PENINGKATAN SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH DI KECAMATAN LEDOKOMBO

Brilliant Avril Nawangsari[1], I Wayan Mundra[2], dan Erni Yulianti[3]

[123]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 64145
Email: brilliantnawangsari@gmail.com
Email:
Email:

ABSTRACT

Ledokombo Subdistrict, Jember Regency particularly Sumber Salak and Sumber Bulus Villages with a combined population of approximately 20,928 people faces suboptimal clean water service coverage despite the availability of several potential spring sources, necessitating a comprehensive improvement of the clean water supply system. This study aims to calculate the projected clean water demand up to 2035, determine the required reservoir capacity, and design an improved water distribution network for the next ten years. A quantitative approach was employed, involving the collection of demographic and technical data, population projection using arithmetic, geometric, and exponential methods, calculation of domestic and non-domestic water demand, and hydraulic modeling and simulation of the pipe network using *WaterGEMS software* based on the Hazen-Williams formula. The results show that water demand in 2035 will reach 33.26 L/s, while the existing discharge is only 20 L/s, resulting in a supply deficit of 13.26 L/s, which is proposed to be met through an additional water source. The required reservoir storage volume of 544.87 m^3 can still be accommodated by the existing reservoir capacity of 560 m^3 without additional capacity. Simulation of the planned pipe network yields pressures ranging from 1.09–7.48 atm, flow velocities of 0.10–1.30 m/s, and a maximum *headloss gradient of* 8.816 m/km, all of which meet the technical criteria for water supply system planning. It is concluded that the proposed network improvement is capable of serving the clean water needs of both villages through 2035, with implications for the need to verify the actual discharge of the additional water source and to consider installing pressure-reducing valves in high-pressure zones prior to implementation.

Keywords: clean water supply system, population projection, water demand, WaterGEMS

ABSTRAK

Kecamatan Ledokombo, Kabupaten Jember, khususnya Desa Sumber Salak dan Desa Sumber Bulus dengan total penduduk 20.928 jiwa, mengalami cakupan pelayanan air bersih yang belum optimal meskipun memiliki beberapa sumber mata air potensial, sehingga diperlukan peningkatan sistem penyediaan air bersih secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan menghitung proyeksi kebutuhan air bersih hingga tahun 2035, menentukan kapasitas reservoir yang diperlukan, serta merencanakan peningkatan jaringan distribusi air bersih untuk 10 tahun mendatang. Penelitian ini dengan tahapan pengumpulan data kependudukan dan teknis, proyeksi penduduk menggunakan metode aritmatik, geometrik, eksponensial, perhitungan kebutuhan air domestik dan nondomestik, serta pemodelan dan simulasi hidrolis jaringan pipa menggunakan *software WaterGEMS* berdasarkan rumus Hazen-Williams. Hasil analisis menunjukan kebutuhan air pada tahun 2035 mencapai 33,26 lt/dt, sementara debit eksisting hanya sebesar 20 lt/dt, sehingga terjadi kekurangan pasokan 13,26 lt/dt yang direncanakan dipenuhi melalui pemanfaatan sumber air tambahan. Kebutuhan volume reservoir sebesar 544,87 m^3 masih dapat dipenuhi oleh kapasitas reservoir eksisting sebesar 560 m^3 tanpa memerlukan penambahan. Simulasi jaringan pipa rencana menghasilkan tekanan 1,09-7,48 atm, kecepatan aliran 0,10-1,30 m/dt dan *headloss gradient* maksimum 8,816 m/km, seluruhnya memenuhi kriteria teknis perencanaan sistem penyediaan air bersih. Disimpulkan bahwa rencana peningkatan jaringan mampu melayani kebutuhan air bersih kedua desa hingga tahun 2035, dengan implikasi perlunya verifikasi debit aktual sumber air tambahan serta pertimbangan pemasangan katup pengatur tekanan pada zona bertekanan tinggi sebelum tahap implementasi.

Kata kunci: sistem penyediaan air bersih, proyeksi penduduk, kebutuhan air, WaterGEMS

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan dasar manusia yang krusial untuk menunjang aktivitas rumah tangga, sosial, ekonomi, serta pembangunan infrastruktur secara berkelanjutan, namun ketersediaannya sering kali terbatas oleh infrastruktur pedesaan yang belum optimal. Di Kecamatan Ledokombo, Kabupaten Jember, khususnya Desa Sumber Salak dan Desa Sumber Bulus dengan total populasi 20.928 jiwa, cakupan pelayanan air minum berbasis perpipaan baru mencapai 44% (9.300 jiwa). Sebagian besar masyarakat masih mengandalkan tandon swadaya (Pamsimas) atau memanfaatkan mata air secara langsung.

Saat ini, pasokan dari Mata Air Pengantin sebesar 20 lt/dt diperkirakan hanya mampu bertahan hingga tahun 2027, sementara proyeksi kebutuhan air bersih pada tahun 2035 meningkat menjadi 33,26 lt/dt, sehingga memicu defisit pasokan air baku sebesar 13,26 lt/dt. Untuk mengatasi defisit pasokan dan ketimpangan pelayanan tersebut, diperlukan strategi peningkatan sistem penyediaan air bersih melalui pemanfaatan sumber air baku tambahan (Mata Air Selatan), evaluasi kapasitas reservoir, serta redesain jaringan distribusi.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung proyeksi pertumbuhan penduduk dan kebutuhan air bersih di Desa Sumber Salak serta Sumber Bulus hingga tahun 2035, menganalisis kapasitas tampungan reservoir berdasarkan fluktuasi pemakaian harian, serta merencanakan skema peningkatan jaringan perpipaan distribusi yang handal dan teruji secara hidraulika untuk 10 tahun mendatang. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan masukan teknis dan arahan strategis bagi pengelola PAMSIMAS maupun pemerintah daerah dalam mengoptimalkan layanan air bersih yang adil, andal, dan berkelanjutan di Kecamatan Ledokombo.

2. LANDASAN TEORI

Sistem Penyediaan Air Bersih

Sistem penyediaan air bersih merupakan suatu komponen yang berfungsi menyediakan air kepada masyarakat dalam jumlah yang cukup, kualitas yang memenuhi persyaratan kesehatan, serta kontinuitas pelayanan yang terjamin.

Proyeksi Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk untuk menentukan kebutuhan air pada tahun rencana. Metode umum yang digunakan meliputi metode Aritmatik, Geometrik, dan Eksponensial. Metode Aritmatik mengasumsikan pertambahan penduduk tiap tahun bernilai konstan, sedangkan Metode Geometrik dan Eksponensial mengamsusikan pertumbuhan berdasarkan persentase penduduk. Setelah melakukan proyeksi jumlah penduduk menggunakan 3 metode diatas, maka tahap selanjutnya adalah menentukan langkah berikutnya dengan uji kesesuaian korelasi dengan rumus berikut :

$$r = \frac{n\,(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\; x\; \left[[n\,(\sum y^2) - (\sum y)^2\right]}}$$

Dari hasil uji korelasi diatas menggunakan 3 metode, yakni Metode Aritmatik, Geometrik, dan Eksponensial, maka dipilih dengan hasil mendekati +1.

Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Berdasarkan SNI 6728.1:2015, kebutuhan air meliputi kebutuhan domestik dan non-domestik. Kebutuhan domestik meliputi kebutuhan rumah tangga seperti minum, masak, mandi, dan mencuci. Sementara, kebutuhan non-domestik mencakup fasilitas pendidikan, kesehatan, perkantoran, dan fasilitas umum lainnya.

a. Kebutuhan Air Domestik
   Kebutuhan domestik meliputi kebutuhan rumah tangga seperti minum, masak, mandi, dan mencuci.

Tabel 2. 1 Kriteria Kebutuhan Domestik

No.	Kategori Kota	Jiwa penduduk (jiwa)	Kebutuhan air bersih (liter/orang/hari)
1	Semi urban (ibu kota kec/desa)	3.000 - 20.000	60 – 90
2	Kota kecil	20.000 – 100.000	90 – 110
3	Kota sedang	100.000 – 500.000	100 – 125
4	Kota besar	500.000 – 1.000.000	120 – 150
5	Metropolitan	>1.000.000	150 – 200

b. Kebutuhan Air Non-Domestik
   Kebutuhan non-domestik mencakup fasilitas pendidikan, kesehatan, perkantoran, dan fasilitas umum lainnya dan sebagainya diasumsikan antara 15%-30% dari total pemakaian air domestik.

Kehilangan Air

Kehilangan air merupakan perbedaan volume air yang diproduksi dengan volume air yang berhasil disalurkan sesuai rencana.

Fluktuasi Kebutuhan Air Bersih

Fluktuasi kebutuhan air bersih *(load factor)* merupakan perubahan jumlah pemakaian air dari waktu ke waktu yang dipengaruhi oleh pola aktivitas masyarakat.

Tabel 2. 2 *Load Factor* dari fluktuasi

Jam	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	1,42	1,38	1,27	1,2
Jam	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

1. Kebutuhan Air Rata-rata
   Merupakan kebutuhan air untuk penggunaan domestik maupun non-domestik ditambah dengan kehilangan air umumnya dihitung tiap jam dalam satu hari (24 jam).

   $$Q_r = Q_d + Q_{nd} + HI$$

   Dimana :
   Qr = Kebutuhan air rata-rata
   Qd = Kebutuhan Air domestik (liter/hari)
   Qnd = Kebutuhan air non domestik (liter/hari)
   HI = kehilangan atau kebocoran air (liter/hari)
2. Kebutuhan Air Harian Maksimum
   Analisa kebutuhan air jam puncak maksimum dilakukan berdasarkan kebutuhan air rerata harian dikali faktor pengali 1,15.

   $$Q_{hm} = Q_r \, x \, f_{hm}$$

   Dimana :
   Qr = kebutuhan air rata-rata (liter/hari)
   Fhm = faktor hari maksimum.
3. Kebutuhan Puncak Jam Maksimum
   Kebutuhan jam maksimum adalah kebutuhan air tertinggi yang terjadi pada jam tertentu setiap hari. Jam puncak dihitung dengan faktor pengali 1,56.

   $$Q_{Jm} = f_{Jm} \, x \, Qhm$$

   Dimana :

   Qjm = Debit kebutuhan air jam maksimum (m^3/jam)

   f_{jm} = Faktor jam puncak maksimum

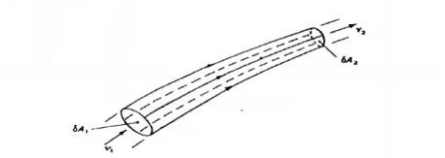
Sistem Pengaliran Air Bersih

Sistem pengaliran air bersih tergantung topografi lokasi sumber air dan konsumen. Sistem pengaliran terdapat 3 macam yaitu sistem gravitasi, sistem pompa, dan sistem kombinasi. Pada penelitian ini menggunakan sistem gravitasi.

Hidraulika Jaringan Perpipaan

Hukum Kontinuitas

Air yang mengalir dalam pipa secara kontinyu melaluinpipa atau saluran terbuka, dengan tampang aliran konstan ataupun tidak konstan, maka volume yang lewat tiap satuan waktu adalah sama disemua tampung.

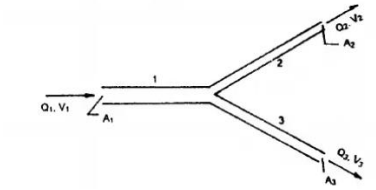


Gambar 2. 1 Tabung Aliran persamaan Kontinuitas
(Sumber : Hidraulika I, Triatmojo, 1993:132)

Sehingga didapatkan persamaan :

$A_1 \, x \, V_1 = A_2 \, x \, V_2$ atau $Q = A \, V = konstan$

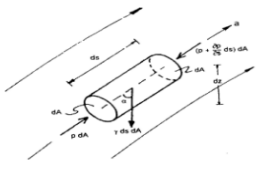
Hal ini juga berlaku pada pipa bercabang. Dimana debit yang masuk dalam pipa akan sama dengan penjumlahan dari debit-debit yang keluar dari percabangan pipa.



Gambar 2. 2 Persamaan Kontinuitas pipa bercabang
(Sumber : Hidraulika I, Triatmojo, 1993:137)

Hukum Bernoulli

Persamaan Bernoulli menghubungkan antara tekanan, kecepatan dan ketinggian. Penurunan persamaan Bernoulli untuk aliran sepanjang garis arus didasarkan pada Hukum Newton II tentang gerak (F = M.a).



Gambar 2. 3 Elemen zat cair bergerak sepanjang garis arus
(Sumber : Hidraulika I, Triatmojo, 1993:142)

$$z + \frac{p}{y} + \frac{v2}{2g} = c$$

Dimana :

z = Elevasi (tinggi tempat)
$\frac{p}{y}$ = Tinggi tekanan
$\frac{v2}{2g}$ = Tinggi kecepatan

Persamaan diatas dikenal dengan Persamaan *Bernoulli* untuk aliran mantap satu dimensi, zat cair ideal dan tak kompresibel.

Kecepatan Aliran

Semakin besar kecepatan aliran dalam pipa, semakin besar pula kehilangan tinggi tekan. Semakin kecil diameter pipa, semakin besar pula kehilangan tinggi tekan.

$$Q = A.V$$
$$Q = \frac{1}{4}\pi D^2 V$$

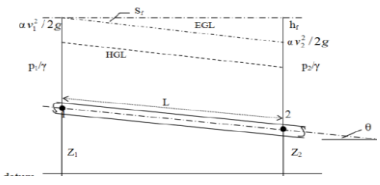
Dimana :
Q = debit aliran (m^3/detik)
V = kecepatan aliran (m/detik)
A = luas penampang basah (m^2)
D = diameter pipa (m)

Kehilangan Tinggi Tekan *(Headloss)*

Kehilangan tinggi tekan *(headloss)* merupakan penurunan energi atau tekanan air selama mengalir melalui jaringan perpipaan. Kehilangan tinggi tekan dalam pipa terdiri dari kehilangan tinggi tekan mayor *(major losses)* dan kehilangan tinggi tekan minor *(minor losses)*.

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

$$E_{Tot} = h + \frac{v^2}{2\,g} + \frac{\rho}{\vartheta\, w}$$



Gambar 2. 4 Gradien Hidrolika

Kehilangan Tinggi Tekan Mayor *(Major Headloss)*

Fluida yang mengalir dalam pipa mengalami tegangan geser dan gradien kecepetan pada seluruh medan karena pengaruh dari kekentalan fluida. Tegangan geser akan menyebabkan terjadinya kehilangan tenaga selama pengaliran. Tegangan geser yang terjadi pada dinding pipa adalah penyebab utama penurunan garis energi pada suatu aliran *(major losess)* dan tergantung juga pada jenis pipa.

Kehilangan Tinggi Tekan Minor *(Minor Headloss)*

Faktor lain yang juga ikut menambah besarnya kehilangan tinggi tekan pada suatu aliran adalah kehilangan tinggi tekan minor. Kehilangan tinggi tekan minor ini disebabkan oleh adanya perubahan mendadak dari ukuran penampang pipa yang menyebabkan turbulensi, belokan–belokan, adanya katup dan berbagai jenis sambungan. Untuk pipa–pipa yang panjang atau L/D > 1000, kehilangan tinggi 24 tekan minor dapat diabaikan karena nilainya tidak signifikan terhadap kehilangan energi utama. Selain itu faktor pekerjaan manusia *(man work)* kadang amat berpengaruh terhadap nilai kehilangan tinggi tekan minor, terutama untuk berbagai macam sambungan.

Simulasi *WaterGEMS*

Simulasi jaringan dilakukan menggunakan perangkat lunak *WaterGEMS,* yang menerapkan prinsip kontinuitas pada setiap *node* serta menghitung energi utama dengan formula *Hazen-Williams*:

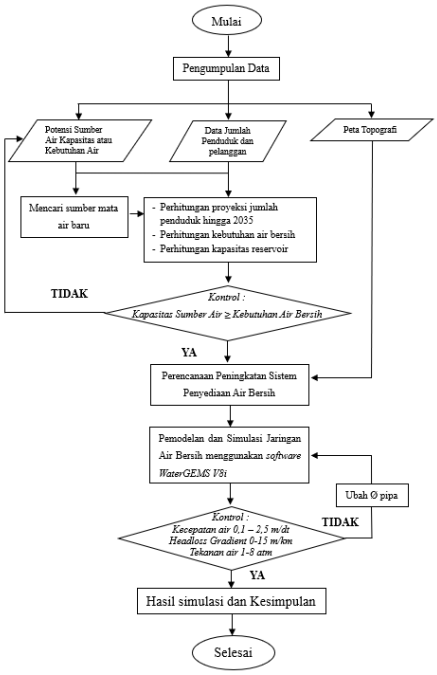
$$h_f = 10{,}67.L\,.\frac{Q^{1.852}}{C^{1.852}.D^{4.87}}$$

Penyelesaian sistem persamaaq Aqn non linear pada jaringan dilakukan melalui alogaritma *Global Gradient Algorith (GGA),* sehingga diperoleh nilai tekanan, *headloss*, debit, dan kecepatan aliran pada setiap elemen jaringan secara simultan. Dalam penelitian ini, *WaterGEMS* digunakan untuk menganalisis tekanan hidrolis, kehilangan energi tiap segmen pipa, kinerja pompa dan reservoir, serta mengidentifikasi titik kritis bertekanan rendah sebagai dasar rekomendasi peningkatan sistem distribusi.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Desa Sumber Salak dan Desa Sumber Bulus, Kecamatan Ledokombo, Kabupaten Jember. Data yang digunakan berupa data jumlah penduduk, jaringan perpipaan, topografi, kapasitas sumber air, dan reservoir yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Jember serta instansi terkait.

Analisis diawali dengan proyeksi jumlah penduduk menggunakan metode aritmatik, geometrik, dan eksponensial. Metode terbaik dipilih berdasarkan nilai koefisien korelasi tertinggi, kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan air bersih hingga tahun 2035. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan air, kapasitas reservoir, dan pemodelan jaringan distribusi menggunakan *WaterGEMS* untuk mengevaluasi tekanan, kecepatan aliran, debit, dan kehilangan tinggi tekan pada jaringan. Hasil simulasi digunakan sebagai dasar penyusunan rencana peningkatan sistem penyediaan air bersih. Langkah -langkah studi diatas dapat dilihat pada bagan alir *(flowchart)* dibawah ini.



Gambar 3. 1 Bagan Alir *(Flow Chart)*

4. HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Proyeksi Jumlah Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk dilakukan sebagai dasar menentukan kebutuhan air hingga tahun 2035. Perhitungan dilakukan dengan metode aritmatik, geometrik, dan eksponensial.

Tabel 4. 1 Data Jumlah Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk Kecamatan Ledokombo		
	Desa Sumbersalak (Jiwa)	Desa Sumberbulus (Jiwa)	Total (Jiwa)
2021	10171	9331	19502
2022	10513	9659	20172
2023	10606	9795	20401
2024	10786	9812	20598
2025	10808	10120	20928

Sumber : Hasil Perhitungan

Sebelum menghitung proyeksi penduduk, terlebih dahulu menghtiung laju pertumbuhan rata-rata. Berikut contoh persentase laju pertumbuhan rata-rata :

Tabel 4. 2 Persentase Laju Pertumbuhan

Tahun	Jumlah penduduk (Jiwa)	Pertambahan Penduduk	
		Jiwa	Rasio
2021	19502		
2022	20172	670	0,03436
2023	20401	229	0,01135
2024	20598	197	0,00966
2025	20928	330	0,01602
Rata-rata		356,5	1,78%

Sumber : Hasil Perhitungan

Lalu, hasil dari data jumlah penduduk dengan persentase laju pertumbuhan rata-rata, maka didapatkan hasil proyeksi jumlah penduduk dengan 3 metode.

Tabel 4. 3 Hasil Proyeksi Jumlah Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)		
	Metode Aritmatik	Metode Geometrik	Metode Eksponensial
2026	21301	21301	21305
2027	21675	21682	21688
2028	22048	22069	22079
2029	22422	22462	22477
2030	22795	22863	22881
2031	23169	23271	23293
2032	23542	23687	23713
2033	23916	24109	24140
2034	24289	24540	24574
2035	24663	24978	25017
Jumlah	229822	230962	231167

Sumber : Hasil Perhitungan

Uji Kesesuaian Metode Korelasi

Untuk mengetahui metode proyeksi yang sesuai, maka data hasil proyeksi dari tahun awal hingga tahun rencana menggunakan metode aritmatik, geometrik, dan eksponensial maka selanjutnya adalah mencari koefisien korelasi yang sesuai yaitu mendekati +1.

Tabel 4. 4 Uji Kesesuaian Metode Aritmatik

Uji Kesesuaian Metode Aritmatik						
Total	Jumlah Penduduk			(XY)	(X^2)	(Y^2)
	n	(X)	(Y)			
2021		19502	19502	380328004	380328004	380328700,08
2022		20172	19858,5	400585662	406909584	394360022,25
2023	5	20401	20215	412406215	416200801	408646225,00
2024		20598	20571,5	423731757	424277604	423186612,25
2025		20928	20928	437981184	437981184	437981184,00
Total		101601	101075	2055032822	2065697177	2044502744
r		0,96893317				

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 5 Uji Kesesuaian Metode Geometrik

Uji Kesesuaian Metode Geometrik						
Total	Jumlah Penduduk			(XY)	(X^2)	(Y^2)
	n	(X)	(Y)			
2021		19502	19502	380328004	380328004	380328004
2022		20172	19850	400414976	406909584	394024027
2023	5	20401	20204	412187682	416200801	408213258
2024		20598	20565	423594982	424277604	422913459
2025		20928	20932	438062100	437981184	438143030
Total		101601	101053	2054587744	2065697177	2043621778
r		0,967035191				

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 6 Uji Kesesuaian Metode Eksponensial

Uji Kesesuaian Metode Eksponensial						
Total	Jumlah Penduduk			(XY)	(X^2)	(Y^2)
	n	(X)	(Y)			
2021		19502	19502	380328004	380328004	380328004
2022		20172	19849	400396484	406909584	393987634,49
2023	5	20401	20202	412149612	416200801	408137856
2024		20598	20562	423594982	424277604	422796288,31
2025		20928	20928	438062100	437981184	437981184
Total		101601	101053	2054587744	2065697177	2043230967
r		0,956053734				

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil uji kesesuaian proyeksi diatas maka didapat nilai koefisien korelasi masing-masing metode. Dengan hasil nilai korelasi terbesar dan mendekati +1 maka didapatkan menggunakan Metode Aritmatik, yang artinya pertambahan penduduk tiap tahun nya selalu tetap dan konstan.

Proyeksi Kebutuhan Air Bersih

Sesuai Kriteria Perencanaan Ditjen C.K Dinas PU tahun 1996 dan SNI 6718.1:2015, maka:

1. Jumlah penduduk tahun proyeksi 2035 : 20.928 jiwa
2. Tingkat konsumsi pelayanan :
   SR = 5 jiwa/SR
3. Target pelayanan air bersih tahun 2035 :
   $= \frac{\%\ target\ 2035 - \%\ target\ 2025}{tahun\ proyeksi}$
   $= \frac{83\ \% - 44\%}{10}$ = 3,86 % (kenaikan rata-rata per tahun)
4. Jumlah penduduk berdasarkan tingkat pelayanan :
   $= \frac{\text{Jumlah Penduduk Terlayani}}{\text{Jumlah Penduduk}} \text{x } 100\%$
   $= \frac{9300}{20928}\ x\ 100\%$ = 44% (penduduk yang sudah terlayani)
5. Jumlah penduduk yang terlayani
   $= \frac{\text{Jumlah Penduduk}}{\text{Jumlah jiwa per SR}}$ x jumlah pelayanan
   $= \frac{20928}{5}\ x\ 44\%$
   = 1860 unit = 9300 jiwa
6. Kebutuhan air perkapita sebesar 90 lt/org/hr
   Nilai berdasarkan tabel (2.1) untuk kota kecil dengan penduduk 20.000-100.000 jiwa.
7. Faktor pemakaian air bersih :
   - Kebutuhan harian maksimum = 1,15
   - Kebutuhan jam puncak = 1,56
8. Tingkat kehilangan air akibat kebocoran = 20%
9. Kebutuhan non-domestik sebesar 30% dari kebutuhan domestik.

Perhitungan Kebutuhan Air Bersih

1. Kebutuhan domestik
   Qd = jumlah penduduk terlayani x kebutuhan air bersih daerah layanan
   $= \frac{9300\ x\ 90}{86400}$ = 9,69 lt/dt
2. Kebutuhan non-domestik
   Qnd = 30% x kebutuhan air domestik
   = 30% x 9,68
   = 2,91 lt/dt
3. Kehilangan air akibat kebocoran (20%)
   = 20% x (kebutuhan air domestik+ kebutuhan air non-domestik)
   = 0.2 x (9,69 + 2,91)
   = 2,52 lt/dt
4. Kebutuhan air rata-rata
   Qr = *Qd* + Q_{nd} + Kehilangan Air
   = 9,69 + 2,91 + 2,52
   = 15,11 lt/dt
5. Kebutuhan air harian maksimum
   Qmax = kebutuhan air rata-rata x 1,15
   = 15,11 x 1,15
   = 17,38 lt/dt
6. Kebutuhan jam puncak
   Qpeak = *Qr* x 1,56
   = 17,38 x 1,56
   = 23,58 lt/dt

Tabel 4. 7 Proyeksi Kebutuhan Air

Uraian	Satuan	Tahun										
		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Jumlah penduduk	Jiwa	20928	21301	21675	22048	22422	22795	23169	23542	23916	24289	24663
Jumlah jiwa/rumah	Jiwa	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Jumlah Penduduk yang dilayani	%	44%	48%	52%	56%	60%	64%	68%	71%	75%	79%	83%
Sambungan Rumah (SR)	Unit	1860	2057	2261	2470	2684	2905	3131	3363	3601	3845	4094
	Jiwa	9300	10287	11304	12349	13422	14525	15656	16817	18006	19224	20470
Kebutuhan air untuk tiap 1 org/hari	lt/org/hr	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Kebutuhan air domestik	lt/dt	9.69	10.72	11.77	12.86	13.98	15.13	16.31	17.52	18.76	20.02	21.32
Kebutuhan air non domestik (30% dari kebutuhan domestik)	lt/dt	2.91	3.21	3.53	3.86	4.19	4.54	4.89	5.26	5.63	6.01	6.40
Kehilangan akibat kebocoran	lt/dt	2.52	2.79	3.06	3.34	3.64	3.93	4.24	4.55	4.88	5.21	5.54
Kebutuhan air bersih rata-rata (dengan kebocoran 20%)	lt/dt	15.11	16.72	18.37	20.07	21.81	23.60	25.44	27.33	29.26	31.24	33.26
Kebutuhan harian max = 1,15 x kebt. air baku	lt/dt	17.38	19.22	21.12	23.08	25.08	27.14	29.26	31.43	33.65	35.92	38.25
Kebutuhan air pada jam puncak = 1,56 x kebt. air baku	lt/dt	23.58	26.08	28.65	31.30	34.03	36.82	39.69	42.63	45.64	48.73	51.89

Sumber : Hasil perhitungan

Keterangan :
1. Jumlah penduduk : Proyeksi jumlah penduduk menggunakan Metode Aritmatik
2. Jumlah SR : Jumlah penduduk terlayani x (diasumsikan 5 jiwa /rumah)
3. Penduduk terlayani : Jumlah penduduk secara keseluruhan
4. Kebutuhan air tiap hari : 90 lt/org/hr berdasarkan Kriteria Perencanaan Ditjen C.K PU (Tabel 2.2)
5. Kebutuhan air domestik : 90 lt/org/hr x presentase jumlah penduduk terlayani
6. Kebutuhan air nondomestik : 30% dari kebutuhan air domestik
7. Kebutuhan air rata-rata : Kebutuhan domestik + kebutuhan air nondomestik + kehilangan air akibat kebocoran
8. Kebutuhan harian max : Kebutuhan air rata-rata x faktor pengali 1,15
9. Kebutuhan air jam puncak : Kebutuhan air rata-rata x load factor 1,56

Sumber : Hasil Perhitungan

Sumber Air Bersih

Air berasal dari sumber mata air pegunungan pengantin yang dialirkan menuju unit reservoir utama menggunakan pipa transmisi HDPE berdiamater 12". Sistem pengaliran ini beroperasi secara kontinu dengan debit 20 lt/dt.

Analisis Kapasitas Reservoir

Analisis kapasitas reservoir dilakukan untuk mengetahui kemampuan reservoir dalam memenuhi kebutuhan air selama periode pelayanan. Berdasarkan hasil analisis fluktuasi pemakaian air selama 24 jam, reservoir eksisting masih mampu melayani kebutuhan saat in, namun seiring peningkatan kebutuhan air pada tahun rencana mengharuskan evaluasi kapasitas agar kontinuitas pelayanan tetap terjaga terutama pada jam puncak.

Tabel 4. 8 Kapasitas Reservoir tahun 2035

Waktu (jam)	Load Faktor	Pemakaian m3/jam			
		Produksi	Kebutuhan	Selisih	Komulatif
1	2	3	4=(2x3)	5=(3-4)	6=(6+5)
00.00 – 01.00	0.3	119.8	35.93	83.83	83.83
01.00 – 02.00	0.37	119.8	44.31	75.44	159.27
02.00 – 03.00	0.45	119.8	53.89	65.86	225.13
03.00 – 04.00	0.64	119.8	76.64	43.11	268.24
04.00 – 05.00	1.15	119.8	137.71	-17.96	250.28
05.00 – 06.00	1.4	119.8	167.65	-47.90	202.38
06.00 – 07.00	1.53	119.8	183.22	-63.47	138.91
07.00 – 08.00	1.56	119.8	186.81	-67.06	71.85
08.00 – 09.00	1.41	119.8	168.85	-49.10	22.75
09.00 – 10.00	1.38	119.8	165.26	-45.51	-22.75
10.00 – 11.00	1.27	119.8	152.08	-32.33	-55.09
11.00 – 12.00	1.2	119.8	143.70	-23.95	-79.04
12.00 – 13.00	1.14	119.8	136.52	-16.77	-95.80
13.00 – 14.00	1.17	119.8	140.11	-20.36	-116.16
14.00 – 15.00	1.18	119.8	141.31	-21.56	-137.71
15.00 – 16.00	1.22	119.8	146.10	-26.35	-164.06
16.00 – 17.00	1.31	119.8	156.87	-37.12	-201.18
17.00 – 18.00	1.38	119.8	165.26	-45.51	-246.69
18.00 – 19.00	1.25	119.8	149.69	-29.94	-276.62
19.00 – 20.00	0.98	119.8	117.36	2.40	-274.23
20.00 – 21.00	0.62	119.8	74.25	45.51	-228.72
21.00 – 22.00	0.45	119.8	53.89	65.86	-162.86
22.00 – 23.00	0.37	119.8	44.31	75.44	-87.42
23.00 – 00.00	0.25	119.8	29.94	89.81	2.40

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

(1) = *Load Factor* (DPU Ditjen Cipta Karya,2000)

(2) = Kapasitas Produksi Tiap 1 Jam, 33,26 lt/dt = 119,8 m^3/jam

(3) = (2) x (1)

(4) = Selisih pemakaian (2) – (3)

(5) = Komulatif isi (5+4)

Pengembangan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih

Sistem jaringan air bersih pada peningkatan yang digunakan pada daerah Kecamatan Ledokombo menggunakan sistem gravitasi yang bersumber pada Mata Air Pegunungan Pengantin. Dengan debit produksi saat ini adalah 20 lt/dt, namun debit produksi tersebut kurang memenuhi pada jam puncak tahun 2035, sehingga harus menambahkan debit produksi untuk tahun rencana yaitu sebesar 15 lt/dt. Peningkatan pipa menggunakan jenis pipa HDPE dengan Hazen-Williams C= 140.

Kebutuhan Air pada tiap titik simpul

Untuk menentukan kebutuhan air tiap titik simpul (*junction)* menggunakan pendekatan yaitu Metode Panjang Pipa Efektif *(Effective Pipe Length Method)*. Metode pendekatan ini digunakan dalam pemodelan hidrolis sistem distribusi air yang terdapat dalam *software WaterGEMS* untuk mengisi data kebutuhan air dasar *(base demand)* pada tiap titik simpul *(junction)*.

Tabel 4. 9 Kebutuhan Air tiap titik simpul

ID Junction	Panjang Pipa (m)	Kebutuhan air per meter pipa (lt/dt/m)	Base Demand (lt/dt)
J-1	117	0.001320998	0.155
J-2	1,789	0.001320998	2.363
J-3	1,027	0.001320998	1.357
J-4	92	0.001320998	0.122
J-5	652	0.001320998	0.861
J-6	644	0.001320998	0.851
J-7	1,716	0.001320998	2.267
J-8	289	0.001320998	0.382
J-9	671	0.001320998	0.886
J-10	940	0.001320998	1.242
J-11	740	0.001320998	0.978
J-12	638	0.001320998	0.843
J-13	1,026	0.001320998	1.355
J-14	929	0.001320998	1.227
J-15	726	0.001320998	0.959
J-16	555	0.001320998	0.733
J-17	1,607	0.001320998	2.123
J-18	705	0.001320998	0.931
J-19	989	0.001320998	1.306
J-20	1,842	0.001320998	2.433
J-21	1,242	0.001320998	1.641
J-22	591	0.001320998	0.781
J-23	294	0.001320998	0.388
J-24	1,653	0.001320998	2.184
J-25	1,096	0.001320998	1.448
J-26	775	0.001320998	1.024
J-27	1,836	0.001320998	2.425
Total	25181		33.26

Sumber : Hasil Perhitungan

Analisa Tekanan pukul 00.00

ID	LABEL	Elevation (m)	Demand Collection	Demand (L/s)	Pressure (atm)
30	J-1	480	<Collection: 1 items>	1	1.15
31	J-2	469	<Collection: 1 items>	0	2.11
32	J-3	465	<Collection: 1 items>	1	2.44
33	J-4	462	<Collection: 1 items>	1	2.72
34	J-5	423	<Collection: 1 items>	5	6.46
35	J-6	445	<Collection: 1 items>	1	4.28
36	J-7	453	<Collection: 1 items>	0	3.59
37	J-8	451	<Collection: 1 items>	0	3.74
38	J-9	446	<Collection: 1 items>	1	4.18
39	J-10	439	<Collection: 1 items>	1	4.85
40	J-11	430	<Collection: 1 items>	1	5.68
41	J-12	424	<Collection: 1 items>	0	6.25
42	J-13	440	<Collection: 1 items>	0	4.67
43	J-14	427	<Collection: 1 items>	0	5.95
44	J-15	425	<Collection: 1 items>	0	6.12
45	J-16	426	<Collection: 1 items>	1	6
46	J-17	424	<Collection: 1 items>	0	6.09
47	J-18	415	<Collection: 1 items>	1	7.05
48	J-19	415	<Collection: 1 items>	1	7.02
49	J-20	410	<Collection: 1 items>	1	7.48
50	J-21	415	<Collection: 1 items>	0	7.04
51	J-22	412	<Collection: 1 items>	1	7.32
52	J-23	412	<Collection: 1 items>	0	7.29
53	J-24	416	<Collection: 1 items>	1	6.89
54	J-25	411	<Collection: 1 items>	0	7.33
55	J-26	414	<Collection: 1 items>	0	7.05
56	J-27	412	<Collection: 1 items>	0	7.21

Sumber : Hasil Perhitungan

Analisa Kecepatan Aliran pukul 00.00

ID	LABEL	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (in)	Material	Hazen-Williams C	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)
57	P-1	117	R-1	J-1	10	HDPE	140	0.43	0.737
58	P-2	1,527	J-1	J-2	10	HDPE	140	0.41	0.68
59	P-3	918	J-2	J-3	10	HDPE	140	0.4	0.665
60	P-4	92	J-3	J-4	10	HDPE	140	0.38	0.602
85	P-5	1,713	J-4	J-5	8	HDPE	140	0.1	0.216
86	P-6	877	J-5	J-6	3	HDPE	140	0.17	0.559
61	P-7	834	J-3	J-7	3	HDPE	140	0.18	0.146
64	P-8	638	J-4	J-8	8	HDPE	140	0.39	0.81
83	P-9	506	J-8	J-9	8	HDPE	140	0.38	0.773
65	P-10	294	J-9	J-10	6	HDPE	140	0.15	0.186
62	P-11	1,383	J-10	J-11	4	HDPE	140	0.15	0.297
66	P-12	1,545	J-9	J-12	8	HDPE	140	0.27	0.413
67	P-13	612	J-12	J-13	2	HDPE	140	0.12	0.493
81	P-14	235	J-12	J-14	8	HDPE	140	0.25	0.363
68	P-15	666	J-14	J-15	8	HDPE	140	0.24	0.334
82	P-16	902	J-15	J-16	8	HDPE	140	0.23	0.309
63	P-17	937	J-16	J-17	2	HDPE	140	0.19	1.114
73	P-18	705	J-16	J-18	6	HDPE	140	0.14	0.179
69	P-19	829	J-18	J-19	4	HDPE	140	0.16	0.347
80	P-20	1,653	J-18	J-20	3	HDPE	140	0.12	0.28
70	P-21	740	J-16	J-21	6	HDPE	140	0.16	0.231
71	P-22	581	J-21	J-22	6	HDPE	140	0.15	0.199
72	P-23	1,494	J-22	J-23	3	HDPE	140	0.1	0.199
76	P-24	875	J-22	J-24	4	HDPE	140	0.21	0.575
77	P-25	414	J-24	J-25	2	HDPE	140	0.19	1.039
79	P-26	768	J-24	J-26	3	HDPE	140	0.14	0.396
78	P-27	537	J-26	J-27	2	HDPE	140	0.15	0.67

Sumber : Hasil Perhitungan

Analisa Tekanan pukul 07.00

ID	LABEL	Elevation (m)	Demand Collection	Demand (L/s)	Pressure (atm)
30	J-1	480	<Collection: 1 items>	3	1.09
31	J-2	469	<Collection: 1 items>	1	1.36
32	J-3	465	<Collection: 1 items>	2	1.28
33	J-4	462	<Collection: 1 items>	2	1.53
34	J-5	423	<Collection: 1 items>	17	5.01
35	J-6	445	<Collection: 1 items>	2	2.51
36	J-7	453	<Collection: 1 items>	1	2.35
37	J-8	451	<Collection: 1 items>	1	2.2
38	J-9	446	<Collection: 1 items>	3	2.38
39	J-10	439	<Collection: 1 items>	5	3.02
40	J-11	430	<Collection: 1 items>	4	3.57
41	J-12	424	<Collection: 1 items>	1	4.02
42	J-13	440	<Collection: 1 items>	1	2.24
43	J-14	427	<Collection: 1 items>	1	3.66
44	J-15	425	<Collection: 1 items>	1	3.69
45	J-16	426	<Collection: 1 items>	5	3.38
46	J-17	424	<Collection: 1 items>	1	2.77
47	J-18	415	<Collection: 1 items>	2	4.34
48	J-19	415	<Collection: 1 items>	4	4.12
49	J-20	410	<Collection: 1 items>	2	4.47
50	J-21	415	<Collection: 1 items>	1	4.31
51	J-22	412	<Collection: 1 items>	2	4.51
52	J-23	412	<Collection: 1 items>	1	4.28
53	J-24	416	<Collection: 1 items>	2	3.74
54	J-25	411	<Collection: 1 items>	1	3.89
55	J-26	414	<Collection: 1 items>	1	3.7
56	J-27	412	<Collection: 1 items>	1	3.61

Sumber : Hasil Perhitungan

Analisa Kecepatan Aliran pukul 07.00

ID	LABEL	Length (Scaled) (m)	Start Node	Stop Node	Diameter (in)	Material	Hazen-Williams C	Velocity (m/s)	Headloss Gradient (m/km)
57	P-1	117	R-1	J-1	10	HDPE	140	1.3	5.831
58	P-2	1,527	J-1	J-2	10	HDPE	140	1.25	5.379
59	P-3	918	J-2	J-3	10	HDPE	140	1.23	5.26
60	P-4	92	J-3	J-4	10	HDPE	140	1.17	4.762
85	P-5	1,713	J-4	J-5	8	HDPE	140	0.58	1.707
86	P-6	877	J-5	J-6	3	HDPE	140	0.53	4.425
61	P-7	834	J-3	J-7	3	HDPE	140	0.25	1.159
64	P-8	638	J-4	J-8	8	HDPE	140	1.19	6.41
83	P-9	506	J-8	J-9	8	HDPE	140	1.16	6.119
65	P-10	294	J-9	J-10	6	HDPE	140	0.45	1.469
62	P-11	1,383	J-10	J-11	4	HDPE	140	0.45	2.351
66	P-12	1,545	J-9	J-12	8	HDPE	140	0.83	3.268
67	P-13	612	J-12	J-13	2	HDPE	140	0.38	3.899
81	P-14	235	J-12	J-14	8	HDPE	140	0.77	2.869
68	P-15	666	J-14	J-15	8	HDPE	140	0.74	2.64
82	P-16	902	J-15	J-16	8	HDPE	140	0.71	2.444
63	P-17	937	J-16	J-17	2	HDPE	140	0.59	8.816
73	P-18	705	J-16	J-18	6	HDPE	140	0.44	1.415
69	P-19	829	J-18	J-19	4	HDPE	140	0.49	2.748
80	P-20	1,653	J-18	J-20	3	HDPE	140	0.36	2.219
70	P-21	740	J-16	J-21	6	HDPE	140	0.5	1.826
71	P-22	581	J-21	J-22	6	HDPE	140	0.47	1.574
72	P-23	1,494	J-22	J-23	3	HDPE	140	0.3	1.574
76	P-24	875	J-22	J-24	4	HDPE	140	0.64	4.554
77	P-25	414	J-24	J-25	2	HDPE	140	0.57	8.225
79	P-26	768	J-24	J-26	3	HDPE	140	0.44	3.135
78	P-27	537	J-26	J-27	2	HDPE	140	0.45	5.375

Sumber : Hasil Perhitungan

Pembahasan :

1. Dari hasil perhitungan uji kesesuaian proyeksi penduduk untuk Desa Sumber Salak dan Desa Sumber Bulus di Kecamatan Ledokombo, metode Aritmatik yang paling mendekati kebenaran, yaitu nilai koefisien korelasinya paling mendekati +1 sebesar 0,9689. Metode Aritmatik inilah yang digunakan untuk memproyeksikan jumlah penduduk hingga tahun 2035 sebesar 24.663 jiwa.
2. Dari hasil perhitungan proyeksi kebutuhan air bersih pada tahun rencana 2035, diperoleh kebutuhan air rata-rata sebesar 33,26 lt/dt. Sedangkan untuk kebutuhan air pada jam puncak diproyeksikan sebesar 51,89 lt/dt.
3. Dari hasil perhitungan fluktuasi pemakaian air selama 24 jam, dibutuhkan kapasitas tampungan reservoir sebesar 544,87 m³. Kapasitas ini masih dapat dipenuhi oleh reservoir eksisting Pamsimas Ledokombo yang berkapasitas 560 m³ tanpa perlu penambahan volume.
4. Pengembangan dan peningkatan sistem jaringan distribusi air bersih dilakukan dengan penggantian serta penyesuaian diameter pipa menggunakan bahan HDPE (diameter 2" hingga 10"). Hasil simulasi WaterGEMS V8i menunjukkan bahwa pada jam puncak (pukul 07.00), seluruh titik simpul dan ruas pipa telah memenuhi kontrol tekanan $(1{,}09 - 5{,}01$ atm), kecepatan aliran $(0{,}25 - 1{,}30$ m/dt), serta *headloss gradient* $(0 - 8{,}816$ m/km) sesuai kriteria standar hidraulika.

5. PENUTUP

Kesimpulan

1. Berdasarkan uji kesesuaian proyeksi penduduk, metode Aritmatik terpilih sebagai metode terbaik dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9689. Hasil proyeksi jumlah penduduk pada tahun 2035 mencapai 24.663 jiwa dengan total kebutuhan air bersih rata-rata sebesar 33,26 lt/dt dan kebutuhan air jam puncak sebesar 51,89 lt/dt.
2. Berdasarkan hasil analisis fluktuasi kebutuhan air harian selama 24 jam pada tahun rencana 2035, volume tampungan reservoir yang dibutuhkan adalah sebesar 544,87 m^3. Nilai tersebut masih lebih kecil dibandingkan kapasitas reservoir eksisting sebesar 560 m^3, sehingga kapasitas reservoir eksisting dinyatakan masih mencukupi hingga tahun 2035 tanpa memerlukan penambahan bangunan reservoir baru.
3. Peningkatan jaringan distribusi air bersih dilakukan melalui penyesuaian dan penggantian diameter pipa menggunakan material HDPE (diameter $2''$ hingga $10''$). Seluruh parameter hidrolika baik pada jam pemakaian minimum (00.00) maupun jam puncak (07.00) telah memenuhi kriteria teknis perencanaan, sehingga jaringan pipa hasil peningkatan dinyatakan layak dan mampu melayani kebutuhan air bersih masyarakat hingga tahun 2035.

Saran

1. Perlu dilakukan verifikasi debit dan pengukuran hidrometri secara langsung di lapangan sebelum tahap konstruksi fisik dilaksanakan, guna memastikan ketersediaan pasokan debit.
2. Perlu dipertimbangkan pemasangan katup pengatur tekanan *(Pressure Reducing Valve/PRV)* pada zona-zona dengan tekanan tinggi, khususnya pada titik simpul di zona hilir.
3. Perlu dilakukan pengembangan jaringan distribusi secara bertahap pada wilayah yang belum terlayani sehingga cakupan pelayanan air bersih dapat meningkat dan lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

Kab. Jember, B. (2025). *Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember*. BPS Kabupaten Jember. https://jemberkab.bps.go.id/id/publication/2025/09/26/3867591fc448b8ef02244a66/kecamatan-ledokombo-dalam-angka-2025.html

Kementerian Kesehatan. (2023). Permenkes No. 2 Tahun 2023. *Kemenkes Republik Indonesia*, *55*, 1–175.

Laksono, A. A. T. (2021). *Pengembangan Sistem Penyediaan Air Bersih Kecamatan Tegalsiwalan Kabupaten Probolinggo*. Institut Teknologi Nasional Malang.

Patrya, C. (2022). *Pengembangan Sistem Penyediaan Air Bersih PDAM di Kecamatan Tumpang Kabupaten Malang* [Institut Teknologi Nasional Malang]. http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/7576

Subagiyo, M. R., Mundra, W., & Surbakti, D. S. (2023). Program Studi Teknik Sipil S1, ITN MALANG KAJIAN PENGEMBANGAN

SISTEM PENYEDIAAN AIR BERSIH DI WILAYAH KECAMATAN BARENG KABUPATEN JOMBANG. *Student Journal GELAGAR*, *1*, 1–8.

Triatmojo,B.(1993).*HidraulikaI*.https://www.scribd.com/document/363366649/Hidraulika-1-Prof-Dr-Ir-Bambang-Triatmojo-Ces-Dea

Warmi, L. (2023). *Pengembangan Sistem Jaringan Air Bersih Di Kecamatan Wates Kabupaten Kediri*. http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/11314