

STUDI PENYEDIAAN AIR BERSIH DI DESA SULAMU MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *PHOTOVOLTAIC*- *SEA WATER REVERSE OSMOSIS*

STUDY OF CLEAN WATER SUPPLY IN SULAMU VILLAGE USING PHOTOVOLTAIC - SEAWATER REVERSE OSMOSIS TECHNOLOGY

Arbye S¹⁾, Achmad Aziizudin²⁾, Agung Purnomo³⁾, Cahyo Wibi Yogiswara⁴⁾,
Dimas Ardiansyah Halim⁵⁾, Setya Drana Harry Putra⁶⁾

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tidar, Magelang, Indonesia

email: arbye.s@untidar.ac.id¹⁾, aziizudin@untidar.ac.id²⁾, agungpurnomo@untidar.ac.id³⁾,
wibiyogiswara@untidar.ac.id⁴⁾, dahalim@untidar.ac.id⁵⁾, sdhputra@untidar.ac.id⁶⁾

Received:
13 September
2024

Accepted:
25 November
2024

Published:
28 Desember
2024



Abstrak

Kekurangan air bersih diprediksi akan menjadi ancaman serius bagi Indonesia di masa mendatang, khususnya di daerah dengan curah hujan rendah, serta kawasan pesisir yang memiliki sumber daya air tawar terbatas. Penelitian ini mengkaji penyediaan air bersih melalui teknologi desalinasi air laut di Desa Sulamu, Kupang, Nusa Tenggara Timur, hingga tahun 2032. Teknologi yang digunakan adalah desalinasi air laut berbasis *Photovoltaic* (PV) yang menggerakkan sistem *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO). Teknologi ini diajukan sebagai solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan air bersih di wilayah tersebut. Penelitian ini mencakup analisis kebutuhan air yang disesuaikan dengan proyeksi pertumbuhan penduduk dan estimasi konsumsi energi dari sistem PV-SWRO. Metode yang digunakan untuk memproyeksi jumlah penduduk sampai dengan tahun 2032 adalah geometrik, dengan hasil estimasi penduduk berkisar 8.210 jiwa, maka kebutuhan air bersih mencapai 215.769 m³/tahun, dan konsumsi energinya antara 496 hingga 1.554 MWh/tahun. Dengan potensi energi matahari yang melimpah di Desa Sulamu, diharapkan teknologi ini dapat memberikan jaminan pasokan air bersih yang stabil dan ramah lingkungan. Data estimasi perhitungan kebutuhan air dan energi diharapkan dapat menjadi acuan bagi para pemangku kepentingan dalam merancang strategi yang mendukung keberlanjutan program desalinasi berbasis energi terbarukan kedepannya.

Kata Kunci: kebutuhan air, *PV-SWRO*, desalinasi, konsumsi energi, pertumbuhan penduduk

Abstract

The scarcity of clean water is predicted to become a serious threat for Indonesia in the future, particularly in regions with low rainfall, and coastal regions with limited freshwater resources. This study examined clean water provision using seawater desalination technology in Sulamu Village, Kupang, East Nusa Tenggara, projected until 2032. The technology used was seawater desalination powered by Photovoltaic (PV) systems, which drive the Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) process. This technology was proposed as a sustainable

solution to meet the clean water needs of the region. The research included an analysis of water demand, adjusted for projected population growth, and an estimation of energy consumption from the PV-SWRO system. A geometric method was applied to project the population up to 2032, estimating approximately 8.210 residents. Based on this projection, the clean water demand was expected to reach 215.769 m³ per year, with energy consumption estimated between 496 and 1.554 MWh per year. Given the abundant solar energy potential in Sulamu Village, this technology is anticipated to provide a stable and environmentally friendly supply of clean water. The estimated data on water and energy needs is intended to serve as a reference for stakeholders in developing strategies that support the sustainability of renewable energy-based desalination programs in the future.

Keywords: water demand, PV-SWRO, desalination, energy consumption, population growth

DOI:10.20527/sjmekinematika.v9i2.520

How to cite: S, Arbye., Aziizudin, A., Purnomo, A., Yogiswara, C. W., Halim, D. A., & Putra, S. D. H., "Studi Penyediaan Air Bersih di Desa Sulamu Menggunakan Teknologi *Photovoltaic- Sea Water Reverse Osmosis*". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 9(2), 214-228, 2024.

PENDAHULUAN

Krisis air bersih merupakan salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dunia saat ini[1]. Permintaan akan air bersih terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, dan perubahan iklim. Permasalahan utama dalam pemenuhan kebutuhan air bersih secara global mencakup beberapa aspek, diantaranya yaitu penurunan kualitas air, kelangkaan air yang dipicu oleh perubahan iklim, pengelolaan sumber daya air yang kurang efektif, pertumbuhan populasi yang cepat, serta terjadinya konflik penggunaan air antara sektor pertanian, industri, dan kebutuhan domestik yang semuanya memperebutkan sumber daya air yang terbatas[2,3]. Laporan dari *United Nations World Water Development* pada tahun 2018 memprediksi bahwa hampir 6 miliar orang di seluruh dunia akan kesulitan mendapatkan air bersih pada tahun 2050[4].

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, seringkali dianggap memiliki sumber daya air yang tak terbatas. Padahal faktanya, Indonesia juga menghadapi tantangan terkait pemenuhan kebutuhan air bersih. Berdasarkan studi komprehensif oleh *World Resources Institute* (2015), Indonesia teridentifikasi sebagai salah satu negara yang sangat rentan terhadap krisis air bersih di masa depan. Kondisi ini diperkuat oleh data Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) pada tahun 2020 yang menunjukkan bahwa sejumlah besar wilayah di Indonesia, termasuk pulau-pulau seperti Bali, Jawa, dan Nusa Tenggara, telah mengalami kekurangan air bersih[5]. Krisis air bersih ini akan menjadi ancaman yang cukup serius bagi Indonesia kedepannya, terutama untuk daerah-daerah dengan karakteristik tingkat curah hujan yang rendah, daerah-daerah kepulauan yang terisolasi, serta area pesisir yang memiliki *fresh water resources* yang terbatas[6].

Salah satu solusi potensial yang diusulkan untuk mengatasi permasalahan krisis penyediaan air bersih di Indonesia adalah desalinasi air laut. Teknologi desalinasi telah menarik perhatian sebagai alternatif penyediaan air bersih bagi daerah dengan *fresh water resources* yang terbatas. Teknologi ini memungkinkan dilakukannya proses konversi air laut menjadi air tawar yang layak konsumsi[7]. Namun, implementasi teknologi desalinasi air laut tidak lepas dari berbagai tantangan, diantaranya adalah kebutuhan energi dan biaya produksi yang cukup tinggi. Saat ini kombinasi teknologi desalinasi air laut dengan berbagai jenis energi terbarukan menjadi salah satu skema penyediaan air bersih yang cukup

menjanjikan[8], karena dianggap ramah terhadap lingkungan dan dapat diaplikasikan untuk daerah *isolated* yang tidak memiliki akses terhadap grid energi listrik nasional[9].

Saat ini sudah cukup banyak penelitian mengenai penyediaan air bersih berbasis proses desalinasi air laut di Indonesia, akan tetapi penelitian-penelitian tersebut umumnya terbatas untuk skala mikro dan berupa *prototype*. Pada Tabel 1 disajikan beberapa penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan studi ini:

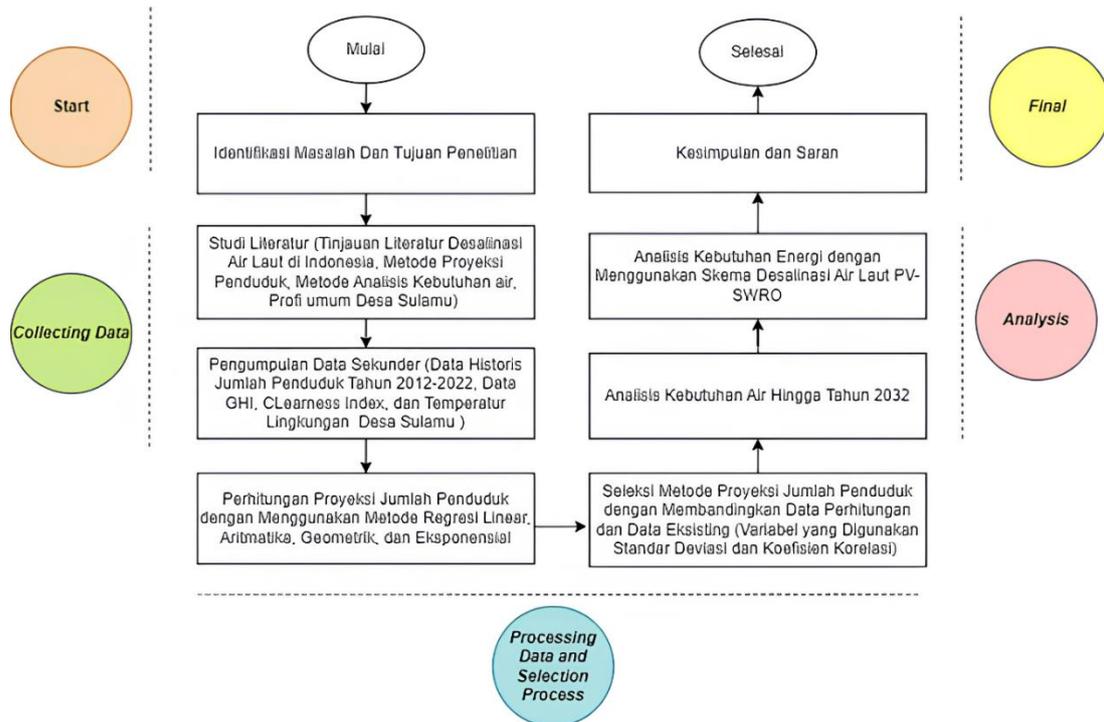
Tabel 1. Cuplikan penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan studi yang dikerjakan

Tahun	Objek/Ruang Lingkup Penelitian dan Skala/Kapasitas Rancangan	Ref.
2018	Analisis unjuk kerja <i>Prototype</i> alat desalinasi tipe <i>solar still</i> dengan proses kondensasi, kapasitas volume 6 l	[10]
2019	Analisis unjuk kerja <i>prototype</i> alat desalinasi dengan proses evaporasi, kapasitas volume 5 l	[11]
2020	Analisis unjuk kerja alat destilasi prisma kaca dengan kapasitas volume 100 ml	[12]
2020	Uji eksperimen pengolahan air laut menjadi air bersih dengan menggunakan RO	[13]
2021	Analisis unjuk kerja dan analisis energi untuk alat <i>prototype</i> dengan prinsip evaporasi	[14]
2023	Analisis unjuk kerja alat desalinasi jenis MSF- <i>Thermal Energy Storage</i> , kapasitas 53,78 l/jam	[15]
2024	Uji performansi <i>prototype</i> alat desalinasi dengan prinsip evaporasi	[16]

Berdasarkan tinjauan pustaka pada Tabel 1, penelitian mengenai desalinasi air laut di Indonesia masih terbatas pada studi kasus yang spesifik. Penelitian ini akan memberikan kontribusi signifikan dengan melakukan analisis kebutuhan air secara makro dan mengevaluasi potensi desalinasi yang dikombinasikan dengan energi terbarukan (PV-SWRO). Selain itu, melalui penelitian ini diharapkan juga dapat memberikan rekomendasi berupa langkah-langkah strategis untuk mendukung pengembangan desalinasi air laut berbasis PV-SWRO untuk daerah pesisir terisolasi seperti Desa Sulamu, Kabupaten Kupang.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi analitis yang memanfaatkan data sekunder, serta studi kasus yang berfokus pada Desa Sulamu. Penelitian ini tidak secara mendalam membahas analisis teknis terkait proses desalinasi dan tidak dilakukan survei lapangan terkait kebutuhan air, melainkan lebih menitikberatkan pada pemanfaatan studi literatur sebagai referensi, terutama terkait analisis energi dan perhitungan lainnya. Pada Gambar 1 disajikan tahapan penelitiannya.



Gambar 1. Tahapan penelitian pada studi yang dikerjakan

Tahapan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk *flowchart* penelitian pada Gambar 1, secara umum tahapannya dimulai dengan proses identifikasi masalah dan tujuan penelitian, dilanjutkan dengan tahapan pengumpulan data, proses perhitungan, dan seleksi metode proyeksi jumlah penduduk. Selanjutnya setelah metode proyeksi terpilih, maka dilakukan analisis perhitungan terkait kebutuhan air bersih dan analisis kebutuhan energi dengan skema proses desalinasi air laut *Photovoltaic (PV)-Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Desa Sulamu

Desa Sulamu merupakan salah satu desa yang termasuk dalam bagian daratan Pulau Timor. Luas daerahnya yaitu berkisar 33,03 km² dan merupakan ibukota kecamatan dari Kecamatan Sulamu, dengan jarak kurang lebih 48 km dari ibukota kabupaten (Kota Kupang)[17]. Koordinat lokasinya yaitu 10°1'15" Lintang Selatan dan 123°36'0" Bujur Timur. Pada Tabel 2 disajikan informasi mengenai kondisi eksisting jumlah penduduk Desa Sulamu dalam rentang tahun 2012-2022.

Tabel 2. Data jumlah penduduk Desa Sulamu tahun 2012-2022[17]

Tahun	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Jumlah Penduduk (%)	Pertumbuhan Jumlah Penduduk (Jiwa)
2012	4.791	-	-
2013	4.846	1.148	55
2014	4.846	0.000	0
2015	5.012	3.426	166
2016	5.128	2.314	116
2017	5.239	2.165	111
2018	5.239	0.000	0
2019	5.527	5.497	288
2020	5.718	3.456	191

Tahun	Jumlah Penduduk	Pertumbuhan Jumlah Penduduk (%)	Pertumbuhan Jumlah Penduduk (Jiwa)
2021	6.402	11.962	684
2022	6.252	-2.343	-150
<i>Average</i>	5.364	2,762	146

Data jumlah penduduk Desa Sulamu periode 2012-2022 menunjukkan adanya fluktuasi. Secara umum terlihat adanya tren peningkatan jumlah penduduk, namun pertumbuhannya tidak konsisten dari tahun ke tahun. Beberapa tahun mengalami pertumbuhan yang pesat, sementara tahun lainnya justru mengalami penurunan. Akan tetapi secara faktual, tren pertumbuhan penduduk yang meningkat secara signifikan tentu saja akan berdampak langsung pada ketersediaan air bersih.

Analisis Proyeksi Penduduk

Proyeksi jumlah penduduk merupakan salah satu langkah awal yang krusial dalam perencanaan pengelolaan air bersih. Informasi proyeksi jumlah penduduk sangat penting sebagai bagian dari perencanaan pembangunan infrastruktur air bersih. Oleh karena itu, pada langkah awal dilakukan seleksi terhadap 4 metode proyeksi jumlah penduduk. Variabel yang digunakan untuk proses seleksi adalah nilai standar deviasi dan korelasi dari setiap metode. Penjelasan mengenai metode proyeksi yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Regresi Linear

Metode regresi linear adalah salah satu metode statistik yang umum digunakan untuk memprediksi nilai suatu variabel berdasarkan nilai variabel lainnya. Persamaan matematis yang digunakan pada regresi linear adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (1)$$

Selanjutnya, untuk menghitung nilai a dan b dapat menggunakan persamaan [18]:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

Dimana \hat{Y} adalah Nilai Variabel yang diprediksi (jumlah penduduk dalam jiwa), x adalah Variabel independen (Tahun), y adalah Jumlah penduduk yang sudah diketahui (data eksisting dalam jiwa), a adalah Konstanta, b adalah Koefisien regresi (nilai peningkatan atau penurunan).

b. Aritmatika

Metode aritmatika adalah metode perhitungan yang diasumsikan bahwa pertumbuhan penduduk setiap tahunnya adalah konstan, atau dengan kata lain, jumlah penduduk bertambah dengan jumlah yang sama setiap tahunnya. Persamaan matematis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P_n = P_o + K_a (T_n - T_o) \quad (4)$$

Dengan nilai K_a dapat dihitung dengan persamaan [19]:

$$K_a = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \quad (5)$$

Dimana P_n adalah Jumlah penduduk pada tahun 2022 (jiwa), P_o adalah Jumlah penduduk pada tahun yang akan dihitung (jiwa), T_n adalah Tahun 2022, T_o adalah Tahun yang akan

dihitung, K_a adalah Konstanta aritmatik, P_1 adalah Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke-I (Tahun 2012), P_2 adalah Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke-II (Tahun 2022), T_1 adalah Tahun ke-I yang diketahui (Tahun 2012), T_2 adalah Tahun ke-II yang diketahui (Tahun 2022).

c. Geometrik

Metode geometrik adalah metode yang mengasumsikan bahwa pertumbuhan penduduk setiap tahunnya adalah persentase tetap dari jumlah penduduk pada tahun-tahun sebelumnya. Persamaan matematis yang digunakan adalah sebagai berikut [18]:

$$P_n = P_o (1+r)^n \tag{6}$$

Dimana P_n adalah Jumlah penduduk pada tahun 2022 (jiwa), P_o adalah Jumlah penduduk pada tahun yang akan dihitung (jiwa), n adalah Periode waktu proyeksi, r adalah rata-rata persentase pertumbuhan penduduk data eksisting (%).

d. Eksponensial

Metode ini mengasumsikan bahwa pertumbuhan penduduk terjadi secara kontinu dan proporsional terhadap jumlah penduduk pada waktu tertentu. Dengan kata lain, semakin besar jumlah penduduk, semakin cepat pula pertumbuhannya. Persamaan matematis yang digunakan adalah sebagai berikut[20]:

$$P_n = P_o \times e^{r \cdot n} \tag{7}$$

Dimana P_n adalah Jumlah penduduk pada tahun 2022 (jiwa), P_o adalah Jumlah penduduk pada tahun yang akan dihitung (jiwa), N adalah Periode waktu proyeksi, r adalah rata-rata persentase pertumbuhan penduduk data eksisting (%).

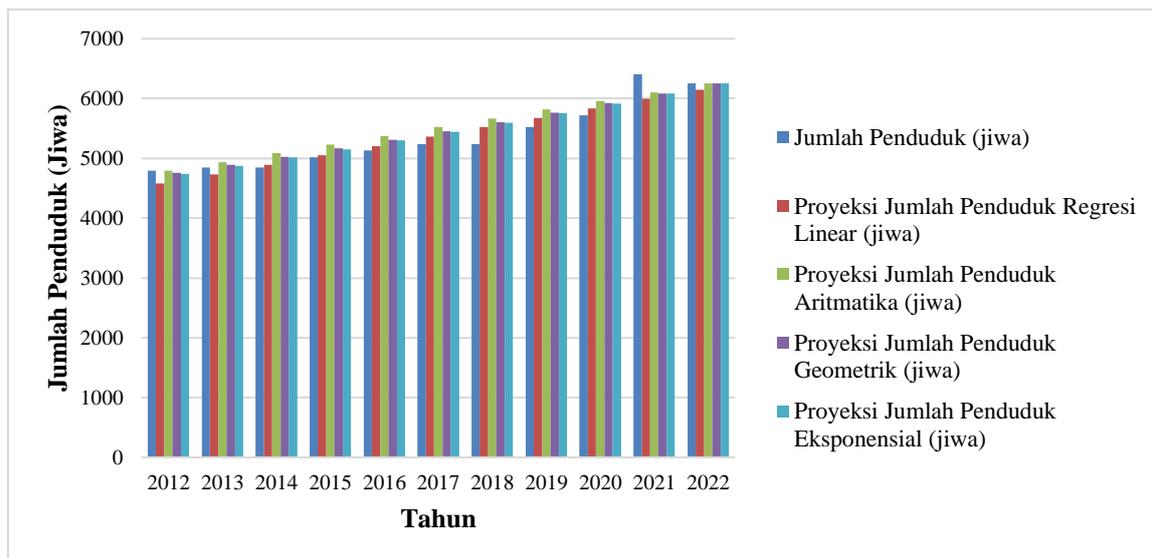
Hasil perhitungan jumlah penduduk untuk tahun 2012-2022 dengan menggunakan 4 metode proyeksi dibandingkan dengan data eksisting disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan jumlah penduduk dengan 4 metode proyeksi dan data eksisting

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	X	Proyeksi Jumlah Penduduk			
			Regresi Linear (jiwa)	Aritmatika (jiwa)	Geometrik (jiwa)	Eksponensial (jiwa)
2012	4791	-5	4578	4791	4761	4742
2013	4846	-4	4735	4937	4892	4875
2014	4846	-3	4892	5083	5027	5012
2015	5012	-2	5049	5229	5166	5152
2016	5128	-1	5207	5375	5309	5297
2017	5239	0	5364	5522	5456	5445
2018	5239	1	5521	5668	5606	5598
2019	5527	2	5678	5814	5761	5754
2020	5718	3	5835	5960	5920	5916
2021	6402	4	5992	6106	6084	6082
2022	6252	5	6149	6252	6252	6252

Tabel 3 menyajikan data perbandingan antara jumlah penduduk aktual dengan proyeksi penduduk yang dihasilkan oleh empat metode berbeda. Pada metode proyeksi regresi linear terlihat data yang dihasilkan cenderung *underestimate* (menghasilkan nilai proyeksi yang lebih rendah) dibandingkan dengan data aktual, terutama pada tahun-tahun terakhir. Selanjutnya pada metode proyeksi aritmatika data yang dihasilkan cenderung

underestimate pada awal periode dan *overestimate* (menghasilkan nilai proyeksi yang lebih tinggi) pada akhir periode. Pada proyeksi geometrik umumnya memberikan hasil yang cukup baik, tetapi bisa meleset jika terjadi perubahan signifikan dalam faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan penduduk. Sedangkan hasil proyeksi eksponensial cenderung mirip dengan proyeksi geometrik, terutama untuk jangka waktu yang pendek. Dari Tabel 3 terlihat juga bahwa metode geometrik dan eksponensial umumnya memberikan proyeksi yang lebih akurat dibandingkan metode aritmatika dan regresi linear, terutama untuk jangka waktu yang lebih panjang, akan tetapi disisi lain metode regresi linear dan aritmatika juga memiliki keunggulan. Oleh karena itu penggunaan variabel standar deviasi dan nilai korelasi dibutuhkan untuk mendefinisikan metode mana yang akan digunakan untuk proyeksi sampai dengan tahun 2032. Penyajian hasil perhitungan dalam bentuk grafik, disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Grafik perbandingan hasil perhitungan 4 metode proyeksi dan data eksisting BPS

Selanjutnya setelah melakukan perhitungan jumlah penduduk tahun 2012-2022 dengan 4 metode berbeda, maka langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan standar deviasi dan nilai korelasi masing-masing hasil perhitungan untuk memilih metode *forecasting* sampai dengan tahun 2032. Persamaan matematis yang digunakan dalam melakukan perhitungan standar deviasi adalah sebagai berikut[18]:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{(n-1)}} \tag{8}$$

Sedangkan untuk perhitungan nilai korelasi (r) dilakukan dengan menggunakan persamaan [19]:

$$r = \frac{n \sum(XY) - (\sum Y)(\sum X)}{\sqrt{[n \sum(Y^2) - (\sum Y)^2][n \sum(X^2) - (\sum X)^2]}} \tag{9}$$

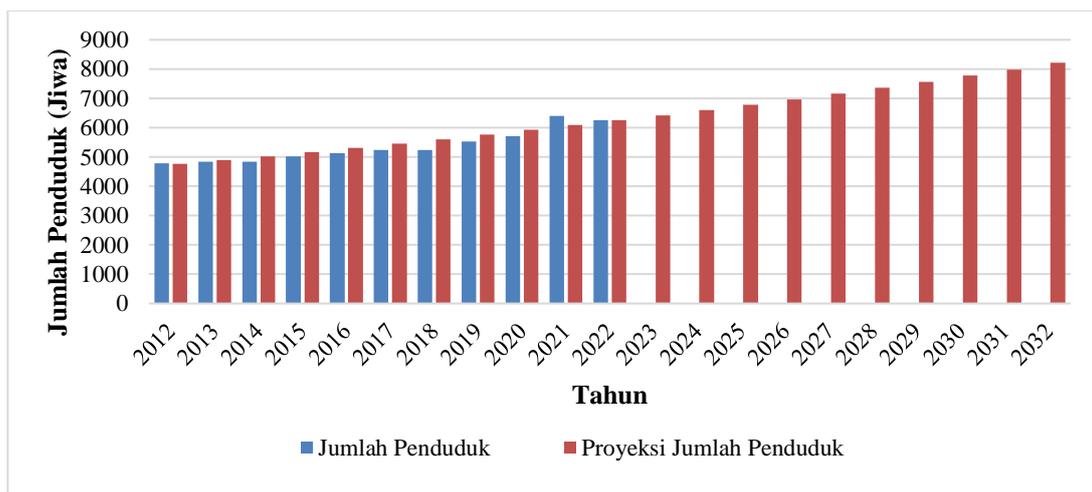
Pada Tabel 4 disajikan hasil perbandingan kinerja empat metode proyeksi penduduk (regresi linear, aritmatika, geometrik, dan eksponensial) berdasarkan nilai standar deviasi dan koefisien korelasi. Kedua metrik ini digunakan untuk mengukur seberapa baik model proyeksi dapat menjelaskan data aktual. Nilai standar deviasi (s) menunjukkan seberapa jauh

penyebaran data aktual dari nilai proyeksi. Semakin kecil nilai standar deviasi, semakin dekat proyeksi dengan data aktual. Sedangkan koefisien korelasi (r) menunjukkan kekuatan hubungan antara data aktual dan nilai proyeksi, nilai yang mendekati 1 menunjukkan korelasi yang kuat.

Tabel 4. Hasil perhitungan standar deviasi dan korelasi data perhitungan tahun 2012-2022

	<i>Metode Proyeksi</i>				<i>Hasil (Urutan Peringkat)</i>
	<i>Regresi Linear</i>	<i>Aritmatik</i>	<i>Geometrik</i>	<i>Eksponensial</i>	
<i>Nilai Standar Deviasi</i>	521.04 (4)	512.06 (3)	508.35 (1)	512.03 (2)	Geometrik (1)–Eksponensial (2) – Aritmatik (3) – Regresi Linear (4)
<i>Nilai Korelasi</i>	0.937 (2)	0.937 (2)	0.946 (1)	0.946 (1)	Geometrik dan Eksponensial (1) – Aritmatik dan Regresi Linear (2)

Pada Tabel 4 terlihat bahwa metode geometrik memiliki nilai standar deviasi terkecil, yang berarti proyeksi yang dihasilkan lebih dekat dengan data aktual dibandingkan dengan metode yang lainnya. Disamping itu nilai koefisien korelasinya juga merupakan nilai tertinggi dibanding yang lainnya, hal ini menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara proyeksi dan data aktual. Berdasarkan hasil analisis ini, maka metode geometrik dianggap merupakan metode yang paling baik dalam kasus proyeksi jumlah penduduk di wilayah Desa Sulamu, karena metode ini mampu menangkap pola pertumbuhan penduduk yang lebih kompleks dan memberikan proyeksi yang lebih akurat dibandingkan dengan 3 metode lainnya. Dengan menggunakan persamaan (8), maka dapat dilakukan perhitungan proyeksi jumlah penduduk sampai dengan Tahun 2032. Hasil perhitungannya disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil proyeksi penduduk dengan metode geometrik sampai dengan tahun 2032

Pada Gambar 3 terlihat hasil proyeksi penduduk Desa Sulamu sampai dengan tahun 2032, yaitu berkisar 8.210 jiwa. Data hasil proyeksi penduduk ini akan digunakan sebagai referensi dalam menghitung jumlah kebutuhan air bersih.

Analisis Proyeksi Kebutuhan Air

Analisis proyeksi kebutuhan air berdasarkan data jumlah penduduk merupakan suatu kajian untuk memperkirakan berapa banyak air yang dibutuhkan di masa depan dengan mempertimbangkan pertumbuhan populasi. Semakin banyak jumlah penduduk, maka semakin besar pula kebutuhan akan air untuk berbagai aktivitas. Secara umum kebutuhan

air dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu kebutuhan air domestik dan non domestik. Air domestik mengacu pada penggunaan air untuk keperluan sehari-hari di rumah tangga, seperti minum, memasak, mandi, dan mencuci. Karakteristiknya adalah konsumsi yang lebih individu dan fluktuatif. Di sisi lain, kebutuhan air non-domestik meliputi penggunaan air di sektor industri, pertanian, perkotaan, dan pariwisata. Persamaan matematis yang digunakan untuk melakukan perhitungan kebutuhan air adalah sebagai berikut[21]:

$$Pr = SI + Sb + Kn + Lo \quad (10)$$

$$SI = 0,8 \times Cp \quad (11)$$

$$Cp = 0,8 \times Pn \quad (12)$$

$$Sb = 0,2 \times Cp \quad (13)$$

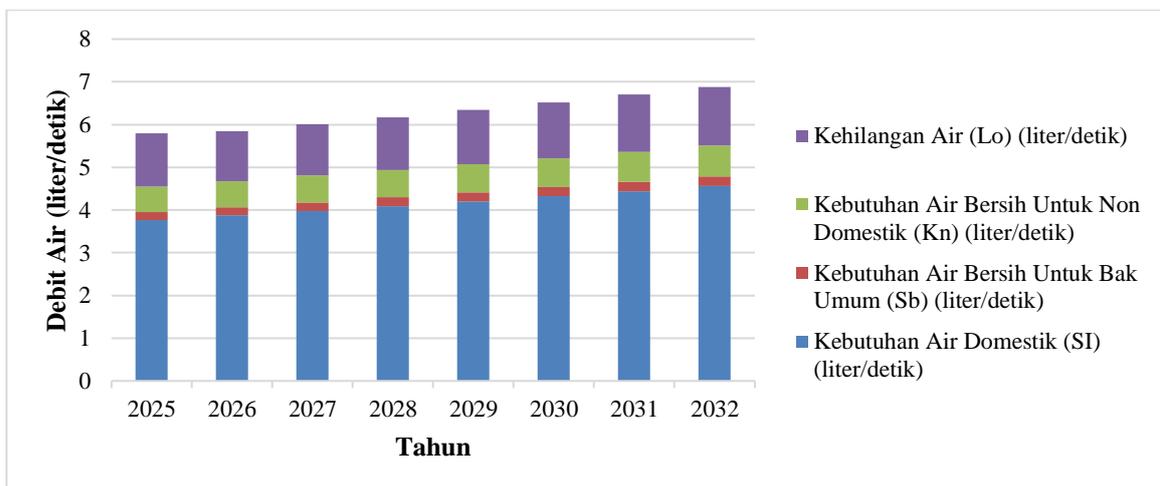
$$Kn = 15\% \times (SI + Sb) \quad (14)$$

$$Lo = 0,2 \times Pr \quad (15)$$

$$Ss = f_1 \times Pr \quad (16)$$

$$Qp = f_2 \times Pr \quad (17)$$

Dimana SI adalah Kebutuhan air domestik (liter/hari atau liter/detik), Sb adalah Kebutuhan air bersih untuk bak umum (liter/hari atau liter/detik), Kn adalah Kebutuhan air bersih untuk non domestik (liter/detik), Pr adalah Total proyeksi kebutuhan air bersih (liter/detik), Pn adalah Jumlah Penduduk x kebutuhan air (liter/hari), Lo adalah Kehilangan air (liter/detik), Ss adalah Kebutuhan harian maksimum (liter/detik), Qp adalah Debit waktu puncak (liter/detik), f_1 adalah Faktor pengali kebutuhan air harian maksimum (1,2), f_2 adalah Faktor pengali kebutuhan air harian jam puncak (1,6), Nilai kebutuhan air 75 liter/hari/orang. Pada Gambar 4 disajikan hasil perhitungan SI, Sb, Kn, dan Lo untuk tahun 2025-2032.



Gambar 4. Hasil proyeksi kebutuhan air Desa Sulamu tahun 2025-2032

Pada Gambar 4 terlihat hasil proyeksi kebutuhan air, dimana komponennya terdiri dari jumlah kebutuhan air domestik (SI), Kebutuhan air bersih untuk bak umum (Sb), Kebutuhan air bersih untuk non domestik (Kn), dan Kehilangan air (Lo). Selanjutnya hasil perhitungan nilai total kebutuhan air bersih (Pr), kebutuhan harian maksimum (Ss), dan debit waktu puncak (Qp) untuk tahun 2025-2032 disajikan pada Tabel 5.

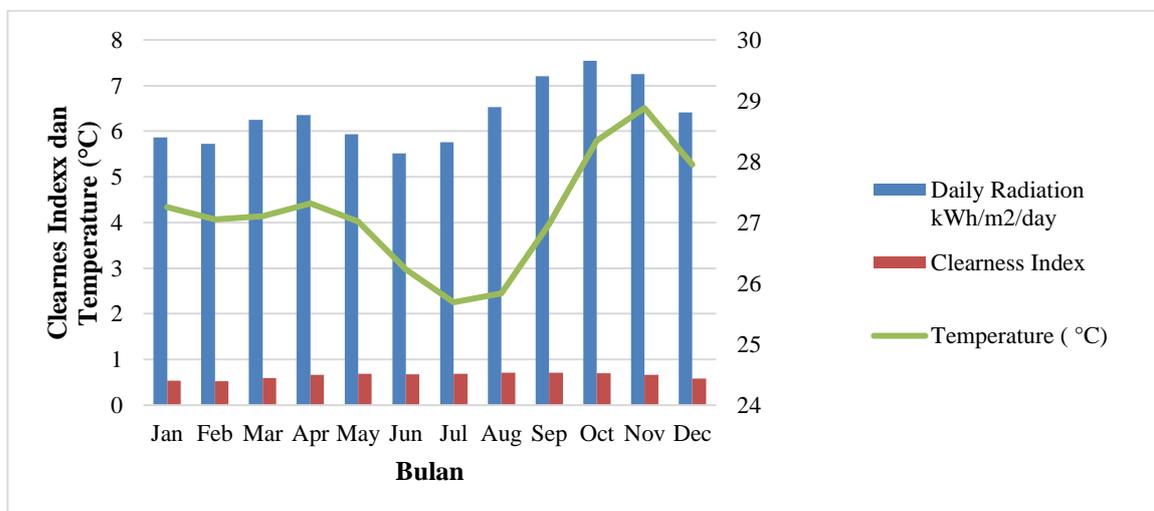
Tabel 5. Proyeksi kebutuhan air bersih total (Pr), kebutuhan harian maksimum (Ss), dan debit waktu puncak (Qp) tahun 2025-2032

Tahun	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Total air bersih (Pr) (liter/detik)	5,689	5,846	6,008	6,174	6,344	6,520	6,700	6,885
Kebutuhan harian maksimum (Ss) (liter/detik)	6,827	7,016	7,209	7,409	7,613	7,824	8,040	8,262
Debit waktu puncak (Qp) (liter/detik)	9,103	9,354	9,612	9,878	10,151	10,431	10,719	11,016

Terdapat tren peningkatan yang konsisten pada ketiga variabel (Pr, Ss, dan Qp) dari tahun ke tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa kebutuhan air bersih di wilayah tersebut akan terus meningkat dalam dekade mendatang. Peningkatan kebutuhan air menuntut adanya perencanaan yang matang dalam pembangunan dan pengembangan infrastruktur air bersih, seperti waduk, jaringan pipa, dan fasilitas pengolahan air. Dengan proyeksi kebutuhan air yang terus meningkat, penting untuk mengantisipasi potensi krisis air di masa depan. Langkah-langkah mitigasi seperti diversifikasi sumber air dan pengembangan teknologi baru perlu dipertimbangkan. Salah satu rekomendasi potensi penyediaan air bersih yang bisa diimplementasikan di wilayah Desa Sulamu adalah desalinasi air laut.

Analisis Kebutuhan Energi

Analisis kebutuhan energi pada proses desalinasi merupakan langkah penting dalam upaya pemenuhan kebutuhan air bersih yang terus meningkat. Proses mengubah air laut menjadi air tawar ini sangat bergantung pada energi. Faktor-faktor seperti teknologi desalinasi yang digunakan, kualitas air laut, kapasitas produksi, dan kondisi lingkungan secara signifikan mempengaruhi konsumsi energi. Data proyeksi kebutuhan air masa depan dan konsumsi energi teknologi desalinasi dapat digunakan sebagai dasar untuk menghitung estimasi kebutuhan energi total sistem penyediaan air bersih. Disisi lain data estimasi ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam perencanaan sistem penyediaan energi yang bersumber dari energi terbarukan seperti matahari, angin, atau yang lainnya. Dalam penelitian ini, *resources* energi terbarukan yang digunakan hanya dibatasi oleh jenis energi matahari saja, dikarenakan potensi energi matahari di wilayah Desa Sulamu cukup potensial dan perkembangan teknologi solar-desalinasi yang cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir.



Gambar 5. Data GHI, temperatur, dan *clearness index* Desa Sulamu

Potensi energi matahari di Desa Sulamu disajikan pada Gambar 5 yang diinterpretasikan dalam data *Global Horizontal Irradiation* (GHI), *clearness* indeks, dan

temperatur lingkungan. Sumber data ini menggunakan referensinya dari NASA *surface meteorology and solar energy* yang di unduh melalui software *Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables* (HOMER) dari NREL.

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa nilai radiasi harian di Desa Sulamu cukup berfluktuasi sepanjang tahun, tetapi secara umum berkisar antara 5,5 kWh/m²/hari hingga 7,5 kWh/m²/hari. Selanjutnya nilai Indeks kecerahan berfluktuasi dari 0,50 hingga 0,72, dan suhu lingkungan bervariasi dari 25,5°C hingga 29°C sepanjang tahun. Secara geografis Desa Sulamu merupakan daerah dengan karakteristik cukup bervariasi, terdiri dari daerah bergelombang yang miring, tetapi juga terdiri dari dataran rendah yang dekat dengan pantai. Akan tetapi pusat perekonomian desa berada sangat dekat dengan pesisir pantai, dikarenakan pekerjaan utama masyarakatnya adalah nelayan, sehingga aktifitas masyarakat cenderung terkonsentrasi di daerah dataran rendah[22]. Saat ini Desa Sulamu memang sudah dialiri jaringan listrik PLN, sehingga pembiayaan listriknya akan mengikuti Peraturan KESDM tentang Tarif Tenaga Listrik yang disediakan oleh PT PLN (Persero). Akan tetapi kondisi pelayanan penyediaan listrik yang ada memang cukup terbatas, termasuk didalamnya kondisi kualitas dan kuantitas penyediaan[23], bahkan pabrik *ice maker* yang ada di Sulamu juga tidak menggunakan PLN sebagai provider listrik, tetapi menggunakan PV *off grid*[24].

Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 5, dapat disimpulkan juga bahwa Desa Sulamu memiliki potensi energi matahari yang sangat baik, hal ini dapat dikonfirmasi dari data potensi energi matahari di daerah sekitarnya, yaitu sebagai referensi di lokasi PLTS Oelpuah, didapatkan data bahwa pengukuran tingkat radiasi matahari mencapai nilai 1.139 W/m²[25]. Besarnya radiasi matahari di Desa Sulamu relatif cukup tinggi sepanjang tahun, dengan puncaknya terjadi pada bulan Oktober. Selanjutnya ditinjau dari Indeks Kejernihan, nilainya selalu berada di atas 0.5, hal ini menunjukkan bahwa langit di Desa Sulamu cukup cerah sepanjang tahun, serta suhu udara yang tidak terlalu ekstrem juga mendukung penggunaan PV di daerah ini. Dengan demikian, potensi energi matahari ini sangat mendukung penerapan teknologi desalinasi air laut berbasis energi surya (PV-SWRO) untuk memenuhi kebutuhan air bersih hingga tahun 2032.

Pemilihan teknologi PV-SWRO pada proses desalinasi air laut dalam studi ini tentu saja didasarkan pada beberapa alasan, antara lain yaitu terkait potensi energi matahari yang baik di Desa Sulamu dan sebaran penggunaan teknologi PV-SWRO yang cukup signifikan (berkisar 32% dari total proses desalinasi air laut yang ada)[26]. Penggunaan teknologi PV-SWRO yang cukup mendominasi dapat mengindikasikan bahwa teknologi ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan teknologi desalinasi berbasis energi EBT lainnya, seperti PV-ED, Solar-MED, Solar-MSF, Wind-RO, dan Wind-MVC.

Kombinasi panel surya (PV) yang menghasilkan listrik untuk mengoperasikan sistem *reverse osmosis* (RO) membuat teknologi ini efisien dan ramah lingkungan. PV-SWRO mampu menghasilkan air minum berkualitas tinggi dengan menghilangkan hampir semua garam dan mineral dari air laut. Fleksibilitasnya memungkinkan teknologi ini diterapkan dalam berbagai skala, mulai dari rumah tangga hingga industri[27]. Selain itu, ketergantungan pada energi surya dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan membuatnya menjadi sistem yang berkelanjutan[28]. Meskipun memiliki biaya investasi awal yang cukup tinggi, namun dalam jangka panjang, biaya operasional PV-SWRO relatif rendah. Dengan demikian, PV-SWRO menjadi solusi yang menarik untuk mengatasi masalah kekurangan air bersih di daerah pesisir seperti di Desa Sulamu.

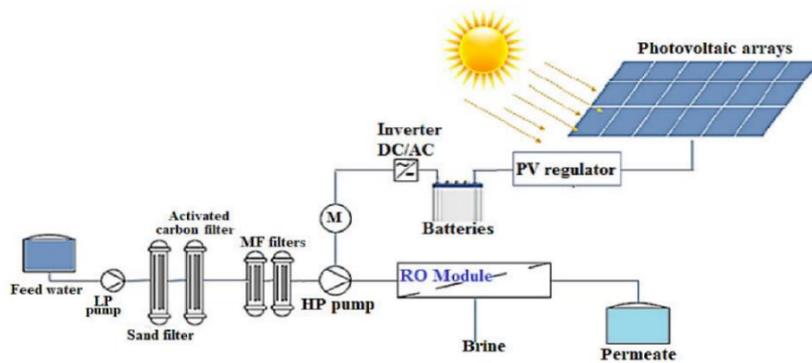
Dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan potensi energi matahari dan kesiapan teknologinya, dapat direkomendasikan bahwa teknologi PV/RO merupakan pilihan yang sangat tepat. Teknologi ini diharapkan tidak hanya memberikan solusi jangka panjang untuk masalah kekurangan air bersih, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan. Selanjutnya dalam studi ini, pada Tabel 6 disajikan juga literatur yang dapat dijadikan

sebagai *benchmarking* terkait penentuan tingkat konsumsi energi pada teknologi PV-SWRO. Data referensi ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan konsumsi energi dalam rangka pemenuhan kebutuhan air bersih di Desa Sulamu.

Tabel 6. Referensi kebutuhan energi dengan pada proses desalinasi PV-SWRO

Kapasitas Instalasi (m ³ /hari)	Kebutuhan energi (kWh/m ³)	Referensi
150-1000	5	[29]
11,6	2,3	[30]
100	7,2	[31]
5	3,5	[32]
500-600	2,3- 7,2	Studi yang dikerjakan (Desa Sulamu)

Selanjutnya untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif terkait skema yang digunakan pada penelitian ini, maka pada Gambar 6 disajikan informasi mengenai diagram skematik sistem desalinasi air laut menggunakan teknologi PV-SWRO.



Gambar 6. Diagram skematik sistem desalinasi air laut menggunakan teknologi PV-SWRO[33]

Skema PV-SWRO yang disajikan pada Gambar 6 menggambarkan sebuah sistem mandiri yang mengubah air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan energi matahari. Prosesnya dimulai dari panel surya yang menangkap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Listrik ini kemudian disimpan dalam baterai atau digunakan langsung untuk mengoperasikan pompa. Pompa akan mengalirkan air laut dari sumbernya menuju sistem *reverse osmosis* (RO). Di dalam sistem RO, air laut dipaksa melewati membran semipermeabel dengan tekanan tinggi. Proses ini memisahkan garam dan mineral lain dari air murni sehingga menghasilkan air tawar yang siap konsumsi. Air garam yang tertinggal kemudian dibuang. Metode RO mampu mengubah air laut yang sangat asin (dengan kadar garam sekitar 35.000-45.000 ppm) menjadi air tawar berkualitas tinggi dengan kadar garam kurang dari 500 ppm[34]. Meskipun memiliki potensi yang besar, sistem PV-SWRO juga memiliki beberapa tantangan, seperti biaya investasi awal yang tinggi dan ketergantungan pada kondisi cuaca. Namun, dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, sistem ini diyakini akan menjadi solusi yang semakin populer untuk mengatasi masalah kekurangan air bersih di masa depan.

Setelah mendapatkan gambaran mengenai bagaimana proses desalinasi air laut dengan menggunakan teknologi PV-SWRO, maka langkah selanjutnya dilakukan perhitungan konsumsi energi dengan rentang nilai 2,3-7,2 kWh/m³. Nilai konsumsi energi ini menunjukkan jumlah energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu meter kubik air tawar melalui proses desalinasi air laut. Hasil perhitungan konsumsi energi untuk pemenuhan kebutuhan air bersih di Desa Sulamu sampai dengan tahun 2032 disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Konsumsi energi penyediaan air bersih berbasis PV-SWRO sampai dengan tahun 2032

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Kebutuhan air bersih (liter/detik)	5,689	5,846	6,008	6,174	6,344	6,520	6,700	6,885
Kebutuhan air bersih dalam 1 tahun (m³/tahun)	179.371	184.363	189.423	194.551	199.749	205.017	210.357	215.769
Kebutuhan Energi untuk air bersih (MWh/tahun)	413-1.291	424-1.327	436-1.364	447-1.401	459-1.438	472-1.476	484-1.515	496-1.554

Data pada Tabel 7 menyajikan informasi mengenai bagaimana korelasi antara peningkatan kebutuhan air bersih yang secara langsung berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan energi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak air yang diproduksi, semakin banyak pula energi yang dibutuhkan. Informasi ini sangat penting untuk perencanaan yang efektif dalam pengelolaan sumber daya air dan energi. Namun, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih detail, maka tentu saja perlu dilakukan analisis yang lebih mendalam dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang mempengaruhi kebutuhan air bersih dan energi.

Kebutuhan energi pada sistem PV-SWRO ini terkadang memang dirasa cukup tinggi, terutama jika volume air yang diproduksi berjumlah cukup besar, dalam penelitian lainnya, disebutkan bahwa untuk memproduksi *freshwater* dengan kapasitas 100 m³/hari dibutuhkan energi sebesar 7,2 kWh per meter kubiknya[31]. Namun, hal ini tidak harus menjadi hambatan signifikan. Seiring dengan perkembangan teknologi, efisiensi sistem desalinasi akan semakin meningkat, yang berarti tingkat konsumsi energi dapat berkurang dari waktu ke waktu. Inovasi dalam teknologi panel surya, seperti peningkatan efisiensi konversi energi matahari dan pengembangan metode desalinasi yang lebih hemat energi, juga dapat memberikan kontribusi positif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Desa Sulamu berpotensi menghadapi tantangan serius dalam penyediaan air bersih akibat keterbatasan sumber air tawar dan pertumbuhan penduduk yang diproyeksikan mencapai 8.210 jiwa pada tahun 2032, dengan kebutuhan air bersih sebesar 215.769 m³/tahun. Teknologi desalinasi berbasis PV-SWRO diusulkan sebagai solusi berkelanjutan dengan estimasi konsumsi energi antara 496 hingga 1.554 MWh per tahun, yang didukung potensi energi matahari melimpah di wilayah tersebut. Data estimasi kebutuhan air dan energi dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi para pemangku kepentingan dalam merancang strategi yang mendukung keberlanjutan program desalinasi berbasis energi terbarukan. Beberapa rekomendasi yang dapat diusulkan sebagai langkah strategis pengembangan, antara lain yaitu, terkait perlunya kajian lebih lanjut mengenai optimasi efisiensi energi pada sistem PV-SWRO, termasuk penggunaan teknologi pemulihan energi untuk mengurangi konsumsi energi per meter kubik air yang dihasilkan. Selanjutnya, perlu dilakukan juga penelitian lapangan lebih mendalam terkait kondisi lokal Desa Sulamu, seperti kualitas air laut dan kebutuhan air bersih secara spesifik, dengan tujuan mendapatkan data yang lebih akurat. Di samping itu, untuk mengatasi tantangan biaya investasi awal yang tinggi, serta mendorong pengembangan kebijakan yang mendukung teknologi berbasis energi terbarukan, maka perlu dikembangkan model pembiayaan yang melibatkan kolaborasi antara pemerintah, swasta, dan masyarakat.

REFERENSI

- [1] G. Fransiska *et al.*, “Krisis Air Menangani Penyediaan Air Bersih Di Dunia Yang Semakin Kekurangan Sumber Daya,” *J. Ilm. Res. Student*, vol. 1, no. 5, pp. 334–341, 2024, doi: <https://doi.org/10.61722/jirs.v1i5.1373>.
- [2] E. Hendriarianti, A. Triwahyuni, and A. Tyagita Ayudyaningtyas, “Analisa Driving Force, Pressure, State Dan Response Kualitas Air,” *Pros. SEMSINA*, vol. 3, no. 2, pp. 278–285, Jul. 2022, doi: [10.36040/semsina.v3i2.5190](https://doi.org/10.36040/semsina.v3i2.5190).
- [3] A. R. Alfian, *Krisis Air di Indonesia: Fenomena, Dampak & Solusi*. Agam, Sumatra barat, Indonesia: CV. Suluah Kato Khatulistiwa, 2023.
- [4] A. Boretti and L. Rosa, “Reassessing the projections of the World Water Development Report,” *npj Clean Water*, vol. 2, no. 1, p. 15, Jul. 2019, doi: [10.1038/s41545-019-0039-9](https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9).
- [5] R. Arif Mu, “Peran Konservasi Sumberdaya Alam Terhadap Sustainable Development Goals (SDGs) Air Bersih Dan Sanitasi Layak,” *J. Penelit. Pendidik. Indones.*, vol. 1, no. 3, pp. 378–384, 2024, doi: <https://doi.org/10.62017/jppi.v1i3.1216>.
- [6] D. Mardianto, N. R. Ismail, A. Farid, and P. Suwandono, “Pengaruh perbandingan kinerja solar still menggunakan cover piramida dan penambahan ruang kondensasi,” vol. 9, no. 1, pp. 33–45, 2024, doi: [10.20527/sjmekinematika.v9i1.276](https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v9i1.276).
- [7] G. R. Ersas, “Kajian Alternatif Teknologi Desalinasi Dalam Produksi Air Tawar Untuk Desa Labuan Bajo, NTT,” *J. Purifikasi*, vol. 20, no. 1, pp. 1–14, Jun. 2021, doi: [10.12962/j25983806.v20.i1.400](https://doi.org/10.12962/j25983806.v20.i1.400).
- [8] S. Ali and K. Waliden, “Alat Destilasi Air Laut Berbasis Energi Surya Dan Energi Elektrik Sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih Dan Garam,” *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–44, 2019, doi: [10.62012/sensistek.v2i1.13196](https://doi.org/10.62012/sensistek.v2i1.13196).
- [9] J. Bundschuh, M. Kaczmarczyk, N. Ghaffour, and B. Tomaszewska, “State-of-the-art of renewable energy sources used in water desalination: Present and future prospects,” *Desalination*, vol. 508, no. February, 2021, doi: [10.1016/j.desal.2021.115035](https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115035).
- [10] I. G. Y. Dewantara, B. M. Suyitno, and I. G. E. Lesmana, “Desalinasi Air Laut Berbasis Energi Surya Sebagai Alternatif Penyediaan Air Bersih,” *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2018, doi: [10.22441/jtm.v7i1.2124](https://doi.org/10.22441/jtm.v7i1.2124).
- [11] S. Iqbal, S. Sukmawaty, G. M. Dwi Putra, and D. A. Setiawati, “Analisis Kinerja Alat Desalinasi Air Laut Penghasil Air Tawar Dan Garam Dengan Menggunakan Tenaga Surya,” *J. Agrotek Ummat*, vol. 6, no. 1, p. 29, 2019, doi: [10.31764/agrotek.v6i1.988](https://doi.org/10.31764/agrotek.v6i1.988).
- [12] A. W. Krisdiarto, A. Ferhat, A. W. Krisdiarto, and M. P. Bimantio, “Penyediaan Air Bagi Masyarakat Pesisir Terdampak Kekeringan dengan Teknologi Desalinasi Air Laut Sederhana,” *DIKEMAS (Jurnal Pengabdian Masyarakat)*, vol. 4, no. 2, pp. 25–31, 2020, doi: [10.32486/jd.v4i2.532](https://doi.org/10.32486/jd.v4i2.532).
- [13] A. Sefentry and R. Masriatini, “Pemanfaatan Teknologi Membran Reverse Osmosis (RO) Pada Proses Pengolahan Air Laut menjadi Air Bersih,” *J. Redoks*, vol. 5, no. 1, p. 58, 2020, doi: [10.31851/redoks.v5i1.4128](https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4128).
- [14] M. A. Siregar, W. S. Damanik, and S. Lubis, “Analisa Energi pada Alat Desalinasi Air Laut Tenaga Surya Model Lereng Tunggal,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, p. 193, May 2021, doi: [10.21776/ub.jrm.2021.012.01.21](https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.01.21).
- [15] M. A. Munir, R. A. Rahman, and D. D. Rahmalina, “Pengembangan Alat Desalinasi Air Laut dengan Teknologi Thermal Energy Storage Development of Seawater Desalination Equipment with Technology Thermal Energy Storage,” vol. 5, pp. 170–178, 2023.
- [16] E. Y. Tae, B. V. Tarigan, and M. Jafri, “Efisiensi Desalinasi Air Laut dengan Menggunakan Konsentrasi Reflektor Parabolik,” vol. 14, no. 2, pp. 200–209, 2024, doi: <https://doi.org/10.29303/dtm.v14i2.866>.
- [17] BPS, *Kecamatan Sulamu Dalam Angka Tahun 2013-2023*. Kupang, NTT, Indonesia: Badan Pusat Statistik, 2013-2023.
- [18] A. Priyanto, A. R. Jaya, and H. Suyanto, “Prediksi Kebutuhan Air Bersih Pdam Pusat Pulang Pisau Dan Unit Desa Mantaren I Tahun 2029,” *Spektrum Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 128–137, 2021, doi: [10.29303/spektrum.v8i2.220](https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i2.220).
- [19] Siswanto, Andy Hendri, and Winda Indriani, “Analisis Sistem Jaringan Pipa Distribusi SPAM

- di Kecamatan Inuman Kabupaten Kuantan Singingi,” *J. Teknol. dan Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 10–17, 2022, doi: 10.56208/jtrs.v1.i1-hal10-17.
- [20] R. Afriyanda, G. Z. Mulki, and M. I. Fitriani, “Analisis Kebutuhan Air Bersih Domestik di Desa Penjajap Kecamatan Pemangkat Kabupaten Sambas,” *PWK, Laut, Sipil, Tambang*, vol. 6, no. 2, pp. 1–11, 2018.
- [21] Verrdy Chrisna Primandani, Novi Andhi Setyo Purwono, and Atiyah Barkah, “Analisis Kebutuhan Dan Ketersediaan Air Bersih Di Wilayah Pelayanan Instalasi Pengolahan Air Gunung Tugel PDAM Tirta Satria Banyumas,” *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 11, no. 1, pp. 112–121, 2022, doi: 10.22225/pd.11.1.4469.112-121.
- [22] N. A. Sasongko, A. Octavian, R. Laksmono, A. Hilmawan, and I. Royana, “Pemanfaatan Teknologi Energi Surya Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Bersih Di Markas TNI Perbatasan Maritim: Studi Di Pos TNI AL, Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur,” *J. Pertahanan dan Bela Negara*, vol. 9, no. 1, 2019.
- [23] M. S. Lopung, “Persepsi Masyarakat Terhadap Pelayanan Perusahaan Listrik Negara (PLN) di Kelurahan Sulamu Kecamatan Sulamu Kabupaten Kupang,” Universitas Nusa Cendana, 2022.
- [24] KESDM, “Siaran PERS KESDM ‘Pemerintah Permudah Pembuatan Es Dengan Sinar Matahari di Pulau Sulamu,” 2022.
- [25] Y. Seran, N. Nursalim, and S. Kurniati, “Analisis Penurunan Kinerja Daya Keluaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 5 Mwp Oelpuah Kupang Dengan Menggunakan Software Pvsyst,” *J. Media Elektro*, vol. XI, no. 2, pp. 87–96, 2022, doi: 10.35508/jme.v0i0.8131.
- [26] A. S. K. Darwish, “Wind energy utilisation for water desalination, street and buildings lighting – a case study for The Emirate of Ajman – UAE,” *Renew. Energy Environ. Sustain.*, vol. 6, p. 10, Apr. 2021, doi: 10.1051/rees/2021012.
- [27] S. Arbye, F. Wijaya, and A. Budiman, “An overview of green hydrogen production system through low temperature water electrolysis using solar energy,” *Therm. Sci.*, no. 00, pp. 84–84, 2024, doi: 10.2298/TSCI231120084A.
- [28] R. S. Rahmany, Jefri Aldo, and Halim, “Simulasi Penggunaan Panel Surya Atap Di Lingkungan Kampus Politeknik Batulicin,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 8, no. 1, pp. 74–84, 2023, doi: 10.20527/sjme kinematika.v8i1.254.
- [29] L. A. Yoshi and I. N. Widiassa, “Studi Tekno Ekonomi Desalinasi Air Laut Skala Kecil Dengan Sistem Reverse Osmosis,” *Reaktor*, vol. 16, no. 4, p. 218, 2017, doi: 10.14710/reaktor.16.4.218-225.
- [30] D. S. Ayoub, H. M. Ega, and A. Coronas, “A feasibility study of a small-scale photovoltaic-powered reverse osmosis desalination plant for potable water and salt production in Madura Island: A techno-economic evaluation,” *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 35, no. March, 2022, doi: 10.1016/j.tsep.2022.101450.
- [31] S. P. Fitri *et al.*, “Design of Reverse Osmosis Desalination Plant at Remote Coastal Area,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 698, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/698/1/012045.
- [32] A. Fairuz, M. Faeshol Umam, M. Hasanuzzaman, N. A. Rahim, and I. M. Mujtaba, “Modeling and analysis of hybrid solar water desalination system for different scenarios in Indonesia,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 276, no. August 2022, p. 116475, 2023, doi: 10.1016/j.enconman.2022.116475.
- [33] Z. Tigrine *et al.*, “Feasibility Study of a Reverse Osmosis Desalination Unit Powered by Photovoltaic Panels for a Sustainable Water Supply in Algeria,” *Sustainability*, vol. 15, no. 19, p. 14189, Sep. 2023, doi: 10.3390/su151914189.
- [34] F. Suryani, M. Madagaskar, and R. A. N. Moulita, “Analisis Pengaruh Waktu Dan Tekanan Terhadap Demineralisasi Air Buangan Ac Dengan Metode Reverse Osmosis,” *J. Redoks*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2022, doi: 10.31851/redoks.v7i1.7924.