

PERENCANAAN JARINGAN PIPA DISTRIBUSI AIR BERSIH KECAMATAN TAMBAKREJO KABUPATEN BOJONEGORO

Khoirun Ni'mah¹, Winda Harsanti², Medi Efendi³,

Mahasiswa Prodi Manajemen Rekayasa Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: khoirun060101@gmail.com¹, winda.harsanti@polinema.ac.id², medipolinema@gmail.com³

ABSTRAK

Kecamatan Tambakrejo terletak di Kabupaten Bojonegoro dengan jumlah penduduk sebanyak 55.512 jiwa pada tahun 2022 yang tersebar di 18 desa. Permasalahan utama di Kecamatan Tambakrejo, yaitu terjadinya krisis air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan jaringan pipa air bersih, analisis aspek hidrolis pipa, rumah pompa, reservoir, rencana anggaran biaya, hingga nilai harga jual air. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan metode aritmatika, geometri, dan eksponen yang dihitung selama lima belas tahun ke depan untuk menentukan proyeksi jumlah penduduk dan menggunakan metode Hazzen-William untuk perhitungan analisis hidrolika. Data yang diperlukan dalam perencanaan ini antara lain adalah peta topografi, data debit sumber mata air, data jumlah penduduk dan fasilitas umum, dan harga satuan pokok kegiatan (HSPK) Kabupaten Bojonegoro tahun 2022.

Hasil perhitungan proyeksi jumlah penduduk Kecamatan Tambakrejo pada tahun 2037 diperoleh sebanyak 60.073 jiwa. Besarnya debit air yang diperlukan untuk 18 desa sebesar 90,664 lt/dt dengan debit andalan sebesar 92 lt/dt yang diperoleh dari sumber Ngrambah di Desa Ngrancang. Setelah melakukan perhitungan dan perencanaan, masalah krisis air bersih dapat diatasi dengan pengadaan instalasi jaringan pipa air bersih. Jaringan pipa direncanakan menggunakan pipa HDPE SDR 17 (PN 10) dengan diameter 4" – 12". Dimensi reservoir yang diperlukan 7 m x 6 m x 2,5 m dengan total rencana anggaran biaya sebesar Rp27.122.677.089,00. Rencana nilai harga jual air sebesar Rp1.475,00 per m³ dengan hasil analisis kelayakan dikatakan layak dengan nilai BCR (*Benefit Cost Ratio*) 1,0012 dan nilai *Net Benefit* sebesar Rp337.490.446,71.

Kata kunci : Kecamatan Tambakrejo; Jaringan pipa; Dimensi pipa; Harga jual air

ABSTRACT

Tambakrejo District is located in Bojonegoro Regency with a population of 55,512 people in 2022 spread across 18 villages. The main problem in Tambakrejo District is the clean water crisis. This research aims to plan a clean water pipeline network, analyze the hydraulic aspects of the pipes, house of pump, reservoir, budget estimate plan, and determine the selling price of water. The method used in this study is quantitative with arithmetic, geometric, and exponential methods calculated for the next fifteen years to determine population projections and using the Hazzen-William method for hydraulic analysis calculations. The data required for this planning includes topographic maps, water source flow data, population data, data on public facilities, and the unit price of activities for Bojonegoro Regency in the year 2022.

The results of the population projection calculation for Tambakrejo District in the year 2037 show a population of 60,073 people. The required water discharge for the 18 villages is 90,664 liters per day, with a dependable discharge of 92 liters per day obtained from the Ngrambah source in Ngrancang Village. After conducting the calculations and planning, the problem of the clean water crisis can be addressed by establishing a pipeline network. The planned pipeline network will use HDPE SDR 17 (PN 10) pipes with diameters ranging from 4" to 12". The required reservoir dimensions are 7 m x 6 m x 2.5 m, with a total budget plan of IDR27.122.677.089,00. The planned selling price for water is IDR1.475,00 per m³, and the feasibility analysis indicates that the project is viable with a Benefit-Cost Ratio (BCR) of 1.0012 and a Net Benefit value of IDR337.490.446,71.

Keywords : Tambakrejo Regency; Pipeline network; Dimension of pipe; Selling price of water

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Tambakrejo merupakan salah satu dari dua puluh delapan kecamatan yang ada pada Kabupaten Bojonegoro, dengan luas wilayah sebesar 209,52 km² dan dengan jumlah penduduk sebanyak 56,366 jiwa. (Sumber : <https://data.bojonegorokab.go.id/>, 2023).

Ketersediaan air yang ada saat ini sudah jauh lebih berkurang jika dibandingkan beberapa tahun lampau. Hal ini dipicu oleh berbagai macam faktor, seperti berkurangnya lahan hijau yang digunakan sebagai daerah resapan air yang sudah beralih fungsi menjadi pemukiman dan bangunan-bangunan lain. Selain itu berkurangnya ketersediaan air juga dipicu oleh tingginya pertambahan jumlah penduduk pada setiap tahunnya yang mengakibatkan semakin tingginya permintaan akan kebutuhan penggunaan air bersih.

Selain dua faktor yang sudah disebutkan, musim panas yang berkepanjang dalam beberapa dekade ini juga membuat banyak wilayah di Indonesia mengalami kekurangan ketersediaan air bersih yang ada dan bahkan ada beberapa wilayah di Indonesia sampai mengalami kekeringan. Salah satu wilayah yang terdampak adalah Kabupaten Bojonegoro. Salah satu wilayah yang terdampak adalah Kecamatan Tambakrejo. Masyarakat pada Kecamatan Tambakrejo banyak mengeluhkan kurangnya ketersediaan air dikarenakan beberapa sumur warga sudah mengering.

Berdasarkan data di atas, angka kebutuhan air bersih meingkat di setiap tahunnya, maka perlu adanya peningkatan dan pengoptimalan fasilitas-fasilitas pelayanan penunjang ketersediaan air bersih yang ada. Oleh karena itu dituliskanlah karya ilmiah yang berjudul “Perencanaan Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Kecamatan Tambakrejo Kabupaten Bojonegoro” yang berupaya untuk merencanakan sistem jaringan pipa distribusi air bersih yang efektif agar tingkat pelayanan kepada masyarakat juga meningkat.

2. METODE

KEBUTUHAN AIR BERSIH

a. Proyeksi Jumlah Penduduk

Kebutuhan air minum pada suatu daerah pelayanan ditentukan berdasarkan jumlah penduduk dan tingkat konsumsi air. Untuk menentukan rasio pertumbuhan penduduk digunakan rumus sebagai berikut:

$$r_{a-b} = \frac{\text{jumlah penduduk tahun b} - \text{jumlah penduduk tahun a}}{\text{jumlah penduduk tahun a}} \quad (1)$$

Untuk menentukan penerapan perencanaan secara sistematis data jumlah penduduk yang digunakan adalah data jumlah penduduk dengan jangka waktu 10 tahun terakhir.

Pertambahan penduduk pada tahun rencana dianalisis menggunakan beberapa metode yaitu Metode Aritmatika, Geometrik dan Eksponensial, dengan persamaan:

- Metode aritmatika

$$P_t = P_o (1 + n \cdot r) \quad (2)$$

- Metode geometrik

$$P_t = P_o (1 + r)^n \quad (3)$$

- Metode eksponensial

$$P_t = P_o \cdot e^{r \cdot n} \quad (4)$$

Keterangan:

P_t = Jumlah penduduk pada akhir periode t (orang)

P_o = jumlah penduduk pada awal periode t (orang)

n = Jangka waktu atau tahun proyeksi

r = Tingkat pertumbuhan penduduk

Kemudian dari ketiga metode tersebut dipilih metode yang memiliki nilai standar deviasi terkecil, yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

SD = standar deviasi

X = data ke-n

\bar{X} = nilai rata-rata seluruh data

b. Kebutuhan Air Domestik (Qd)

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air yang digunakan untuk keperluan rumah tangga yaitu untuk keperluan minum, memasak, mandi, mencuci pakaian serta keperluan lainnya.

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

SR = penduduk terlayani x konsumsi SR x prosen SR (7)

HU = penduduk terlayani x konsumsi HU x prosen HU (8)

Keterangan:

Qd = Kebutuhan Domestik (m³/dt)

SR = Sambungan Rumah (lt/hr)

HU = Hidran Umum (lt/hr)

c. Kebutuhan Air NonDomestik (Qnd)

Standar kebutuhan air non domestik adalah kegiatan penunjang kota, terdiri dari kegiatan komersial berupa industri, perkantoran dan lain-lain. Selain itu kebutuhan non domestik juga dipengaruhi oleh kegiatan sosial seperti sekolah, rumah sakit dan tempat ibadah. Kebutuhan dasar fasilitas dihitung sesuai dengan peraturan kriteria Perencanaan Dirjen Cipta Karya DPU. Rumus perhitungan proyeksi fasilitas umum adalah:

$$\frac{\text{fasilitas tahun ke-n}}{\text{fasilitas tahun awal}} = \frac{\text{penduduk tahun ke-n}}{\text{penduduk tahun awal}} \quad (9)$$

Setelah memperoleh jumlah fasilitas umum pada tahun rencana, untuk mengetahui besar kebutuhan non domestik dilakukan dengan mengalikan jumlah fasilitas umum pada tahun rencana dengan faktor pengali yang sudah ditentukan pada Dirjen Cipta Karya DPU, diantaranya sebagai berikut:

Tabel 1 Kebutuhan Air Non Domestik pada Fasilitas Umum

No	Saran dan Prasarana	Nilai	Satuan
1	Masjid	3000	lt/unit/hari
2	Gereja	1000	lt/unit/hari
3	Pasar	12000	lt/hektar/hari
4	Rumah sakit	200	lt/orang/hari
5	Puskesmas	2000	lt/unit/hari
6	Sekolah	5	lt/orang/hari

d. Kebutuhan Air Total (Qtot)

Kebutuhan air total merupakan kebutuhan air yang dibutuhkan secara keseluruhan dalam suatu wilayah, diperoleh dari penjumlahan kebutuhan air domestik, non domestik dan kehilangan air untuk sistem baru sebesar 20% dari total kebutuhan domestik dan non domestik berdasarkan SNI 6728 : 2015.

Untuk kebutuhan transmisi, nilai kebutuhan yang sudah ditambah dengan kehilangan air dikalikan dengan faktor harian maksimal yang bernilai 1,1. Dan untuk kebutuhan distribusi, nilai kebutuhan yang sudah ditambah kehilangan air dikalikan dengan faktor jam puncak yang bernilai 1,5.

$$Q_{tot} = Q_d + Q_{nd} + Q_{ha} \quad (10)$$

Keterangan:

Q_{tot} = Kebutuhan air total (m^3/dt)

Q_d = Kebutuhan air domestik (m^3/dt)

Q_{nd} = Kebutuhan air non domestik (m^3/dt)

Q_{ha} = Kehilangan air (m^3/dt)

ANALISIS HIDROLIKA

Menurut Permen PU No.18 Tahun 2007, Jaringan Pipa Transmisi Air Baku adalah ruas pipa pembawa air dari sumber air sampai unit produksi. Sedangkan, jaringan pipa distribusi adalah ruas pipa pembawa air dari bak penampung *reservoir* sampai unit pelayanan.

Pada perhitungan perencanaan digunakan berbagai metode yang dapat dibenarkan. Pada perhitungan hidrolika digunakan persamaan:

$$Q = 1,67 \times c \times D^{2,68} \times i^{0,54} \times 1000 \quad (11)$$

$$D = \sqrt[2,68]{\frac{1,67 \times c \times i^{0,54}}{Q}} \quad (12)$$

$$V = Q / A \quad (13)$$

Keterangan:

Q = debit aliran (m^3/dt)

C = koefisien Hazzen William

D = diameter pipa (m)

I = kemiringan hidrois

v = kecepatan aliran (m^2/dt)

Kehilangan tenaga dalam pipa digunakan persamaan Hazen – William sebagai berikut:

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,2875 \times c \times D^{2,68}} \right)^{1,85} \times L \quad (14)$$

$$H_m = K \frac{v^2}{2g} \quad (15)$$

Besarnya *minor losses* diakibatkan adanya *fitting* di jaringan yang mempengaruhi nilai K . Menurut Victor L. Streeter *minor losses* dapat diabaikan jika nilai $L/D > 1000$.

Kehilangan tinggi energi antara dua penampang berdasarkan persamaan Bernoulli adalah:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + H_{f_{tot}} + h_2 \quad (16)$$

Keterangan:

H = tinggi elevasi (m)

P = tinggi tekan (m)

γ = berat jenis air (kg/m^3)

v = kecepatan aliran air (m/dtk)

L = panjang pipa (m)

K = koefisien kehilangan tinggi tekan minor

g = percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

H_f = kehilangan tinggi tekanan mayor antara titik A-B (m)

H_m = kehilangan tinggi tekanan minor antara titik A-B (m)

RESERVOIR

Desain *reservoir* haruslah dapat menampung debit air yang dibutuhkan dan harus memperhatikan tekanan air yang masuk dan keluar dari *reservoir*. Kapasitas *reservoir* harus sesuai dengan kebutuhan saat jam puncak dan disuplai selama 24 jam.

METODE PELAKSANAAN

Metode pelaksanaan adalah metode yang dibuat untuk menggambarkan penguasaan penyelesaian pekerjaan yang sistematis dari awal sampai akhir tahapan pekerjaan.

RENCANA ANGGARAN BIAYA

Rencana anggaran biaya atau dikenal dengan RAB adalah estimasi atau perkiraan biaya yang digunakan dalam sebuah proyek konstruksi yang ditujukan untuk memperkirakan nilai pembiayaan proyek tersebut.

HARGA JUAL AIR

Dalam penentuan harga jual air perlu adanya analisa ekonomi yang perlu dilakukan untuk mengecek kelayakan suatu nilai proyek, analisa ekonomi yang digunakan meliputi:

a. Perhitungan Nilai Harga Jual air per m^3

$$\text{Harga jual air} = \frac{\text{total biaya usaha}}{\text{jumlah produksi air bersih}} \quad (17)$$

b. Perhitungan Benefit Cost Ratio (BCR)

$$BCR = \frac{PV \text{ benefit}}{PV \text{ cost}} \quad (18)$$

Keterangan:

PV = *Present Value* (nilai saat ini)

c. Perhitungan Net Benefit

$$\text{Net Benefit} = PV \text{ benefit} - PV \text{ cost} \quad (19)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

KEBUTUHAN AIR BERSIH

a. Proyeksi Jumlah Penduduk

Perhitungan proyeksi jumlah penduduk dilakukan dengan ketiga metode dan dilanjutkan dengan perhitungan standar deviasi pada tiap metode yang nantinya akan diambil nilai standar deviasinya yang terkecil. Berikut contoh perhitungan proyeksi jumlah penduduk Kecamatan Tambakrejo menggunakan metode aritmatika:

$$r_{a-b} = \frac{\text{jumlah penduduk tahun} - \text{jumlah penduduk tahun a}}{\text{jumlah penduduk tahun a}} = \frac{3240 - 3221}{3221} = 0,0059 = 0,596\%$$

Proyeksi jumlah penduduk:

$$P_t = P_o (1 + n \cdot r)$$

$$P_{2023} = P_{2022} (1 + 1 \times 0,596\%) = 3.398 (1 + 1 \times 0,596\%) = 3.419 \text{ jiwa}$$

Dari perencanaan diperoleh nilai standar deviasi untuk metode aritmatika 96,445, metode geometric 100,511, dan metode eksponen 100,856, sehingga digunakan metode aritmatika karena metode tersebut memiliki hasil nilai standar deviasi terkecil.

Berikut tabel hasil perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode aritmatika:

Tabel 2 Rekap jumlah penduduk hasil proyeksi

No	Nama Desa	Jumlah Penduduk	
		2022	2037
1	Jatimulyo	3398	3702
2	Napis	7803	8503
3	Ngrancang	3041	3313
4	Turi	3027	3295
5	Mulyorejo	4654	5070
6	Kacangan	1963	2137
7	Sendangrejo	1427	1555
8	Dolokgede	1580	1723
9	Malingmati	4488	4890
10	Tambakrejo	3176	3459
11	Bakalan	2929	3191
12	Jawik	2027	2207
13	Sukorejo	4467	4869
14	Gading	1668	1811
15	Pengkol	1261	1373
16	Tanjung	1664	1807
17	Gamongan	3530	3846
18	Kalisumber	3049	3322

b. Kebutuhan Air Domestik (Qd)

Jumlah penduduk Kecamatan Tabakrejo diproyeksikan hingga tahun 2037 sehingga berjumlah 60.073 jiwa yang mana berdasarkan jumlah penduduknya digolongkan sebagai kota kecil dengan tingkat pelayanan 70% untuk SR dan 30% untuk HU, dengan besar konsumsi SR 80 lt/org/hr dan HU 30lt/org/hr berdasarakan Departemen PU Dirjen Cipta Karya tahun 2000.

Contoh perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Tingkat pelayanan} = 80\% \times 60.073 = 48.065 \text{ jiwa}$$

$$\text{Kebutuhan (SR)} = 70\% \times 80 \times 48.065 = 2.691.640 \text{ lt/hr} = 31,153 \text{ lt/dt}$$

$$\text{Kebutuhan (HU)} = 30\% \times 30 \times 48.065 = 432.585 \text{ lt/hr} = 5,007 \text{ lt/dt}$$

$$Q_d = \text{SR} + \text{HU} = 31,153 + 5,007 = 36,160 \text{ lt/dt}$$

Berikut hasil perhitungan kebutuhan air domestik dalam satuan liter/detik:

Tabel 3 Kebutuhan Air Domestik Kecamatan Tambakrejo

Desa	Penduduk Terlayani	Kebutuhan SR	Kebutuhan HU	Total Kebutuhan SR+HU
Jatimulyo	2962	1,920	0,309	2,229
Napis	6803	4,409	0,709	5,118
Ngrancang	2651	1,718	0,276	1,994
Turi	2636	1,709	0,275	1,984
Mulyorejo	4056	2,629	0,423	3,052
Kacangan	1710	1,108	0,178	1,286
Sendangrejo	1244	0,806	0,130	0,936
Dolokgede	1379	0,894	0,144	1,038
Malingmati	3912	2,536	0,408	2,944
Tambakrejo	2768	1,794	0,288	2,082
Bakalan	2553	1,655	0,266	1,921
Jawik	1766	1,145	0,184	1,329
Sukorejo	3896	2,525	0,406	2,931
Gading	1449	0,939	0,151	1,090
Pengkol	1099	0,712	0,114	0,826
Tanjung	1446	0,937	0,151	1,088
Gamongan	3077	1,994	0,321	2,315
Kalisumber	2658	1,723	0,277	2,000
Jumlah	48065	31,513	5,010	36,163

c. Kebutuhan Air NonDomestik (Qnd)

Berikut contoh perhitungan kebutuhan air non domestik di Kecamatan Tambakrejo:

$$\text{Jumlah penduduk tahun 2022} = 55.512 \text{ jiwa}$$

$$\text{Jumlah penduduk tahun 2037} = 60.073 \text{ jiwa}$$

$$\text{Jumlah puskesmas tahun 2022} = 18 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah puskesmas 2037} = \frac{\text{penduduk 2037}}{\text{penduduk 2022}} \times \text{puskesmas 2022} = \frac{60.073}{55.512} \times 18 = 36 \text{ buah}$$

$$Q_{nd} = \text{Jumlah fasum} \times \text{nilai kebutuhan konsumsi} = 36 \times 2000 \text{ lt/hr} / 86400 = 0,8334 \text{ lt/dt}$$

Nilai kebutuhan konsumsi pengali diperoleh dari PU Dirjen Cipta Karya tahun 2000.

Berikut tabel rekap kebutuhan air non domestic Kacamatan Tambakrejo dalam satuan liter/detik:

Tabel 4 Tabel rekap kebutuhan air non domestic

Desa	Sekolah	Puskes	Masjid	Musholla	Pasar
Jatimulyo	0.014	0.046	0.104	0.602	0.000
Napis	0.055	0.046	0.313	0.648	0.556
Ngrancang	0.013	0.046	0.174	0.602	0.000
Turi	0.027	0.046	0.174	0.532	0.000
Mulyorejo	0.027	0.046	0.313	0.810	0.000

Desa	Sekolah	Puskes	Masjid	Musholla	Pasar
Kacangan	0.008	0.046	0.104	0.324	0.000
Sendangrejo	0.008	0.046	0.104	0.208	0.000
Dolokgede	0.011	0.046	0.104	0.231	0.000
Malingmati	0.022	0.046	0.174	0.694	0.556
Tambakrejo	0.022	0.046	0.174	0.556	0.556
Bakalan	0.085	0.046	0.139	0.463	0.000
Jawik	0.008	0.046	0.104	0.463	0.000
Sukorejo	0.042	0.046	0.069	0.741	0.000
Gading	0.012	0.046	0.104	0.255	0.000
Pengkol	0.019	0.046	0.069	0.208	0.000
Tanjung	0.005	0.046	0.069	0.417	0.000
Gamongan	0.023	0.046	0.174	0.324	0.000
Kalisumber	0.021	0.046	0.139	0.602	0.000
Total	0.422	0.828	2.605	8.680	1.668

d. Kebutuhan Air Total (Qtot)

Contoh perhitungan kebutuhan air total di Kecamatan Tambakrejo:

Kebutuhan air domestik = 36,160 lt/dt

Kebutuhan air non domestik = 14,203 lt/dt

$Q_{tot} = Q_d + Q_{nd}$

$= 36,163 + 14,203$

$= 50,366 \text{ lt/dt} = 0,0504 \text{ m}^3/\text{dt}$

Kehilangan air = 20% x Qtot

$= 20\% \times 0,0504 = 0,0101 \text{ m}^3/\text{dt}$

Kebutuhan transmisi = (Qtot+kehilangan air)xfactor harian max

$= (0,054+0,0101) \times 1,1 = 0,0907 \text{ m}^3/\text{dt}$

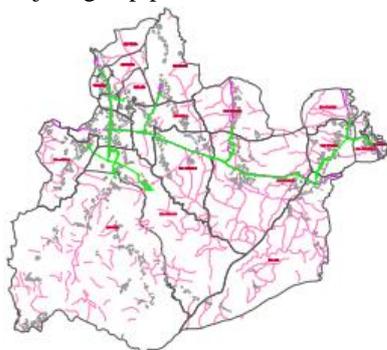
Kebutuhan distribusi = (Qtot+kehilangan air)xfaktor jam puncak

$= (0,054+0,0101) \times 1,5 = 0,0664 \text{ m}^3/\text{dt}$

ANALISIS HIDROLIKA

Debit andalan pada perencanaan ini menggunakan data debit sumber mata air yang diperoleh langsung dari dinas sumber daya air Kabupaten Bojonegoro, yakni menggunakan sumber mata air Ngrambah pada Desa Ngrancang, Tambakrejo yang memiliki debit aliran sebesar 92 lt/dt.

Sebelum ke perhitungan hidrolika perlu untuk pembuatan layout dan skema sebagai jalur pipa yang digunakan untuk menentukan elevasi tiap node dengan cara interpolasi kontur. Berikut layout jaringan pipa Kecamatan Tambakrejo:



Gambar 1 Gambar LayOut jaringan pipa air bersih Diketahui:

- Panjang pipa = 76,010 m
- Debit = 0,0665 m³/dt
- Koefisien pipa= 140
- Vmax = 4,5 m/dt
- Vmin = 0,3 m/dt

Contoh perhitungan:

$$D_{hitung} = \sqrt[2,68]{\frac{1,67 \times c \times i^{0,54}}{Q}}$$

$$= \sqrt[2,68]{\frac{1,67 \times 140 \times 0,03^{0,54}}{0,0665}} = 0,182 \text{ m}$$

Digunakan pipa diameter 10 inchi atau 0,194 m karena nilai Dpakai harus lebih besar atau sama dengan Dhitung.

$A = \frac{1}{4} \pi d^2$

$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,194^2 = 0,0296 \text{ m}^2$

$V = Q / A$

$= 0,0665 / 0,0296 = 2,247$

Kontrol kecepatan aliran:

Vmin < V < Vmax, maka dimensi yang digunakan OK

Menghitung hilang tekan mayor (Hf):

$$H_f = \left(\frac{Q}{0,2875 \times c \times D^{2,68}} \right)^{1,85} \times L$$

$$= \left(\frac{0,0665}{0,2875 \times 140 \times 0,194} \right)^{1,85} \times 76,010$$

$$= 1,679 \text{ m}$$

Menghitung hilang tekan minor (Hm):

$Cek = L / D$

$= 76,010 / 0,194 = 391,804$

Karena L/D < 1000 maka perlu perhitungan minor losses

Pada node 2 terdapat sambungan berupa elbow 90°, sehingga nilai K = 0,8

$H_m = K \frac{v^2}{2g}$

$= 0,8 \times \frac{2,247^2}{2 \times 9,81} = 0,206 \text{ m}$

$H_{ftot} = H_f + H_m$

$= 1,679 + 0,206 = 1,885 \text{ m}$

Menghitung sisa tekan menggunakan persamaan Bernoulli berikut:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + H_{f_{tot}} + h_2$$

Jika diketahui elevasi hulu tanah asli 79,103 m dan elevasi hilir tanah asli 79,997 m, dimana pipa berada di kedalaman 1 m di bawah tanah dengan tinggi air pada sumber mata air 1 m, maka elevasi tinggi energi hulu pada aliran terbuka:

$H_1 = h_1 + \text{tinggi genangan air}$

$= 79,103 + 1 = 80,103 \text{ m}$

Sedangkan tinggi elevasi tinggi energi hilir:

$$H_2 = \frac{V_2^2}{2g} + H_{f_{tot}} + h_2$$

$$= \frac{2,247^2}{2 \times 9,81} + 1,885 + 78,997 = 81,139 \text{ m}$$

Sisa tekan = H₁ - H₂

$= 80,103 - 81,139 = -1,036 \text{ m}$

Karena sisa tekan bernilai kurang dari 10 m, maka perlu diberi pompa agar sisa tekan memenuhi syarat.

Pada perencanaan pada node S diberi pompa Ebara 2HCA537 dengan head 35 m, sehingga sisa tekan menjadi:

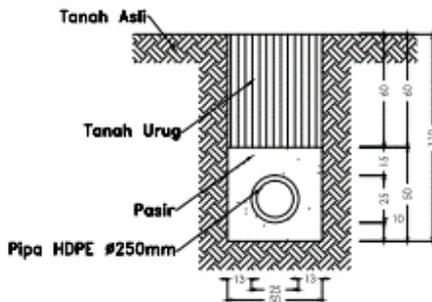
Sisa tekan baru = Sisa tekan lama + head pompa

$$= -1,036 + 35 = 33,964 \text{ m}$$

Kontrol tekanan pada pipa dengan tekanan minimum yang diijinkan sebesar 10 m dan maksimum 100 m. nilai sisa tekan pada node S sebesar 33,964 m maka sisa tekan pada node tersebut memenuhi.

Sebagian besar hasil perhitungan dalam perencanaan ini memiliki nilai sisa tekan yang kurang dari 10 m, sehingga perlu ditambahkan adanya pompa pada titik-titik tertentu.

Berdasar perhitungan di atas, digambarkan potongan melintang pipa HDPE PN-10 dimensi 10 inchi :



Gambar 2 Potongan melintang pipa

RESERVOIR

Perhitungan *reservoir* dilihat dari fluktuasi kebutuhan air bersih pada tabel berikut:

Tabel 5 Tabel fluktuasi kebutuhan air bersih

Periode	Jumlah Jam	Jumlah Pakai (%)	Suplai Perjam (%)	Jumlah Suplai (%)	Surplus (%)	Defisit (%)
22.00 – 05.00	7	5.25	4.17	29.19	23.94	
05.00 – 06.00	1	4.00	4.17	4.17	0.17	
06.00 – 07.00	1	6.00	4.17	4.17		(1.83)
07.00 – 09.00	2	16.00	4.17	8.34		(7.66)
09.00 - 10.00	1	6.00	4.17	4.17		(1.83)
10.00 – 13.00	3	15.00	4.17	12.51		(2.49)
13.00 – 17.00	4	24.00	4.17	16.68		(7.32)
17.00 – 18.00	1	10.00	4.17	4.17		(5.83)
18.00 – 20.00	2	9.00	4.17	8.34		(0.66)
20.00 – 21.00	1	3.00	4.17	4.17	1.17	
21.00 – 22.00	1	1.75	4.17	4.17	2.42	
Total	24	100		100.08	27.70	(27.62)

Dari perhitungan fluktuasi kebutuhan air diperoleh:

Nilai surplus air = 27,700 %

Nilai defisit air = 27,620 %

Contoh perhitungan volume *reservoir*:

$$\text{Prosen volume reservoir} = \frac{\text{Surplus air} + \text{Defisit air}}{2} = \frac{27,700\% + 27,620\%}{2} = 27,667\%$$

$$\text{Volume} = \text{Persen volume} \times \text{Q kebutuhan} \times \text{Waktu alir} = 27,667\% \times 0,0907 \times 3600 \text{ detik} = 90,32 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan volume *reservoir* tersebut, maka digunakan dimensi *reservoir* sebagai berikut :

Panjang = 7 m

Lebar = 6 m

Tinggi = 2,5 m

$$\begin{aligned} \text{Dengan total Volume} &= P \times L \times T \\ &= 7 \times 6 \times 2,5 \\ &= 105 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

METODE PELAKSANAAN

Berikut urutan pelaksanaan pemasangan jaringan pipa transmisi dan distribusi:

1. Merencanakan gambar kerja dan gambar pemasangan
2. Memberikan tanda papan keterangan pada titik pemasangan
3. Memasang rambu di sekitar lokasi proyek
4. Menyediakan sumber tenaga dan penerangan pada lokasi
5. Memastikan penyimpanan material aman
6. Pekerjaan persiapan lahan
7. Pengukuran jalur pipa
8. Pembuatan jalan sementara
9. Penggalian tanah untuk pipa
10. Memasang pipa menggunakan metode *butt fusion*, yaitu pemasangan ujung pipa yang memiliki diameter pipa > 63 mm disambung menggunakan alat yang bernama *butt fusion* yang dipanaskan sampai suhu ±220°C.
11. Melakukan pekerjaan urugan pasir setebal 50 cm dari permukaan tanah asli setelah proses penyambungan selesai
12. Pekerjaan urugan tanah urug di bagian atas urugan pasir setebal 60 cm hingga permukaan galian yang sudah diurug sejajar dengan tanah asli.

RENCANA ANGGARAN BIAYA

Berikut hasil perhitungan rencana anggaran biaya pembangunan jaringan pipa transmisi dan distribusi air bersih Kecamatan Tambakrejo Kabupaten Bojonegoro:

Tabel 6 Tabel rekap anggaran biaya

Pekerjaan : Perencanaan Penyediaan Jaringan Air Bersih
Lokasi : Kecamatan Tambakrejo, Kabupaten Bojonegoro
Tahun : 2022

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah
A	Pekerjaan Pipa	Rp 24.067.572.933,65
B	Pekerjaan Reservoir	Rp 67.007.546,38
C	Rumah Pompa Dan Pompa (5 Buah)	Rp 522.398.691,65
JUMLAH		Rp 24.656.979.171,68
PPN (10%)		Rp 2.465.697.917,17
JUMLAH TOTAL		Rp 27.122.677.088,85
DIBULATKAN		Rp 27.122.677.089,00

Terbilang : "Dua Puluh Tujuh Milyar Seratus Dua Puluh Dua Juta Enam Ratus Tujuh Puluh Tujuh Ribu Delapan Puluh Sembilan Rupiah"

HARGA JUAL AIR

Penentuan nilai harga jual air diawali dengan perhitungan biaya yang diperlukan pertahun, yang meliputi biaya proyek dan biaya operasional pertahun. Biaya proyek diperoleh dari perhitungan Rencana Anggaran Biaya dan biaya operasional diperoleh dari perhitungan keperluan operasional yang diperoleh melalui *survey* harga-harga terkait pada daerah Kabupaten Bojonegoro.

Berikut tabel biaya operasional tahunan:

Tabel 7 Rekap biaya operasional tahunan

Pekerjaan : Perencanaan Penyediaan Jaringan Air Bersih

Lokasi : Kecamatan Tambakrejo, Kabupaten Bojonegoro

Tahun : 2022

No	Jenis Pekerjaan	Jumlah
A	BIAYA VARIABEL	
	Perbaikan Jaringan	Rp 25.000.000,00
B	BIAYA TETAP	
	Gaji Pegawai	Rp 13.750.000,00
	Adminiatrasi	Rp 4.250.000,00
Total Biaya Operasional Perbulan		Rp 43.000.000,00
Total Biaya Operasional Pertahun		Rp 516.000.000,00

a. Perhitungan Nilai Harga Jual air per m³

Perhitungan nilai jual air dipengaruhi oleh biaya modal, yaitu biaya konstruksi dan biaya operasional tahunan yang dihitung dengan asumsi nilai nominal mata uang saat ini (*present value*) yang dilakukan dengan mengalikan biaya dengan faktor koreksi berdasar suku bunga dan tahun proyeksi.

Bunga digunakan 6% karena menyesuaikan bunga Bank Indonesia saat ini. Tahun proyeksi untuk biaya modal digunakan 2 karena dianggap tahun kedua pekerjaan konstruksi sudah selesai.

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Biaya modal (F/P,6,2)} &= \text{Biaya RAB} \times \text{faktor koreksi} \\ &= 27.122.677.089,00 \times 1,124 \\ &= \text{Rp}30.485.889.048,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya OP (P/A,6,16),(P/F,6,1)} &= \text{Biaya OP} \times \text{faktor koreksi} \\ &= 516.000.000,00 \times 10,106 \times 0,943 \\ &= \text{Rp}4.917.458.328,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air perencanaan} &= 0,0907 \text{ m}^3/\text{dt} \\ &= 0,0907 \times 31.536.000 \\ &= 2.860.315,20 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan 20\% air} &= 0,0101 \text{ m}^3/\text{dt} \\ &= 0,0101 \times 31.536.000 \\ &= 317.693,66 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Factor konversi} &= (P/A, 6,16) = 10,106 \\ &= (P/F, 6, 1) = 0,943 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan harga jual air:

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Biaya modal} + \text{Biaya operasional} \\ &= 30.485.889.048,04 + 4.917.458.328,00 \\ &= \text{Rp}35.403.347.376,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga air} &= \frac{\text{Biaya Total Tahun 2037}}{(\text{Kebutuhan Air} - \text{Kehilangan Air}) \times \text{Koreksi}} \\ &= \frac{35.403.347.376,04}{(2.860.315,20 - 317.693,66) \times 10,106 \times 0,943} \\ &= \frac{35.403.347.376,04}{24.231.076,49} = \text{Rp } 1.461,07 \approx \text{Rp } 1.475,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Manfaat} &= (\text{kebutuhan air} - \text{kehilangan air}) \text{ koreksi} \times \text{harga air} \\ &= (2.860.315,20 - 317.693,66) \times 10,106 \times 0,943 \times 1.475 \\ &= \text{Rp}35.740.837.822,75 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Benefit Cost Ratio (BCR)

Contoh perhitungan BCR:

$$\begin{aligned} \text{BCR} &= \text{Manfaat} / \text{Biaya Total tahun 2037} \\ &= 35.740.837.822,75 / 35.403.347.376,04 \\ &= 1,0012 \end{aligned}$$

Karena nilai BCR perencanaan > 1 maka proyek ini layak diberi nilai rencana

c. Perhitungan Net Benefit

Contoh perhitungan Net Benefit:

$$\begin{aligned} \text{Net Benefit} &= \text{Manfaat} - \text{Biaya total tahun 2037} \\ &= 35.740.837.822,75 - 35.403.347.376,04 \\ &= \text{Rp}337.490.446,71 \end{aligned}$$

Karena nilai net benefit perencanaan > 0 rupiah maka proyek ini layak dilaksanakan dengan harga rencana.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Kebutuhan air pada pipa transmisi Kecamatan Tambakrejo tahun 2037 sebesar 0,0664 m³/dt
Kebutuhan air pada pipa distribusi Kecamatan Tambakrejo tahun 2037 sebesar 0,0907 m³/dt
2. Volume *reservoir* yang digunakan sebesar 105 m³ dengan rincian dimensi:
Panjang = 7 m
Lebar = 6 m
Tinggi = 2,5 m
3. Rencana anggaran biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan jaringan pipa distreibusi air bersih Kecamatan Tambakrejo Kabupaten Bojonegoro sebesar Rp 27.122.677.089,00 (Dua Puluh Tujuh Milyar Seratus Dua Puluh Dua Juta Enam Ratus Tujuh Puluh Tujuh Ribu Delapan Puluh Sembilan Rupiah).
4. Harga jual air pada Kecamatan Tambakrejo Kabupaten Bojonegoro sesuai perhitungan sebesar Rp 1.475,00 setiap m³nya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistika Kabupaten Bojonegoro. <https://data.bojonegorokab.go.id/>. Diakses 20 Januari 2023.
- [2] Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Pengembangan Air Minum, Dirjen Cipta Karya 2007, Permen PU Nomor 18/PRT/M/2007, tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Jakarta
- [3] SNI 6728-2015. 2015. Penyusunan neraca spasial sumber daya alam –Bagian 1: Sumber daya air. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- [4] Streeter, Victor L. 1988. *Mekanika Fluida*, Jakarta: Erlangga