

OPTIMASI JARINGAN PIPA AIR BERSIH KECAMATAN NGASEM KABUPATEN BOJONEGORO

Laila Candra Monika¹, Winda Harsanti², Utami Retno Pudjowati³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

Email: lailamonika19@gmail.com¹, windaharsanti@polinema.ac.id², utami.retno@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Kecamatan Ngasem merupakan salah satu kecamatan yang mengalami krisis air bersih saat musim kemarau pada Kabupaten Bojonegoro. Perencanaan ini bertujuan untuk menghitung proyeksi jumlah penduduk dengan umur proyeksi 15 tahun dengan menggunakan metode aritmatik, geometrik dan eksponensial, menghitung debit kebutuhan air, merencanakan desain dan penempatan jaringan pipa transmisi dan distribusi berdasarkan analisa hidrolika, menghitung kebutuhan *reservoir*, rencana anggaran biaya serta harga jual air. Hasil dari perhitungan menunjukkan jumlah penduduk tahun 2037 sebanyak 69.046 jiwa, debit kebutuhan sebesar 109,076 lt/dt, digunakan pipa HDPE SDR 17 (PN10) dengan dimensi 10 inci untuk pipa transmisi dan 10 inci, 8 inci, 5 inci, 4 inci, dan 3 inci untuk pipa distribusi. Ukuran *reservoir* yang digunakan yaitu 7 m x 7 m x 3 m dengan total rencana anggaran biaya sebesar Rp 27.085.906.347,33 dan harga air Rp. 1.104,35/m³.

Kata kunci : Dimensi pipa; Jaringan pipa; HDPE

ABSTRACT

District of Ngasem is one of the districts experiencing a clean water crisis during the dry season in Bojonegoro Regency. This plan aims to calculate the projected population for the next 15 years using arithmetic, geometric, and exponential methods. It will also calculate the water demand flow rate, plan the design and placement of transmission and distribution pipeline networks based on hydraulic analysis, determine the reservoir requirements, budget planning, and the selling price of water. The calculation results indicate that the projected population in 2037 is 69,046 people, with a water demand flow rate of 109,076 lt/s. HDPE pipes with SDR 17 (PN10) rating are used, with a diameter of 10 inches for the transmission pipeline and 10 inches, 8 inches, 5 inches, 4 inches, and 3 inches for the distribution pipeline. The size of the reservoir used is 7m x 7m x 3m. The total estimated budget for the project is Rp 27,085,906,347,33, and the selling price of water is Rp. 1,104,35 per cubic meter.

Keywords : Design; Hydraulic analysis; HDPE

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Ngasem merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Bojonegoro yang mengalami krisis air bersih akibat dari kemarau yang berkepanjangan. Bertambahnya jumlah penduduk setiap tahun dan kurangnya sumber air pada saat kemarau menjadikan masyarakat Kecamatan Ngasem harus menunggu bantuan tangki air dari pemerintah untuk memenuhi kebutuhan air bersih. (kumparan.com, 2021)

Pada Kecamatan Ngasem tepatnya di Desa Setren terdapat sumber mata air Ngembang dengan debit 0,119 m³/dt yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih yang

dapat memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat Kecamatan Ngasem.

2. METODE

PROYEKSI PERTUMBUHAN PENDUDUK

Proyeksi pertumbuhan penduduk dihitung dengan rencana umur proyeksi 15 tahun dengan menggunakan 3 metode sebagai berikut:

- Metode Aritmatik:

$$Pt = Po(1+n.r) \quad (1)$$

- Metode Geometrik:

$$Pt = Po \times (1+r)^n \quad (2)$$

- Metode Eksponensial:

$$P_t = P_o \times e^{r \cdot n} \quad (3)$$

Keterangan:

P_t = Jumlah penduduk pada akhir periode t (orang)

P_o = Jumlah penduduk pada awal periode t (orang)

r = Tingkat pertumbuhan penduduk

n = Jangka waktu/tahun proyeksi

Dengan rumus tingkat pertumbuhan penduduk (Adioetomo dan Samsosir, 2010):

$$r = \frac{\sum \text{penduduk tahun } b - \sum \text{penduduk tahun } a}{\sum \text{penduduk tahun } a} \times 100 \% \quad (4)$$

Selanjutnya diperhitungkan standar deviasi dari masing-masing metode dan dipilih nilai yang terkecil sebagai nilai proyeksi penduduk dengan persamaan:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (5)$$

Keterangan:

SD = Standar deviasi

\bar{x} = Jumlah data rata-rata (jiwa)

x_i = Jumlah penduduk pada tahun bersangkutan (jiwa)

n = Jumlah data (tahun)

KEBUTUHAN AIR BERSIH

Kebutuhan air bersih merupakan kebutuhan air yang digunakan untuk mencukupi semua kegiatan manusia. Kebutuhan air bersih dalam perencanaan terdiri atas kebutuhan domestik, non domestik, dan kehilangan air.

a. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan domestik merupakan kebutuhan air yang digunakan untuk mencukupi kebutuhan rumah tangga. Berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya tahun 2000, kebutuhan air domestik dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_d = SR + HU \quad (6)$$

Keterangan:

SR = Sambungan rumah (l/h)

HU = Hidran umum (l/h)

Q_d = Kebutuhan air domestik (l/dt)

b. Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik merupakan kebutuhan air selain keperluan rumah tangga, seperti penggunaan untuk fasilitas umum sekolah, rumah ibadah dan industri. Berdasarkan Departemen PU Dirjen Cipta Karya tahun 2000 kebutuhan non domestik dapat dihitung dengan rumus:

$$Q_{nd} = \sum \text{Fasilitas umum} \times \text{Nilai Konsumsi} \quad (7)$$

Keterangan:

Q_{nd} = Kebutuhan air non domestik (l/dt)

Jumlah fasilitas umum yang digunakan dalam perhitungan merupakan jumlah fasilitas yang telah diproyeksi sesuai dengan umur rencana dengan rumus:

$$\frac{\sum \text{penduduk proyeksi tahun ke-n}}{\sum \text{penduduk tahun awal}} = \frac{\text{Fasilitas tahun proyeksi}}{\text{Fasilitas tahun awal}} \quad (8)$$

c. Kehilangan Air

Kehilangan air dalam sistem penyediaan air bersih dapat disebabkan oleh sambungan yang kurang tepat, rusaknya jaringan pipa dan pemborosan air. Berdasarkan Dirjen Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum tahun 2000 nilai kehilangan air sebesar 20%-30% untuk semua kategori kota.

$$\text{Nilai kebocoran} = 20\% \times (Q_d + Q_{nd}) \quad (9)$$

Sehingga total kebutuhan air dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_{\text{total}} = Q_d + Q_{nd} + \text{Nilai kebocoran} \quad (10)$$

d. Kebutuhan Pipa Transmisi dan Distribusi

Berdasarkan Dirjen Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum tahun 2000 kebutuhan air untuk pipa transmisi, kebutuhan air rata-rata dikalikan dengan faktor hari puncak sebesar 1,1. Kebutuhan air untuk pipa distribusi dikalikan dengan faktor jam puncak yaitu 1,5.

RESERVOIR

Reservoir merupakan bangunan yang berfungsi menampung air sementara dari pipa transmisi sebelum disalurkan ke pipa distribusi. Perhitungan volume kebutuhan *reservoir* berdasarkan debit kebutuhan pada jam puncak dengan dialiri penuh selama 24 jam dengan rumus:

$$\text{Prosentase Vol. Reservoir} = \frac{(\text{Surplus air} + \text{Defisit air})}{2} \quad (11)$$

$$\text{Vol. Reservoir} = \text{Prosentase vol.} \times Q_{\text{Keb.}} \times \text{Waktu Pengaliran}$$

PERHITUNGAN DIMENSI

Perhitungan dimensi pada perencanaan pipa air bersih menggunakan rumus :

$$Q = A \times V \quad (12)$$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (13)$$

$$D = \sqrt[2,63]{\frac{(1,67)(C)I^{0,54}}{Q}} \quad (14)$$

Kehilangan tinggi tekanan dihitung menggunakan rumus:

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \quad (15)$$

Tinggi energi diperhitungkan berdasarkan rumus Bernoulli:

$$H_1 + \frac{v^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = H_2 + \frac{v^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + h_f \quad (16)$$

Keterangan:

Q = Debit pada pipa (m^3/dt)

D = Diameter dalam pipa (m)

A = Luas Penampang (m^2)

V = Kecepatan Aliran (m/dt)

h_f = Kehilangan energi (m)

$H_{1,2}$ = Elevasi Pipa (m)

- P = Tekanan air (kg/m³)
- γ = berat jenis air (1000 kg/m³)
- I = Gradien Hidraulik (m)
- C = Koefisien gesekan pipa

ANALISA BIAYA

Pada pembangunan suatu proyek dibutuhkan berbagai macam biaya. Biaya-biaya tersebut dikelompokkan menjadi beberapa komponen untuk mempermudah perhitungan, yaitu biaya modal dan biaya tahunan. Biaya modal merupakan biaya yang dikeluarkan mulai dari perencanaan hingga bangunan tersebut jadi. Sedangkan biaya tahunan merupakan biaya yang dikeluarkan setelah pembangunan selesai, yang termasuk di dalamnya biaya operasional dan pemeliharaan.

ANALISA MANFAAT

Analisa manfaat merupakan perhitungan biaya manfaat dari berdirinya bangunan tersebut. Dalam perhitungan ini dilakukan analisa terhadap manfaat langsung.

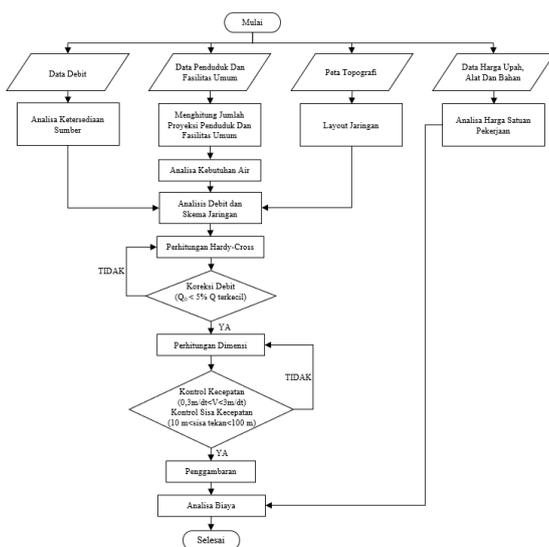
ANALISA KELAYAKAN

Analisa kelayakan dilakukan dengan pendekatan ekonomi teknik menggunakan *Benefit Cost Ratio* (BCR). BCR merupakan perbandingan antara nilai sekarang dari manfaat dan nilai sekarang dari biaya yang dihitung dengan persamaan (I Nyoman Pujana, 1995:259):

$$BCR = \frac{PV \text{ Manfaat}}{PV \text{ Biaya}} \tag{17}$$

Bagan Alir Penelitian

Berikut diagram alir dari perencanaan jaringan pipa air bersih Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro:



Gambar 1. Diagram Alir Perencanaan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN
PROYEKSI PERTUMBUHAN PENDUDUK

Proyeksi penduduk dihitung untuk mengetahui besarnya jumlah penduduk pada tahun perencanaan yaitu 15 tahun.

a. Rasio Pertumbuhan Penduduk

Perhitungan rasio dilakukan menggunakan rumus no. 4 dan sebagai contoh perhitungan pertumbuhan penduduk di Desa Setren:

Jumlah penduduk tahun b = tahun 202 = 3701 jiwa

Jumlah penduduk tahun a = tahun 202 = 3708 jiwa

$$r = \frac{\Sigma \text{ penduduk tahun } b - \Sigma \text{ penduduk tahun } a}{\Sigma \text{ penduduk tahun } a} \times 100 \%$$

$$= \frac{3701 - 3708}{3708} \times 100 \% = -0,189 \%$$

Rasio penduduk dihitung setiap tahunnya dan dihitung rata rata pertumbuhan untuk setiap desa. Rasio rata-rata setiap desa pada Kecamatan Ngasem ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Rasio rata-rata setiap desa

| No | Desa | Rasio rata-rata |
|----|--------------|-----------------|
| 1 | Setren | 1,244% |
| 2 | Trenggulunan | -2,259% |
| 3 | Butoh | -0,215% |
| 4 | Kolong | 0,358% |
| 5 | Mediyunan | 0,517% |
| 6 | Ngadiluwih | 0,782% |
| 7 | Sendangharjo | 0,319% |
| 8 | Ngasem | 1,805% |
| 9 | Bandungrejo | 1,295% |
| 10 | Dukohkidul | 0,260% |
| 11 | Sambong | 0,480% |
| 12 | Ngantru | -0,472% |
| 13 | Tengger | -1,07% |
| 14 | Wadang | 0,588% |
| 15 | Jampet | 0,056% |
| 16 | Jelu | 2,979% |
| 17 | Bareng | 1,649% |

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari rasio rata-rata selanjutnya digunakan untuk menghitung proyeksi penduduk Kecamatan Ngasem selama 15 tahun kedepan berdasarkan metode perhitungan proyeksi penduduk dengan standar deviasi yang terkecil. Dalam perhitungan pada Kecamatan Ngasem didapatkan standar deviasi terkecil pada metode aritmatika dengan hasil seperti ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Proyeksi Penduduk

| No | Desa | Jumlah Penduduk | |
|----|--------------|-----------------|-------------|
| | | 2022 (Jiwa) | 2037 (Jiwa) |
| 1 | Setren | 4125 | 4895 |
| 2 | Trenggulunan | 2381 | 1697 |

| No | Desa | Jumlah Penduduk | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| | | 2022 (Jiwa) | 2037 (Jiwa) |
| 3 | Butoh | 3498 | 3387 |
| 4 | Kolong | 3366 | 3547 |
| 5 | Mediyunan | 2817 | 3036 |
| 6 | Ngadiluwih | 2801 | 3130 |
| 7 | Sendangharjo | 4137 | 4336 |
| 8 | Ngasem | 4542 | 5772 |
| 9 | Bandungrejo | 3479 | 4155 |
| 10 | Dukohkidul | 3532 | 3670 |
| 11 | Sambong | 1410 | 1512 |
| 12 | Ngantru | 2860 | 2665 |
| 13 | Tengger | 1330 | 1134 |
| 14 | Wadang | 6867 | 7473 |
| 15 | Jampet | 3328 | 3356 |
| 16 | Jelu | 4460 | 6454 |
| 17 | Bareng | 7076 | 8827 |
| Total | | 62009 | 69046 |

Sumber: Hasil Perhitungan

KEBUTUHAN AIR BERSIH

a. Kebutuhan Domestik

Berdasarkan Tabel Kriteria Kebutuhan Air Domestik Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Cipta Karya tahun 2000 jumlah penduduk kurang dari 20.000 jiwa pada setiap desa sehingga termasuk kategori desa dengan kebutuhan air bersih sebesar 80 l/o/h, perbandingan SR:HU yaitu 70:30 dengan kebutuhan HU sebesar 30 l/o/h, tingkat pelayanan 80%. Berikut contoh perhitungan kebutuhan air domestik pada Desa Setren:

Jumlah penduduk = 4895 jiwa

Penduduk terlayani = 4895 x 80% = 3916 jiwa

Kebutuhan SR = 3916 jiwa x 80 l/o/h x 70% = 219296 l/h

Kebutuhan HU = 3916 jiwa x 30 l/o/h x 30% = 35244 l/h

Total Kebutuhan SR + HU = 219296 l/h + 35244 l/h
= 254540 l/h = 0,003 m³/dt

Berikut merupakan hasil perhitungan kebutuhan air domestik pada Kecamatan Ngasem.

Tabel 3. Kebutuhan Air Domestik

| Desa | Pend. Terlayani (Jiwa) | Keb. SR (l/h) | Keb. HU (l/h) | Total Keb. Air (l/dt) |
|--------------|------------------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Setren | 3916 | 219296 | 35244 | 2,946 |
| Trenggulunan | 1358 | 76048 | 12222 | 1,022 |
| Butoh | 2710 | 151760 | 24390 | 2,039 |
| Kolong | 2838 | 158928 | 25542 | 2,135 |
| Mediyunan | 2429 | 136024 | 21861 | 1,827 |

| Desa | Pend. Terlayani (Jiwa) | Keb. SR (l/h) | Keb. HU (l/h) | Total Keb. Air (l/dt) |
|--------------------------------------|------------------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Ngadiluwih | 2504 | 140224 | 22536 | 1,884 |
| Sendangharjo | 3469 | 194264 | 31221 | 2,610 |
| Ngasem | 4618 | 258608 | 41562 | 3,474 |
| Bandungrejo | 3324 | 186144 | 29916 | 2,501 |
| Dukohkidul | 2936 | 164416 | 26424 | 2,209 |
| Sambong | 1210 | 67760 | 10890 | 0,910 |
| Ngantru | 2132 | 119392 | 19188 | 1,604 |
| Tengger | 908 | 50848 | 8172 | 0,683 |
| Wadang | 5979 | 334824 | 53811 | 4,498 |
| Jampet | 2685 | 150360 | 24165 | 2,020 |
| Jelu | 5164 | 289184 | 46476 | 3,885 |
| Bareng | 7062 | 395472 | 63558 | 5,313 |
| Jumlah Kebutuhan Air Domestik | | | | 41,559 |

Sumber: Hasil Perhitungan

b. Kebutuhan Non Domestik

Kebutuhan non domestik dihitung dengan dasar fasilitas yang ada pada Kecamatan Ngasem pada tahun 2022 dan diproyeksi selama 15 tahun. Berikut contoh proyeksi fasilitas umum masjid pada Kecamatan Ngasem:

$$\frac{\text{Jumlah penduduk 2037}}{\text{Jumlah penduduk 2022}} = \frac{\text{Fasilitas tahun 2037}}{\text{Fasilitas tahun 2022}}$$

$$\frac{3670}{3532} = \frac{\text{Fasilitas tahun 2037}}{5} = 6 \text{ unit}$$

Berikut hasil perhitungan kebutuhan non domestik pada Kecamatan Ngasem:

Tabel 4. Kebutuhan Non Domestik

| DESA | JUMLAH (lt/dt) |
|--------------|----------------|
| Setren | 1,0362 |
| Trenggulunan | 0,7161 |
| Butoh | 0,8162 |
| Kolong | 1,0216 |
| Mediyunan | 0,8277 |
| Ngadiluwih | 0,9209 |
| Sendangharjo | 1,2838 |
| Ngasem | 2,3052 |
| Bandungrejo | 0,9314 |
| Dukohkidul | 1,2267 |
| Sambong | 0,7648 |
| Ngantru | 0,8948 |
| Tengger | 0,4920 |
| Wadang | 1,5944 |
| Jampet | 1,0750 |
| Jelu | 1,3678 |

| DESA | JUMLAH (lt/dt) |
|--------------|----------------|
| Bareng | 1,7635 |
| Total | 19,0382 |

Sumber: Hasil Perhitungan

c. Kehilangan Air

Kehilangan air dihitung dengan mengalikan jumlah kebutuhan air dan faktor kebocoran pipa sebesar 20% sesuai dengan Kriteria Kebutuhan air Departemen PU Dirjen Cipta Karya tahun 2000.

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan air} &= (Q_d + Q_{nd}) \times \text{faktor kehilangan air} \\ &= (2,9461 + 1,0362) \times 20\% = 0,7964 \text{ l/dt} \end{aligned}$$

Tabel 5. Kehilangan Air

| Desa | Kebocoran air (lt/dt) |
|---------------|-----------------------|
| Setren | 0,7964 |
| Trenggulunan | 0,3476 |
| Butoh | 0,5710 |
| Kolong | 0,6313 |
| Mediyunan | 0,5310 |
| Ngadiluwih | 0,5609 |
| Sendangharjo | 0,7787 |
| Ngasem | 1,1559 |
| Bandungrejo | 0,6864 |
| Dukohkidul | 0,6871 |
| Sambong | 0,3350 |
| Ngantru | 0,4998 |
| Tengger | 0,2350 |
| Wadang | 1,2185 |
| Jampet | 0,6190 |
| Jelu | 1,0505 |
| Bareng | 1,4153 |
| Jumlah | 12,1195 |

Sumber: Hasil Perhitungan

d. Kebutuhan Pipa Transmisi dan Distribusi

Kebutuhan pipa transmisi merupakan kebutuhan pipa dari sumber air ke *reservoir*. Sedangkan kebutuhan pipa distribusi merupakan kebutuhan pipa dari *reservoir* menuju daerah pelayanan. Berdasarkan Dirjen Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum tahun 2000 untuk kebutuhan pipa transmisi total kebutuhan air dikalikan dengan faktor hari puncak sebesar 1,1 dan dikalikan faktor jam puncak sebesar 1,5 untuk kebutuhan pipa distribusi. Contoh perhitungan kebutuhan air pipa transmisi dan distribusi Desa Setren:

$$\begin{aligned} \text{Pipa Transmisi} &= \text{Total keb. air} \times \text{Faktor hari puncak} \\ &= 4,7787 \times 1,1 = 5,2565 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pipa Distribusi} &= \text{Total keb. air} \times \text{Faktor jam puncak} \\ &= 4,7787 \times 1,5 = 7,16802 \text{ lt/dt} \end{aligned}$$

Tabel 6. Kebutuhan Pipa Transmisi dan Distribusi

| Desa | Keb. Transmisi (lt/dt) | Keb. Distribusi (lt/dt) |
|--------------|------------------------|-------------------------|
| Setren | 5,2565 | 7,16802 |
| Trenggulunan | 2,2939 | 3,12802 |
| Butoh | 3,7686 | 5,13896 |
| Kolong | 4,1668 | 5,68198 |
| Mediyunan | 3,5047 | 4,77917 |
| Ngadiluwih | 3,7023 | 5,04854 |
| Sendangharjo | 5,1395 | 7,00844 |
| Ngasem | 7,6288 | 10,4029 |
| Bandungrejo | 4,5304 | 6,17781 |
| Dukohkidul | 4,5348 | 6,18385 |
| Sambong | 2,2111 | 3,0151 |
| Ngantru | 3,2984 | 4,49781 |
| Tengger | 1,5512 | 2,11521 |
| Wadang | 8,0421 | 10,9665 |
| Jampet | 4,0854 | 5,57094 |
| Jelu | 6,9336 | 9,4549 |
| Bareng | 9,3408 | 12,7375 |
| Total | 79,9888 | 109,076 |

Sumber: Hasil Perhitungan

RESERVOIR

Perhitungan volume *reservoir* berdasarkan debit saat jam puncak dengan dialiri selama 24 jam penuh:

$$\begin{aligned} \text{Prosentase Volume Reservoir} &= \frac{(\text{Surplus air} + \text{Defisit air})}{2} \\ &= \frac{(28,00\% + 28,00\%)}{2} \\ &= 28,00\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Reservoir} &= \text{Prosentase vol.} \times Q \text{ keb.} \times \text{Waktu pengaliran} \\ &= 28,00\% \times 0,1091 \text{ m}^3/\text{dt} \times 3600\text{dt} \\ &= 109,948 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga volume *reservoir* yang digunakan yaitu 7 m x 7 m x 3 m dengan volume sebesar 147 m³.

LAY OUT JARINGAN

Berikut merupakan *lay out* jaringan pipa pada Kecamatan Ngasem:



Gambar 2. Lay Out Jaringan Pipa Kecamatan Ngasem
ANALISA HIDROLIKA

Analisa hidrolika diperhitungkan untuk mendapatkan dimensi pipa yang akan digunakan pada jaringan.

Dimensi Pipa

Contoh perhitungan dimensi pada node 1-2:

Diketahui:

- Elevasi Tanah Hulu = 154,330
- Elevasi Tanah Hilir = 152,059
- Panjang Pipa (m) = 227,723 m
- Debit Air (liter/dt) = 79,989 lt/dt = 0,8000 m³/dt

Langkah perhitungan dimensi:

$$\begin{aligned} \text{Diameter Hitung (m)} &= \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times i^{0,54}} \right)^{1/2,63} \\ &= \left(\frac{0,0800}{0,2785 \times 140 \times 0,0096^{0,54}} \right)^{1/2,63} \\ &= 0,247 \text{ m} \times 1000 = 245,565 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan nilai kemiringan hidrolis (i) sebagai berikut:

$$\text{Kemiringan Hidrolis (i)} = \frac{hf}{L} = \frac{2,194}{227,723} = 0,0096$$

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan Energi (Hf)} &= \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{0,1091}{0,2785 \times 140 \times 0,247^{2,63}} \right)^{1,85} \times 227,723 \\ &= 2,194 \text{ m} \end{aligned}$$

Elevasi Tinggi Energi Hulu (dikarenakan elevasi tinggi energi hulu pada node 1-2 sama dengan elevasi muka air, contoh perhitungan menggunakan node 2-3)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Energi Hulu} &= h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma_w} \\ &= 151,059 + \frac{1,7^2}{2 \times 9,81} + \frac{0,935}{1} = 152,136 \text{ m} \end{aligned}$$

Nilai V diperoleh dari hasil perhitungan:

$$Q = V \times A$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,8000}{0,0478} = 1,7 \text{ m/dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Energi Hilir} &= h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf \\ &= 151,059 + \frac{1,7^2}{2 \times 9,81} + 2,194 \\ &= 153,395 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisa Tekan} \left(\frac{P_2}{\gamma} \right) &= \text{Elevasi T. Energi Hulu - Hilir} \\ &= 154,330 - 153,395 = 0,935 \text{ m} \end{aligned}$$

Keterangan = Diperlukan pompa dikarenakan sisa tekan 0,935 m tidak memenuhi syarat $10 < 0,935 < 100$

Ditambahkan pompa dengan head 70 m sehingga sisa tekan sebesar 70,934 dan memenuhi persyaratan.

$$\begin{aligned} \text{Kontrol Kec. (V)} &= V_{\min} < V_{\text{hitung}} < V_{\max} \\ &= 0,03 < \frac{Q}{A} < 3 \\ &= 0,03 < 1,7 < 3 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol Debit dalam pipa} &= A \times V = 0,0478 \times 1,7 \\ &= 0,0800 \end{aligned}$$

Nilai Q control = Q hitung (OK)

Sisa tekan dan kecepatan yang dihitung memenuhi persyaratan. Pada perencanaan dipergunakan pipa HDPE dengan SDR17 (PN10) sehingga dimensi yang digunakan sesuai dengan hasil perhitungan:

Tabel 7. Dimensi Pipa

| Node | Ø Pipa (mm) | Panjang Pipa (m) |
|-------------------|-------------|------------------|
| Transmisi | 280 | 646,118 |
| Distribusi | 280 | 7845,726 |
| | 250 | 3533,888 |
| | 200 | 11381,198 |
| | 125 | 3245,629 |
| | 110 | 4714,219 |
| | 90 | 11680,523 |
| | 75 | 544,343 |

Sumber : Hasil Perhitungan

ANALISA BIAYA

a. Biaya Modal

Analisa modal merupakan biaya mulai dari sebelum proyek dimulai hingga bangunan selesai yang selanjutnya biaya modal akan dikalikan dengan faktor konversi sesuai tahun dengan bunga 6%.

Tabel 7. Biaya Modal

| No | Uraian Pekerjaan | Jumlah Harga |
|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| A Pekerjaan Pipa | | |
| 1 | Pekerjaan Persiapan | Rp 195.534.584,23 |
| 2 | Pekerjaan Tanah | Rp 2.494.904.630,52 |
| 3 | Pemasangan Pipa | Rp 19.127.154.198,92 |
| 4 | Pemasangan Aksesoris Pipa | Rp 352.481.500,00 |
| B Pekerjaan Reservoir | | |
| 1 | Pekerjaan Persiapan | Rp 546.970,29 |

| No | Uraian Pekerjaan | Jumlah Harga |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 2 | Pekerjaan Tanah | Rp 3.085.552,93 |
| 3 | Pekerjaan Beton Bertulang | Rp 351.337.832,10 |
| 4 | Pekerjaan lain-lain | Rp 23.743.065,08 |
| C Pekerjaan Rumah Pompa | | |
| 1 | Pekerjaan Persiapan | Rp 4.422.849,35 |
| 2 | Pekerjaan Tanah | Rp 47.006.388,00 |
| 3 | Pekerjaan Pondasi | Rp 750.607.426,65 |
| 4 | Pekerjaan Struktur Atas | Rp 1.070.069.536,07 |
| 5 | Pekerjaan Atap | Rp 202.656.690,71 |
| Total Biaya | | Rp 24.623.551.224,85 |
| PPN 10% | | Rp 2.462.355.122,48 |
| Jumlah Biaya | | Rp 27.085.906.347,33 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Total rencana anggaran biaya untuk pembangunan jaringan pipa air bersih Kecamatan Ngasem sebesar: Rp 27.085.906.347,33

Contoh perhitungan konversi biaya modal:

Tahun = 2024 (konstruksi selesai pada tahun ke 2)

Faktor koreksi = 1,1236

Biaya pertahun = Rp 27.085.906.347,33 x 1,1236
= Rp. 30.433.724.371,86

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Pada perencanaan jaringan pipa air bersih, biaya operasional dan pemeliharaan terdiri dari biaya gaji pegawai dan biaya pemeliharaan dan perbaikan. Biaya O&P yang dikeluarkan setiap tahunnya dihitung dengan mengalikan faktor konversi bunga 6%.

Berikut contoh perhitungan konversi biaya operasional dan pemeliharaan:

Tahun = 2037 (tahun ke 15)

Faktor Konversi = (P/F, 6, 1) = 0,943396
(P/A, 6,15) = 9,712249

Biaya O&P = Rp. 292.000.000,00 x 0,943396 x 9,712249
= RP. 505.047.761,81

c. Total Biaya

Total biaya merupakan jumlah dari biaya modal dan biaya operasional dan pemeliharaan setiap tahunnya yang telah dikonversikan dengan faktor konversi yang sesuai dengan bunga. Contoh perhitungan biaya total:

Biaya total th ke 15 = Biaya modal + Biaya O&P
= Rp. 64.912.945.543,95 + Rp. 505.047.761,81
= Rp 67.588.394.626,37

ANALISA MANFAAT

1. Biaya Total Tahunan = Biaya Konst. + Biaya O&P
= Rp. 30.433.724.371,86 + Rp. 505.047.761,81
= Rp. 30.938.772.133,67

2. Kebutuhan air = 109,076 m³/dt x 3600 x 24 x 365
= 3.439.808,91 m³/tahun

3. Kehilangan air = 0,01211 m³/dt x 3600 x 24 x 365
= 382.200,99 m³/tahun

4. (P/F, 6, 1) = 0,943396

5. (P/A, 6,15) = 9,712249

6. Harga air = $\frac{\text{Biaya Total Tahunan}}{(\text{Kebutuhan Air} - \text{Kehilangan Air}) \times \text{Faktor konversi}}$
= $\frac{\text{Rp.30.938.772.133,67}}{(3.439.808,91 - 382.200,99) \times 0,943396 \times 9,712249}$
= Rp. 1.104,35/m³

7. Manfaat = ((Keb. air – Kehilangan air) x factor konversi) x harga air
= ((3.439.808,91 - 382.200,99) x 0,943396 x 9,712249) x 1.104,35
= Rp. 3.376.675.787,94

ANALISA KELAYAKAN

Pada perhitungan BCR masing-masing komponen biaya dan manfaat dijadikan nilai sekarang untuk mempermudah perhitungan. Tingkat suku bunga yang digunakan adalah 6% dengan usia perencanaan adalah 15 tahun (2023-2037). Berikut langkah perhitungan BCR untuk perencanaan jaringan pipa Kecamatan Ngasem:

1. Total biaya konstruksi = Rp. 27.085.906.347,33
Faktor Konversi (F/P,6,2) = 1,1236

Nilai sekarang biaya kons. = Rp. 30.433.724.371,86

2. Total biaya O&P = Rp. 292.000.000,00

Faktor Konversi (P/F,6,1) = 0,943396

Faktor Konversi (P/A,6,2) = 1,833393

Nilai sekarang biaya O&P = Rp. 505.047.761,81

Total biaya sekarang = Biaya konstruksi + Biaya OP
= 30.433.724.371,86 + 505.047.761,81
= Rp. 30.938.772.133,67

3. Total manfaat = Rp. 3.376.675.787,94

Faktor konversi (P/A,6,15) = 9,712249

Faktor konversi (P/F,6,1) = 0,943396

Nilai sekarang manfaat = Rp. 30.938.772.133,67

Sehingga:

BCR = $\frac{\text{PV dari Manfaat}}{\text{PV dari Biaya}} = \frac{\text{Rp.30.938.772.133,67}}{\text{Rp.30.938.772.133,67}} = 1$

Nilai B/C =1 maka artinya perencanaan ini dapat dikatakan layak secara ekonomi dengan harga air sebesar Rp. 1.104,35/m³

4. KESIMPULAN

1. Jumlah penduduk Kecamatan Ngasem pada tahun 2037 sebanyak 69.046 jiwa.
2. Debit yang dibutuhkan untuk mengaliri Kecamatan Ngasem pada tahun 2037 sebesar 109,0756 l/dt.
3. *Reservoir* yang digunakan untuk mengaliri 17 desa di Kecamatan Ngasem sebesar 7 m x 7 m x 3 m terletak di Desa Setren.
4. Pipa yang digunakan pada jaringan pipa transmisi dan distribusi yaitu jenis pipa HDPE SDR 17(PN 10) dengan diameter nominal 10 inci, 8 inci, 5 inci, 4 inci, dan 3 inci.
5. Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan jaringan pipa air bersih Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro sebesar Rp. 27.085.906.347,33 dengan harga air Rp. 1.104,35/m³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kumparan.com, "8 Desa di Bojonegoro Alami Kekeringan dan Krisis Air Bersih", 8 September 2021.
- [2] Ditjen Cipta Karya, "Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU", 2000.
- [3] Adioetomo SM dan Samosir OB, *Dasar-dasar Demografi edisi 2*. Jakarta: Penerbit Salemba Empat, 2010.
- [4] Pujawan, I. N. P. *Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Liberty, 1995.