

ANALISIS KEBUTUHAN DAN KETERSEDIAAN SERTA PROYEKSI AIR BERSIH PADA SUMBER AIR TANAH KARST DI PULAU TOMIA (Studi Kasus : Wilayah Pelayanan Air Bersih Kabupaten Wakatobi)

Ahmad Fauzi Hasan¹, Novi Andhi Setyo Purwono²

^{1,2}Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta

Email: lafauzihasan@gmail.com

Abstrak

Pulau Tomia merupakan wilayah kepulauan di Kabupaten Wakatobi yang kondisi geologinya didominasi batuan karbonat, sehingga pemenuhan air bersih masyarakat sangat bergantung pada air tanah karst yang dimanfaatkan Yayasan Te'e Luo melalui sistem pemompaan berkapasitas 11 liter/detik. Pertumbuhan penduduk yang terus berlangsung diperkirakan akan meningkatkan kebutuhan air, sementara kapasitas produksi pompa relatif tetap, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air di masa mendatang. Penelitian ini bertujuan menganalisis proyeksi jumlah penduduk, kebutuhan air bersih, ketersediaan air, serta neraca air di wilayah pelayanan hingga tahun 2045. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif. Proyeksi penduduk dihitung menggunakan metode aritmatika, geometrik, dan regresi linear, kemudian dipilih metode terbaik berdasarkan koefisien korelasi Pearson dan standar deviasi residual. Kebutuhan air dihitung mengacu pada Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya, sedangkan ketersediaan air ditentukan dari kapasitas produksi aktual sistem pemompaan. Hasil penelitian menunjukkan metode regresi linear paling sesuai digunakan, dengan proyeksi penduduk mencapai 9.151 jiwa pada tahun 2045. Kebutuhan air rencana pada tahun tersebut diperkirakan 871,36 m³/hari, sedangkan ketersediaan air eksisting hanya 752,40 m³/hari. Sistem masih mampu memenuhi kebutuhan hingga tahun 2030, namun mulai defisit sejak 2031 dan terus meningkat hingga -118,96 m³/hari pada tahun 2045. Skenario penambahan waktu operasional pompa dari 19 jam menjadi 22 jam per hari mampu meningkatkan ketersediaan air menjadi 871,20 m³/hari, sehingga kebutuhan air dapat terpenuhi hampir seimbang hingga akhir periode proyeksi. Dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan penduduk menjadi faktor utama peningkatan kebutuhan air, sedangkan kapasitas produksi yang tidak berkembang berpotensi menimbulkan defisit jangka panjang. Optimalisasi jam operasional pompa dapat menjadi solusi sementara, namun pengembangan sumber air dan peningkatan kapasitas sistem tetap diperlukan untuk keberlanjutan pelayanan air bersih di Pulau Tomia.

Kata kunci: Air tanah karst, Proyeksi Penduduk, Kebutuhan Air Bersih, Ketersediaan Air, Neraca Air

Abstract

Tomia Island is an archipelagic region in Wakatobi Regency, where the geological conditions are dominated by carbonate rocks. As a result, the community's access to clean water heavily relies on karst groundwater, which is utilized by the Te'e Luo Foundation thru a pumping system with a capacity of 11 liters/second. The ongoing population growth is expected to increase water demand, while the pump production capacity remains relatively constant, potentially leading to an imbalance between water demand and availability in the future. This study aims to analyze the projections of population growth, clean water demand, water availability, and water balance in the service area until 2045. The method used is quantitative descriptive. Population projections are calculated using arithmetic, geometric, and linear regression methods, and the best method is selected based on the Pearson correlation coefficient and residual standard deviation. Water demand is calculated based on the Planning Criteria of the Directorate General of Human Settlements, while water availability is determined by the actual production capacity of the pumping system. The research results indicate that the linear regression method is the most suitable to use, with a projected population reaching 9,151 people by 2045. The planned water demand for that year is estimated at 871.36 m³/day, while the existing water availability is only 752.40 m³/day. The system can still meet the demand until 2030, but it starts to experience a deficit from 2031 and continues to increase to -118.96 m³/day by 2045. The scenario of extending the pump's operational hours from 19 hours to 22 hours per day can increase water availability to 871.20 m³/day, thereby meeting water needs almost evenly until the end of the projection period. It can be concluded that population growth is the main factor driving the increase in water demand, while the stagnant production capacity has the potential to cause a long-term deficit. Optimizing pump operational hours can be a temporary solution, but the development of water sources and the enhancement of system capacity are still necessary for the sustainability of clean water services on Tomia Island.

Keywords: Karst groundwater, Population Projection, Clean Water Demand, Water Availability, Water balance/

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan pokok yang menunjang kegiatan rumah tangga, sanitasi, serta aktivitas sosial-ekonomi masyarakat. Ketersediaan air yang mencukupi dari sisi kuantitas, kualitas, dan kontinuitas menjadi prasyarat kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (Adama et al., 2024; Yusriyani et al., 2026). Pada wilayah kepulauan kecil, keterbatasan air permukaan menyebabkan masyarakat sangat bergantung pada air tanah sebagai sumber utama (Yusriyani et al., 2026).

Pulau Tomia, Kabupaten Wakatobi, memiliki geologi yang didominasi batuan kapur dan karang terangkat sehingga membentuk sistem akuifer karst. Akuifer karst di kawasan kepulauan bersifat rentan karena cadangan air tawar terbatas dan berbatasan langsung dengan air laut; eksploitasi berlebihan berpotensi mengganggu keseimbangan tekanan hidrostatik dan memicu intrusi air laut (Hartmann et al., 2021; Samsari & Sara, 2022). Waktu pemulihan (recovery time) pada jeda operasi pompa berperan menjaga kestabilan muka air tanah sekaligus menahan potensi intrusi tersebut (Stevanović, 2022; Alqahtani et al., 2024).

Sumber air tanah karst di Pulau Tomia dimanfaatkan Yayasan Te'e Luo melalui sistem pemompaan berkapasitas 11 liter/detik untuk melayani penduduk yang pada 2025 berjumlah 7.212 jiwa. Kapasitas produksi diasumsikan tetap, sementara kebutuhan air diproyeksikan terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, sehingga berpotensi menimbulkan defisit pada masa mendatang apabila tidak dievaluasi secara berkala.

Kajian terdahulu umumnya membandingkan kebutuhan air terhadap debit alami sumber (mata air atau sungai) pada wilayah daratan (Tabuni et al., 2021; Walujodjati et al., 2022; Purba et al., 2025; Riosetiawan et al., 2024; Sugfa, 2024; Sulaiman et al., 2024). Penelitian mengenai keseimbangan air pada sistem yang seluruhnya bergantung pada kapasitas produksi mekanis pompa di akuifer karst kepulauan tanpa opsi substitusi air permukaan masih relatif terbatas.

Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menjadikan kapasitas produksi aktual sistem pemompaan, bukan debit alami sumber, sebagai basis analisis ketersediaan air, sekaligus menguji tiga metode proyeksi penduduk untuk memilih model paling representatif. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis proyeksi jumlah penduduk pada wilayah pelayanan hingga tahun 2045.
2. Menganalisis proyeksi kebutuhan air domestik, non-domestik, faktor kehilangan air, serta Kebutuhan Air Rencana masyarakat pada wilayah pelayanan hingga tahun 2045
3. Menganalisis ketersediaan air bersih dari sumber air tanah karst berdasarkan kapasitas produksi pompa pada wilayah pelayanan di Pulau Tomia.
4. Menganalisis kondisi neraca air berdasarkan perbandingan kebutuhan dan ketersediaan air bersih.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Air Bersih

Air bersih merupakan kebutuhan dasar yang menunjang berbagai aktivitas masyarakat. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 122 Tahun 2015, kebutuhan air dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan tingkat pelayanan, diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem penyediaan air bersih dalam memenuhi kebutuhan masyarakat saat ini maupun pada masa mendatang.

2.2 Sumber Air Bersih

Sumber air bersih yang dimanfaatkan masyarakat meliputi air permukaan, air hujan, dan air tanah. Pada wilayah kepulauan, keterbatasan air permukaan menyebabkan air tanah menjadi sumber utama, terutama pada daerah karst yang memiliki akuifer sebagai media penyimpanan dan aliran air tanah. Pulau Tomia merupakan salah satu wilayah yang kebutuhan air bersihnya bergantung pada air tanah karst, sumber air terdapat di dalam gua.

2.3 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk 20 tahun ke depan (2026–2045) dihitung dengan tiga metode berikut.

- a. Metode Aritmatika mengasumsikan pertambahan penduduk konstan setiap tahun:

$$r = (P_t - P_0) / (P_0 \times t) \quad (1)$$

$$P_n = P_0 \times (1 + (r \times n)) \quad (2)$$

dengan : r = Laju pertumbuhan penduduk P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke- n P_0 = Jumlah penduduk tahun dasar P_t = Jumlah penduduk tahun akhir n = Waktu proyeksi t = Selang waktu data

- b. Metode Geometrik mengasumsikan laju pertumbuhan majemuk (eksponensial):

$$r = (P_t / P_0)^{(1/t)} - 1 \quad (3)$$

$$P_n = P_0 (1 + r)^n \quad (4)$$

dengan: P_n = Jumlah penduduk pada tahun ke- n P_0 = Jumlah penduduk tahun dasar P_t = Jumlah penduduk tahun akhir r = Laju pertumbuhan penduduk n = Waktu proyeksi t = Selang waktu data

c. Metode Regresi Linear membentuk garis tren dari data historis:

$$Y = a + bX \quad (5)$$

$$b = [n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)] / [n\sum X^2 - (\sum X)^2] \quad (6)$$

$$a = (\sum Y - b\sum X) / n \quad (7)$$

dengan P_n = jumlah penduduk tahun ke- n ; P_0 , P_t = penduduk tahun dasar dan tahun akhir data; r = laju pertumbuhan; n = tahun proyeksi; t = selang waktu data; Y = jumlah penduduk; X = variabel waktu; a , b = konstanta dan koefisien regresi.

d. Pemilihan metode terbaik menggunakan koefisien korelasi Pearson (R) dan standar deviasi residual (SD) antara data aktual dan hasil proyeksi masing-masing metode:

$$R = [n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)] / \sqrt{\{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]\}} \quad (8)$$

$$SD = \sqrt{[\sum (E_i - \bar{E})^2 / (n - 1)]} \quad (9)$$

dengan E_i = selisih (error) aktual terhadap proyeksi, $\bar{E}$ = rata-rata error, dan $n = 11$ titik amatan. Metode dengan SD terkecil dipilih sebagai dasar proyeksi kebutuhan air.

2.4 Kebutuhan Air Bersih

Dalam penelitian ini, kebutuhan air bersih terdiri atas :

a. Kebutuhan air domestik dihitung dari standar 60 liter/orang/hari sesuai Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya untuk kawasan pedesaan/kepulauan dengan tingkat pelayanan dasar (Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2000):

$$Q_d = P \times q \quad (10)$$

dengan : Q_d = Kebutuhan air domestik P = Jumlah penduduk q = Standar kebutuhan air per kapita

b. Kebutuhan non-domestik diasumsikan 15% dari kebutuhan domestik (rentang acuan 10–20%):

$$Q_{nd} = p \times Q_d \quad (11)$$

dengan : Q_{nd} = Kebutuhan air non domestik p = Persentase kebutuhan non domestik Q_d = Kebutuhan air domestik

c. Kebutuhan air total dengan persamaan :

$$Q_t = Q_d + Q_{nd} \quad (12)$$

dengan : Q_t = Kebutuhan air total Q_d = Kebutuhan air domestik Q_{nd} = Kebutuhan air non domestik

d. Kebutuhan hari maksimum menggunakan faktor 1,15; kehilangan air (non-revenue water) diasumsikan 20% dari kebutuhan hari maksimum, mengikuti konvensi aditif Ditjen Cipta Karya:

$$Q_{maks} = Q_t \times F_{md} \quad (13)$$

$$Q_h = h\% \times Q_{maks} \quad (14)$$

$$Q_r = Q_{maks} + Q_h \quad (15)$$

Dengan : Q_d , Q_{nd} , Q_t = kebutuhan domestik, non-domestik, total ($m^3/hari$); P = jumlah penduduk; q = standar kebutuhan air per kapita; F_{md} = faktor hari maksimum; Q_r = Kebutuhan Air Rencana.

2.5 Ketersediaan Air Bersih

Ketersediaan air dianalisis dari kapasitas produksi aktual sistem pemompaan, bukan debit alami sumber, karena keterbatasan akses pengukuran langsung di dalam gua karst:

$$Q_s = (q \times 3600 \times t) / 1000 \quad (16)$$

dengan : Q_s = ketersediaan air q = debit total pompa t = Jam operasi pompa.

2.6 Analisis Neraca Air

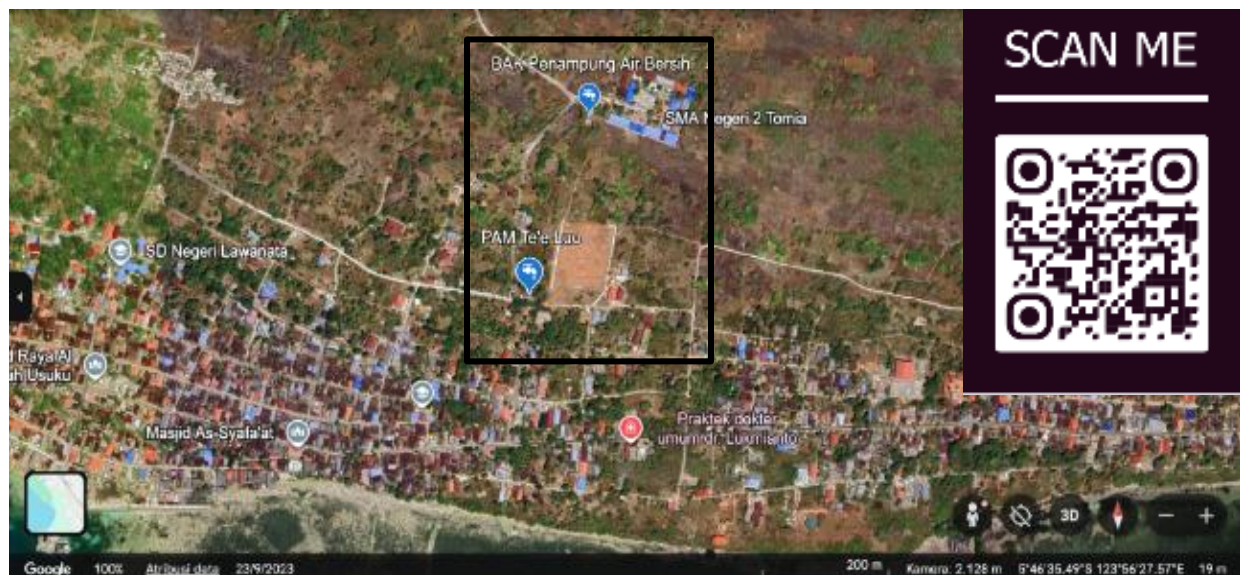
Analisis neraca air cara perhitungan sebagai berikut:

$$S = Q_{supply} - Q_{demand} \quad (17)$$

Kriteria: $S > 0$ surplus; $S < 0$ defisit; $S = 0$ seimbang. Skenario optimalisasi mengevaluasi penambahan durasi operasi pompa dari 19 menjadi 22 jam/hari tanpa penambahan unit pompa, menggunakan Persamaan (16) dengan $t = 22$ jam.

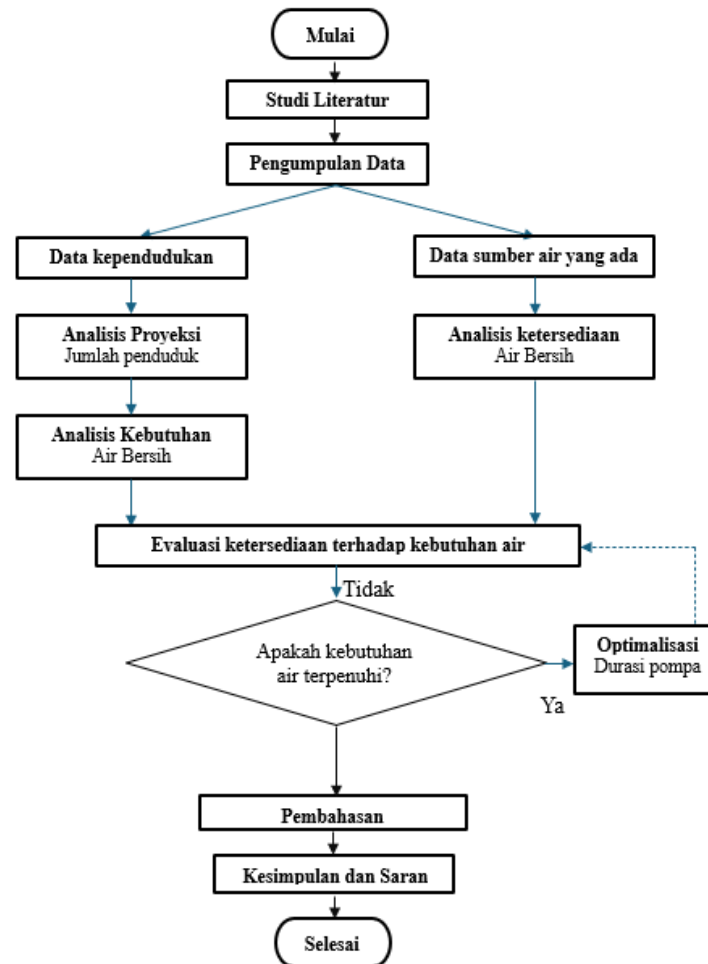
3. METODE

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak di kawasan sumber air tanah yang berada di Kelurahan Tongano Timur, Kecamatan Tomia Timur, Kabupaten Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada tahun 2026 yang mencakup beberapa tahapan kegiatan, mulai dari wawancara dengan pengelola sistem penyediaan air bersih, pengumpulan data, pengolahan dan analisis data, hingga penyusunan laporan penelitian.



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian

Data yang digunakan meliputi:

- (a) jumlah penduduk wilayah pelayanan 2015–2025 dari Badan Pusat Statistik Kecamatan Tomia Timur
- (b) kapasitas debit pompa aktual (11 liter/detik); dan (c) durasi operasi pompa eksisting (19 jam/hari), diperoleh melalui wawancara dengan pengelola sistem.

4.2 Analisis Data

a. Analisis Proyeksi Penduduk

Analisis proyeksi jumlah penduduk dilakukan untuk memperkirakan jumlah penduduk pada wilayah pelayanan Pulau Tomia hingga tahun 2045 sebagai dasar perhitungan kebutuhan air bersih. Data yang digunakan berupa data jumlah penduduk tahun 2015–2025 sebagaimana disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jumlah Penduduk wilayah pelayanan Tahun 2015-2025

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	X
2015	5.311	0
2016	5.729	1
2017	8.127	2
2018	8.176	3
2019	7.436	4
2020	7.395	5
2023	7.009	8
2024	7.110	9
2025	7.212	10

(Sumber: BPS Kecamatan Tomia Timur, 2015-2025)

a. Metode Aritmatika

Metode Aritmatika mengasumsikan bahwa laju pertambahan jumlah penduduk berlangsung secara konstan terhadap jumlah penduduk awal, berdasarkan persamaan (1) dan (2) :

$$r = 0,03579 \text{ atau } 3,579\%$$

$$P_n = P_0 \times (1 + (r \times n))$$

$$P_n = 7212 \times (1 + (0,03579 \times 20))$$

$$P_n = 12375,79 \approx 12376 \text{ Jiwa}$$

b. Metode Geometrik

Metode geometrik merupakan metode proyeksi penduduk yang mengasumsikan pertumbuhan penduduk terjadi secara majemuk setiap tahun. Berdasarkan persamaan (3) dan (4) :

$$r = 0,031070 \text{ atau } r = 3,11\%$$

$$P_n = 7212(1 + 0,031070)^{20}$$

$$P_n = 7212 \times 1,84399$$

$$P_n = 13298,86$$

$$P_n = 13298,86 \approx 13299 \text{ Jiwa}$$

c. Metode Regresi Linear

Metode ini memanfaatkan analisis regresi untuk meminimalkan penyimpangan (error) terhadap data kependudukan periode 2015–2025. berdasarkan persamaan (5), (6), (7) :

$$Y_{2045} = 6646,318 + 83,482(30)$$

$$Y_{2045} = 6646,318 + 2504,46$$

$$Y_{2045} = 9150,778 \approx 9151 \text{ Jiwa}$$

Tabel 3.2 Perbandingan hasil proyeksi penduduk metode aritmatika, geometrik, dan regresi linear tahun 2026–2045

Tahun	Aritmatika	Geometrik	Regresi Linear
2026	7.470	7.436	7.565
2028	7.987	7.905	7.732
2030	8.503	8.404	7.899
2032	9.019	8.935	8.066

Tahun	Aritmatika	Geometrik	Regresi Linear
2034	9.536	9.498	8.232
2036	10.052	10.098	8.399
2038	10.568	10.735	8.566
2040	11.085	11.412	8.733
2042	11.601	12.133	8.900
2045	12.376	13.299	9.151

Data 2015–2025 (Tabel 3.1) memperlihatkan lonjakan penduduk terlayani sebesar 42% pada 2016–2017 (5.729 menjadi 8.127 jiwa) yang bertepatan dengan bergabungnya Desa Dete ke jaringan pelayanan, bukan pertumbuhan alami. Anomali struktural ini memengaruhi seluruh metode proyeksi karena ketiganya mengasumsikan pola pertumbuhan yang homogen sepanjang periode data.

d. Uji Pemilihan Metode Terbaik

Pemilihan metode proyeksi penduduk dilakukan dengan membandingkan metode aritmatika, geometrik, dan regresi linear terhadap data kependudukan aktual tahun 2015–2025. Penilaian dilakukan menggunakan koefisien korelasi (R) dan standar deviasi residual untuk menentukan metode yang paling sesuai digunakan pada tahun rencana.

Tabel 3.3 Uji pemilihan metode proyeksi terbaik.

Parameter Uji	Aritmatika	Geometrik	Regresi Linear
Koefisien korelasi (R)	0,320	0,295	0,320
Standar deviasi residual (SD)	893	908	821
Kategori kekuatan korelasi*	Lemah	Lemah	Lemah
Kriteria terpilih	Cukup sesuai	Kurang sesuai	Terbaik (SD minimum)

**Interpretasi kekuatan Pearson r mengikuti skala umum: <0,20 sangat lemah; 0,20–0,40 lemah; 0,40–0,60 sedang; 0,60–0,80 kuat; >0,80 sangat kuat.*

Ketiga metode menghasilkan koefisien korelasi rendah ($R = 0,295–0,320$), yang menurut skala interpretasi umum tergolong lemah, bukan “sesuai” sebagaimana disebutkan pada penelitian sebelumnya. Regresi linear tetap dipilih karena memiliki standar deviasi residual terkecil ($SD = 821$ versus 893 dan 908) sehingga error absolutnya paling kecil dibanding dua metode lain, namun tingkat kepercayaan proyeksi tetap perlu dibaca secara hati-hati mengingat korelasinya yang lemah.

b. Analisis Kebutuhan Air Bersih

Kebutuhan air bersih dihitung berdasarkan proyeksi penduduk metode regresi linear. Perhitungan mencakup kebutuhan domestik, non-domestik, dan total kebutuhan air dan air rencana.

a. Kebutuhan Domestik

Kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk proyeksi dan standar kebutuhan air sebesar 60 liter/orang/hari. berdasarkan persamaan (10).

$$Q_d = \frac{9151 \times 60}{1000}$$

$$Q_d = \frac{549060}{1000} = 549,06 \text{ m}^3/\text{hari}$$

b. Kebutuha non domestik

Kebutuhan air non-domestik dihitung sebagai bagian dari kebutuhan air domestik, dengan asumsi sebesar 15%. Berdasarkan persamaan (11)

$$Q_{nd} = 15\% \times Q_d$$

$$Q_{nd} = 15\% \times 549.06$$

$$Q_{nd} = 82.36 \text{ m}^3/\text{hari}$$

c. Kebutuhan air total

merupakan akumulasi dari kebutuhan air domestik dan non-domestik yang digunakan sebagai dasar perencanaan kebutuhan air rata-rata harian. Berdasarkan persamaan (12)

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

$$Q_t = 549.06 + 82.36$$

$$Q_t = 631,42 \text{ m}^3/\text{hari}$$

d. Kebutuhan rencana

Analisis kebutuhan air rencana dilakukan berdasarkan kebutuhan hari maksimum dan kehilangan air. Kebutuhan hari maksimum dihitung sebesar 1,15 kali kebutuhan air rata-rata harian, sedangkan kehilangan air diasumsikan sebesar 20%. Berdasarkan persamaan (13), (14), dan (15)

Tabel 3.4 Proyeksi kebutuhan air bersih wilayah pelayanan

Tahun	Keb. Total Rata-rata	Keb. Hari Maksimum	Kehilangan Air	Keb. Air Rencana
2025	497,63	572,27	114,45	686,73
2026	521,99	600,28	120,06	720,34
2028	533,51	613,53	122,71	736,24
2030	545,03	626,79	125,36	752,14
2032	556,55	640,04	128,01	768,04
2034	568,01	653,21	130,64	783,85
2036	579,53	666,46	133,29	799,75
2038	591,05	679,71	135,94	815,65
2040	602,58	692,96	138,59	831,56
2042	614,10	706,22	141,24	847,46
2044	625,62	719,47	143,89	863,36
2045	631,42	726,13	145,23	871,36

c. Analisis Ketersedian Air Bersih

Sistem eksisting mengoperasikan dua unit pompa bergantian berkapasitas total 11 liter/detik selama 19 jam/hari. Berdasarkan Persamaan (16):

$$Q_s = \frac{q \times 3600 \times t}{1000} Q_s = \frac{11 \times 3600 \times 19}{1000} = 752,40 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Nilai ini diasumsikan konstan sepanjang periode proyeksi karena belum ada rencana penambahan unit pompa

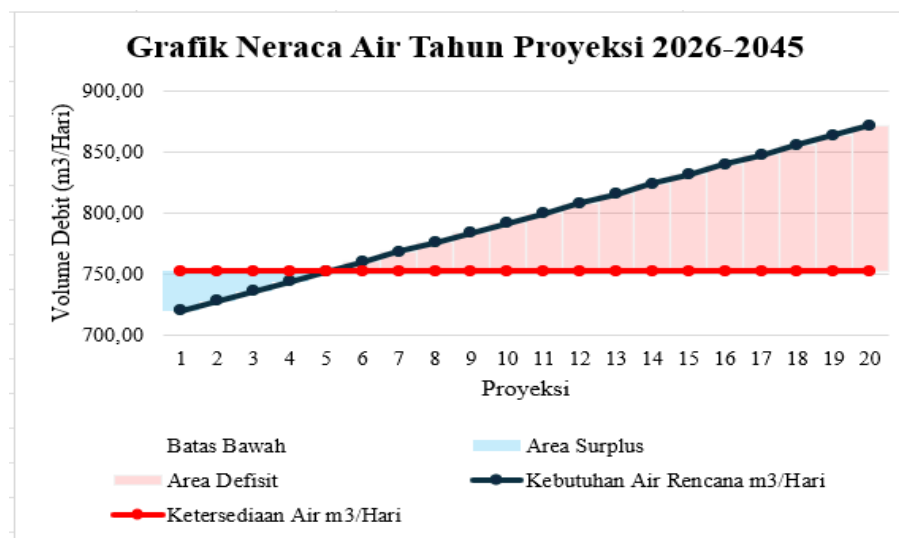
d. Neraca Air

Analisis neraca air dilakukan dengan membandingkan ketersediaan air baku dan kebutuhan air maksimum hingga tahun 2045. Ketersediaan air baku sebesar 752,40 m³/hari diperoleh dari pengoperasian pompa berkapasitas 11,00 liter/detik selama 19 jam per hari, sedangkan kebutuhan air rencana tahun 2045 mencapai 871,36 m³/hari. Gambaran yang lebih jelas mengenai dinamika tersebut, perbandingan antara ketersediaan dan kebutuhan air yang akan di sajikan pada Tabel 3.5 dan gambar 3.3. berikut.

Tabel 3.5 Neraca air kondisi eksisting, tahun terpilih 2026–2045

Tahun	Kebutuhan	Ketersediaan	Selisih	Keterangan
2026	720,34	752,40	32,06	Surplus
2027	728,24	752,40	24,16	Surplus
2028	736,24	752,40	16,16	Surplus
2029	744,14	752,40	8,26	Surplus
2030	752,14	752,40	0,26	Surplus
2031	760,05	752,40	-7,65	Defisit
2035	791,85	752,40	-39,45	Defisit
2040	831,56	752,40	-79,16	Defisit
2045	871,36	752,40	-118,96	Defisit

Gambar 3.3 Neraca Air Tahun 2026-2045



Sistem eksisting hanya mampu memenuhi kebutuhan hingga 2030, dengan surplus yang menipis dari 32,06 m³/hari (2026) menjadi 0,26 m³/hari (2030) — praktis titik impas. Defisit pertama terjadi pada 2031 (-7,65 m³/hari) dan terus melebar secara kumulatif hingga -118,96 m³/hari pada 2045, setara dengan kekurangan pasokan bagi diperkirakan lebih dari 1.900 jiwa pada kebutuhan dasar 60 liter/orang/hari. Tren ini menegaskan bahwa kapasitas produksi yang tidak berkembang menjadi faktor pembatas utama, sejalan

dengan temuan Wintyaswan dkk. (2022) bahwa kapasitas pasokan konstan tanpa pengembangan infrastruktur akan mencapai titik kritis defisit.

e. Optimalisisai Ketersediaan Air Bersih

Simulasi dilakukan dengan meningkatkan durasi operasi pompa dari 19 jam menjadi 22 jam per hari tanpa mengubah kapasitas pompa sebesar 11 liter/detik maupun menambah sumber air baru. Skenario ini digunakan untuk mengevaluasikemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan air hingga akhir periode proyeksi, menggunakan persamaan (16) :

$$Q_s = \frac{q \times 3600 \times t}{1000}$$

$$Q_s = 11 \times 3600 \times 22$$

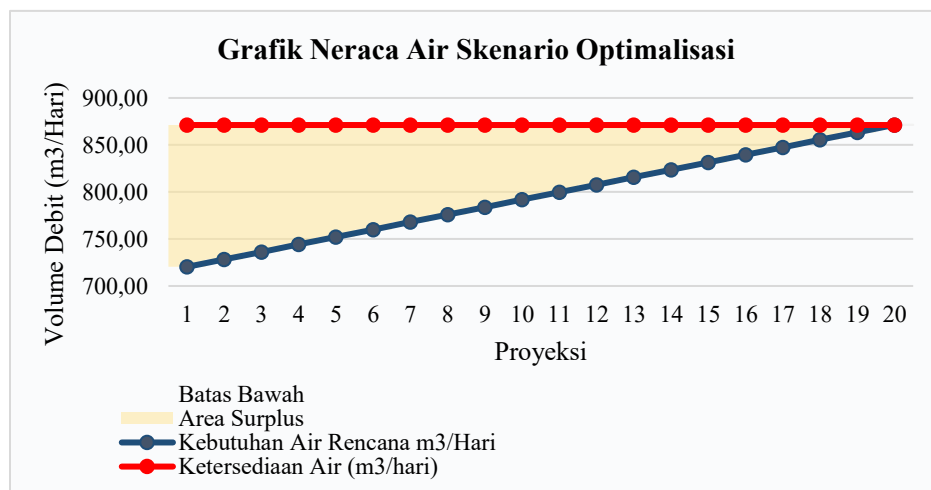
$$Q_s = 871.200 \text{ liter/hari}$$

$$Q_s = 871,20 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Tabel 3 6 Neraca air skenario optimalisasi, tahun terpilih 2026–2045

Tahun	Kebutuhan	Ketersediaan	Selisih	Keterangan
2026	720,34	871,20	150,86	Surplus
2030	752,14	871,20	119,06	Surplus
2035	791,85	871,20	79,35	Surplus
2040	831,56	871,20	39,64	Surplus
2043	855,46	871,20	15,74	Surplus
2044	863,36	871,20	7,84	Surplus
2045	871,36	871,20	-0,16	Defisit

Gambar 3.4 Neraca Air Optimalisasi 2026-2045



f. Hasil Skenario Optimilisasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan durasi operasional pompa dari 19 jam menjadi 22 jam per hari dapat meningkatkan kapasitas pasokan air dari 752,40 m³/hari menjadi 871,20 m³/hari tanpa penambahan unit pompa maupun pengembangan sumber air baru.

Berdasarkan analisis neraca air, skenario optimalisasi mampu memenuhi kebutuhan air hingga akhir periode proyeksi. Namun, surplus air yang tersedia terus menurun seiring meningkatnya kebutuhan air, sehingga pengembangan sistem penyediaan air bersih tetap diperlukan sebagai upaya jangka panjang untuk menjaga keberlanjutan pelayanan.

4.3 Hasil Pembahasan Penelitian

Hasil pembahasan menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan air bersih di wilayah pelayanan Pulau Tomia terus meningkat selama periode perencanaan. Sementara itu, ketersediaan air pada kondisi eksisting cenderung tetap karena bergantung pada kapasitas produksi sistem pemompaan, sehingga selisih antara ketersediaan dan kebutuhan air semakin berkurang dari tahun ke tahun.

Hasil analisis neraca air menunjukkan bahwa kapasitas pelayanan eksisting memiliki keterbatasan dalam memenuhi kebutuhan air jangka panjang. Melalui skenario optimalisasi durasi operasional pompa, kapasitas pasokan air dapat ditingkatkan sehingga kondisi neraca air menjadi lebih baik dibandingkan kondisi eksisting. Secara umum, hasil analisis proyeksi penduduk, kebutuhan air, ketersediaan air, dan neraca air menunjukkan bahwa kemampuan pelayanan sistem penyediaan air bersih sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara pertumbuhan kebutuhan air dan kapasitas pasokan yang tersedia.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil analisis proyeksi jumlah penduduk, kebutuhan air bersih, ketersediaan air, dan neraca air pada wilayah pelayanan sumber air tanah karst di Pulau Tomia, Kabupaten Wakatobi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil proyeksi jumlah penduduk menunjukkan peningkatan hingga tahun 2045. Berdasarkan uji standar deviasi residual dan koefisien korelasi, metode regresi linear merupakan metode yang paling representatif untuk memproyeksikan pertumbuhan penduduk. Dengan metode tersebut, jumlah penduduk diproyeksikan mencapai 9.151 jiwa pada tahun 2045.
2. Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan kebutuhan air bersih terus meningkat hingga mencapai 871,36 m³/hari pada tahun 2045.
3. Ketersediaan air bersih eksisting sebesar 752,40 m³/hari masih mampu memenuhi kebutuhan pada awal periode perencanaan, namun diproyeksikan mengalami defisit mulai tahun 2031 akibat peningkatan kebutuhan air.
4. Optimalisasi durasi operasional pompa dari 19 jam menjadi 22 jam per hari dapat meningkatkan ketersediaan air menjadi 871,20 m³/hari, sehingga kebutuhan air hingga tahun 2045 masih dapat dipenuhi

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pengelola sistem penyediaan air bersih perlu melakukan evaluasi secara berkala terhadap pertumbuhan penduduk dan kebutuhan air sebagai dasar penyesuaian kapasitas pelayanan.
2. Optimalisasi durasi operasional pompa hingga 22 jam per hari dapat dipertimbangkan sebagai solusi jangka pendek untuk meningkatkan kapasitas pasokan air, dengan tetap didukung oleh pemeliharaan dan pemeriksaan peralatan secara rutin.
3. Mengingat kebutuhan air terus meningkat, perlu disiapkan rencana pengembangan sistem penyediaan air bersih di masa mendatang melalui peningkatan kapasitas produksi maupun pemanfaatan sumber air alternatif.

4. Konservasi daerah resapan air perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk menjaga ketersediaan dan keberlanjutan sumber air yang dimanfaatkan masyarakat.
5. Penelitian selanjutnya disarankan mengkaji keberlanjutan sumber air tanah karst, termasuk safe yield dan fluktuasi muka air tanah, serta melakukan analisis kehilangan air (NRW) dan evaluasi jaringan distribusi secara lebih rinci.

6. REFERENSI

- Adama, R. A., Zakaria, A., Taufik P, O., W, E., & Romdania, Y. (2024). Analisis ketersediaan dan kebutuhan air di Kabupaten Tulang Bawang Barat. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 442–452.
- Alqahtani, A., dkk. (2024). Assessing water supply/demand dynamic balance in arid environments with policy options. *Water Resources Management*, 38(4), 1435–1451.
- Apriandi, M., Barchia, M. F., & Hermawan, B. (2021). Analisis kebutuhan air bersih domestik Kecamatan Kepahiang pada pelayanan PDAM Tirta Alami tahun 2019-2039. *Naturalis: Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 10(2), 180–192.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. (2000). *Kriteria perencanaan Ditjen Cipta Karya untuk sektor air minum*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Hartmann, A., Goldscheider, N., Wagener, T., Lange, J., & Weiler, M. (2021). *Karst Water Resources in a Changing World*. Reviews of Geophysics, 59(3), 1–31.
- Istinganah, N., & Akhmadi, M. H. (2025). *Evaluasi Atas Pelaksanaan Proyek Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha SPAM Semarang Barat Tahun 2024*. Hasina: Jurnal Akuntansi dan Bisnis Syariah, 2(2), 151–161.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Profil Kinerja BUMD Air Minum Indonesia Tahun 2023*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Kurniawan, R., dkk. (2024). Implications of climate change on water quality and sanitation in climate hotspot locations: A case study in Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(3), 112–125.
- Lim, P. (2026). Evaluasi alokasi air tahunan terhadap neraca air sistem irigasi Sekampung pada Bendungan Batutegi–Bendung Argoguruh. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 16(1), 296–309.
- Purba, H. A., Hambali, F., Yusri, A., & Sitompul, M. (2025). Analisis kebutuhan dan ketersediaan air bersih di Kota Padangsidimpuan. *Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi*, 4(1), 112–122.
- Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum*.
- Riosetiawan, A. A., Syahrir, S., & Yusuf, A. R. (2024). Analisis kebutuhan dan ketersediaan air bersih Kelurahan Lakkang Kota Makassar. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 2(1), 183–192.
- Samsari, S., & Sara, L. (2022). Karst groundwater vulnerability and coastal zone management in small islands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1025(1), 012–023.
- Stevanović, Z. (2022). *Karst Aquifers—Characterization and Engineering*. Switzerland: Springer.
- Sugfa, M. R. P. (2024). Analisis kebutuhan dan ketersediaan air domestik menggunakan metode regresi di Desa Kedali. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 104–115.

- Sulaiman, Prasetyo, & Kuncoro. (2024). Analisis kebutuhan dan ketersediaan air bersih di Kecamatan Klego, Kabupaten Boyolali. *Jurnal Infrastruktur dan Rekayasa Sipil*, 7(1), 45–56.
- Tabuni, E., dkk. (2021). Tingkat kebutuhan air bersih masyarakat di Distrik Dal, Kabupaten Nduga. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 9(3), 112–124.
- Walujodjati, E., dkk. (2022). Analisis kebutuhan dan ketersediaan air bersih di Desa Pasawahan, Kecamatan Tarogong Kaler, Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi*, 20(1), 183–193.
- White, W. B. (2021). *Conceptual Models for Karst Aquifer Systems*. Carbonates and Evaporites, 36(2), 1–14.
- Wintyaswan, Limantara, & Suhartanto. (2022). Analisis neraca air Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dengan menganalisis ketersediaan debit mata air. *Kajian Teknik Pengairan*, 11(2), 89–101
- Yusriyani, S., Yusuf, A. R., & Syahrir, S. (2026). Analisis ketersediaan dan kebutuhan air baku Kab. Bantaeng (Studi kasus: Bendungan Karatuang, Kab. Bantaeng, Sulawesi Selatan). *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 4(1), 51–59.
- Zhang, J., Liesch, T., Chen, Z., et al. (2023). *Global Analysis of Land-Use Changes in Karst Areas and the Implications for Water Resources*. Hydrogeology Journal, 31, 1197–1208