

**Optimasi Diameter Jaringan Pipa Terbuka Menggunakan Linear Programming
(Studi Kasus pada Sub Sistem Sumber Air Banyuning PDAM Kota Batu)***Optimization of Open Pipe Network Diameter Using Linear Programming
(Case Study on the Banyuning Water Source Sub System PDAM Batu City)***Chairil Saleh¹, Ernawan Setyono², Andi Syaiful Amal³, Suwignyo⁴, Muhammad Rizhal Fauzi⁵**

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Sipil-Fakultas Teknik-Universitas Muhammadiyah Malang
Alamat korespondensi: Jalan Raya Tlogomas No. 246 Malang
email: chairil@umm.ac.id

Abstract

Manual calculations to find the optimal diameter of the pipe network will be very difficult. Various methods can be used to find the optimal diameter of the pipe network. The method that can be used is the linear programming method. Optimization using the linear programming method is solving optimization problems that are solved by changing the problem into a mathematical equation. Linear Programming is expected to be able to minimize investment costs while remaining within the pressure permit limit. The solution to the optimization problem in the Banyuning water source sub system produces a network with several new optimal diameters with a maximum value of 10 inches and a minimum value of 2 inches. Optimization of pipe diameter has been able to minimize the investment cost of the pipeline network from Rp 9,443,692,371 to Rp 7,537,060,061.

Keywords: Diameter; Linear Programming; Pipe Network; Optimization

Abstrak

Perhitungan manual mencari diameter optimal jaringan pipa akan sangat menyulitkan. Untuk mencari diameter optimal jaringan pipa dapat digunakan berbagai metode. Metode yang bisa digunakan adalah metode linear programming. Optimasi menggunakan metode linear programming adalah penyelesaian persoalan optimasi yang diselesaikan dengan cara mengubah masalah kedalam bentuk persamaan matematika. Linear Programming diharapkan mampu meminimasi biaya investasi namun tetap dalam batas ijin tekanan. Penyelesaian masalah optimasi pada sub sistem sumber air Banyuning menghasilkan jaringan dengan beberapa diameter baru yang telah optimal dengan nilai maksimal sebesar 10 inci dan nilai minimal sebesar 2 inci. Optimasi diameter pipa telah mampu meminimasi biaya investasi jaringan pipa dari Rp 9.443.692.371,- menjadi Rp 7.537.060.061,-.

Kata Kunci: Diameter; Linear Programming; Jaringan Pipa; Optimasi

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang paling utama dan tidak pernah bisa dipisahkan dengan kehidupan manusia. Guna menjaga dan mendukung kehidupan manusia maka keberadaan sumber air harus terjaga. Beberapa contoh kebutuhan air dalam kehidupan manusia sehari-hari adalah sebagai air minum, mandi, mencuci, keperluan dapur dan lain-lain. Kehidupan manusia akan sangat terganggu apabila sumber tidak tersedia atau pengelolaan sumber air yang tidak baik. Kota Batu merupakan jenis kota sedang dan merupakan jenis kota pariwisata dengan jumlah penduduknya menurut Badan Pusat Statistik mencapai sekitar 200.000 orang. Oleh sebab itu, kebutuhan akan air baku serta

pengelolaan sistem jaringan air yang sesuai dan tepat sangat diperlukan oleh penduduk yang jumlahnya tidak sedikit ini. Sistem jaringan perpipaan adalah satu dari sekian banyak unsur yang bisa dikatakan krusial demi menunjang ketersediaan air dan pengelolannya.

Berbagai sumber air bersih dimiliki Kota Batu, salah satunya adalah sumber air banyuning, sehingga diharapkan masyarakatnya sendiri dapat memanfaatkan serta menikmati sumber air bersih yang ada. Guna mengalirkan air menuju tempat yang dibutuhkan serta memenuhi kebutuhan masyarakat maka diperlukan pengelolaan sumber air oleh sistem jaringan perpipaan. Pengelolaan sumber air bersih yang ada bisa

dikatakan telah memiliki kinerja dan dikelola dengan baik apabila sumber tersebut pada jaringan pipa di tiap titik simpulnya dapat menyuplai kebutuhan tekanan dan debit air yang dibutuhkan.

Diperlukan analisa serta perhitungan yang cermat pada diameter pipa jika diinginkan kondisi dimana debit dan tekanan mampu terpenuhi di tiap simpulnya akan tetapi dengan biaya yang diperlukan tidak terlalu besar atau murah. Perhitungan manual analisa dan perencanaan jaringan pipa beserta diameternya pada wilayah yang luas mungkin bisa saja merepotkan karena memerlukan banyak waktu dan tenaga, termasuk pada jaringan pipa sub sistem banyuning di Kota Batu.

Penelitian terkait optimasi jaringan pipa sudah banyak dilakukan yaitu di kecamatan oleh Turen, Permana, R. P., & Saleh, C. (2014), di kecamatan Bululawang Saleh, C. (2017), di Kecamatan Kademangan Kabupaten Blitar oleh Lufira, R. D., Suhardjono, S., & Marsudi, S. (2012) dan di Desa Sidomulyo oleh Indarto, I., Widodo, S., & Ismulayati, N. (2011). Dari hasil penelitian dari Saleh, C., & Sulianto, S. (2011) dan Sulianto. (2015) menunjukkan bahwa menggunakan linear programming efektif digunakan untuk optimalisasi jaringan pipa. Terdapat juga program lain yaitu Software EPANET, LINGO yang digunakan untuk optimalisasi di Jalur Sentul City PDAM Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor oleh Nuryani, N., & Santosa, B. (2020).

Berdasarkan penelitian yang ada maka perlu pengoptimalan ukuran dari diameter pipa air bersih dengan memanfaatkan program linear untuk wilayah yang mengandalkan sumber banyuning. Dimana Linear programming adalah metode yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah optimasi yang berupa meminimalisir atau memaksimalkan kondisi yang diinginkan, namun masalah-masalah tersebut harus bisa berubah diwakilkan oleh fungsi linear begitupun kendalanya juga harus berbentuk linear juga.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Tahap pertama penelitian ini adalah proses pengumpulan data dari beberapa sumber diantaranya adalah data teknik pipa

(diameter, panjang, tebal pipa dan gambar jaringan existing pipa), data jumlah penduduk dan daftar harga pipa. kemudian menyederhanakan jaringan existing pipa guna memudahkan pengerjaan. Langkah selanjutnya adalah menghitung kebutuhan air guna mengetahui besarnya debit yang mengalir pada pipa. Kemudian persiapan input data berupa pemilihan kandidat pipa, analisa harga satuan dan kehilangan energi pada pipa. Setelah itu adalah proses perumusan model yang nantinya akan diinput ke dalam aplikasi. Aplikasi yang digunakan adalah Lindo.

Setelah input ke dalam aplikasi Lindo, maka Lindo akan mengolah data dan hasil pengolahannya akan ditampilkan dalam bentuk *report*. Apabila terjadi *error* atau tidak didapatkan diameter yang optimal maka perlu dicek kembali data kebutuhan air dan model atau formula yang dipakai pada program linear. Apabila sudah didapatkan diameter optimal maka penelitian diakhiri dengan menghitung anggaran biaya dari diameter jaringan pipa baru yang telah dioptimalkan oleh aplikasi Lindo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jaringan Pipa Existing

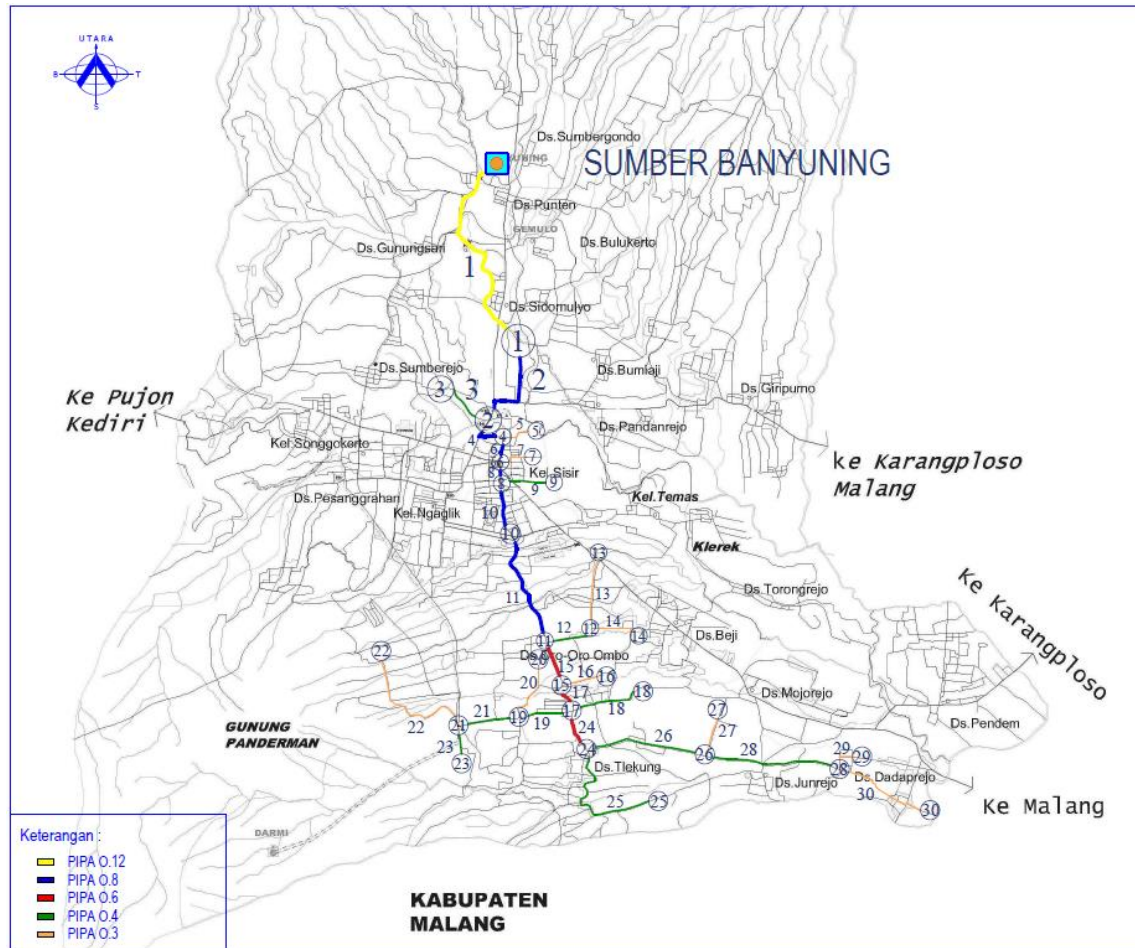
Pengembangan layanan jaringan pipa existing terbaru PDAM di kecamatan Batu direncanakan hingga tahun 2030, jaringan tersebut mengandalkan ketersediaan airnya dari Sumber Air Banyuning. Jaringan pipa terdiri dari 110 node dengan jumlah pipa sebanyak 109 pipa. Pengembangan layanan jaringan pipa existing terbaru PDAM Kota Batu untuk sub sistem Banyuning yang meliputi wilayah kecamatan Batu dan sebagian kecamatan Junrejo direncanakan hingga tahun 2030, jaringan tersebut mengandalkan ketersediaan airnya dari Sumber Air Banyuning. Jaringan pipa terdiri dari 110 node dengan jumlah pipa sebanyak 109 pipa.

Penyederhanaan Jaringan Pipa Air

PDAM Kota Batu untuk wilayah Kecamatan Batu dan Kecamatan Junrejo mengandalkan pasokan air dari sumber Banyuning yang memiliki elevasi sebesar +988m. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka peta jaringan pipa air PDAM Kota Batu perlu disederhanakan.

Gambar 1 adalah *overlay* atau penggabungan antara peta jaringan existing dan hasil dari penyederhanaan peta jaringan pipa air Kecamatan Batu dan sebagian kecamatan Junrejo yang dikelola oleh PDAM Kota Batu.

Data teknik pipa setelah proses penyederhanaan jaringan dan pembacaan elevasi dari masing-masing titik simpul atau node digunakan sebagai input program.



Gambar 1. Peta jaringan Existing dan Hasil Penyederhanaan Jaringan pipa

Perhitungan Kebutuhan Air atau Pembebanan Jaringan

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor: 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, maka pada wilayah atau pemukiman yang dilayani dan dialiri oleh pipa air maka perlu dihitung kebutuhan air atau data debitnya. Data debit ini nantinya akan dihitung guna mengetahui kehilangan energi pada tiap elemen pipa. Sumber banyuning yang menjadi sumber andalan PDAM Kota Batu memiliki debit sebesar kurang lebih 300 liter/detik. Perhitungan kebutuhan air terdiri atas kebutuhan air domestik dan non-domestik.

Tabel 1 merupakan debit jam puncak setiap elemen pipa sesuai dengan data layanan PDAM Kota Batu.

Karakteristik Kandidat Pipa yang akan digunakan untuk Optimasi

Sebagian besar pipa yang digunakan adalah pipa jenis PVC (Polyvinyl Chloride). Pipa jenis PVC digunakan karena merupakan jenis terobosan pipa yang inovatif serta murah namun memiliki kualitas tinggi. Pipa ini juga memiliki kelebihan yaitu anti karat dan mudah perawatannya. Tabel 2 merupakan beberapa ukuran kandidat diameter pipa yang akan digunakan pada penelitian ini.

Tabel 1. Data debit kebutuhan air tiap elemen pipa

Elemen Pipa	Debit	Debit Jam Puncak
	(m ³ /detik)	(m ³ /detik)
1	0,259	0,389
2	0,221	0,331
3	0,014	0,020
4	0,205	0,307
5	0,009	0,014
6	0,193	0,289
7	0,010	0,015
8	0,180	0,271
9	0,011	0,017
10	0,167	0,250
11	0,165	0,247
12	0,060	0,091
13	0,041	0,061
14	0,017	0,026
15	0,102	0,153
16	0,004	0,007
17	0,095	0,142
18	0,006	0,009
19	0,027	0,040
20	0,007	0,011
21	0,017	0,025
22	0,004	0,007
23	0,010	0,015
24	0,060	0,090
25	0,009	0,013
26	0,049	0,074
27	0,011	0,017
28	0,035	0,053
29	0,014	0,021
30	0,019	0,028

Tabel 2. Kandidat diameter pipa

Kandidat Pipa	Ukuran (inch)	Ukuran (m)	Bahan
1	12	0,318	PVC
2	10	0,267	PVC
3	8	0,216	PVC
4	6	0,165	PVC
5	5	0,140	PVC
6	4	0,114	PVC
7	3	0,090	PVC
8	2	0,600	PVC

Biaya untuk Pemasangan Sistem Jaringan Pipa

Instalasi sistem perpipaan air bersih yang juga merupakan sebuah sistem bangunan akan membutuhkan biaya untuk membangun yang tidak sedikit. Untuk itu perlu direncanakan dan diperhitungkan dengan matang agar sesuai dengan sumber daya tenaga, waktu dan biayanya.

Dalam perhitungan pembiayaan pembangunan sistem jaringan perpipaan maka diperlukan analisa harga satuan pekerjaan, didalam penggunaan metode linear programming analisa harga satuan pekerjaan berperan dalam meminimasi biaya yang diakibatkan oleh penggunaan berbagai macam variasi ukuran pipa, untuk penelitian ini digunakan harga satuan pekerjaan mengikuti harga yang berlaku di kota/kab Malang karena kota Batu masih termasuk wilayah Malang Raya. Serta koefisien yang digunakan juga mengikuti koefisien sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI). Berikut adalah biaya pemasangan pipa sesuai dengan analisa harga satuan pekerjaan yang berlaku:

1. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 12" = Rp1.329.802,0
2. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 10" = Rp564.011,8
3. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 8" = Rp467.659,8
4. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 6" = Rp286.805,3
5. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 5" = Rp210.264,3
6. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 4" = Rp140.092,4
7. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 3" = Rp92.545,9
8. Memasang 1 m' Pipa PVC diameter 2" = Rp55.367,8

Kehilangan Tinggi Energi pada Sistem Jaringan Pipa

Besarnya kehilangan energi akan sangat mempengaruhi besarnya energi relatif yang ada di setiap simpul jaringan pipa. Ukuran diameter pipa akan mempengaruhi besarnya kehilangan energi dikarenakan gesekan.

Untuk dapat menghitung kehilangan energi pada setiap elemen jaringan perpipaan yang diakibatkan oleh ukuran diameter pipa,

maka dibutuhkan data debit air yang mengalir pada tiap elemen pipa dan data variasi ukuran diameter pipa yang akan dipakai. Tabel 3 merupakan kehilangan energi tiap elemen

pipa per satuan panjangnya. Setelah kehilangan energi dihitung maka dapat diketahui energi relatifnya yang mana energi relatif ini berperan sebagai fungsi pembatas.

Tabel 3. Kehilangan energi per satuan panjang tiap elemen pipa

No Pipa	Kehilangan Energi (m)							
	Kandidat Pipa 1	Kandidat Pipa 2	Kandidat Pipa 3	Kandidat Pipa 4	Kandidat Pipa 5	Kandidat Pipa 6	Kandidat Pipa 7	Kandidat Pipa 8
	12	10	8	6	5	4	3	2
1	0,0668	0,1590	0,4549	1,7292	3,9050	10,8139	34,9128	260,6421
2	0,0495	0,1179	0,3371	1,2815	2,8939	8,0141	25,8734	193,1583
3	0,0003	0,0007	0,0019	0,0074	0,0166	0,0461	0,1488	1,1106
4	0,0431	0,1026	0,2934	1,1153	2,5187	6,9751	22,5190	168,1161
5	0,0001	0,0003	0,0010	0,0037	0,0084	0,0232	0,0749	0,5590
6	0,0387	0,0920	0,2630	0,9998	2,2579	6,2527	20,1867	150,7042
7	0,0002	0,0004	0,0011	0,0043	0,0096	0,0266	0,0860	0,6421
8	0,0342	0,0813	0,2324	0,8835	1,9952	5,5254	17,8386	133,1748
9	0,0002	0,0005	0,0014	0,0052	0,0117	0,0323	0,1042	0,7779
10	0,0296	0,0703	0,2011	0,7645	1,7264	4,7809	15,4353	115,2323
11	0,0288	0,0685	0,1958	0,7444	1,6811	4,6555	15,0303	112,2089
12	0,0045	0,0107	0,0307	0,1169	0,2640	0,7310	2,3599	17,6182
13	0,0022	0,0052	0,0149	0,0567	0,1280	0,3544	1,1441	8,5417
14	0,0004	0,0011	0,0030	0,0114	0,0258	0,0714	0,2306	1,7216
15	0,0118	0,0281	0,0804	0,3055	0,6900	1,9107	6,1688	46,0536
16	0,0000	0,0001	0,0002	0,0009	0,0021	0,0059	0,0192	0,1430
17	0,0104	0,0247	0,0706	0,2685	0,6063	1,6789	5,4204	40,4662
18	0,0001	0,0001	0,0004	0,0015	0,0034	0,0093	0,0300	0,2239
19	0,0010	0,0023	0,0067	0,0255	0,0577	0,1597	0,5157	3,8503
20	0,0001	0,0002	0,0006	0,0024	0,0054	0,0150	0,0483	0,3608
21	0,0004	0,0010	0,0029	0,0109	0,0247	0,0684	0,2209	1,6490
22	0,0000	0,0001	0,0002	0,0009	0,0021	0,0057	0,0184	0,1374
23	0,0002	0,0004	0,0011	0,0042	0,0095	0,0264	0,0851	0,6356
24	0,0045	0,0106	0,0304	0,1156	0,2611	0,7231	2,3344	17,4274
25	0,0001	0,0003	0,0008	0,0032	0,0072	0,0199	0,0641	0,4787
26	0,0031	0,0073	0,0209	0,0796	0,1797	0,4976	1,6066	11,9944
27	0,0002	0,0005	0,0014	0,0053	0,0119	0,0330	0,1067	0,7962
28	0,0017	0,0040	0,0114	0,0434	0,0980	0,2715	0,8765	6,5438
29	0,0003	0,0007	0,0021	0,0081	0,0182	0,0504	0,1629	1,2158
30	0,0005	0,0012	0,0035	0,0134	0,0303	0,0839	0,2709	2,0227

Perumusan Sistem Persamaan Linear Programming Pada Sistem Jaringan Pipa Terbuka

Linear Programming adalah salah satu metode optimasi yang terbatas pada masalah yang dapat diubah menjadi fungsi linear. Seperti pada teknik optimasi lainnya. Linear programming terdiri dari dua fungsi, yaitu fungsi tujuan dan fungsi pembatas. Dalam penggunaan linear programming fungsi tujuan dan fungsi pembatas harus dalam bentuk linear pula.

Fungsi tujuan pada pemecahan masalah optimasi jaringan pipa memiliki fungsi sebagai tolok ukur guna meminimasi biaya. Fungsi pembatasnya berfungsi sebagai

batasan-batasan sumber daya atau resources yang ada, dalam hal ini yang berperan sebagai fungsi pembatas ialah panjang setiap elemen pipa dan tinggi energi relatif pada tiap simpul jaringan pipa. Panjang elemen pipa harus bersifat tetap dan tidak berubah, sedangkan tinggi energi relatif harus sesuai dengan peraturan atau standar ijin yang telah ditetapkan.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan pada pemecahan masalah optimasi jaringan pipa memiliki fungsi sebagai tolok ukur guna meminimasi biaya.

$$Z_{min} = C_{11}.X_{11} + C_{12}.X_{12} + C_{13}.X_{13} + C_{14}.X_{14} + C_{15}.X_{15} + C_{16}.X_{16} + C_{17}.X_{17} + C_{18}.X_{18} + \dots + C_n.X_n$$

Dimana :

- C₁₁ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 1 pada elemen pipa 1
 - X₁₁ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 1 (m)
 - C₁₂ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 2 pada elemen pipa 1
 - X₁₂ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 2 (m)
 - C₁₃ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 3 pada elemen pipa 1
 - X₁₃ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 3 (m)
 - C₁₄ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 4 pada elemen pipa 1
 - X₁₄ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 4 (m)
 - C₁₅ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 5 pada elemen pipa 1
 - X₁₅ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 5 (m)
 - C₁₆ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 6 pada elemen pipa 1
 - X₁₆ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 6 (m)
 - C₁₇ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 7 pada elemen pipa 1
 - X₁₇ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 7 (m)
 - C₁₈ : Cost atau biaya untuk kandidat pipa 8 pada elemen pipa 1
 - X₁₈ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 8 (m)
- dan seterusnya....

Fungsi Pembatas

Fungsi pembatas pertama yaitu adalah batas panjang pipa yang memiliki tujuan agar panjang pipa tiap elemen memiliki nilai panjang yang tetap atau tidak berubah.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} = X_1$$
$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} = X_2$$
$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} = X_3$$
$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} + X_{46} + X_{47}$$

$$+ X_{48} = X_4$$
$$X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} + X_{56} + X_{57} + X_{58} = X_5$$

Dan seterusnya...

Dimana:

- X₁₁ : Panjang elemen pipa1 untuk kandidat diameter pipa1(m)
 - X₂₁ : Panjang elemen pipa2 untuk kandidat diameter pipa1(m)
 - X₃₁ : Panjang elemen pipa3 untuk kandidat diameter pipa1(m)
 - X₄₁ : Panjang elemen pipa4 untuk kandidat diameter pipa1(m)
 - X₅₁ : Panjang elemen pipa5 untuk kandidat diameter pipa1(m)
- Dan seterusnya hingga elemen pipa di ujung simpul jaringan pipa.

Fungsi pembatas kedua adalah batas tinggi energi pipa, batas tinggi energi pipa harus sesuai dengan ijin pemerintah.

$$(EL \text{ sumber} - EL \text{ simpul } n - H \text{ bawah}) \geq J_{11}.X_{11} + J_{12}.X_{12} + J_{13}.X_{13} + J_{14}.X_{14} + J_{15}.X_{15} + J_{16}.X_{16} + J_{17}.X_{17} + J_{18}.X_{18} + J_{21}.X_{21} + J_{22}.X_{22} + J_{23}.X_{23} + J_{24}.X_{24} + J_{25}.X_{25} + J_{26}.X_{26} + J_{27}.X_{27} + J_{28}.X_{28} \dots J_{nn}.X_{nn} \geq (EL \text{ sumber} - EL \text{ simpul } n - H \text{ atas})$$

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 (10 m)
- H atas : Batas energi relatif maksimum yang diijinkan pada setiap simpul layanan (80 m)
- X₁₁ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 1 (m)
- J₁₁ : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 1
- X₁₂ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 2 (m)
- J₁₂ : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 2
- X₁₃ : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 3
- J₁₃ : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 3

- X14 : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 4
- J14 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 4
- X15 : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 5
- J15 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 5
- X16 : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 6
- J16 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 6
- X17 : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 7
- J17 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 7
- X18 : Panjang elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 8
- J18 : Kehilangan energy elemen pipa 1 untuk kandidat pipa 8
- Jnn : Kehilangan energy elemen pipa n untuk kandidat pipa n
- Xnn : Panjang elemen pipa n untuk kandidat pipa n

Non-Negativisasi

Non Negativisasi memiliki fungsi dan peran agar nilai variabel dari data tidak bernilai dibawah nol atau bernilai negatif.

$$X11 \geq 0, X12 \geq 0, X13 \geq 0, X14 \geq 0, X15 \geq 0, X16 \geq 0, X17 \geq 0, X18 \geq 0, \dots, Xnn \geq 0$$

Menjalankan Program Aplikasi

Pada penelitian ini terdapat banyak variabel serta formulasi maka dibutuhkan program untuk memudahkan proses optimasi. Program aplikasi yang dipakai adalah Lindo, untuk mendapatkan hasil yang optimal maka dibutuhkan proses input data dan formula yang tadi telah dirumuskan pada sub bab sebelumnya kedalam aplikasi Lindo.

Pemilihan Diameter pada Jaringan Pipa

Proses pengolahan data menggunakan aplikasi program linear Lindo menghasilkan *report* berupa panjang pipa. Kandidat diameter pipa diwakili oleh panjang pipa pada hasil *report* tersebut. Oleh sebab itu, dalam menentukan diameter pipa yang telah dioptimasi oleh program linear masih dilakukan secara langsung atau manual. Tabel 4 adalah hasil dari penentuan diameter optimal oleh aplikasi Lindo dan kemudian dipilih diameter optimal yang sesuai secara manual.

Kontrol Energi relatif serta Energi Absolut pada Node atau Simpul

Untuk memastikan apakah program linear telah berhasil memecahkan masalah pencarian diameter optimal jaringan pipa, maka masih perlu dilakukan kontrol energi relatif pada simpul layanan. Kondisi optimal tersebut diikuti dengan fungsi pembatas energi relatif harus diantara 10m dan 80m. Tabel 5 merupakan hasil perhitungan energi absolut serta energi relatif tiap ujung simpul layanan.

Tabel 4. Pemilihan ukuran diameter pipa hasil Optimasi

No pipa	Kandidat Pipa	Value	D eks (inch)	D Optimasi LP (inch)	D eq (inch)	D Max (inch)
1	2	2355	12	10	12	12
2	2	1923	8	10	8	10
3	7	419	3	3	3	3
	8	613		2		
4	2	89	8	10	8	10
	3	648		8		
5	8	268	3	2	3	3
6	3	693	8	8	8	8
7	8	470	3	2	3	3
8	3	114	8	8	8	8
9	7	444	4	3	4	4
	8	385		2		
10	3	998	8	8	8	8
11	3	3789	8	8	8	8

Lanjutan Tabel 4. Pemilihan ukuran diameter pipa hasil Optimasi

No pipa	Kandidat Pipa	Value	D eks (inch)	D Optimasi LP (inch)	D eq (inch)	D Max (inch)
12	5	726	4	5	4	5
13	6	445	3	4	3	4
	7	234		3		
14	6	138	3	4	3	4
	7	591		3		
15	4	837	6	6	6	6
16	8	418	3	2	3	3
17	4	346	6	6	6	6
18	7	822	4	3	4	4
19	5	836	4	5	4	5
20	7	475	3	3	3	3
	8	563		2		
21	5	190	4	5	4	5
	6	994		4		
22	7	470	3	3	3	3
	8	688		2		
23	6	134	4	4	4	4
24	4	665	8	6	8	8
25	6	1022	4	4	4	4
26	6	1045	4	4	4	4
27	7	732	3	3	3	3
28	6	1122	4	4	4	4
29	7	278	3	3	3	3
30	8	976	3	2	3	3

Tabel 5 Hasil Perhitungan Energi Absolut dan Energi Relatif

No	Simpul	Elevasi	Energi Absolut Existing (m)	Energi Relatif Existing (m)	Energi Absolut Optimasi (m)	Energi Relatif Optimasi (m)	Energi Absolut Dmax (m)	Energi Relatif Dmax (m)
1	3	960	1000,11	40,11	980,21	20,21	1004,15	44,15
2	5	940	1004,67	64,67	972,49	32,49	1011,17	71,17
3	7	932	1000,99	68,99	966,65	34,65	1007,92	75,92
4	9	855	935,09	80,09	895,20	40,20	943,13	88,13
5	13	903	994,05	91,05	948,68	45,68	1003,19	100,19
6	14	893	987,33	94,33	940,32	47,32	996,79	103,79
7	16	877	974,55	97,55	925,93	48,93	984,34	107,34
8	18	865	965,51	100,51	915,41	50,41	975,59	110,59
9	20	863	972,37	109,37	917,84	54,84	983,34	120,34
10	22	861	980,99	119,99	921,15	60,15	993,02	132,02
11	23	859	987,85	128,85	923,58	64,58	1000,77	141,77
12	25	853	982,93	129,93	918,12	65,12	995,95	142,95
13	27	839	975,20	136,20	907,25	68,25	988,85	149,85
14	29	798	939,17	141,17	868,74	70,74	953,31	155,31
15	30	795	941,14	146,14	868,22	73,22	955,78	160,78

Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa kondisi optimal ukuran diameter pipa telah tercapai, kondisi optimal tersebut diikuti dengan fungsi pembatas yang telah terpenuhi berupa energi relatif harus diantara 10m dan 80m. Kemudian selanjutnya akan dihitung kontrol biaya investasi dari hasil optimasi

diameter pipa.

Kontrol Biaya Investasi dari Hasil Optimasi Diameter Pipa

Perhitungan biaya investasi mengacu pada Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang berlaku pada daerah penelitian. Perhitungan

biaya investasi menggunakan bantuan aplikasi MS excel dengan cara mengalikan panjang elemen pipa dengan AHSP diameter pipa yang telah dioptimasi sesuai dengan elemen pipanya masing-masing. Tabel 6 adalah hasil dari perhitungan biaya investasi diameter pipa existing dan diameter optimal guna membandingkan apakah tujuan meminimasi biaya bisa dicapai.

Setelah melihat total biaya pada Tabel 6 maka dapat diketahui bahwa terjadi

penurunan biaya investasi antara diameter pipa existing dan diameter yang telah dioptimasi oleh program linear. Penurunan biaya investasi secara keseluruhan ini diakibatkan oleh penurunan ukuran diameter pada beberapa elemen pipa, sehingga otomatis pada elemen-elemen pipa tertentu anggaran biayanya menurun. Dilihat dari hasil tersebut, maka fungsi tujuan berupa minimasi biaya telah tercapai dan jaringan pipa sudah bisa dikatakan telah optimal.

Tabel 6. Perbandingan Biaya Investasi Diameter existing dan Diameter Optimal

Elemen Pipa	Panjang Pipa	D Existing (Inch)	D Optimasi (Inch)	Biaya Investasi D Existing	Biaya Investasi D Optimasi
1	2355	12	10	Rp3.131.683.804	Rp1.328.247.883
2	1923	8	10	Rp899.309.757	Rp1.084.594.768
3	1032	3	2	Rp95.507.348	Rp57.139.528
4	737	8	8	Rp344.665.258	Rp344.665.258
5	268	3	2	Rp24.802.296	Rp14.838.560
6	693	8	8	Rp324.088.228	Rp324.088.228
7	470	3	2	Rp43.496.564	Rp26.022.847
8	114	8	8	Rp53.313.215	Rp53.313.215
9	830	4	3	Rp116.276.692	Rp76.813.080
10	998	8	8	Rp466.724.460	Rp466.724.460
11	3789	8	8	Rp1.771.962.906	Rp1.771.962.906
12	726	4	5	Rp101.707.082	Rp152.651.846
13	680	3	3	Rp62.931.198	Rp62.931.198
14	730	3	3	Rp67.558.492	Rp67.558.492
15	837	6	6	Rp240.056.003	Rp240.056.003
16	418	3	2	Rp38.684.178	Rp23.143.724
17	346	6	6	Rp99.234.620	Rp99.234.620
18	822	4	3	Rp115.155.953	Rp76.072.713
19	836	4	5	Rp117.117.246	Rp175.780.913
20	1038	3	2	Rp96.062.623	Rp57.471.735
21	1184	4	4	Rp165.869.402	Rp165.869.402
22	1158	3	2	Rp107.168.129	Rp64.115.866
23	134	4	4	Rp18.772.382	Rp18.772.382
24	665	8	6	Rp310.993.754	Rp190.725.498
25	1022	4	4	Rp143.174.433	Rp143.174.433
26	1045	4	4	Rp146.396.558	Rp146.396.558
27	732	3	3	Rp67.743.584	Rp67.743.584
28	1122	4	4	Rp157.183.673	Rp157.183.673
29	278	3	3	Rp25.727.755	Rp25.727.755
30	976	3	2	Rp90.324.779	Rp54.038.934
TOTAL				Rp9.443.692.371	Rp7.537.060.061

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penggunaan program linear dengan bantuan aplikasi Lindo untuk memecahkan masalah optimasi diameter pipa pada jaringan pipa existing sub sistem Banyuning PDAM Kota Batu telah mampu diselesaikan dengan baik. Penyelesaian tersebut menghasilkan jaringan dengan beberapa diameter baru yang

telah optimal dengan nilai maksimal sebesar 10 inchi dan nilai minimal sebesar 2 inchi. Diameter pipa utama adalah 10, 8, dan 6 inchi. Sedangkan diameter pipa bercabangnya adalah 5, 4, 3, dan 2 inchi. Apabila disusun berdasarkan nomer elemen pipa, maka kombinasi diameter pipa optimalnya adalah 10, 10, 2, 8, 2, 8, 2, 6, 3, 8, 8, 5, 3, 3, 6, 2, 6, 3, 5, 2, 4, 2, 4, 6, 4, 4, 3, 4, 3, dan 2 inchi.

Diameter optimal tersebut dianggap masih dalam batas aman menurut peraturan pemerintah karena menghasilkan energi relatif minimal sebesar 20,21 meter dan energi relatif maksimal sebesar 73,22 meter. Sedangkan peraturan pemerintah memberikan ijin energi relatif antara 10 meter sampai dengan 80 meter. Optimasi diameter pipa telah mampu meminimasi biaya investasi jaringan pipa dari Rp 9.443.692.371,- menjadi Rp 7.537.060.061,-. Penurunan biaya investasi secara keseluruhan ini diakibatkan oleh penurunan ukuran diameter pada beberapa elemen pipa, sehingga otomatis pada elemen-elemen pipa tertentu anggaran biayanya menurun. Dilihat dari hasil tersebut maka tujuan minimasi biaya telah tercapai.

Saran

- Penyelesaian optimasi diameter pipa menggunakan program linear pada penelitian ini hanya terbatas pada jaringan pipa terbuka karena persamaan hidrolis yang telah dirumuskan didesain untuk jenis jaringan pipa terbuka.
- Proses penyederhanaan jaringan pipa existing memperhatikan keseragaman diameter pipa pada tiap-tiap elemen pipa. sehingga apabila terdapat jaringan pipa memiliki keragaman ukuran diameter yang bervariasi di tiap-tiap elemen pipanya maka perlu diperhatikan proses perumusan persamaan yang akan diinput kedalam aplikasi program linear.
- Hasil penyederhanaan jaringan pipa existing menghasilkan 30 node dan 30 pipa serta dalam penelitian ini digunakan 8 kandidat pipa, maka dari itu pada penelitian ini terdapat 240 iterasi. Apabila dibutuhkan jumlah iterasi yang lebih banyak dan rumit maka dibutuhkan aplikasi Lindo premium atau aplikasi lain yang lebih handal dalam penyelesaian masalah optimasi, pada penelitian ini digunakan lindo demo version untuk penyelesaiannya sehingga terbatas pada jumlah iterasi yaitu sebesar kurang dari 300 iterasi.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI-7509-2011. *Tata Cara Perencanaan Teknik Jaringan Distribusi dan Unit*

Pelayanan Sistem Penyediaan Air Minum. Jakarta : BSN.

Indarto, I., Widodo, S., & Ismulayati, N. (2011). Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Sumber Air di Desa Sidomulyo. *Jurnal Agroteknologi*, 5(02), 43-59.

Lufira, R. D., Suhardjono, S., & Marsudi, S. (2012). Optimasi dan Simulasi Sistem Penyediaan Jaringan Air Bersih Di Kecamatan Kademangan Kabupaten Blitar. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 3(1), 6-14.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor: 18/PRT/M/2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum

Nuryani, N., & 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. *Rekayasa Sipil*, 14(2), pp.136 - 142. doi:https://doi.org/10.21776/ub.rekayasa_sipil.2020.014.02.8

Permana, R. P., & Saleh, C. (2014). Optimasi Diameter Pipa Pada Sistem Jaringan Air Bersih Dengan Menggunakan Linear Programming Di Kecamatan Turen Malang. *Media Teknik Sipil*, 12(1) 80-90.

Saleh, C., & Sulianto, S. (2011). Optimization diameter of pipe at fresh water network system. *Journal of Academic Research International*, 1(2), 103-109.

Saleh, C. (2017). Optimasi Diameter Jaringan Pipa Dalam Sistem Penyediaan Air Bersih (PDAM) Di Kec. Bululawang Kab. Malang Menggunakan Linear Programming. *Media Teknik Sipil*, 15(1), 20-33.

Sulianto. (2015). Programasi Linear untuk Pencarian Diameter Pipa Optimal pada Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih. *Media Teknik Sipil*. 13 (1), 91-98.