

STUDI KELAYAKAN EKONOMI SISTEM JARINGAN AIR BERSIH HIPAM KELURAHAN DADAPREJO KECAMATAN JUNREJO KOTA BATU

Sutikno¹, Rispiningtati², Tri Budi Prayogo²

¹ Instruktur Politeknik Negeri Malang

² Dosen Jurusan Teknik Pengairan

E mail : sutikno.civil@gmail.com

ABSTRAK : Dengan adanya program pemerintah kota Batu pada tahun 2014 dianggarkan pipanisasi dari sumber ke Tandon, berikut tandon penampungan sementara yang ada di jalan Dr. Sutomo yang berkapasitas 72 meter kubik, studi ini dilakukan dengan metode survey untuk mencari data primer yang diperlukan dan dilanjutkan pengolahan data. Bertujuan agar semua masyarakat di Kelurahan Dadaprejo terlayani oleh sumber air yang ada. Studi Kelayakan ekonomi dengan bunga bank 9 % dan dipilih jaringan dengan material pipa galvanis, perbandingan biaya dan pendapatan (B/C) = 1,01 pendapatan sebesar Rp.2.756.400.000, dengan pembiayaan senilai Rp. 2.720.445.130 maka didapatkan keuntungan 9,5% pertahun dan kembali modal 5,99 tahun.

Kata Kunci : kelayakan, ekonomi, material pipa

ABSTRACT : *With the government of the Batu city in 2014, budgeted used source to tandon, the following tandon temporary shelter who are in the way of Dr. Sutomo with a capacity of 72 meters cubic, the study was conducted with the methods survey to find primary data needed and continued data processing. Aims to get all community at the Dadaprejo Distrik served by the water. A feasibility study economy with, bank interest 9 % by network with a pipa galvanized material, benefit cost ratio (B/C = 1,01) net present value (NPV) IDR 2.756.400.000 and present value IDR 2.720.445.130 the internal rate of return (IRR) = 9.5 %, the break even point (pay back period) 5.99 years*

Keyword: *feasibility, economic, pipe material*

Amanat dari Undang-undang Dasar Tahun 1945 pasal 33 ayat 3 berbunyi sebagai berikut, Bumi, air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh Negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Pertumbuhan penduduk dan tingkat kesejahteraan ekonomi pada suatu daerah berdampak langsung terhadap besarnya kebutuhan air bersih.

Perkembangan penduduk tidak hanya berada pada daerah yang dekat dengan sumber air, tetapi semakin lama pertumbuhan penduduk dan hunian semakin meluas dan jauh dari sumber air, seperti yang terjadi pada kecamatan Junrejo kota Batu. Junrejo adalah sebuah kecamatan di Kota Batu, Jawa Timur, Indonesia yang terdiri dari 7 (tujuh) desa/

kelurahan yaitu Beji, Dadaprejo, Junrejo, Mojorejo, Pendem, Tlekung dan Torongrejo

Kondisi di daerah selama ini mengandalkan air dari sumber air Junrejo. Hal ini dilakukan karena di wilayah ini termasuk tergolong kecamatan yang rawan air. Saat ini sistem jaringan perpipaan yang terdapat di kecamatan Junrejo belum memenuhi akan kebutuhan air bersih mengingat semakin pesat pertumbuhan penduduknya.

Di lokasi studi saat ini sebagian masyarakat menggunakan air dari kelompok HIPAM (Himpunan Pengguna Air Masyarakat) dengan memanfaatkan jaringan yang ada atas usaha bersama. Sehingga perlu adanya pengembangan sistem jaringan pipa yang dapat memenuhi kebutuhan masyarakatnya.

Salah satu usaha untuk memenuhi kebutuhan air bersih di kecamatan Junrejo dan sekitarnya adalah dengan mencari sumber air baru untuk meningkatkan kapasitas produksi air bersih. Sehingga perlu dilakukan pengembangan sistem jaringan pipa guna mencukupi permintaan masyarakat akan air bersih.

Ada beberapa aspek penting yang perlu ditinjau dalam optimasi dan kelayakan sistem jaringan air bersih ini, antara lain analisa dari segi teknik dan ekonomi.

Analisa dari segi teknik diperlukan untuk mengetahui jumlah kebutuhan air dan sistem jaringan distribusi air bersih secara detail, dengan melakukan optimasi dan simulasi terhadap jenis material pipa dengan *head* elevasi yang ada dan dengan harga air awal yang berbeda, diharapkan akan memberikan peluang terhadap total biaya proyek.

Sedangkan analisa ekonomi diperlukan untuk memberikan solusi untuk penetapan harga air dan jenis material pipa yang optimal. Dengan mempertimbangkan analisa biaya yang dikeluarkan dan *benefit* yang didapat dari pengembangan sistem jaringan air bersih tersebut, maka dilakukan simulasi dan optimasi harga air.

Kriteria-kriteria yang umum dipakai dan dianjurkan untuk dipakai dalam penilaian kelayakan ekonomi pada studi ini adalah *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Present Value* (NPV), dan *Benefit Cost Ratio* (B/C). Pengembalian *Benefit* untuk suatu pengembangan sistem jaringan pipa di kecamatan Junrejo ini dibebankan dari hasil penjualan air bersih kepada konsumen. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu analisa dalam melakukan simulasi dan optimasi penentuan harga air ini yang dilihat dari kedua sisi yaitu produsen dan konsumen

Pengembangan sistem jaringan distribusi pipa yang baik adalah sistem yang mampu memenuhi kebutuhan air bersih bagi penduduk yang tinggal di daerah tersebut dan terjangkau daya beli secara ekonomis. Sebaiknya sebelum dilakukan pengembangan sistem jaringan pipa perlu dilakukan optimasi dan studi kelayakan sehingga nantinya diperoleh sistem jaringan yang layak secara teknis maupun ekonomi. Pada studi perencanaan pengembangan sebuah sistem jaringan air bersih perlu dilakukan optimasi baik dari segi teknis maupun ekonomi agar mendapatkan gambaran secara nyata, layak atau tidak untuk dikembangkan jaringan tersebut.

KAJIAN PUSTAKA

Pada studi ini, proyeksi jumlah penduduk digunakan sebagai dasar untuk menghitung pelayanan air minum yang diterima oleh masyarakat. Perkiraan jumlah penduduk di suatu daerah pada masa yang akan datang dapat ditentukan dengan metode Geometrik, Aritmatik, dan Eksponensial.

Pemilihan metode proyeksi pertumbuhan penduduk di atas berdasarkan cara pengujian statistik yakni berdasarkan pada nilai koefisien korelasi yang terbesar mendekati angka +1.

Adapun rumusan untuk menentukan besarnya koefisien korelasi adalah sebagai berikut (Dajan, 1986) :

Koefisien korelasi :

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(nX^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (1)$$

Dimana :

r = koefisien korelasi

X = jumlah penduduk data (jiwa)

Y = jumlah penduduk hasil proyeksi

Metode Aritmatik

Jumlah perkembangan penduduk dengan menggunakan metode ini dirumuskan sebagai berikut (Muliakusumah, 2000 dalam Natalia, 2004)

$$P_n = P_0(1 + rn) \quad (2)$$

dimana :

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

r = angka pertambahan penduduk per-tahun (%)

Metode Geometrik

Dengan menggunakan metode geometrik, maka perkembangan penduduk suatu daerah dapat dihitung dengan formula sebagai berikut (Rusli, 1996). Metode ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_n = P_0(1 + r)^n \quad (3)$$

dimana :

P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)

P_0 = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)

- r = angka pertambahan penduduk tiap tahun (%)
- n = jumlah tahun proyeksi (tahun)

Metode Eksponensial

Perkiraan jumlah penduduk berdasarkan metode eksponensial dapat didekati dengan persamaan berikut (Rusli, 1996) :

$$P_n = P_0 + e^{r.n} \quad (4)$$

dimana :

- P_n = jumlah penduduk pada akhir tahun ke-n (jiwa)
- P₀ = jumlah penduduk pada tahun yang ditinjau (jiwa)
- r = angka pertumbuhan penduduk (%)
- n = periode tahun yang ditinjau (tahun)
- e = bilangan logaritma natural (2,7182818)

Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih adalah jumlah air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pokok manusia akan air domestik dan kegiatan-kegiatan lainnya yang memerlukan air (non domestik).

Secara umum kehilangan air atau kebocoran yang terjadi pada suatu sistem jaringan distribusi air bersih dapat dibedakan menjadi dua faktor yaitu :

1. Kehilangan air akibat faktor teknis
Adanya lubang atau celah pada pipa dan sambungannya;
Pipa pada jaringan distribusi pecah;
Meter yang dipasang pada pipa konsumen kurang baik; Pemasangan pipa di rumah konsumen yang kurang baik.
2. Kehilangan air akibat faktor non teknis
Kesalahan membaca meter air; Kesalahan pencatatan hasil pembacaan meter air; Kesalahan pemindahan atau pembuatan rekening air; Angka yang ditunjukkan oleh meter air berkurang, berkurang akibat adanya aliran udara dari pipa distribusi ke rumah konsumen melalui meter air tersebut.

Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Pemakaian air bersih oleh masyarakat pada suatu wilayah tidak konstan, akan tetapi terjadi fluktuasi pada jam-jam tertentu tergantung dari aktivitas keseharian masyarakat pada daerah tersebut. Hal diatas berlangsung tiap hari dan membentuk pola yang relatif sama. Pada jam-jam tertentu terjadi pening-

katan aktivitas menggunakan air diban dingkan pada saat kondisi normal. Tetapi pada saat tertentu pula tidak ada aktivitas yang memerlukan air.

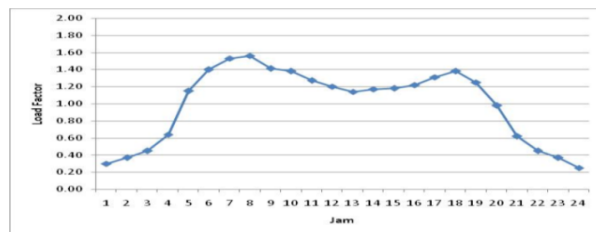
Adapun kriteria tingkat kebutuhan air pada masyarakat dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Kebutuhan air rata-rata, yaitu penjumlahan kebutuhan total (domestik dan non domestik) ditambah dengan kehilangan air;
2. Kebutuhan harian maksimum, yaitu kebutuhan air terbesar dan kebutuhan rata-rata harian dalam satu minggu;
3. Kebutuhan air pada jam puncak, yaitu pemakaian air tertinggi pada jam-jam tertentu selama periode satu hari.

Tabel 1 : Faktor beban atau pengali (*Load factor*) terhadap kebutuhan air bersih

Jam Ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Load Factor	0,3	0,37	0,45	0,64	1,15	1,4	1,53	1,56	1,41	1,38	1,27	1,2
Jam Ke	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Load Factor	1,14	1,17	1,18	1,22	1,31	1,38	1,25	0,98	0,62	0,45	0,37	0,25

Sumber : Dinas Cipta Karya



Gambar 1 : Grafik Load Factor terhadap kebutuhan air bersih

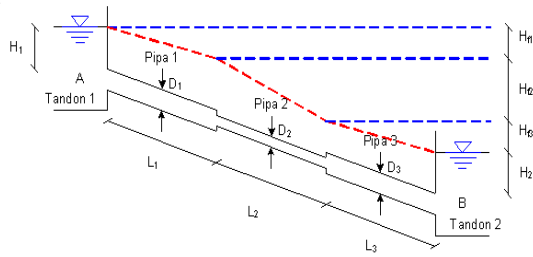
Kebutuhan harian maksimum dan jam puncak sangat diperlukan dalam perhitungan besarnya kebutuhan air baku, karena hal ini menyangkut kebutuhan pada hari-hari tertentu dan pada jam puncak pelayanan. Sehingga penting mempertimbangkan suatu nilai koefisien untuk keperluan tersebut Dalam perencanaannya. PDAM kecamatan Junrejo, kota Batu menggunakan pendekatan angka koefisien sebagai berikut.

- Kebutuhan harian maksimum = 1,15 x kebutuhan air ata-rata (5)
- Kebutuhan jam puncak = 1,56 x kebutuhan air maksimum (6)

Sistem Pengaliran dalam Pipa

Sistem pengaliran dalam pipa pada jaringan distribusi air bersih dapat dibagi men-

jadi dua yaitu hubungan seri dan hubungan paralel.



Gambar 2. Pipa Seri
Sumber : Triatmojo, 1996

a. Pipa Hubungan Seri

Pada hubungan seri, debit aliran di semua titik adalah sama sedangkan kehilangan tekanan di semua titik berbeda. Hal tersebut ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Adapun persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut (Triatmojo,1996)

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \tag{7}$$

Sedangkan untuk total kehilangan tekanan pada pipa yang terpasang secara seri dirumuskan sebagai berikut

(Triatmojo, 1996) :

$$H = H_{f1} + H_{f2} + H_{f3} \tag{8}$$

dimana :

Q = total debit pada pipa yang terpasang secara seri (m³/det)

Q₁,Q₂,Q₃ = debit pada tiap pipa (m³/det)

H = total kehilangan tekanan pada pipa yang terpasang secara seri (m)

H_{f1},H_{f2},H_{f3} = kehilangan tekanan pada tiap pipa (m)

b. Pipa Hubungan Paralel

Pada keadaan dimana aliran melalui dua atau lebih pipa dihubungkan secara paralel seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. maka persamaan kontinuitasnya dapat dituliskan sebagai berikut (Triatmojo, 1996) :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \tag{9}$$

Persamaan energi untuk pipa sambungan paralel :

$$H = H_{f1} = H_{f2} = H_{f3} \tag{10}$$

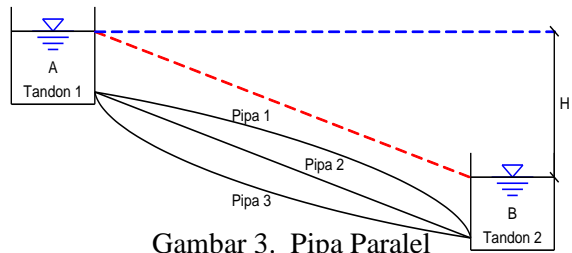
dimana :

Q = total debit pada pipa yang terpasang secara paralel (m³/det)

Q₁,Q₂,Q₃ = debit pada tiap pipa (m³/det)

H = total kehilangan tekanan pada pipa yang terpasang secara

paralel (m)
H_{f1},H_{f2},H_{f3} = kehilangan tekan pada tiap pipa (m)



Gambar 3. Pipa Paralel
Sumber : Triatmojo, 1996

Berdasarkan grafik fluktuasi kebutuhan air bersih dari DPUD Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih didapatkan nilai *load factor* sebagai berikut :

Pengukuran Debit Sumber Air

Dengan pertimbangan kondisi lapangan, pengukuran debit pada sumber Urip Kali Dadaprejo dilakukan dengan alat ukur debit Thomson sebagai berikut :

$$Q = Kh^{\frac{5}{2}} \tag{11}$$

Q : debit (m³/menit)

h : tinggi air (m)

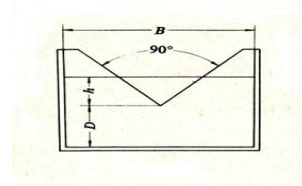
K : Koefisien debit

=

$$81,2 + \frac{0,24}{h} + \left(8,4 + \frac{12}{\sqrt{D}} \right) \left(\frac{h}{B} - 0,09 \right)^2 \tag{12}$$

B : lebar saluran (m)

D : tinggi dan dasar saluran ke titik terendah dari bendung (m)



Interval penerapan rumus ini adalah,

B = 0,50 sampai 1,20 m

D = 0,10 sampai 0,75 m

h = 0,07 sampai 0,26 m

h = < B/3

Jika lebar **B** dan dalamnya **D** melampaui interval tersebut diatas, maka pengukuran harus diadakan menurut syarat-syaratan sebagai berikut :

Untuk B > 1,20 m , D > 0,75 m maka 0,07 ≤ h ≤ h'

Sebagai hasil perbandingan antara H_1' dan h_2' , maka yang lebih kecil diambil sebagai tinggi air h' .

$$h' = \frac{1}{4}(B - 0,20) \quad h_2' = \frac{1}{3}D \quad \dots\dots (13)$$

Perhitungan kesalahan-kesalahan (kesalahan kuadrat rata-rata)

$$Q = K h^{5/2} \quad \dots\dots (14)$$

Kesalahan $K = \pm 1,00\%$

$$\text{Kesalahan } h = \pm \frac{100}{250} \%$$

Jadi Kesalahan $h^{5/2}$ adalah,

$$\left(\pm \frac{100}{250} \times \frac{5}{2} \right)^2 = 1,0 \quad \dots\dots (15)$$

$$\text{Kesalahan } Q = \sqrt{1+1} = \sqrt{2} = \pm 1,4\%$$

Jadi kesalahan rumus ini dalam interval yang diterapkan adalah $\pm 1,4\%$

Untuk melakukan perhitungan dengan metode *Hardy Cross* ada dua kondisi dasar yang wajib dipenuhi :

1. Hukum Kontinuitas

Menurut hukum kontinuitas, dalam tiap-tiap titik simpul aliran yang masuk harus sama dengan aliran yang keluar (Triatmojo, 1996) :

$$\sum Q_i = 0 \quad \dots\dots (16)$$

dimana :

Q_i = debit eksternal yang masuk/keluar dari titik simpul

2. Jumlah aljabar dari kehilangan energi dalam setiap jaringan pipa tertutup harus sama dengan nol.

$$\sum H_f = 0 \quad \dots\dots (17)$$

Dimana :

H_f = kehilangan tinggi tekan

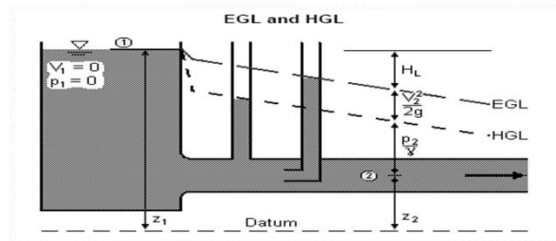
Hukum Bernoulli

Air di dalam pipa selalu mengalir dari tempat yang memiliki tinggi energi lebih besar ke tempat yang memiliki tinggi energi lebih kecil.

Hal tersebut dikenal dengan prinsip *Bernoulli* yang menyatakan bahwa tinggi energi total pada sebuah penampang pipa adalah jumlah energi kecepatan, energi tekanan dan energi ketinggian yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_{Tot} = \text{Energi ketinggian} + \text{Energi Kecepatan} + \text{Energi Tekanan}$$

$$E_{Tot} = h + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma_w} \quad \dots\dots (18)$$



Gambar 4. Diagram Energi dan Garis Tekanan

Sumber : Haestad, 2001 : 268

Menurut teori Kekekalan Energi dari hukum Bernoulli apabila tidak ada energi yang lolos atau diterima antara dua titik dalam satu sistem tertutup, maka energi totalnya tetap konstan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada Gambar 4. berikut :

Hukum kekekalan Bernoulli pada Gambar 4. dapat ditulis sebagai berikut (Haestad, 2001) :

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_w} = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma_w} + H_L \quad \dots(19)$$

dengan:

$$\frac{V_1^2}{2g}, \frac{V_2^2}{2g} = \text{tinggi energi di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$\frac{p_1}{\gamma_w}, \frac{p_2}{\gamma_w} = \text{tinggi tekanan di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$Z_1, Z_2 = \text{tinggi elevasi di titik 1 dan 2 (m)}$$

$$V_1, V_2 = \text{kecepatan di titik 1 dan 2(m/det)}$$

$$p_1, p_2 = \text{tekanan di titik 1 dan 2 (kg/m}^2\text{)}$$

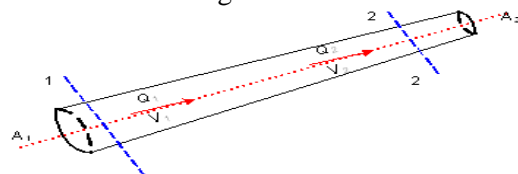
$$H_L = \text{kehilangan tinggi tekan dalam pipa (m)}$$

$$\gamma_w = \text{berat jenis air (kg/m}^3\text{)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi (m/det}^2\text{)}$$

Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir sepanjang pipa pada Gambar 3.5. yang mempunyai luas penampang $A \text{ m}^2$ dan kecepatan $v \text{ m/det}$ selalu memiliki debit yang sama pada setiap penampangnya, hal ini dikenal sebagai hukum kontinuitas.



Gambar 5. Aliran dengan penampang pipa yang berbeda

Sumber : Moryono, 2003

Sedangkan hukum kontinuitas yang dituliskan sebagai berikut (Maryono, 2003) :

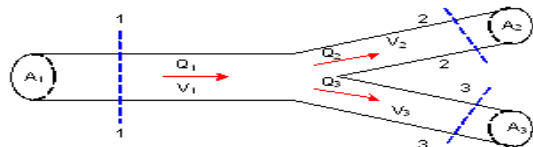
$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1.V_1 = A_2.V_2 \dots\dots\dots (20)$$

dimana :
 Q_1, Q_2 = debit pada potongan 1 dan 2 (m^3/dt)

V_1, V_2 = kecepatan potongan 1 dan 2 (m^3/dt)
 A_1, A_2 = luas penampang pada potongan 1 dan 2 (m^2)

Pada aliran percabangan pipa juga berlaku hukum kontinuitas dimana debit yang masuk pada suatu pipa sama dengan debit yang keluar pipa. Hal tersebut diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 6. Aliran Percabang
 Sumber : Triatmojo I, 1995

Sedangkan hukum kontinuitas pada pipa bercabang dapat diuraikan sebagai berikut (Triatmojo I, 1995) :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$A_1.V_1 = (A_2.V_2) + (A_3.V_3) \dots\dots\dots (21)$$

dimana :
 Q_1, Q_2, Q_3 = debit pada potongan 1 dan 2 (m^3/det)
 V_1, V_2, V_3 = kecepatan pada potongan 1 dan 2 (m/det)
 A_1, A_2, A_3 = luas penampang pada potongan 1 dan 2 (m^2)

Kehilangan Tinggi Tekan (Head Loss)

Dalam merencanakan sistem jaringan distribusi air bersih, aliran dalam pipa harus berada pada kondisi aliran turbulen. Untuk mengetahui kondisi aliran dalam pipa turbulen atau tidak, dapat dihitung dengan identifikasi bilangan Reynold menggunakan persamaan berikut :

$$Re = \frac{V.D}{\nu} \dots\dots\dots (22)$$

dimana :
 Re = bilangan Reynold
 V = kecepatan aliran dalam pipa (m/det)
 D = diameter pipa (m)
 ν = kekentalan kinematik air pada suhu tertentu (m^2/det)

Dari perhitungan bilangan Reynold, maka sifat aliran di dalam pipa dapat diketahui dengan kriteria sebagai berikut (Triatmojo II, 1993) :

- $Re < 2000$ → aliran bersifat laminar
- $Re = 2000 - 4000$ → aliran bersifat transisi
- $Re > 4000$ → aliran bersifat turbulen

Tabel 2. Kekentalan Kinematik Air

Suhu (°C)	Kekentalan kinematik	Suhu (°C)	Kekentalan Kinematik
	($m^2.dt^{-1}$)		($m^2.dt^{-1}$)
0	$1,785 \cdot 10^{-6}$	40	$1,658 \cdot 10^{-6}$
5	$1,519 \cdot 10^{-6}$	50	$1,553 \cdot 10^{-6}$
10	$1,306 \cdot 10^{-6}$	60	$1,474 \cdot 10^{-6}$
15	$1,139 \cdot 10^{-6}$	70	$1,413 \cdot 10^{-6}$
20	$1,003 \cdot 10^{-6}$	80	$1,364 \cdot 10^{-6}$
25	$1,893 \cdot 10^{-6}$	90	$1,326 \cdot 10^{-6}$
30	$1,800 \cdot 10^{-6}$	100	$1,294 \cdot 10^{-6}$

Sumber: Priyantoro, 1991

Kehilangan Tinggi Tekan (Major Losses)

Fluida yang mengalir di dalam pipa akan mengalami tegangan geser dan gradien kecepatan pada seluruh medan karena adanya kekentalan kinematik. Tegangan geser tersebut akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran (Triatmodjo II, 1993 : 25). Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa merupakan penyebab utama menurunnya garis energi pada suatu aliran (major losses) selain bergantung juga pada jenis pipa.

Dalam kajian ini digunakan persamaan Hazen-Williams untuk memperhitungkan besarnya kehilangan tinggi tekan mayor, yaitu (Priyantoro, 1991)

$$Q_i = 0,85.C_{hw}.A_i.R_i^{0,63}.S_f^{0,54} \dots\dots (23)$$

$$V_i = 0,85.C_{hw}.R_i^{0,63}.S_f^{0,54} \dots\dots\dots (24)$$

dimana :
 Q_i = debit aliran pada pipa i (m^3/det)
 V_i = kecepatan aliran dalam pipa i (m/det)

- C_{hw} = koefisien kekasaran *Hazen-Williams* (tabel 5.)
- A_i = luas penampang pada pipa i (m²)
- R_i = jari-jari hidrolis pada pipa i (m)
- $R = \frac{1}{4} = \frac{1/4\pi D^2}{\pi D} = \frac{D}{4}$
- S_f = kemiringan garis hidrolis (EGL)
- $Sf = H_f/L$

Persamaan kehilangan tinggi tekan mayor menurut *Hazen-Williams* yaitu (Webber, 1997) :

$$H_f = k \cdot Q^{1,85} \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$k = \frac{10,675 \cdot L}{C_{hw}^{1,85} \cdot D^{4,87}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

dimana :

- H_f = kehilangan tinggi tekan mayor (m)
- k = koefisien karakteristik pipa
- Q = debit aliran pada pipa (m³/det)
- D = diameter pipa (m)
- L = panjang pipa (m)
- C_{hw} = koefisien kekasaran *Hazen-Williams* (Tabel 5)

Tabel 3. Koefisien Karakteristik Pipa Menurut *Hazen-Williams*

No	Bahan Pipa	Nilai Koefisien <i>Hazen-Williams</i> (C_{hw})
1	<i>Asbestos Cemen</i>	140
2	<i>Brass</i>	130 – 140
3	<i>Brick sewer</i>	100
4	<i>Cast iron :</i>	
	- <i>New unlined</i>	130
	- <i>10 years old</i>	107 – 113
	- <i>20 years old</i>	98 – 100
	- <i>30 years old</i>	75 – 90
	- <i>40 years old</i>	64 – 83
5	<i>Concrete or Concrete lined</i>	
	- <i>Steel forms</i>	140
	- <i>Wooden forms</i>	120
	- <i>Sentrifugally spun</i>	135
6	<i>Copper</i>	130 – 140
7	<i>Galvanized iron</i>	120
8	<i>Glass</i>	140
9	<i>Lead</i>	130 – 140
10	<i>Plastic</i>	140 – 150
11	<i>PVC</i>	130 – 140
12	<i>Steel</i>	
	- <i>Coal-tarenamel lined</i>	145 – 150
	- <i>New unlined</i>	140 – 150
	- <i>Riveted</i>	110
13	<i>Tin</i>	130
14	<i>Vitrified clay (Good condition)</i>	110 – 140
15	<i>Wood stave (Average condition)</i>	120

Sumber: Priyantoro, 2001: 20

Kehilangan Tinggi Tekan *Minor Losses*

Faktor lain yang juga ikut menambah besarnya kehilangan tinggi tekan pada suatu aliran adalah kehilangan tinggi tekan minor. Adapun persamaan umum untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi tekan minor ini dapat ditulis sebagai berikut (Linsley, 1989) :

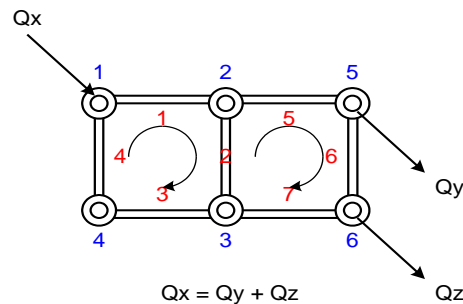
$$h_{Lm} = k \cdot \frac{V^2}{g} \quad \dots\dots\dots (27)$$

dimana :

- h_{Lm} = kehilangan tinggi tekan minor (m)
- k = koefisien kehilangan tinggi tekan minor (Tabel 4.)
- v = kecepatan rata-rata dalam pipa (m/det)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)

Metode Jaringan Tertutup (*Loop Method*)

Pada gambar 7. menunjukkan suatu sistem kecil yang terdiri dari dua jaringan tertutup (*loop*). Jika di dalam sistem sudah terjadi keseimbangan maka kehilangan gesekan pipa 1 dan pipa 2 sama dengan kehilangan di pipa 3 dan pada pipa 4. Dengan perumpamaan arah jarum jam, kehilangan gesekan dinyatakan positif bila searah dengan arah jarum jam dan sebaliknya. Kemudian jaringan tersebut dapat dikatakan seimbang apabila besarnya kehilangan gesekan pada pipa sama dengan nol ($\Sigma h_f = 0$), syarat tersebut berlaku untuk keseluruhan jaringan dari tiap-tiap pipa yang terangkai menjadi sebuah jaringan tertutup.



Gambar 7. Ilustrasi Persamaan Kontinuitas Dalam Jaringan Tertutup

Analisa Ekonomi

Perbandingan Manfaat dan Biaya (*Benefit/Cost* atau B/C) *Benefit Cost Ratio* (BCR) adalah perbandingan antara nilai sekarang (*present value*) dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang dari biaya (*cost*). Secara umum rumus untuk perhitungan BCR ini adalah (I Nyoman Pujana, 1995):

$$BCR = \frac{PV \text{ Manfaat}}{PV \text{ Biaya}} \quad \dots (28)$$

Dengan:

PV = *Present value*

BCR = *Benefit Cost Ratio*

$$IRR = I' * \frac{NPV}{(NPV' - NPV'')} * (I'' - I') \quad (30)$$

Dengan:

I' = suku bunga memberikan nilai NPV positif

I'' = suku bunga memberikan nilai NPV negatif

NPV = selisih antara *present value* dari manfaat dengan *present value* biaya.

NPV' = NPV positif

NPV'' = NPV negatif

4. Analisis Sensitivitas

Dengan melakukan analisa sensitivitas, dapat diperkirakan dampak yang akan terjadi apabila keadaan yang sebenarnya terjadi sesudah proyek tidak sama dengan estimasi awal.

Alasan dilakukannya analisis sensitivitas adalah untuk mengantisipasi adanya perubahan diantaranya :

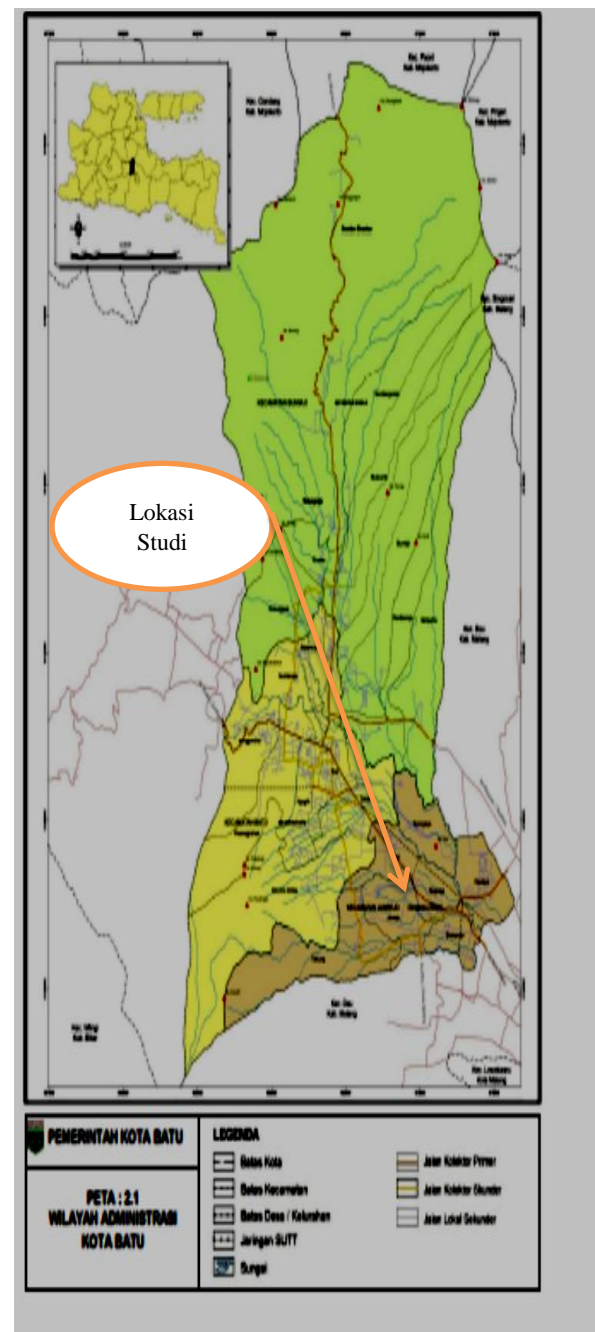
- Adanya *cost overrun*, yaitu kenaikan biaya-biaya proyek dan produksi.
- Penurunan produktifitas
- Mundurnya jadwal pelaksanaan proyek

Setelah melakukan analisis dapat diketahui seberapa jauh dampak perubahan tersebut terhadap kelayakan proyek dan pada tingkat mana proyek masih layak dilaksanakan.

Lokasi Studi

Wilayah kecamatan Junrejo terdiri dari 7 desa dengan luas wilayah 25,650 km² dengan jumlah penduduk 37.633 jiwa Registrasi Penduduk Akhir Tahun 2012.

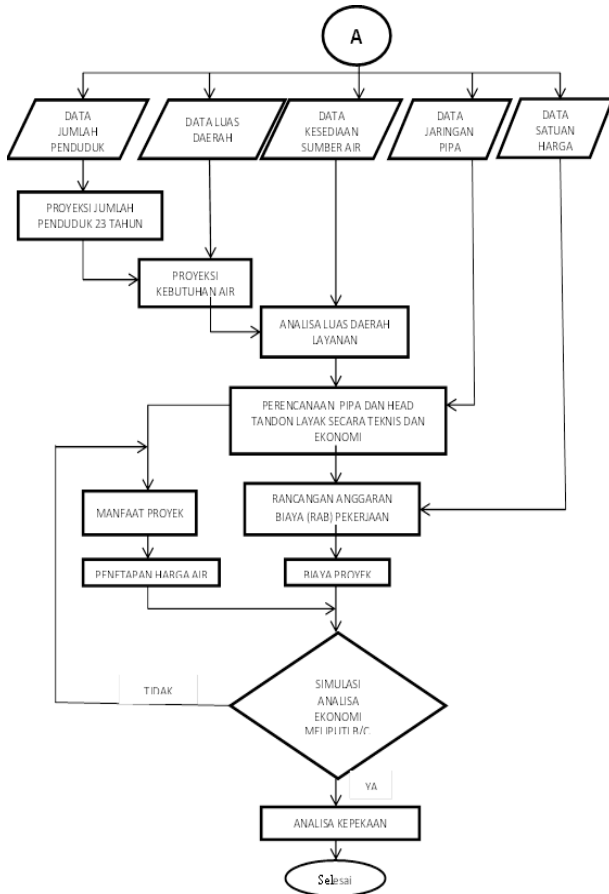
Sistem pelayanan air minum HIPAM unit kecamatan Junrejo, nantinya akan direncanakan mencakup beberapa desa, Junrejo adalah sebuah kecamatan di Kota Batu, Jawa Timur, Indonesia



Gambar 7 : Peta Lokasi Studi

Kelayakan Dimana Topografi desa tersebut berada pada ketinggian muka tanah dengan elevasi + 600 m hingga + 1.000 m diatas permukaan laut.

Flow Chart



Gambar 8. Flow Chart Penyelesaian Tesis

METODOLOGI

Analisa Pertumbuhan Penduduk

Penyediaan air bersih pada suatu daerah perlu diketahui terlebih dahulu kondisi jumlah penduduk saat ini dan proyeksi pertumbuhan penduduk yang akan datang, sehingga hasil perhitungan dapat digunakan untuk memperhitungkan kebutuhan air yang maksimal serta memprediksi perkembangan sistem penyediaan air bersih pada tahun proyeksi.

Pertumbuhan dan laju jumlah penduduk serta kepadatan penduduk di Kelurahan Dadaprejo kecamatan Junrejo kota Batu, dapat disajikan pada tabel 5. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa laju pertumbuhan penduduk pertahun di ke-lurahan Dadaprejo rata-rata sebesar 1,13 % pertahun dengan kepadatan penduduk yang merata dimasing-masing Dusun

Tabel 4. Proyeksi Jumlah Penduduk Kelurahan Dadaprejo (2012 – 2014)

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Proyeksi Metode		
			Aritmatik	Geometrik	Eksponensial
1	2012	6.196	6.196	6.196	6.196
2	2013	6257	6.266	6.266	6.266
3	2014	6337	6.336	6.337	6.338
4	2015		6.406	6.408	6.410
5	2016		6.476	6.481	6.482
6	2017		6.546	6.554	6.556
7	2018		6.616	6.628	6.631
8	2019		6.686	6.703	6.706
9	2020		6.756	6.779	6.782
10	2021		6.826	6.855	6.859
11	2022		6.896	6.933	6.937
12	2023		6.966	7.011	7.016
13	2024		7.036	7.090	7.096
14	2025		7.106	7.171	7.176
15	2026		7.176	7.252	7.258
16	2027		7.246	7.334	7.340
17	2028		7.316	7.416	7.424
18	2029		7.386	7.500	7.508
19	2030		7.456	7.585	7.594
20	2031		7.526	7.671	7.680
21	2032		7.596	7.757	7.767
22	2033		7.666	7.845	7.855
23	2034		7.736	7.934	7.945
24	2035		7.806	8.023	8.035
25	2036		7.876	8.114	8.126

Sumber : Perhitungan

Proyeksi pertumbuhan penduduk dengan menggunakan metode Aritmatik

- Proyeksi jumlah penduduk untuk tahun 2012 adalah sebagai berikut : $P_n = P_o (1 + r.n)$
- Proyeksi jumlah penduduk hingga tahun 2036 pada kelurahan Dadaprejo dengan metode Aritmatik $P_n = P_o (1 + r)^n$
- Perhitungan proyeksi pertumbuhan penduduk dengan menggunakan metode Eksponensial $P_n = P_o * e^{r*n}$

Dimana :

- P_n = Jumlah jiwa tahun ke-n
- P_o = 6.196 jiwa (tahun 2012)
- n = 2 (proyeksi tahun k –n)
- r = 1,13 (rata-rata tingkat pertumbuhan penduduk)

Analisa Volume Efektif, Dimensi Tandon dan Simulasi Tandon Air

Perhitungan kapasitas tandon dilakukan dengan menggunakan kurva massa. Pada sistem jaringan distribusi air bersih kelurahan Dadaprejo, tandon yang akan direncanakan berjumlah satu tandon berbentuk kubus

Tabel 5. Pola Operasi Tandon

Jam	Debit Sumber	Operasi Tandon	Faktor Beban konsumen Standart	Faktor Beban konsumen Terkoreksi	Prosentase F. Beban konsumen terkoreksi
1	0	0	0.3	0	0
2	0	0	0.37	0	0
3	0	0	0.45	0	0
4	1	0	0.64	0	0
5	1	0	1.15	0	0
6	1	1	1.4	1.4	0.1
7	1	1	1.53	1.53	0.1
8	1	1	1.56	1.56	0.09
9	1	1	1.42	1.42	0.09
10	1	1	1.38	1.38	0.08
11	1	1	1.27	1.27	0.08
12	1	1	1.2	1.2	0.07
13	1	1	1.14	1.14	0.07
14	1	1	1.17	1.17	0.07
15	1	1	1.18	1.18	0.08
16	1	1	1.22	1.22	0.08
17	1	1	1.31	1.31	0
18	1	0	1.38	0	0
19	1	0	1.25	0	0
20	0	0	0.98	0	0
21	0	0	0.62	0	0
22	0	0	0.45	0	0
23	0	0	0.37	0	0
24	0	0	0.26	0	0
Jumlah (Σ) =				15.78	0

Sumber : Faktor Beban Konsumen Standar Cipta Karya

Analisa Sistem Jaringan Pipa

Sesuai dengan kapasitas debit sumber yang ada sebesar 24 ltr/detik, kapasitas volume tandon efektif, kondisi topografi wilayah daerah studi serta penyebaran lokasi pemukiman, jaringan pipa tranmisi pada unit Hipam Kelurahan Dadaprejo ini dimulai dari sumber Urip Junrejo dengan diameter pipa tranmisi 100 mm (4 Inchi) dengan jenis pipa Galvanis panjang tranmisi 2,815 km

Analisa rancangan Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan biaya-biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah tenaga kerja berdasarkan analisis tertentu dan biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan pekerjaan. Tujuan pembuatan anggaran biaya adalah untuk memberikan gambaran bentuk konstruksi, besaran biaya dan metode pelaksanaan

Tabel 6: Perbandingan Biaya Tiap Jenis Pipa Galvanis, PVC, dan HDPE

No	Item Pekerjaan	Anggaran biaya dengan jenis pipa (Rp.)		
		Galvanis	PVC	HDPE
1	I. PEKERJAAN BRONKAP.	12,278,286.81	12,278,286.81	12,278,286.81
2	II. PEKERJAAN PIPA DARI SUMBER KE TANDON	760,300,857.38	288,956,802.82	561,513,456.56
3	III. PEKERJAAN TANDON AIR DR. SUTOMO	91,498,083.22	91,498,083.22	91,498,083.22
4	IV. PEKERJAAN PIPA JARINGAN DADAPTULIS UTARA	597,442,853.86	354,990,907.12	867,826,738.69
5	V. PEKERJAAN PIPA JARINGAN DADAPTULIS DALAM	374,937,485.02	143,095,025.22	522,555,226.70
6	VI. PEKERJAAN PIPA JARINGAN ARENG-ARENG	411,769,188.47	177,374,916.51	726,202,983.11
7	VII. PEKERJAAN PIPA JARINGAN KARANG MILOKO	247,594,465.17	113,716,587.09	376,561,505.48
Total =		2,495,821,219.94	1,181,910,608.78	3,158,436,280.58

Sumber : Perhitungan

Analisa Harga Air dan Kelayaan Ekonomi

Keuntungan atau manfaat (*benefit*) proyek adalah peningkatan pendapatan bersih (*net Incremental Benefit*), yaitu selisih antara pendapatan bersih pada saat mendatang dengan proyek dan tanpa proyek termasuk penurunan kerugian bersih, yaitu selisih antara kerugian pada saat mendatang dengan proyek dan tanpa proyek.

Penerapan harga air dalam beberapa alternatif, Alternatif 1 harga air Rp 750, Alternatif 2 harga air Rp 900, Alternatif 3 harga air Rp 1.050 Alternatif 4 harga air Rp.1.200, Alternatif 5 harga air Rp. 1.350. Kemudian dilakukan simulasi ekonomi sehingga didapatkan IRR, NPV, BCR dan Payback Period.

Tabel 7 : Hasil Perhitungan Ekonomi Material pipa Galvanis dengan harga jual air awal Rp. 1.200/m³ (alternatif 4)

No	Uraian	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4	Alternatif 5
I	Material Pipa Galvanis	Harga Air Rp. 750/m ³	Harga Air Rp. 900/m ³	Harga Air Rp. 1.050/m ³	Harga Air Rp. 1.200/m ³	Harga Air Rp. 1.350/m ³
1	Interest Rate Pinjaman Lunak	9%	9%	9%	9%	9%
2	Internal Rate of Return	10.50%	13.09%	12.34%	9.50%	14.29%
3	Present Value Benefit	Rp. 2.787.000.000	Rp. 2.938.800.000	Rp. 2.928.600.000	Rp. 2.756.400.000	Rp. 3.145.200.000
4	Present Value Cost	Rp. 2.720.445.130	Rp. 2.720.445.130	Rp. 2.720.445.130	Rp. 2.720.445.130	Rp. 2.720.445.130
5	Benefit Cost Ratio	1.02	1.08	1.08	1.01	1.16
6	Pay Back Period	8.98 thn	7.932 thn	6.94 thn	5.99 thn	5.88 thn
II	Material Pipa PVC	Harga Air Rp. 750/m ³	Harga Air Rp. 900/m ³	Harga Air Rp. 1.050/m ³	Harga Air Rp. 1.200/m ³	Harga Air Rp. 1.350/m ³
1	Interest Rate Pinjaman Lunak	9%	9%	9%	9%	9%
2	Internal Rate of Return	15.81%	12.95%	9.61%	12.72%	15.12%
3	Present Value Benefit	Rp. 1.590.000.000	Rp. 1.498.800.000	Rp. 1.326.000.000	Rp. 1.553.400.000	Rp. 1.780.200.000
4	Present Value Cost	Rp. 1.288.282.564	Rp. 1.288.282.564	Rp. 1.288.282.564	Rp. 1.288.282.564	Rp. 1.288.282.564
5	Benefit Cost Ratio	1.23	1.16	1.03	1.21	1.38
6	Pay Back Period	5.82 thn	4.88 thn	3.98 thn	3.85 thn	3.74 thn
III	Material Pipa HDPE	Harga Air Rp. 750/m ³	Harga Air Rp. 900/m ³	Harga Air Rp. 1.050/m ³	Harga Air Rp. 1.200/m ³	Harga Air Rp. 1.350/m ³
1	Interest Rate Pinjaman Lunak	9%	9%	9%	9%	9%
2	Internal Rate of Return	20.13%	21.10%	9.75%	17.4%	14.30%
3	Present Value Benefit	Rp. 3.936.000.000	Rp. 4.087.800.000	Rp. 3.489.600.000	Rp. 4.040.400.000	Rp. 3.868.200.000
4	Present Value Cost	Rp. 3.442.695.546	Rp. 3.442.695.546	Rp. 3.442.695.546	Rp. 3.442.695.546	Rp. 3.442.695.546
5	Benefit Cost Ratio	1.14	1.19	1.01	1.17	1.12
6	Pay Back Period	10.88 thn	9.84 thn	7.99 thn	7.85 thn	6.90 thn

Sumber : Perhitungan

KESIMPULAN

Berdasarkan optimasi dan simulasi sistem penyediaan air bersih yang diharapkan dapat memberikan rekomendasi dalam pengembangan jaringan HIPAM untuk dibangun dapat dirumuskan disimpulkan sebagai berikut:

Dari data penduduk kelurahan Dadaprejo tahun 2012 sejumlah 6.196 jiwa, tahun 2013 sejumlah 6.257 jiwa dan tahun 2014 sejumlah 6.337 jiwa maka pertumbuhan rata-rata penduduknya adalah 1,13% diasumsikan setiap 4 jiwa satu rumah (SR) dan cakupan sambungan 94 % maka pada tahun 2017 sejumlah 1.604 sambungan rumah (SR).

Diameter pipa yang sesuai dengan parameter hidrolis pipa transmisi pada sistem jaringan air bersih Hipam Dadaprejo ini setelah dilakukan simulasi dan optimasi adalah :

- a. Diameter distribusi Ø 4” untuk jaringan dari sumber ke Tandon Dr. Sutomo sepanjang 2.185 meter dengan debit sumber 24 liter/detik,

- b. Diameter pipa 2,5" jaringan tandon Dr. Sutomo ke distribusi dusun Dadap tulis Utara sepanjang 1.990 meter de-ngan debit air 10 liter/detik
- c. Diameter 2,5" jaringan tandon Dr. Sutomo ke distribusi dusun Dadaptulis Dalam sepanjang 1,254 meter, dengan debit air 6 liter/detik.
- d. Diameter 3" jaringan tandon Dr. Sutomo ke distribusi dusun Areng-areng sepanjang 1.944 meter, dengan debit air 10 liter/detik
- e. Diameter 2" tandon ke dusun Karang Mloko sepanjang 1.668 meter. Dengan debit air 7 liter/detik.

Biaya investasi, kelayakan ekonomi dan harga air pada proyek sistem jaringan distribusi air bersih di Hipam Dadaprejo ada 3 jenis material pipa masing-masing adalah sebagai berikut

- a. Untuk jenis material pipa Galvalis di perlukan investasi Rp. 2.495.821.000
- b. Untuk jenis material pipa PVC di perlukan investasi Rp. 1.181.910.000
- c. Untuk jenis material pipa HDPE di perlukan investasi Rp. 3.158.436.000
- d. Untuk kelayakan ekonomi pada ren- cana penyediaan sistem jaringan air bersih Hipam Dadaprejo berdasarkan bunga bank 9 % dan indikator peren- canaan yang terjadi pada alternatif 4 material pipa Galvanis dengan $(B/C) = 1,01$ $(NPV) = Rp.2.756.400.000$, $IRR = 9,50 \%$, titik impas investasi (*pay back periode*) = 5,99 tahun dan analisis sensitivitas dalam kondisi normal yaitu manfaat dan biaya tetap.
- e. Besaran tarif awal harga air yang dijual kepada konsumen HIPAM agar memuhi standar investasi proyek adalah pada alternatif 4 yaitu dengan harga Rp. 1.200, /m³ dan ada kenaikan Rp. 150,/m³ setiap 4 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. DPU Ditjen Cipta Karya. 1987. *Buku Utama Sistem JaringanPipa. Diktat Kursus Perpipaan Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Bersih*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Air Bersih.
- Anonim. Peraturan Menteri.
- Dajan, Anto. 2009, *Pengantar Metode Statistika Jilid I*. Jakarta : LP3ES
- Haestad Methods. 2001. *User Guide WaterCAD v 4.5 for Windows. Waterbury CT, USA : Haestad Press. Jumarwan.-. Modul Pelatihan Sistem Penyediaan Air Minum*. Malang : PDAM Kabupaten Malang
- I Nyoman Pujawan. 1995. *Ekonomi Teknik. Lembaga* Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas. Jogjakarta: Liberty.
- Linsley, Ray K. & Joseph B. Franzini.1996 *Teknik Sumber Daya Air Jilid I dan II, Edisi Ketiga*, Terjemahan Ir. Djoko Sasongko, M.Sc., Jakarta : Erlangga.
- Muliakusumah. 1981. *"Proyeksi Penduduk"*: Jakarta,
- Maryono, Agus, Dr. Ing. Ir. W. Muth, Prof. Dipl. Ing. & N. Eisenhauer, Prof. Dr. Ing. 2003. *Hidrolika Terapan*, Jakarta : Pradnya Paramita.
- Priyantoro, Dwi. 1991. *Catatan Perkuliahan Hidrolika*, Malang : Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. (Tidak dipublikasikan).
- Triadmodjo,B.1995. *Hidrolika I*. Yogyakarta : Beta Offset.
- Triadmodjo,B.1993. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triadmodjo, B. 1996. *Hidrolika II*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Webber, N, B. 1997. *Fluids Mechanics For Engineering S-I Edition* London Chapman And Hallman Ltd.