

ANALISA OPTIMASI DIAMETER JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE EPANET*, LINGO DI JALUR SENTUL CITY PDAM TIRTA KAHURIPAN KABUPATEN BOGOR, JAWA BARAT

Nuryani¹, Budi Santosa²

¹Mahasiswa, Program Magister, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Gunadarma

Korespondensi: Nuryyani3794@gmail.com

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 distributin network in PDAM Tirta Khuripan, Bogor, West Java. By using the method of linear programing the result of optimization in PDAM Tirta Khuripan, Bogor, West Java diameter Optimal with Existing diameter $\phi 0.4$ m range to $\phi (0.15-0.35)$ (m) for pipes with Existing diameter $\phi 0.25$ m range to $\phi (0.2-0.23)$ (m) and headloss loss analysis results in numbers / values of headloss that meet the standard which ranges from (0. - 4.0) (m). The draft total cost budget for distribution network optimization using LINGO software is IDR 4.291.967.000,00.

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

1. PENDAHULUAN

Air merupakan komponen terpenting bagi kehidupan. Semua makhluk hidup yang hidup di muka bumi pasti membutuhkan air untuk kelangsungan hidupnya. Penyediaan air yang mencukupi dan terkontrol dalam lingkungan di mana kita tinggal, merupakan hal penting yang harus dipenuhi [1]. Salah satu factor yang menentukan tingkat kinerja system penyediaan air bersih adalah efektifitas jaringan. Berdasarkan informasi yang di dapat dari kondisi eksisting dilapangan, terjadi *headloss* (kehilangan energi) yang cukup besar dan hal ini akan mempengaruhi kinerja system jaringan distribusi. Hipotesis penulis yaitu melakukan pengecekan pipa berdasarkan nilai/angka *headloss* untuk mengetahui nilai *headloss* yang memenuhi standar kriteria desain.

Salah satu penelitian selanjutnya dikaji oleh [1] tentang optimasi diameter jaringan pipa dalam sistem penyediaan air bersih (PDAM) di Kecamatan Bululawang Kabupaten Malang menggunakan *linear programming*. Penelitian ini mengkaji tentang cara optimasi diameter jaringan pipa agar dicapai kondisi tekanan dan debit yang memadai serta meminimasi biaya akibat pemakaian diameter pipa dengan menggunakan *linear programming*. Metode *linear programming* menghasilkan optimasi diameter pada masing-masing pipa dan energi tekan atau energi relatif yang dihasilkan sesuai standar ijin yan telah ditetapkan.

Penelitian tentang optimasi diameter pipa sistem jaringan air bersih dengan menggunakan

linear programming di Kecamatan Turen Malang [2], dimana membuktikan bahwa programming model linear cukup konsisten dan dapat memberikan solusi optimal fungsi dan kendala objektif fungsi yang tepat dari himpunan. Namun dalam penelitian ini hanya fokus dalam meminimalkan biaya yang diharapkan.

Agar dicapai kondisi tekanan dan debit yang memadai, perlu dilakukan analisis diameter yang cermat. Penentuan diameter secara manual akan memakan waktu dan tenaga. *Linear Programming* merupakan salah satu metode optimasi yang sederhana namun cukup populer, karena sangat mudah dipahami. Penelitian ini dimaksudkan untuk memanfaatkan *linier program* untuk optimasi diameter pipa pada system jaringan pipa distribusi air bersih di Jalur Sentul City Kabupaten Cibinong.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Air Bersih

Pengertian air bersih menurut Permenkes RI No 416/Menkes /PER/ IX/1990 adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan dapat diminum setelah dimasak sedangkan pengertian air minum menurut Kepmenkes RI No 907/MENKES/SK/VII/2002 adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan (bakteriologis, kimiawi, radioaktif, dan fisik) dan dapat langsung diminum. Tingkat efisiensi dan keefektifan suatu jaringan air bersih berpengaruh terhadap target pelayanan. Menurut Agustina [3], efisiensi meliputi bagaimana suatu sistem penyediaan air bersih dapat dengan optimal memberikan pelayanan, sedangkan efektifitas meliputi bagaimana suatu target pelayanan dapat terpenuhi. Secara garis besar, pada penelitian ini menitikberatkan pada hidrolika jaringan

berupa debit, tekanan dan kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan konsumen.

2.2 Kehilangan Energi Pada Sistem Perpipaan

2.2.1 Kehilangan energi primer (*Mayor Losses*)

Kehilangan energi primer, yang disebabkan oleh gesekan sekeliling pipa dan sepanjang pipa. Secara teoritis kehilangan energi primer dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan yang menurut White (1986), adalah persamaan yang disebut dengan Persamaan Darcy-Weisbach yaitu :

$$h_L = f \left(\frac{L}{d} \right) \left(\frac{v_1^2}{2g} \right)$$

Dimana :

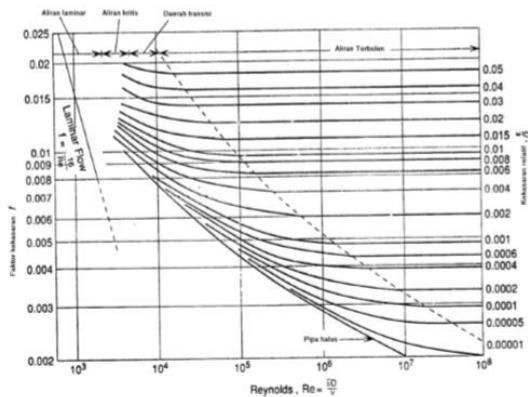
L : Panjang Pipa (m)

D : Diameter pipa (m)

V : Kecepatan aliran (m/s)

F : factor gesekan (*Darcy Friction factor*), nilainya dapat diperoleh dari diagram Moody maupun secara persamaan empiris. Nilai *f* (koefisien gesekan *Darcy-Weisbach*) bergantung pada nilai kekasaran pipa dan angka *Reynolds*. Nilai *f* dapat diperoleh menggunakan persamaan Hagen-Poiseuille untuk aliran laminar, sedangkan untuk turbulen dapat menggunakan persamaan yang diusulkan oleh Colebrook [4] yang diselesaikan secara iterasi. Karena proses iterasi memakan waktu yang cukup lama, Moody [5] membuat kelompok kurva hubungan antara nilai *f* dan angka *Reynolds* untuk variasi nilai kekasaran relatif yang kemudian disebut sebagai diagram Moody (**Gambar 1**). Aliran turbulen ; $Re > 4000$, dimana *k* adalah nilai kekasaran pipa yang tergantung dari jenis dan umur pipa, dan *Re* adalah angka Reynold.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{untuk } Re < 2000$$



Gambar 1. Diagram Moody [6]

Dengan demikian, penyelesaian nilai f secara grafis menjadi lebih mudah. Namun, dengan semakin berkembangnya ilmu mekanika fluida dan penggunaan model komputer, diagram Moody mulai ditinggalkan. [7], mengusulkan persamaan koefisien gesekan f yang terkenal dan banyak digunakan pada model komputer.

2.3 Pengenalan Epanet 2.0

Epanet adalah program komputer yang menggambarkan simulasi hidrolis dan kecenderungan kualitas air yang mengalir dalam jaringan pipa. Jaringan itu sendiri terdiri dari pipa, node (titik koneksi), pompa, katub dan tangki atau reservoir. EPANET dikembangkan oleh Water Supply and Water Resources Division USEPA'S National Risk Mangement Research Laboratory dan pertama kali diperkenalkan pada tahun 1993 dan versi yang baru diterbitkan pada tahun 1999. EPANET 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.

2.4 Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi adalah suatu metode statistik yang mengamati hubungan antara variabel terikat Y dan serangkaian variabel bebas X_1, \dots, X_p . Tujuan dari metode ini adalah untuk memprediksi nilai Y untuk nilai X yang diberikan. Model regresi linier sederhana adalah model regresi yang paling sederhana yang hanya memiliki satu variabel bebas X . Analisis regresi memiliki beberapa kegunaan, salah satunya untuk melakukan prediksi terhadap variabel terikat Y . Persamaan untuk

model regresi linier sederhana adalah sebagai berikut.

$$Y = a + bx$$

Dimana:

Y = nilai cost dari pipa eksisting (Rp)

X = nilai Diameter (Inchi-meter)

a = intercept (nilai Y pada saat $X = 0$)

b = slope (perubahan rata-rata Y terhadap satu unit dimana nilai X).

2.5 Model Linear Programming

Model *linear programming* merupakan bentuk dan susunan dalam menyajikan masalah-masalah yang akan dipecahkan dengan teknik linear programming. Dalam model linear programming dikenal 2 (dua) macam “fungsi”, yaitu fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi batasan (*constraint function*).

• Fungsi Tujuan

Yaitu fungsi yang menggambarkan tujuan/sasaran di dalam permasalahan LP yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumber daya- sumber daya, untuk memperoleh keuntungan maksimal atau biaya minimal. Nilai yang kan di optimalkan dinyatakan sebagai Z .

• Fungsi Batasan

Merupakan bentuk penyajian secara matematis batasan-batasan kapasitas yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan.

2.6 Pengenalan Model LINGO

LINGO adalah alat bantu yang didesain sangat luas untuk menyelesaikan permasalahan- permasalahan riset operasi seperti program linier dan non linier, kuadratik, quadratically constrained, stokastik dan optimasi model integer dengan lebih cepat, mudah dan efisien. LINGO menyediakan paket integrasi lengkap yang termasuk di dalamnya yaitu bahasa untuk optimasi model yang mudah dipahami.

Sebuah optimasi terdiri dari tiga bagian utama yaitu:

1. Fungsi Tujuan

Sebuah formula yang mendeskripsikan apa yang harus dioptimalkan dalam suatu model. Sebagai contoh, fungsi tujuan dari suatu model adalah minimasi biaya.

$$Z_{\min} = C1.X1 + C2.X2 + C3.X3 + C4.X4 + C5.X5 + C6.X6 + C7.X7 + C8.X8 + C9.X9 + C10.X10 + C11.X11 + C12.X12 + C13.X13 + C14.X14 + C15.X15 + C$$

$16.X16+C17.X17+C18.X18+C19.X19+C20.X20+C21.X21+C22.X22+C23.X23+C24.X24+C25.X25+C26.X26.$

Dimana :

C1 = Cost pipa elemen pipa 1,

X1 = Panjang pipa 1 kandidat pipa 1 (m),

C2 = Cost pipa elemen pipa 2,

X2 = Panjang pipa 2 kandidat pipa 2 (m),

C3 = Cost pipa elemen pipa 3

X3 = Panjang pipa 3 kandidat pipa3 (m),

C4 = Cost pipa elemen pipa 4,

X4 = Panjang pipa 4 kandidat pipa 4 (m), C5 =

Cost pipa 5 elemen pipa 1,

X5 = Panjang pipa kandidat pipa 5 (m)

Cnn = Cost pipa n elemen pipa n,

Xnn = Panjang pipa n kandidat pipa n (m)

2. Variabel

Adalah kuantitas yang bisa dirubah untuk mengeluarkan hasil yang optimal dari fungsi tujuan.

Dimana :

D1= Diameter eksisting pipa1 (m),

D2 = Diameter eksisting pipa 2 (m),

D3 = Diameter eksisting pipa 3 (m),

D4 = Diameter eksisting pipa 4 (m),

D5 = Diameter eksisting pipa 5 (m),

Dn = Diameter eksisting pipa n (m)

3. Batasan

Formula yang didefinisikan sebagai nilai pembatas dari suatu variabel.

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

Dimana :

X1 = Panjang pipa 1 untuk kandidat pipa 1 ,X2

= Panjang pipa 2 untuk kandidat pipa 2, X3 =

Panjang Pipa 3 untuk kandidat pipa 3, X4 =

Panjang pipa 4 untuk kandidat pipa

4, X5 = Panjang pipa 5 untuk kandidat pipa 5,

Xnn= Panjang pipa n untuk kandidat pipa n(m)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Proses Penelitian

Penelitian ini secara garis besar dimulai dari tahap studi Kepustakaan /literatur, pengumpulan data, analisis dan kesimpulan. bagan alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 2**.

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan data pendukung dalam penelitian

jaringan pipa distribusi air bersih. Pengumpulan data dibagi dua macam, yaitu:

1. Pengumpulan data sekunder, berhubungan dengan data eksisting pipa, data jumlah pelanggan, data pelayanan, data harga pipa dan data karakteristik pipa.
2. Pengumpulan data primer, seperti data elevasi dll.

3.3 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 yang dihasilkan dari *software Epanet*.

3.4 Perhitungan RAB

Pada tahap ini dilakukan perhitungan Rab berdasarkan analisa harga satuan pekerjaan Kab.Bogor tahun 2019. Analisa harga satuan digunakan untuk mencari harga pekerjaan pemasangan pipa (harga upah + harga bahan) dalam metode Linier Programming harga satuan pekerjaan digunakan sebagai parameter untuk meminimasi biaya akibat pemakaian diameter pipa.berdasarkan analisa harga satuan pemerintah kabupaten Bogor tahun 2019.

3.5 Perumusan Linear Programming

Perumusan Linear ini untuk Menentukan optimasi pada jaringan pipa distribusi dengan mengoptimalkan diameter yang menghasilkan nilai/angka kehilangan air sesuai standar pada simpul layanan yang di tinjau. Menentukan biaya yang minimal pada pekerjaan jaringan distribusi air bersih di Jalur Sentul City.

3.6 Penyelesaian Minimasi Biaya Dengan Menggunakan Software LINGO

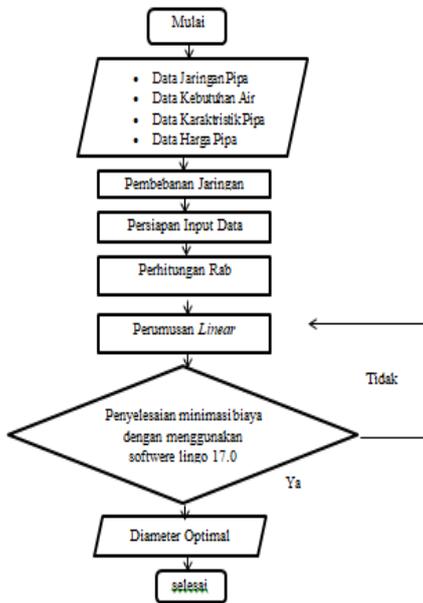
Penyelesaian minimasi dilakukan dengan rumus formula yang akan dimasukkan ke dalam software LINGO berdasarkan hasil perumusan linear, dan menghasilkan biaya minimum serta diameter yang optimal dengan menggunakan software LINGO.

3.7 Running Program dengan Software LINGO

Aplikasi yang digunakan untuk running program adalah Aplikasi LINGO. Untuk menentukan biaya minimum dengan

menggunakan LINGO, berikut Tahapan dan hasil running dan report dari software LINGO.

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



Gambar 2. Skema Tahapan Studi Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan RAB

Pada tahap ini dilakukan perhitungan Rab berdasarkan analisa harga satuan pekerjaan Kab.Bogor tahun 2019. Tahap ini untuk menentukan minimasi biaya yang akan dimasukkan ke dalam linier programming di LINGO.

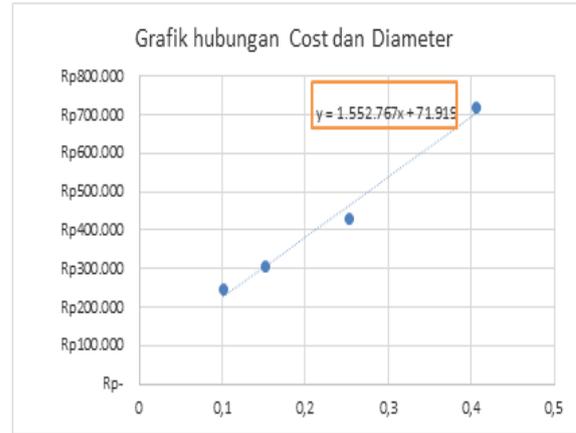
4.2 Penyelesaian Minimasi Biaya dengan Menggunakan Software LINGO

Penyelesaian minimasi biaya dilakukan dengan rumus formula yang akan dimasukkan ke dalam software LINGO.

Tabel 1. Regresi Linear

No.	Jenis Pipa	Cost
1	Pipa 4"	Rp. 246.844,00
2	Pipa 6"	Rp. 308.701,00
3	Pipa10"	Rp. 431.759,00
4	Pipa16"	Rp. 720.221,00
5	Pipa20"	Rp. 987.896,00

Sumber: Hasil Analisa Perhitungan, 2019



Gambar 3. Grafik Persamaan Hubungan Cost dan Diameter

• Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan digunakan untuk menentukan nilai optimum dari fungsi tersebut, yaitu minimasi biaya.

$$Z_{MIN} = C1.X1 + C2.X2 + C3.X3 + C4.X4 + C5.X5 + C6.X6 + C7.X7 + C8.X8 + C9.X9 + C10.X10 + C11.X11 + C12.X12 + C13.X13 + C14.X14 + C15.X15 + C16.X16 + C17.X17 + C18.X18 + C19.X19 + C20.X20 + C21.X21 + C22.X22 + C23.X23 + C24.X24 + C25.X25 + C26.X26$$

Dimana:

$$X1=1; X2=124; X3=2127; X4=643; X5=100; X6=402; X7=72; X8=594; X9=1562; X10=768; X11=301; X12=188; X13=645; X14=87; X15=82; X16=37; X17=52; X18=25; X19=1270; X20=97; X21=130; X22=122; X23=79; X24=71; X25=1; X26=667.$$

Keterangan:

- C1 = Cost pipa elemen pipa 1
- X1 = Panjang pipa 1 kandidat pipa 1 (m)
- C2 = Cost pipa elemen pipa 2
- X2 = Panjang pipa 2 kandidat pipa 2 (m)
- C3 = Cost pipa elemen pipa 3
- X3 = Panjang pipa 3 kandidat pipa3 (m)
- C4 = Cost pipa elemen pipa 4
- X4 = Panjang pipa 4 kandidat pipa 4 (m)
- C5 = Cost pipa 5 elemen pipa 1
- X5 = Panjang pipa kandidat pipa 5 (m)
- Cnn = Cost pipa n elemen pipa n
- Xnn = Panjang pipa n kandidat pipa n (m)

Tabel 2. Kehilangan Energi (*Headloss Mayor*) (m)

No.Pipa	Q m ³ /dt	Length (m)	D (m)	V=Q/A m/s	RE ^{0,9}	F	Hf	Kriteria standar headloss (m)
A	0,148	1	0,4	1,181	127899,66	0,0125	0,002	0,010
B	0,148	124	0,4	1,181	127899,66	0,0125	0,274	1,237
C	0,148	2.127	0,4	1,180	127759,97	0,0125	4,715	21,2724
D	0,007	643	0,15	0,446	22029,709	0,0125	0,543	6,426
E	0,008	100	0,15	0,490	23957,951	0,0125	0,101	1,000
F	0,005	402	0,1	0,648	21412,299	0,0125	1,077	4,022
G	0,012	72	0,15	0,704	33225,652	0,0125	0,151	0,719
H	0,12	594	0,4	0,983	108411,07	0,0125	0,914	5,940
I	0,12	1.562	0,4	0,983	108411,07	0,0125	2,403	15,619
J	0,10	768	0,4	0,825	92602,950	0,0125	0,832	7,679
K	0,12	301	0,4	0,944	104569,87	0,0125	0,427	3,008
L	0,10	188	0,4	0,765	86523,287	0,0125	0,175	1,882
M	0,11	645	0,4	0,911	101254,67	0,0125	0,853	6,452
N	0,09	87	0,4	0,729	82834,858	0,0125	0,073	0,865
O	0,08	82	0,4	0,648	74479,654	0,0125	0,054	0,817
P	0,10	37	0,4	0,795	89524,444	0,0125	0,036	0,367
Q	0,11	52	0,4	0,874	97527,567	0,0125	0,063	0,524
R	0,10	25	0,4	0,829	93021,127	0,0125	0,027	0,255
S	0,11	1.270	0,4	0,872	97327,602	0,0125	1,538	12,702
T	0,10	97	0,4	0,806	90845,974	0,0125	0,100	0,970
U	0,11	130	0,4	0,853	95429,645	0,0125	0,150	1,296
V	0,11	122	0,5	0,546	78066,426	0,0125	0,046	1,224
W	0,107	79	0,5	0,546	78066,426	0,0125	0,030	0,792
X	0,102	71	0,5	0,522	75049,583	0,0125	0,024	0,714
Y	0,047	1	0,25	0,959	69453,139	0,0125	0,002	0,010
Z	0,041	667	0,25	0,855	62651,297	0,0125	1,242	6,669

Sumber: Hasil analisa dan Perhitungan, 2019

Berdasarkan hasil analisa *headloss* (Mayor) didapatkan kehilangan energi berkisar 0,01 – 4,00 (m) masih memenuhi kriteria standar desain.

4.3 Report Hasil Optimasi Biaya *Linier Programming*

Aplikasi yang digunakan untuk running program adalah Aplikasi LINGO. Untuk menentukan biaya minimum dengan menggunakan LINGO, berikut Tahapan dan hasil running dan report dari software LINGO.

Tabel 3. Report Optimasi Biaya *Linier Programming*

Pipa	Length (m)	(LP)	(Eks)	Cost LP
A	1	0,35	0,4	Rp. 624.403,40
B	124	0,35	0,4	Rp. 625.743,30
C	2.127	0,35	0,4	Rp. 623.468,20
D	643	0,1	0,15	Rp. 150.712,40
E	100	0,1	0,15	Rp. 167.026,00
F	402	0,1	0,1	Rp. 238.166,20
G	72	0,14	0,15	Rp. 290.052,80
H	594	0,24	0,4	Rp. 454.679,60
I	1.562	0,24	0,4	Rp. 454.704,10
J	768	0,17	0,4	Rp. 341.559,20
K	301	0,23	0,4	Rp. 425.145,20
L	188	0,15	0,4	Rp. 303.488,50
M	645	0,21	0,4	Rp. 400.560,40
N	87	0,14	0,4	Rp. 283.647,10
O	82	0,21	0,4	Rp. 238.859,60
P	37	0,15	0,4	Rp. 435.177,70
Q	52	0,2	0,4	Rp. 372.191,20
R	25	0,15	0,4	Rp. 338.807,00
S	1.270	0,15	0,4	Rp. 373.070,30
T	97	0,15	0,4	Rp. 329.248,90
U	130	0,2	0,4	Rp. 361.024,70
V	122	0,22	0,5	Rp. 413.310,60
W	79	0,21	0,5	Rp. 391.403,50
33X	71	0,2	0,5	Rp. 315.975,20
Y	1	0,23	0,25	Rp. 436.217,50
Z	667	0,2	0,25	Rp. 361.531,70
TOTAL				Rp. 4.291.967.000,-

Sumber : Hasil analisa dan Perhitungan, 2019

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil perhitungan yang telah dilakukan pada bab 4 dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Pada perhitungan analisis kehilangan *headloss* di hasilkan angka/nilai *headloss* yang memenuhi standar yaitu berkisar (0-4,0) (m). Berdasarkan dari ukuran diameter pipa. Hal ini dilihat dari perhitungan yang didapat disebabkan karena kesalahan desain pada pipa jaringan distribusi air bersih.
2. Dari hasil sistem persamaan *linier programming* di dapat hasil running program yaitu nilai diameter pipa yang optimal dengan diameter Eksisting ϕ 0,4 m berkisar menjadi ϕ (0,15– 0,35) (m) untuk pipa dengan dengan diameter Eksisting ϕ 0,25 m berkisar menjadi ϕ (0,2-0,23) (m) ,) diameter Eksisting ϕ 0,15 m berkisar menjadi ϕ 0,1 m, diameter Eksisting ϕ 0,1 (m) (tetap) masih memenuhi standar desain.
3. Adapun rancangan anggaran biaya total pada optimasi jaringan distribusi dengan menggunakan software LINGO **Rp 4.291.967.000,00** (Empat Milyar Dua Ratus Sembilan Puluh Satu Juta Sembilan Ratus Enam Puluh Tujuh Ribu Rupiah).

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Memperbanyak referensi dan literatur agar materi yang di bahas dapat lebih dikembangkan lagi.
2. Perlu adanya pemeliharaan terhadap jaringan pipa distribusi baik dari aksesoris maupun dari pipa distribusi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saleh Chairil, 2017, ‘‘Optimasi Diameter Jaringan Pipa Dalam Sistem Penyediaan Air Bersih (PDAM) Di Kecamatan Bululawang Kab.Malang Menggunakan *Linear Programming*. Universitas Muhammadiyah Malang, Jawa Timur..
- [2] Permana, Rega Putra, 2014, Optimasi Diameter Pipa Pada Sistem Jaringan Air Bersih Dengan Menggunakan *Linear Programming* Di Kecamatan Turen Malang, Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Malang.
- [3] Agustina Vitta Dian, 2007, .Analisa Kinerja Sistem Distribusi Air Bersih PDAM

- Kecamatan Banyumanik di Perumnas Banyumanik (Studi Kasus Perumnas Banyumanik Kel.Srondol Wetan), Universitas Diponegoro Semarang, Jawa Tengah.
- [4] Colebrook, 1938, *A Review Of Explicit Approximations Of Colebrook's Equation*, Faculty Of Mechanical Engineering, University Of Belgrade.
- [5] Moody L, 1944, *Friction Factor Pipe Flow*, Transactions Of American Society Mechanical Engineer, 66, 671-678.
- [6] Jain A.K, 1976, *Accurate Explicit Equation For Friction Factor*, Journal Of The Hydraulics Division, Vol. 102, No.5, pp.674-677.
- [7] Swamee PK, Jain A.K, 1976, *Explicit Equations for Pipe-flow problem*, Journal Of The Hydraulic Division, Vol.102, No. 5, pp657-664.