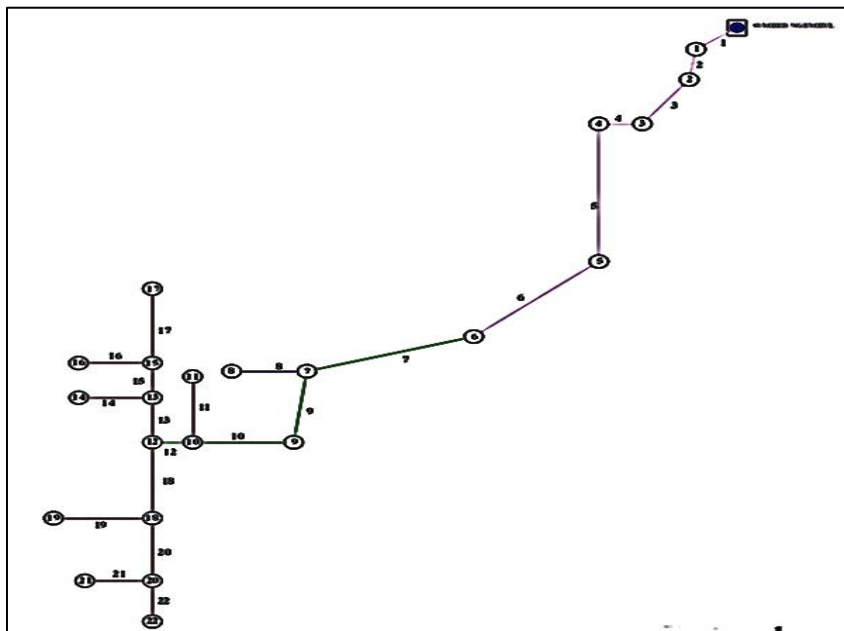
Gambar 1. Skema Tahapan Studi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

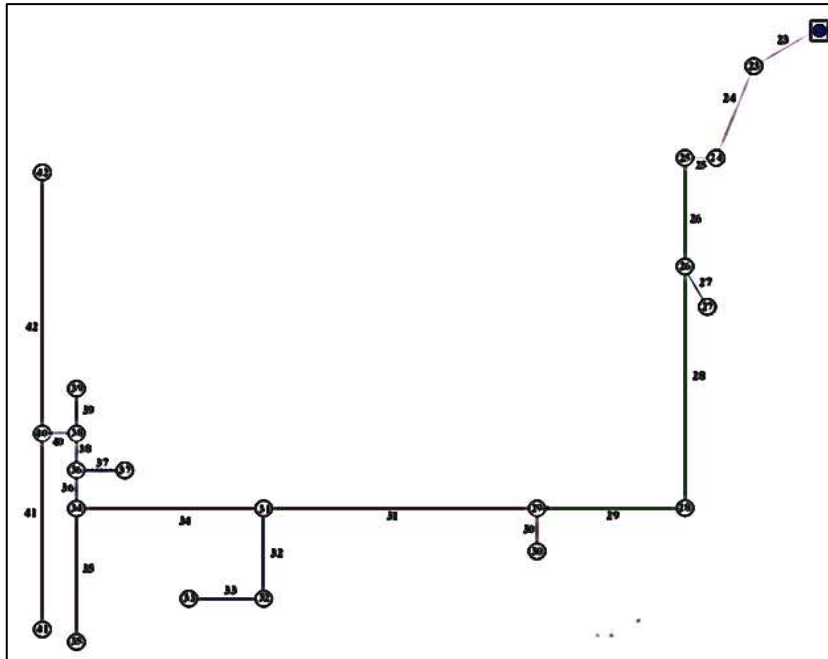
**Penyederhanaan Jaringan**

Penyederhanaan jaringan dilakukan karena mengingat bahwa aplikasi LINDO yang dimiliki bukan aplikasi LINDO Premium dimana aplikasi ini hanya mampu

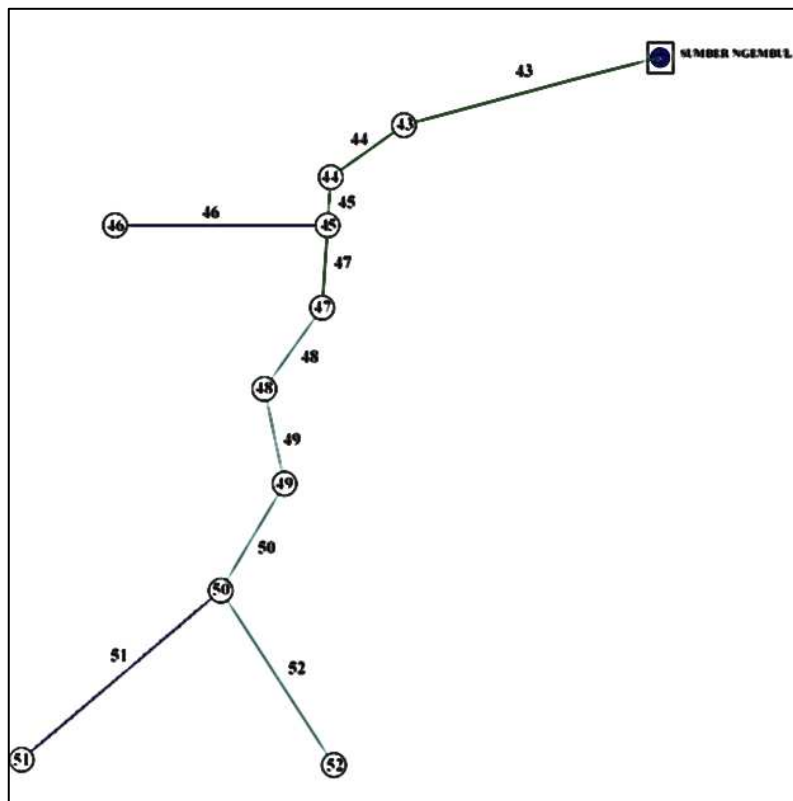
menyelesaikan dibawah 300 interasi. Sedangkan keseluruhan dari jaringan pipa di Kec. Bululawang sendiri terdapat lebih dari 100 node dan kandiat pipa yang digunakan sebanyak 5 jenis. Sehingga jumlah interasi yang dilakukan diperkirakan sejumlah ±500 interasi. Berikut hasil penyederhanaan jaringan:



Gambar 2. Jaringan Pipa 1



Gambar 3. Jaringan Pipa 2



Gambar 4. Jaringan Pipa 3

**Pembebanan jaringan**

Pembebanan jaringan yang dimaksud adalah kebutuhan air (debit) setiap simpul layanan. Debit sendiri digunakan menyiapkan

input data yaitu nilai kehilangan energi pada setiap nomer pipa. Berdasarkan data layanan (sambungan) pada sistem distribusi air bersih di Kec. Bululawang, maka diperoleh nilai

debit jam puncak pada setiap pipa sebagai berikut :

Tabel 1. Kebutuhan air bersih masing-masing titik simpul pada jaringan pipa 1

No Pipa	Node		Debit (Q)		Debit (Q)
			Total		Jam Puncak
	Dari	Ke	(lt/hr)	(lt/dt)	(lt/dt)
1	SB	1	829450	9,600	14,400
2	1	2	822950	9,525	14,287
3	2	3	827950	9,583	14,374
4	3	4	824950	9,548	14,322
5	4	5	803700	9,302	13,953
6	5	6	797700	9,233	13,849
7	6	7	791700	9,163	13,745
8	7	8	81000	0,938	1,406
9	7	9	684950	7,928	11,891
10	9	10	580800	6,722	10,083
11	10	11	93750	1,085	1,628
12	10	12	409300	4,737	7,106
13	12	13	237750	2,752	4,128
14	13	14	62500	0,723	1,085
15	13	15	175250	2,028	3,043
16	15	16	90500	1,047	1,571
17	15	17	84750	0,981	1,471
18	12	18	155800	1,803	2,705
19	18	19	45000	0,521	0,781
20	18	20	81100	0,939	1,408
21	20	21	45750	0,530	0,794
22	20	22	15750	0,182	0,273

Sumber : Analisa dan Perhitungan

Tabel 2. Kebutuhan air bersih masing-masing titik simpul pada jaringan pipa 2

No Pipa	Node		Debit (Q)		Debit (Q)
			Total		Jam Puncak
	Dari	Ke	(lt/hr)	(lt/dt)	(lt/dt)
23	SB	23	941200	10,894	16,340
24	23	24	940200	10,882	16,323
25	24	25	933300	10,802	16,203
26	25	26	927300	10,733	16,099
27	26	27	63000	0,729	1,094
28	26	28	857550	9,925	14,888
29	28	29	835050	9,665	14,497
30	29	30	52500	0,608	0,911
31	30	31	767550	8,884	13,326
32	31	32	137250	1,589	2,383
33	32	33	124500	1,441	2,161
34	31	34	599050	6,933	10,400
35	34	35	107250	1,241	1,862
36	34	36	448800	5,194	7,792
37	36	37	48000	0,556	0,833
38	36	38	393300	4,552	6,828
39	38	39	99000	1,146	1,719
40	38	40	270300	3,128	4,693
41	40	41	175450	2,031	3,046
42	40	42	94850	1,098	1,647

Sumber : Analisa dan Perhitungan

Tabel 3. Kebutuhan air bersih masing-masing titik simpul pada jaringan pipa 3

No Pipa	Node		Debit (Q)		Debit (Q)
	Dari	Ke	Total	(lt/hr)	Jam Puncak
43	SB	43	243900	2,823	4,234
44	43	44	242900	2,811	4,217
45	44	45	243900	2,823	4,234
46	45	46	16000	0,185	0,278
47	45	47	227900	2,638	3,957
48	47	48	227900	2,638	3,957
49	48	49	212150	2,455	3,683
50	49	50	208400	2,412	3,618
51	50	51	64150	0,742	1,114
52	50	52	129000	1,493	2,240

Sumber : Analisa dan Perhitungan

### Persiapan input data

- Pemilihan kandidat pipa

Kandidat pipa yang digunakan diantaranya kandidat pipa ukuran diameter 3", 4", 5", 6" & 8" inch. Pemilihan ini berdasarkan pendekatan besaran debit dan kecepatan yang telah dihitung sebelumnya.

- Analisa harga satuan

Analisa harga satuan digunakan untuk mencari harga pekerjaan pemasangan pipa (harga upah + harga bahan). Dalam metode *linear programming* harga satuan pekerjaan digunakan sebagai parameter untuk meminimasi biaya akibat pemakaian diameter pipa. Berdasarkan analisa harga satuan pemerintah kota malang tahun 2016, didapat harga satuan untuk pemasangan Pipa PVC 8" = Rp. 360.632,-/m1; Pipa PVC 6" = Rp. 240.463,-/m1; Pipa PVC 5" = Rp. 180.128,-/m1; Pipa

PVC 4" = Rp. 140.048,-/m1; dan Pipa PVC 3" = Rp. 94.226,-/m1.

- Perhitungan Kehilangan energi setiap kandidat pipa

Pokok permasalahan jaringan pipa dalam sistem penyediaan air bersih adalah kehilangan energi akibat gesekan. Besaran energi relatif pada setiap simpul layanan tergantung pada besaran kehilangan energi. Sedangkan, besaran kehilangan energi akibat gesekan tergantung dari besaran diameter pipa. Berdasarkan debit air pada setiap elemen pipa dan beberapa kandidat diameter pipa yang akan dipakai, maka dapat dihitung kehilangan energi pada setiap elemen pipa yang diakibatkan oleh besaran diameter pipa. Yang selanjutnya nilai-nilai kehilangan energi ini digunakan untuk menyusun salah satu fungsi pembatas yaitu batasan energi relatif.

Tabel 4. Kehilangan energi jaringan pipa 1

No Pipa	Kehilangan energi (m)				
	Kandidat pipa	Kandidat	Kandidat pipa	Kandidat pipa	Kandidat pipa
	1	pipa 2	3	4	5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
1	0,285	1,156	2,806	8,310	33,690
2	0,610	2,473	6,005	17,785	72,103
3	0,566	2,294	5,570	16,496	66,874
4	0,089	0,359	0,872	2,582	10,466
5	2,059	8,348	20,268	60,025	243,343
6	0,924	3,747	9,099	26,947	109,243
7	0,581	2,356	5,720	16,939	68,671
8	0,006	0,024	0,058	0,171	0,692
9	0,276	1,120	2,719	8,053	32,646
10	0,285	1,156	2,806	8,309	33,685

Sumber : Hasil Perhitungan

Lanjutan Tabel 4. Kehilangan energi jaringan pipa 1

No Pipa	Kehilangan energi (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
11	0,008	0,031	0,076	0,226	0,917
12	0,002	0,009	0,022	0,066	0,267
13	0,001	0,006	0,014	0,041	0,168
14	0,002	0,006	0,015	0,045	0,183
15	0,001	0,002	0,006	0,018	0,072
16	0,003	0,012	0,029	0,085	0,346
17	0,007	0,029	0,070	0,209	0,845
18	0,018	0,074	0,180	0,534	2,167
19	0,002	0,007	0,018	0,052	0,211
20	0,004	0,017	0,040	0,120	0,485
21	0,001	0,004	0,009	0,028	0,113
22	0,0001	0,001	0,001	0,004	0,016

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5. Kehilangan energi jaringan pipa 2

No Pipa	Kehilangan energi (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
23	0,631	2,560	6,215	18,407	74,623
24	0,866	3,512	8,527	25,254	102,382
25	0,104	0,421	1,022	3,028	12,274
26	0,586	2,377	5,772	17,095	69,305
27	0,000	0,001	0,002	0,007	0,030
28	1,307	5,297	12,862	38,091	154,423
29	0,513	2,081	5,052	14,963	60,660
30	0,000	0,000	0,001	0,003	0,010
31	0,587	2,379	5,777	17,110	69,365
32	0,013	0,052	0,125	0,372	1,506
33	0,007	0,029	0,071	0,210	0,853
34	0,304	1,232	2,990	8,856	35,901
35	0,015	0,060	0,145	0,431	1,746
36	0,010	0,039	0,094	0,279	1,131
37	0,000	0,002	0,005	0,014	0,056
38	0,025	0,103	0,251	0,743	3,013
39	0,005	0,020	0,050	0,147	0,597
40	0,001	0,006	0,015	0,044	0,177
41	0,036	0,145	0,351	1,041	4,220
42	0,018	0,074	0,179	0,529	2,146

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 6 Kehilangan energi jaringan pipa 3

No Pipa	Kehilangan energi (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
43	0,044	0,180	0,438	1,297	5,258
44	0,012	0,050	0,121	0,359	1,453
45	0,006	0,025	0,061	0,181	0,732
46	0,000	0,001	0,002	0,005	0,019
47	0,008	0,034	0,082	0,242	0,982
48	0,014	0,056	0,136	0,401	1,628
49	0,047	0,191	0,465	1,376	5,578

Sumber : Hasil Perhitungan

Lanjutan Tabel 6. Kehilangan energi jaringan pipa 3

No Pipa	Kehilangan energi (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
50	0,046	0,185	0,450	1,331	5,397
51	0,002	0,010	0,024	0,071	0,286
52	0,019	0,076	0,185	0,549	2,227

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 7. Kehilangan energi per satuan panjang jaringan pipa 1

No Pipa	J (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
1	0,0012	0,0048	0,0117	0,0348	0,1410
2	0,0012	0,0048	0,0116	0,0343	0,1389
3	0,0012	0,0048	0,0117	0,0347	0,1405
4	0,0012	0,0048	0,0116	0,0344	0,1396
5	0,0011	0,0046	0,0111	0,0328	0,1330
6	0,0011	0,0045	0,0109	0,0323	0,1311
7	0,0011	0,0044	0,0108	0,0319	0,1293
8	0,0000	0,0001	0,0002	0,0005	0,0019
9	0,0008	0,0034	0,0082	0,0244	0,0989
10	0,0006	0,0025	0,0061	0,0180	0,0729
11	0,00002	0,0001	0,0002	0,0006	0,0025
12	0,0003	0,0013	0,0032	0,0094	0,0382
13	0,0001	0,0005	0,0012	0,0034	0,0140
14	0,00001	0,00004	0,0001	0,0003	0,0012
15	0,0001	0,0003	0,0007	0,0020	0,0079
16	0,00002	0,0001	0,0002	0,0006	0,0023
17	0,00002	0,0001	0,0002	0,0005	0,0021
18	0,0001	0,0002	0,0005	0,0016	0,0064
19	0,000005	0,0000	0,0001	0,0002	0,0006
20	0,000016	0,0001	0,0002	0,0005	0,0019
21	0,000006	0,000023	0,0001	0,0002	0,0007
22	0,000001	0,000003	0,00001	0,00002	0,0001

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 8. Kehilangan energi per satuan panjang jaringan pipa 2

No Pipa	J (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	$\phi$ 8"	$\phi$ 6"	$\phi$ 5"	$\phi$ 4"	$\phi$ 3"
23	0,0015	0,0061	0,0148	0,0439	0,1781
24	0,0015	0,0061	0,0148	0,0438	0,1777
25	0,0015	0,0060	0,0146	0,0433	0,1753
26	0,0015	0,0059	0,0144	0,0427	0,1733
27	0,00001	0,00004	0,0001	0,0003	0,0012
28	0,0013	0,0051	0,0125	0,0370	0,1499
29	0,0012	0,0049	0,0119	0,0352	0,1427
30	0,00001	0,00003	0,0001	0,0002	0,0009
31	0,0010	0,0042	0,0102	0,0301	0,1221
32	0,00004	0,0002	0,0004	0,0012	0,0051
33	0,00004	0,0001	0,0004	0,0010	0,0042
34	0,0007	0,0026	0,0064	0,0190	0,0772
35	0,00003	0,0001	0,0003	0,0008	0,0032

Sumber : Hasil Perhitungan



Lanjutan Tabel 8. Kehilangan energi per satuan panjang jaringan pipa 2

No Pipa	J (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	φ 8"	φ 6"	φ 5"	φ 4"	φ 3"
36	0,0004	0,0016	0,0038	0,0112	0,0453
37	0,00001	0,00002	0,0001	0,0002	0,0007
38	0,0003	0,0012	0,0030	0,0087	0,0354
39	0,00002	0,0001	0,0002	0,0007	0,0028
40	0,0001	0,0006	0,0015	0,0044	0,0177
41	0,0001	0,0003	0,0007	0,0020	0,0080
42	0,00002	0,0001	0,0002	0,0006	0,0026

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 9. Kehilangan energi per satuan panjang jaringan pipa 3

No Pipa	J (m)				
	Kandidat pipa 1	Kandidat pipa 2	Kandidat pipa 3	Kandidat pipa 4	Kandidat pipa 5
	φ 8"	φ 6"	φ 5"	φ 4"	φ 3"
43	0,0001	0,0005	0,0012	0,0036	0,0146
44	0,0001	0,0005	0,0012	0,0036	0,0145
45	0,0001	0,0005	0,0012	0,0036	0,0146
46	0,000001	0,000003	0,000008	0,000023	0,0001
47	0,0001	0,0004	0,0011	0,0032	0,0129
48	0,0001	0,0004	0,0011	0,0032	0,0129
49	0,0001	0,0004	0,0009	0,0028	0,0113
50	0,0001	0,0004	0,0009	0,0027	0,0109
51	0,00001	0,00004	0,0001	0,0003	0,0012
52	0,00004	0,0002	0,0004	0,0011	0,0045

Sumber : Hasil Perhitungan

**Perumusan model linear programming**

Optimasi jaringan pipa dengan menggunakan *Linear Programming* terdiri dari fungsi tujuan dan fungsi pembatas.

Fungsi tujuan

Fungsi tujuan : berfungsi sebagai parameter meminimasi biaya

$$Z \text{ min} = C11.X11 + C12.X12 + C13.X13 + C14.X14 + C15.X15 + \dots\dots\dots Cnn.Xnn$$

Dimana :

- C11: Cost kandidat pipa 1 elemen pipa 1
- X11: Panjang pipa 1 kandidat pipa 1 (m)
- C12: Cost kandidat pipa 2 elemen pipa 1
- X12: Panjang pipa 1 kandidat pipa 2 (m)
- C13: Cost kandidat pipa 3 elemen pipa 1
- X13: Panjang pipa 1 kandidat pipa 3 (m)
- C14: Cost kandidat pipa 4 elemen pipa 1
- X14: Panjang pipa 1 kandidat pipa 4 (m)
- C15: Cost kandidat pipa 5 elemen pipa 1

- X15: Panjang pipa 1 kandidat pipa 5 (m)
- Cnn: Cost kandidat pipa n elemen pipa n
- Xnn: Panjang pipa n kandidat pipa n (m)

Fungsi pembatas

Batas panjang pipa : berfungsi agar panjang pipa setiap elemen pipa nilainya tetap.

$$\begin{aligned} X11 + X12 + X13 + X14 + X15 &= X1 \\ X21 + X22 + X23 + X24 + X25 &= X2 \\ X31 + X32 + X33 + X34 + X35 &= X3 \\ X41 + X42 + X43 + X44 + X45 &= X4 \\ X51 + X52 + X53 + X54 + X55 &= X5 \\ Xnn + Xnn + Xnn + Xnn + Xnn &= nn \end{aligned}$$

Dimana :

- X11: Panjang pipa 1 untuk kandidat pipa 1 (m)
- X12: Panjang pipa 1 untuk kandidat pipa 2 (m)
- X13: Panjang pipa 1 untuk kandidat pipa 3 (m)
- X14: Panjang pipa 1 untuk kandidat pipa 4 (m)
- X15: Panjang pipa 1 untuk kandidat pipa 5 (m)
- Xnn: Panjang pipa n untuk kandidat pipa n (m)

Batasan energy relatif : berfungsi untuk membatasi besaran energi relatif setiap simpul agar memenuhi standart ijin energi relatif yang ditetapkan.

$$(EL \text{ sumber} - EL \text{ simpul } n - H \text{ bawah}) \geq J11.X11 + J12.X12 + J13.X13 + J14.X14 + J15.X15 + J21.X21 + J22.X22 + J23.X23 + J24.X24 + J25.X25 + \dots + Jnn.Xnn$$

$$\geq (EL \text{ sumber} - EL \text{ simpul } n - H \text{ atas})$$

Dimana :

- EL sumber : Elevasi muka air sumber air/tendon (m)
- EL simpul : Elevasi simpul (m)
- H bawah : Batas energi relatif minimum yang diijinkan pada setiap simpul layanan (7 m)
- H atas : Batas energi relatif maksimum yang diijinkan pada setiap simpul layanan (20 m)
- X11 : Panjang pipa 1 kandidat pipa 1
- J11 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 1
- X12 : Panjang pipa 1 kandidat pipa 2
- J12 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 2
- X13 : Panjang pipa 1 kandidat pipa 3
- J13 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 3
- X14 : Panjang pipa 1 kandidat pipa 4
- J14 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 4
- X15 : Panjang pipa 1 kandidat pipa 5
- J15 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 4
- Jnn : Kehilangan energy elemen pipa n untuk kandidat pipa n
- Xnn : Panjang pipa n kandidat pipa n

Non Negativasi : berfungsi agar nilai variabel yang dicari tidak bernilai negatif.

- X11 ≥ 0
- X12 ≥ 0
- X13 ≥ 0
- X14 ≥ 0
- X15 ≥ 0
- Xnn ≥ 0

### Running Program

Aplikasi yang digunakan untuk *running program* adalah Aplikasi LINDO. Untuk menentukan nilai optimal dengan menggunakan Lindo diperlukan beberapa tahapan yaitu:

- Menentukan model matematika berdasarkan data real
- Menentukan formulasi program untuk Lindo
- Membaca hasil report yang dihasilkan oleh Lindo.

### Penentuan Diameter Pipa

Penentuan diameter pipa dilakukan karena hasil *report* dari proses *running program* berupa panjang pipa. Dimana panjang pipa ini bertindak sebagai perwakilan kandidat diameter pipa. Sehingga penentuan diameter pipa dilakukan secara manual.

Tabel 10. Penentuan Diameter Pipa “Jaringan Pipa 1”

Elemen pipa	Kandidat Pipa	Value	Ø (LP) (inch)	Ø Existing (inch)
1	1	239	8”	8”
2	1	519	8”	8”
3	1	476	8”	8”
4	1	75	8”	8”
5	1	204	8”	8”
6	2	1624	6”	8”
7	2	833	6”	8”
8	2	531	6”	6”
9	5	336	3”	3”
10	3	330	5”	6”
11	3	462	5”	6”
12	5	367	3”	4”
13	3	7	5”	6”
14	5	12	3”	4”
15	5	155	3”	4”
16	5	9	3”	4”
17	5	148	3”	4”
18	5	408	3”	4”
19	4	339	4”	4”
20	5	329	3”	4”
21	5	254	3”	4”
22	5	170	3”	4”
23	5	173	3”	4”

Sumber : Hasil Running LP

Tabel 11. Penentuan Diameter Pipa “Jaringan  
Pipa 2”

Elemen pipa	Kandidat Pipa	Value	Ø (LP) (inch)	Ø Existing (inch)
23	1	419	8”	8”
24	1	576	8”	8”
25	1	70	8”	8”
26	1	400	8”	8”
27	5	25	3”	3”
28	2	1030	6”	6”
29	2	425	6”	6”
30	5	12	3”	4”
31	3	568	5”	5”
32	5	298	3”	3”
33	5	202	3”	3”
34	3	465	5”	5”
35	5	545	3”	4”
36	4	25	4”	4”
37	5	77	3”	3”
38	5	85	3”	3”
39	5	219	3”	3”
40	5	10	3”	3”
41	5	530	3”	4”
42	5	841	3”	4”

Sumber : Hasil Running LP

Tabel 12. Penentuan Diameter Pipa “Jaringan  
Pipa 3”

Elemen pipa	Kandidat Pipa	Value	Ø (LP) (inch)	Ø Existing (inch)
43	4	359	4”	6”
44	4	100	4”	6”
45	4	50	4”	6”
46	5	200	3”	3”
47	4	76	4”	6”
48	4	226	4”	5”
49	4	493	4”	5”
50	5	493	3”	5”
51	5	231	3”	3”
52	5	494	3”	3”

Sumber : Hasil Running LP

### Kontrol Energi Relatif

Kontrol energi dilakukan untuk melihat apakah hasil pencarian diameter pipa optimal menggunakan metode program linear ini benar-benar tercapai. Kontrol energi ini dilakukan dengan cara menghitung secara manual dengan bantuan aplikasi Microsoft Exel. Sesuai dari hasil analisa yang telah dilakukan, terbukti bahwa batas energi relatif ijin setiap simpul layanan benar-benar tercapai yaitu antara +7 meter sampai +20 meter.

Tabel 13. Energi absolut dan relatif untuk Jaringan Pipa 1

No	Simpul	Elevasi	Debit	Energi Absolut	Energi Relatif	Energi Relatif
			Kebutuhan (m <sup>3</sup> /dt)	LP (m)	LP (m)	Esisting (m)
1	Simpul 8	427	0.00141	434.009	7.009	15.471
2	Simpul 11	416	0.00163	428.909	12.909	24.610
3	Simpul 14	415	0.00109	429.007	13.803	25.740
4	Simpul 16	412	0.00157	428.772	16.568	28.682
5	Simpul 17	418	0.00147	428.273	10.069	22.559
6	Simpul 19	421	0.00078	428.372	7.169	19.181
7	Simpul 21	419	0.00079	427.986	8.783	21.086
8	Simpul 22	420	0.00027	428.083	7.879	20.110

Sumber : hasil Perhitungan

Tabel 14. Energi absolut dan relatif untuk Jaringan Pipa 2

No	Simpul	Elevasi	Debit	Energi Absolut	Energi Relatif	Energi Relatif
			Kebutuhan (m <sup>3</sup> /dt)	LP (m)	LP (m)	Exisitng (m)
1	Simpul 27	440	0.00109	447.782	7.782	7.782
2	Simpul 30	425	0.00091	440.424	15.424	15.431
3	Simpul 33	421	0.00216	432.297	11.297	11.297

Sumber : hasil Perhitungan

Lanjutan Tabel 14. Energi absolut dan relatif untuk Jaringan Pipa 2

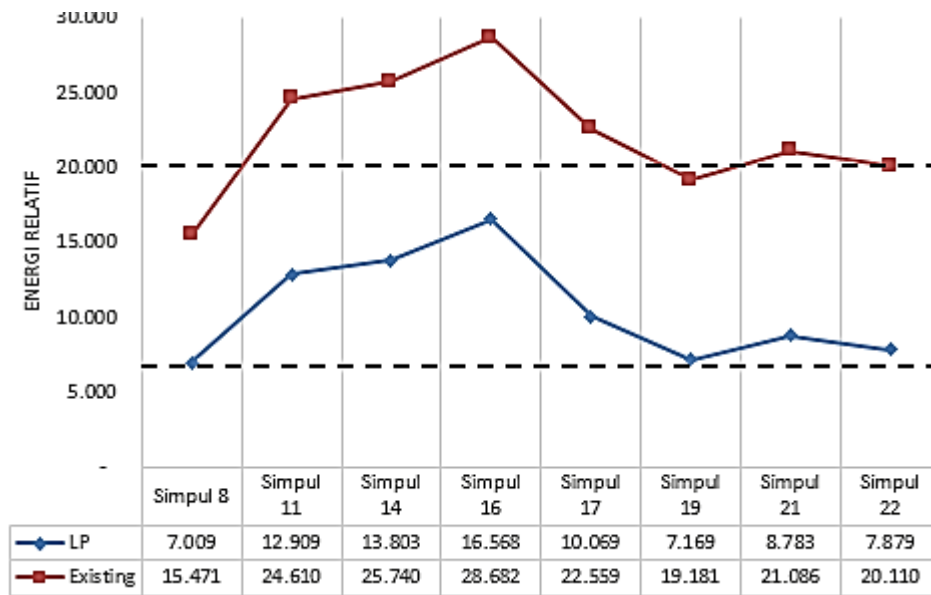
No	Simpul	Elevasi	Debit	Energi Absolut	Energi Relatif	Energi Relatif
			Kebutuhan (m <sup>3</sup> /dt)	LP (m)	LP (m)	Existing (m)
4	Simpul 35	417	0.00186	429.921	12.921	14.236
5	Simpul 37	420	0.00083	431.331	11.331	11.331
6	Simpul 39	419	0.00172	427.778	8.778	8.769
7	Simpul 41	416	0.00305	423.977	7.977	11.156
8	Simpul 42	419	0.00165	426.051	7.051	8.668

Sumber : hasil Perhitungan

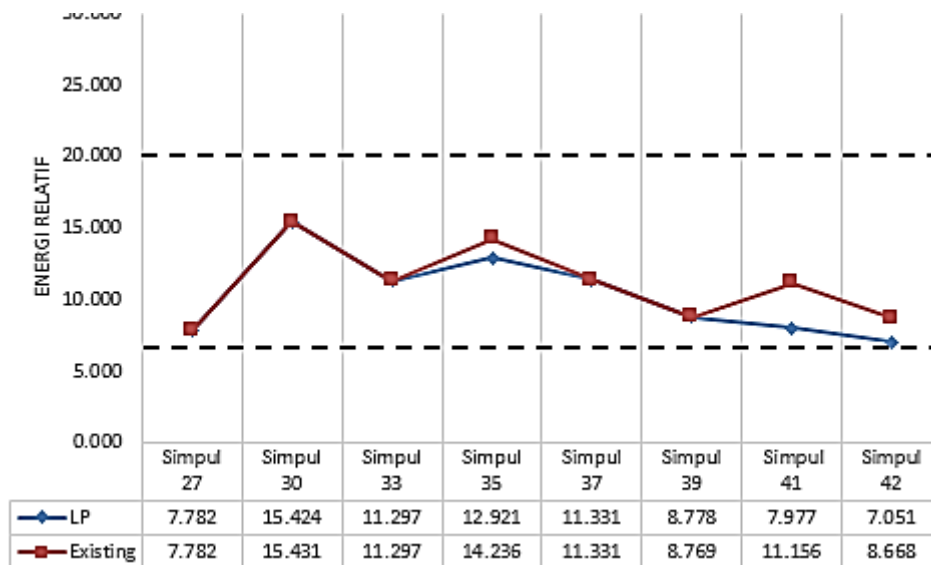
Tabel 15. Energi absolut dan relatif untuk Jaringan Pipa 3

No	Simpul	Elevasi	Debit	Energi Absolut	Energi Relatif	Energi Relatif
			Kebutuhan (m <sup>3</sup> /dt)	LP (m)	LP (m)	Existing (m)
1	Simpul 46	439	0.00028	448.145	9.145	10.726
2	Simpul 51	425	0.00111	440.462	15.462	23.268
3	Simpul 52	429	0.00224	438.521	9.521	17.327

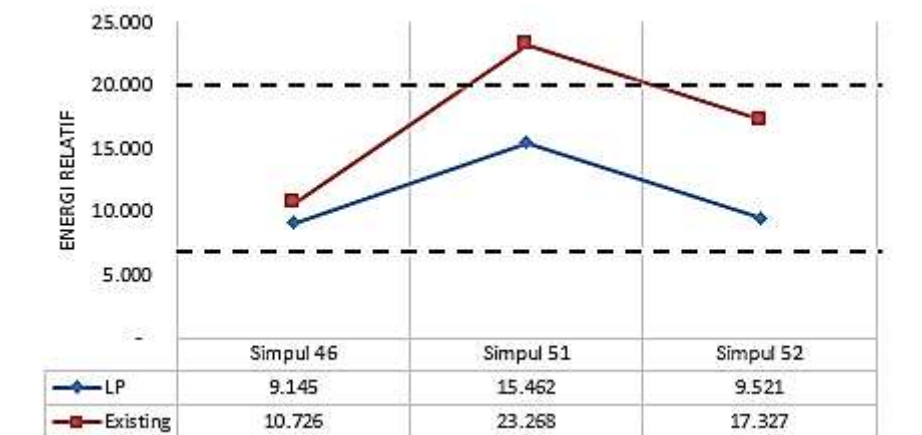
Sumber : hasil Perhitungan



Gambar 5. Grafik Energi Relatif Jaringan Pipa 1



Gambar 6. Grafik Energi Relatif Jaringan Pipa 2



Gambar 7. Grafik Energi Relatif Jaringan Pipa 3

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Sistem persamaan *Linear Programming* yang dikembangkan mampu menyelesaikan masalah pencarian diameter optimum pada system jaringan pipa terbuka.

Terbukti bahwa batas energi relatif ijin setiap simpul layanan benar-benar tercapai yaitu antara +7 meter sampai +20 meter. Sehingga minimasi biaya akibat pemakaian diameter pipa dapat teratasi.

**Saran**

Sistem persamaan hidrolis jaringan pipa yang dikembangkan dalam karya ini terbatas pada sistem jaringan pipa terbuka karena

permasalahannya yang simplek. Untuk sistem jaringan pipa yang bersifat tertutup (*loop*) harus menggunakan metode lain yang lebih handal dalam menyelesaikan optimasi diameter, hal ini dikarenakan permasalahan pada sistem jaringan pipa tertutup bersifat non linier atau kompleks. Pengembangan model dengan basis analisis ini dapat menjadi peluang untuk kegiatan penelitian berikutnya.

Lindo merupakan program khusus yang didisain untuk menyelesaikan permasalahan optimasi. Adanya keterbatasan jumlah variabel menyebabkan program ini tidak berfungsi. Penggunaan program lain dapat dipertimbangkan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang menggunakan metode *linear programming*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Klass, Dua K. Y. S, 2009, *Desain Jaringan Pipa Prinsip Dasar Aplikasi*, CV. Mandar Maju, Bandung.
- Noerbambang, M. Soufyan, Takeo Morimura. 2000. *Percanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Mangkoedihardjo, Sarwoko. 1985, *Penyediaan Air Bersih I : Dasar-dasar Perencanaan dan Evaluasi Kebutuhan Air*. FTSP-ITS, Surabaya.
- Permana, Rega Putra., 2013. *Optimasi Diameter Pipa Pada Sistem Jaringan Air Bersih Dengan Menggunakan Linear Programming Di Kecamatan Turen Malang*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang.
- Triadmodjo, Bambang, 1996, *Hidrolika II. Beta off set*, Yogyakarta.
- Sulianto, 2013, “*Linear Programming untuk Pencarian Diameter Optimum Pada Jaringan Pipa Terbuka Dalam Sistem Penyediaan Air Bersih*”, *Jurnal Penelitian Program PBP*, UMM, Malang, Indonesia.
- Giles V., Ronald, Joseph, Soemitro, 1986, *Mekanika Fluida dan Hidrologi*, Angkasa, Erlangga, Jakarta.
- Ray K., Linsley, Joseph B Franzini, 1996, *Teknik Sumber Daya Air. Jilid I dan Terjemahan oleh Sasongko*, Erlangga, Jakarta.
- Kodoatie, Robert J., 2002, *Hidrolika terapan: Aliran pada saluran terbuka dan pipa*, Terjemahan oleh Sasongko, Erlangga, Jakarta.
- (<https://ko2smath06.wordpress.com>) Diakses tanggal 12 Februari 2016.