

Pengembangan Sistem Penyaringan Air Berbasis Energi Surya

Rosa orpa Sapulette¹, Atus Buku^{2*}, Corvis L Rantererung³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar
Jalan Perintis Kemerdekaan Km 13 No. 28 Daya, Makassar, Indonesia 90243
Email: atus@ukipaulus.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem penyaringan air berbasis energi surya dengan pendekatan inovatif menggunakan kombinasi bahan filtrasi alami yang ramah lingkungan. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem filtrasi bertingkat dengan pemanfaatan kolektor surya sebagai penguat proses pemurnian air berkekeruhan tinggi yang sulit dijernihkan. Tujuan penelitian adalah menghasilkan sistem penyaringan air portabel yang efektif dalam menurunkan tingkat kekeruhan dan kontaminan mikrobiologis, sesuai standar air bersih Kementerian Kesehatan. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium BLKK Las dan Dinas Kesehatan Kabupaten Sorong Selatan, dengan pengujian parameter fisik, kimia, dan mikrobiologi sebelum dan sesudah proses filtrasi. Sistem terdiri atas dua tabung penyaringan yang diisi dengan kombinasi kerikil, serbuk biji kelor, zeolit, arang aktif, dan biokeramik, serta dilengkapi kolektor surya berbahan aluminium dan kaca transparan untuk meningkatkan suhu air sebesar 10–13°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan kekeruhan air secara signifikan, meningkatkan pH menjadi netral (7,0), serta menurunkan kadar bakteri *E. coli* dari 420 menjadi 15 CFU/100 mL. Implikasi praktis dari penelitian ini adalah terciptanya teknologi filtrasi portabel berbasis energi surya yang mampu menjernihkan air sangat keruh sekaligus menghilangkan kontaminan biologis, sehingga dapat diterapkan pada wilayah dengan keterbatasan pasokan air bersih.

Kata kunci: Energi Surya, Filtrasi Air, Biji Kelor, Zeolit, Air Bersih

ABSTRACT

This research develops an innovative solar energy-based water filtration system using a combination of natural, eco-friendly filter materials. The novelty of this study lies in the integration of a multistage filtration system with a solar collector to enhance purification efficiency for highly turbid water that is difficult to clarify. The objective is to design a portable water filtration system capable of significantly improving water quality to meet the clean water standards established by the Indonesian Ministry of Health. The experimental method was conducted at the BLKK Welding Laboratory and the Sorong Selatan Health Office Laboratory, where physical, chemical, and microbiological parameters were tested before and after filtration. The system consists of two filtration chambers filled with gravel, moringa seed powder, zeolite, activated carbon, and bioceramic, combined with an aluminum and glass solar collector that increases water temperature by 10–13°C to accelerate the sedimentation process. The results showed a significant reduction in turbidity, an increase in pH to neutral (7.0), and a decrease in *E. coli* concentration from 420 to 15 CFU/100 mL. The practical implication of this research is the development of a portable solar-powered filtration technology capable of clarifying highly turbid water while simultaneously removing biological contaminants, making it suitable for rural or remote areas with limited access to clean water sources.

Keywords: Solar Energy, Water Filtration, Moringa Seeds Powder, Zeolite, Clean Water

Pendahuluan

Air bersih merupakan kebutuhan yang sangat esensial bagi kehidupan manusia[1]. Air dianggap sebagai aspek terpenting bagi kelangsungan hidup[2]. Air bersih dapat dilihat dari warna, bau dan PH air. Air berwarna, bau dan PH diluar rentang 6.5 – 8.5 tidak layak untuk digunakan[3]. Daerah yang susah diakses seperti daerah pedalaman sulit mendapatkan air bersih[4]. Hal ini disebabkan karena medan yang jauh dan belum adanya arus listrik. Sehingga Sumber air yang didapat berasal dari air hujan, dan sungai. Namun saat tidak terjadi hujan maka sumber air yang digunakan adalah sungai. Ada beberapa sungai yang terkontaminasi oleh bakteri sehingga membuat air sangat keruh dan bau. Maka perlu ada pengolahan air keruh rumah tangga yang ramah lingkungan.

Energi terbarukan merupakan energi yang bersumber dari alam dan dapat diolah terus-menerus[5] . Sumber energi terbarukan berasal dari matahari, air, angin, tumbuhan. Sumber energi terbarukan sangat melimpah dan tidak akan pernah habis[6]. Indonesia mempunyai potensi energi yang cukup besar[7]. Terutama di daerah pedalaman yang kaya akan sumber energi terbarukan. Dilihat dari letak geografis yang berada dekat pantai, sumber air yang melimpah dan angin yang cukup besar.

Kolektor surya adalah perangkat yang menangkap energi panas dari sinar matahari untuk digunakan sebagai sumber panas langsung, bukan untuk menghasilkan listrik[8]. Kolektor surya digunakan untuk pemanasan air atau tujuan industri[9]. Kolektor surya terdiri dari panel surya berwarna gelap atau lapisan kaca yang menyerap panas[10]. Panas yang diserap kemudian ditransfer ke fluida dan mengalir melalui pipa atau tabung yang berhubungan dengan kolektor[11]. Medium konduktif terbuat dari aluminium, tembaga dan bahan-bahan yang dapat mengahantarkan panas dengan cepat[12]. Fluida ini dapat digunakan langsung atau disimpan dalam tangki penyimpanan panas[13].

Filtrasi air adalah proses penyaringan yang digunakan untuk memisahkan partikel atau kontaminan dari air, sehingga air menjadi lebih bersih dan aman untuk digunakan[14]. Proses ini penting dalam pengelolaan air serta berbagai keperluan industri rumah tangga. Penyaringan bekerja dengan mengalirkan air melalui media penyaring yang menahan partikel , kotoran atau zat berbahaya selanjutnya air bersih dapat melewati penyaring[15]. Media penyaring terbuat dari bahan alami atau buatan seperti pasir, serbuk biji kelor, zeolite, karbon aktif dan biokeramik[16]. Proses penyaringan air biasanya terdiri dari beberapa tahap untuk memastikan air benar-benar bersih dari kontaminan[17].

Biji Kelor adalah bahan alami yang tidak mengandung bahan kimia berbahaya dan lebih aman daripada koagulan kimia seperti aluminium sulfat[18]. Biji moringga mengandung protein yang kaya akan polielektrolit kationik bermuatan positif[19]. Ketika ditambahkan ke air keruh, partikel kotoran seperti tanah , lumpur dan bakteri yang umumnya bermuatan negatif, tertarik dan menggupl bersama[20]. Protein dalam biji kelor juga memiliki sifat antimikroba yang dapat merusak membran sel bakteri sehingga mengurangi jumlah mikroorganisme berbahaya dalam air[21]. Senyawa dalam biji kelor mengikat partikel-partikel kecil dalam air membentuk partikel yang lebih besar. Partikel-partikel yang telah menggumpal (flok) mengikat densitasnya menyebabkan partikel-partikel penyebab kekeruhan mengendap didasar wadah[22]. Setelah partikel kotoran menggumpal (flokulasi) dan mengendap dan menyisahkan air yang lebih jernih dibagian atas[23]. Hal ini membantu mengurangi jumlah bakteri penyebab penyakit seperti Eschersia Coli dan Salmonela[24]. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan system penyaringan air berbasis energy surya.

Penelitian-penelitian sebelumnya masih memiliki keterbatasan pada dua aspek utama. Pertama sistem filtrasi umumnya hanya mengandalkan proses mekanik dan kimiawi tanpa dukungan energi tambahan untuk mempercepat reaksi pengendapan dan kedua,belum banyak penelitian yang secara spesifik diterapkan pada air dengan tingkat kekeruhan tinggi dan kandungan lignin kompleks seperti di wilayah Sorong Selatan, yang diketahui sulit dijernihkan menggunakan metode konvensional. Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, studi ini menawarkan inovasi sistem penyaringan air berbasis energi surya yang menggabungkan dua tahap filtrasi alami dengan bantuan pemanasan dari kolektor surya sederhana berbahan aluminium dan kaca. Sistem ini diharapkan mampu mempercepat proses pengendapan, menurunkan kekeruhan, mengurangi kontaminan biologis, serta menghasilkan air jernih sesuai standar Permenkes No. 2 Tahun 2023. Penelitian ini juga memiliki nilai praktis karena diuji langsung pada Laboratorium BLKK Las dan Dinas Kesehatan Kabupaten Sorong Selatan, yang mencerminkan kondisi lapangan sebenarnya di daerah dengan pasokan air terbatas.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan pengujian dilakukan pada system penyaringan berbasis energi surya dengan mengukur PH air dan kualitas air bersih yang memenuhi standar yang ditetapkan.

Tempat dan Waktu Penelitian

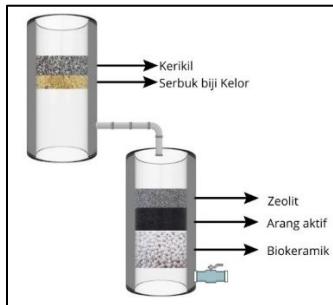
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium BLKK Teknik Las dan Dinas Kesehatan Kabupaten Sorong Selatan. Penelitian ini berlangsung selama 3 bulan, dimulai dari bulan Mei – Juli 2025.

Bahan Fitrasi

Bahan yang digunakan dalam system penyaringan ini adalah kerikil, serbuk biji kelor, zeolite , arang dan biokeramik. Berikut adalah desain sistem penyaringan yang memuat bahan-bahan filtrasi tersebut.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam sistem penyaringan ini adalah Multimeter, PH Meter, Termometer manual, timbangan digital, stopwatch dan Manometer. Berikut adalah gambar bahan-bahan filtrasi

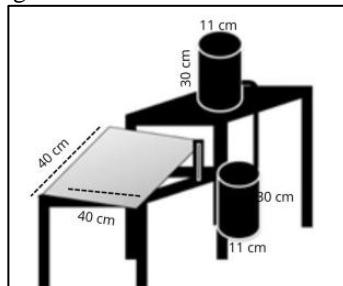


Gambar 1. Bahan Penyaringan

Bahan pertama adalah Kerikil ditempatkan dibagian atas untuk dapat menyaring partikel-partikel kotoran yang berukuran besar. Bahan kedua adalah Serbuk biji kelor yang dapat membantu menjernihkan air yang keruh dibantu energi surya yang diterima oleh kolektor dan bahan-bahan penyerap panas. Bahan ketiga adalah zeolit yang dapat menghilangkan besi, mangan dan ion logam. Bahan keempat adalah arang yang dapat menghilangkan bau pada air dan terakhir digunakan adalah biokeramik. Biokeramik dapat menetralkan rasa air ,membuat air lebih segar dan menghilangkan sisa bakteri yang masih ada.

Desain Penyaringan berbasis Energi Surya

Penyaringan air berbasis energi surya ini dirancang untuk dapat membantu proses pengendapan partikel penyebab kekeruhan dan sisa bakteri yang ada.



Gambar 2. Penyaringan air berbasis energi surya

Penyaringan air berbasis energi surya dirancang dengan menggunakan kolektor surya sederhana yang terbuat dari aluminium seri dan kaca transparan dengan ketebalan 0,3 mm sebagai penyerap panas[21]. Pipa yang digunakan adalah pipa tembaga untuk dapat menyerap panas dengan cepat. 2 tabung untuk wadah menyimpan air. Kedua tabung ini disusun bertingkat untuk memperoleh hasil penyaringan yang efektif. Volume awal air adalah 2 liter dan akan melewati lapisan filtrasi.

Prosedur Penelitian

Tahap Persiapan

1. Analisis persyaratan bahan filtrasi berdasarkan kondisi air keruh
2. Mengumpulkan semua perlatan dan bahan yang diperlukan
3. Melakukan pengujian awal untuk memastikan bahan dan alat yang tepat sebelum melakukan eksperimen utama

Tahap Ekperimen

1. Desain dua tabung penyaringan air dengan lapisan kerikil, serbuk biji kelor, zeolite, arang dan biokeramik
2. Desain kolektor surya sederhana dengan bahan-bahan yang dapat mengantarkan panas dengan cepat
3. Desain sistem penyaringan air berbasis energy surya
4. Melakukan eksperimen penyaringan air berbasis energy surya dengan kapasitas awal air sebanyak 2 liter dan waktu pemanasan pada pukul 11.00 – 13.00

Analisis data

1. Analisis kalor yang diserap dalam kolektor surya dan fluida
2. Waktu yang digunakan dalam proses penyaringan air berbasis energi surya
3. Analisis hasil penyaringan air berbasis energi surya dengan bahan-bahan penyaringan yang telah digunakan (Pengukuran standar air bersih dari kementerian Kesehatan)

4. Evaluasi sistem penyaringan dapat memenuhi kualitas air bersih dan menjawab kebutuhan air bersih pada daerah dengan pasokan air terbatas

Peraturan Menteri Kesehatan

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang kualitas air bersih di Indonesia dengan mempertimbangkan parameter fisik, kimia dan mikrobiologi.

Air bersih harus memiliki karakteristik fisik yang baik, artinya tidak mengandung zat atau warna yang mengganggu[25].

Batasan menurut Permenkes:

1. Tidak berwarna (jernih)
2. Tidak berbau
3. Tidak berasa
4. Suhu
5. Kekeruhan (turbidity): ≤ 25 NTU
6. Total padatan terlarut (TDS): ≤ 1.500 mg/L

Persyaratan Kimia

Air bersih harus bebas dari bahan kimia berbahaya bagi kesehatan. Beberapa parameter kimia yang diatur:

Tabel 1. Persyaratan Kimia Oleh Kementerian Kesehatan

Parameter	Batas Maksimum
pH	6.5 – 8.5
Besi (Fe)	≤ 1.0 mg/l
Mangan (Mn)	≤ 0.5 mg/l
Kesadahan total (CaCO_3)	≤ 500 mg/l
Nitrat (NO_3^-)	≤ 10 mg/l
Nitrit (NO_2^-)	≤ 1 mg/l
Klorida (Cl^-)	≤ 600 mg/l
Sulfat (SO_4^{2-})	≤ 400 mg/l
Detergen (MBAS)	≤ 0.05 mg/l
Amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$)	≤ 1.5 mg/l
Logam berat seperti Timbal (Pb), Kadmium (Cd), Arsen (As), Merkuri (Hg)	$\leq 0.01 – 0.05$ mg/l (tergantung jenisnya)

Persyaratan Mikrobiologi

Parameter mikrobiologi menunjukkan keamanan air dari kontaminasi biologis.

Total Coliform : ≤ 50 koloni/100 ml

Escherichia coli (E. coli) : 0 koloni/100 ml

Hasil Dan Pembahasan

Kapasitas dan Kualitas Sistem Penyaringan Air Berbasis Energi Surya

Bahan penyaringan dalam peningkatan kualitas air disusun dalam kedua tabung berbeda. Tabung pertama diisi dengan kerikil dan serbuk biji kelor sedangkan tabung kedua diisi dengan zeolit, arang dan biokeramik. Berikut adalah perbandingan masing-masing bahan penyaringan.

Tabel 2. Kapasitas Bahan Filtrasi

No	Bahan	Ukuran (Gram)
1	Kerikil	200
2	Serbuk biji kelor	20
3	Zeolite	100
4	Arang	150
5	Bio Keramik	300

Kualitas air sebelum dan sesudah menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya di Laboratorium Kesehatan untuk memastikan memenuhi standar Kementerian Kesehatan Indonesia. Berikut adalah kualitas air sebelum dan sesudah menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya.

Tabel 3. Kualitas air sebelum menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya

No	Jenis Parameter	Hasil Pemeriksaan	Satuan	Kadar Min – Max Pemeriksaan
1	Echeris coli	420	CFU/100ml	0 – 101
2	Kekeruhan	Keruh	500 NTU	0 – 400
3	Warna	Berwarna	TCU	
4	Bau	Bau	1. Bau 2. Tidak berbau	
5	PH	3	mg/l	2 – 10
6	Nitrat(NO3)	0,03	mg/l	0 – 600
7	Nitrit (NO2)	0,004	mg/l	0 – 96
8	Kromium Valensi 6	0,07	mg/l	0 – 1
9	Besi (Fe) terlarut	0,16	mg/l	0 – 10
10	Mangan (Mn)	0,81	mg/l	0 – 10
11	Sisa khlor	0,17	mg/l	0 – 10
12	Floride (F)	1,22	mg/l	0 – 3
13	Aluminium (Al)	> 0,5	mg/l	0 – 1
14	TDS	48		

Tabel diatas merupakan hasil uji kualitas air sebelum menggunakan filtrasi air berbasis energi surya. Air baku yang merupakan sampel dari penelitian ini adalah air baku dengan kadar kekeruhan lebih dari 25 NTU dan mengandung senyawa lignin yang sulit dijernihkan . Sehingga air ini mengandung bakteri dan zat-zat kimia dalam jumlah banyak dan tidak memenuhi kualitas air minum menurut standart yang diberikan oleh Kementerian Kesehatan.

Kualitas air setelah menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya dicapai melalui proses penyaringan yang melewati beberapa lapisan yaitu kerikil dan serbuk kelor berbantuan energi surya. Air yang telah disaring pada tabung pertama selanjutnya masuk ke tabung kedua yaitu zeolit, arang dan biokeramik. Berikut adalah hasil kualitas air diperoleh menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya.

Tabel 4. Kualitas air sesudah menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya

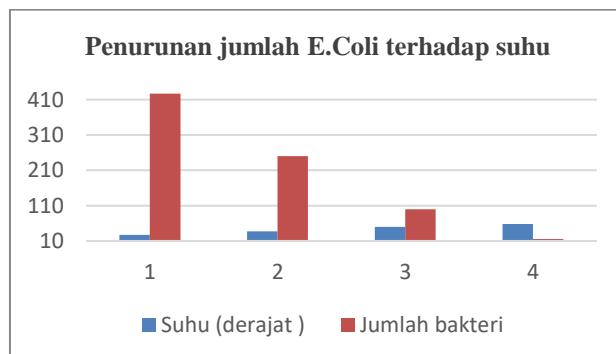
No	Jenis Parameter	Hasil Pemeriksaan	Satuan	Kadar Min – Max Pemeriksaan
1	Echeris coli	15	CFU/100ml	0 – 101
2	Kekeruhan	Tidak keruh	≤ 25 NTU	0 – 400
3	Warna	Tidak berwarna	TCU	
4	Bau	Tidak berbau	1. Bau 2. Tidak berbau	
5	PH	7.0	mg/l	2 – 10
6	Nitrat(NO3)	0.004	mg/l	0 – 600
7	Nitrit (NO2)	>1	mg/l	0 – 96
8	Kromium Valensi 6	0.10	mg/l	0 – 1
9	Besi (Fe)	0.5	mg/l	0 – 10
10	Mangan (Mn)	0.08	mg/l	0 – 10
11	Sisa khlor (Mn)	0.07	mg/l	0 – 10
12	Floride(F)	1.19	mg/l	0 – 3
13	Aluminium (Al)	> 0.05	mg/l	0 – 1
14	TDS	150	mg/l	

Tabel diatas merupakan hasil uji kualitas air sesudah menggunakan sistem penyaringan berbasis energi surya. Dari hasil uji didapatkan air dibawah kadar kekeruhan, bakteri echeris coli berkang signifikan , PH air Netral dan beberapa ion logam berkang. Sehingga hasil uji kualitas air sesudah menggunakan sistem penyaringan berbasis energi surya memenuhi standar kualitas air sesuai standar dari Kementerian Kesehatan.



Gambar 3. Perbandingan warna air

Dalam proses penyaringan, kerikil akan menyaring partikel besar sehingga partikel besar akan tertahan di lapisan kerikil. Proses penyaringan berikutnya adalah serbuk biji kelor mengikat partikel yang menyebabkan kekeruhan dan mengendapkannya. Proses pengendapan cepat akan dilakukan oleh bahan penyaringan di tabung pertama dengan berbantuan energy surya, dimana kolektor surya akan menangkap panas dari matahari dan mentransfernya ke tabung pertama. Sehingga air menjadi jernih dengan peningkatan suhu 10 – 13 derajat dari suhu awal. Selanjutnya air melewati penyaringan menggunakan zeolit. Dalam penyaringan ini, zeolit menghilangkan ion logam dalam air dan dilanjutkan dengan penyaringan oleh arang aktif. Dalam penyaringan ini, arang menghilangkan bau dan rasa dalam air. Berikut adalah warna air sesudah menggunakan sistem penyaringan air berbasis energi surya



Gambar 4. Penurunan jumlah E.Coli

Proses penyaringan air berbasis energy surya dapat mengurangi jumlah bakteri. Jumlah bakteri mengalami penurunan yaitu dari suhu awal 27 derajat terdapat 420 bakteri. Namun setelah melewati proses hingga suhu 58 derajat jumlah bakteri berkurang menjadi 15. Bakteri E. Coli turun signifikan karena pengaruh dari bahan-bahan filtrasi yang bukan hanya menjernihkan air tetapi bisa membunuh bakteri-bakteri dan ion-ion logam yang terdapat dalam air.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi koagulasi menggunakan serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*), pemanasan dengan kolektor surya, dan filtrasi multilapis memiliki kinerja yang sejalan bahkan lebih baik dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya. Penggunaan *Moringa* terbukti efektif menurunkan kekeruhan dan beban mikroba, terutama ketika dikombinasikan dengan filtrasi zeolite, arang dan biokeramik yang memperkuat proses adsorpsi, penjernihan air dan menurunkan jumlah bakteri. Kolektor surya yang mampu menaikkan suhu air hingga sekitar 58°C turut mempercepat pengendapan flok dan juga menurunkan jumlah bakteri, sejalan dengan hasil penelitian SODIS yang menekankan peran panas dan sinar UV dalam inaktivasi mikroba. Sistem filtrasi multilapis berbasis bahan lokal juga menunjukkan hasil serupa dengan penelitian di daerah lain dalam menurunkan TDS, logam, dan bau. Secara keseluruhan, integrasi ketiga komponen ini menjadi inovasi yang relevan untuk wilayah dengan ketersediaan energi surya tinggi namun keterbatasan listrik, serta berpotensi menyediakan air bersih secara mandiri dan ramah lingkungan.

Simpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem filtrasi portabel berbasis energi surya dengan kombinasi bahan alami (biji kelor, zeolit, arang aktif, dan biokeramik) mampu menurunkan tingkat kekeruhan, meningkatkan pH air, dan menurunkan kandungan mikrobiologis secara signifikan pada air dengan kekeruhan tinggi yang berasal dari wilayah Sorong Selatan. Hasil pengujian di Laboratorium BLKK Las dan Dinas Kesehatan Kabupaten Sorong Selatan menunjukkan bahwa peningkatan suhu air melalui kolektor surya meningkatkan efisiensi sedimentasi dan filtrasi, sehingga air hasil penyaringan memenuhi kriteria air bersih berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023. Secara ilmiah, mekanisme koagulasi protein kationik dari biji kelor berperan penting dalam menggumpalkan partikel tersuspensi, sedangkan zeolit dan arang aktif efektif menyerap zat organik seperti lignin dan tanin yang menyebabkan warna gelap dan kontaminasi kimia.

Implikasi sistem ini menawarkan solusi teknologi sederhana, hemat energi, dan ramah lingkungan yang dapat diterapkan di daerah dengan keterbatasan infrastruktur listrik dan air bersih. Sistem ini juga dapat menjadi model awal untuk pengolahan air alami dengan pendekatan biofisika terintegrasi, yang mudah dioperasikan oleh masyarakat lokal tanpa memerlukan sumber daya tinggi. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu belum dilakukan pengujian terhadap uji daya tahan sistem dalam operasi jangka panjang. Selain itu, efisiensi pemanasan kolektor surya masih bergantung pada intensitas radiasi matahari yang bervariasi tiap hari. Untuk tahap selanjutnya, disarankan dilakukan pengembangan sistem baru dengan penambahan lapisan adsorben nano, sensor monitoring kualitas air secara real-time, dan integrasi kontrol suhu otomatis untuk meningkatkan efektivitas penyaringan dan stabilitas hasil pada berbagai kondisi cuaca.

Daftar Pustaka

- [1] I. Hanafi and K. Hariyanto, "Perancangan Alat Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Metode Kansei Engineering," *J. Syst. Eng. Technol. Innov.*, vol. 1, no. 01, pp. 19–24, 2022, doi: 10.38156/jisti.v1i01.12.
- [2] H. Ambarita, F. Siahaan, H. -, and H. . Sihombing, "Performansi Pemanas Air Tenaga Surya Dengan Penambahan Sirip Pada Pipa Kolektor," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 57–64, 2020, doi: 10.36655/sprocket.v1i2.180.
- [3] M. F. Ahmed, M. Bin Mokhtar, and N. A. Majid, "Household water filtration technology to ensure safe drinking water supply in the Langat river basin, Malaysia," *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 8, pp. 25–27, 2021, doi: 10.3390/w13081032.
- [4] B. Ahmad, S. Hi. Umar, and M. Taufiq Y.S, "Analisis Sistem Penyaringan Air Bersih Pada Air Sumur Warga Di Kelurahan Fitu Kota Ternate Selatan," *J. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 16–21, 2023, doi: 10.33387/josae.v6i1.6100.
- [5] J. Satpute *et al.*, "Performance optimization for solar photovoltaic thermal system with spiral rectangular absorber using Taguchi method," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–13, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-73065-9.
- [6] V. S. Vigneswaran *et al.*, "Energy, Exergy, and Economic analysis of low thermal conductivity basin solar still integrated with Phase Change Material for energy storage," *J. Energy Storage*, vol. 34, p. 102194, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102194>.
- [7] A. R. Pakku and J. La'lang, "Rancang Bangun Pemanas Air Kontinu Sistem Hybrid Tenaga Surya Dan Gas," 2022.
- [8] G. Setyono, N. Kholili, and Y. Rakhmadanu, "The Impact of Utilization The Solar-Panels With a Cooling-Water System as a Source of Micro-Power Generation," *Infotekmesin*, vol. 13, no. 1, pp. 87–92, 2022, doi: 10.35970/infotekmesin.v13i1.1001.
- [9] S. K. Vishnu and R. Senthil, "Experimental performance and economic analysis of finned solar receiver for parabolic dish solar collector," *Heliyon*, vol. 9, no. 11, p. e21236, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e21236.
- [10] P. Y. Lestari *et al.*, "Solar Panel Solar Panel Installation Battery Testing SLiMS Installations mySQL Installation Apache Installation," vol. 02, no. 02, pp. 7–14, 2022.
- [11] G. J. Ji, J. M. Gu, Z. Chen, B. B. Lu, and Y. Gao, "Experimental research on heat transfer characteristic of HITEC molten salt in evacuated tube solar collector," *Front. Energy Res.*, vol. 11, no. May, pp. 1–10, 2023, doi: 10.3389/fenrg.2023.1150326.
- [12] C. Zhang, N. Li, and G. An, "Review of Concentrated Solar Power Technology Applications in Photocatalytic Water Purification and Energy Conversion: Overview, Challenges and Future Directions," *Energies*, vol. 17, no. 2, 2024, doi: 10.3390/en17020463.
- [13] B. E. Cowie, V. Porley, and N. Robertson, "Solar Disinfection (SODIS) Provides a Much Underexploited Opportunity for Researchers in Photocatalytic Water Treatment (PWT)," *ACS Catal.*, vol. 10, no. 20, pp. 11779–11782, 2020, doi: 10.1021/acscatal.0c03325.
- [14] T. T. Ross, M. A. Alim, and A. Rahman, "Simple and effective filtration system for drinking water production from harvested rainwater in rural areas," *J. Environ. Manage.*, vol. 373, no. May 2024, p. 123887, 2025, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.123887.
- [15] M. E. H. Attia, A. E. Kabeel, M. Abdelgaiad, F. A. Essa, and Z. M. Omara, "Enhancement of hemispherical solar still productivity using iron, zinc and copper trays," *Sol. Energy*, vol. 216, pp. 295–302, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.038>.
- [16] T. T. Hlaing, K. T. T. Htwe, and K. M. M. Htike, "A Study of The Some Physicochemical Properties of Water Sample from Ngamoeyeik Creek near North Okkalapa Township and Treated with *Moringa oleifera L.*," *Dant-Da-Lun Seed. 3rd Myanmar Korea Conf. Res. J*, vol. 3, no. 5, pp. 1937–1943, 2020.
- [17] T. A. Adesakin *et al.*, "Assessment of bacteriological quality and physico-chemical parameters of domestic water sources in Samaru community, Zaria, Northwest Nigeria," *Heliyon*, vol. 6, no. 8, p.

- e04773, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04773.
- [18] T. C. Shan, M. Al Matar, E. A. Makky, and E. N. Ali, "The use of *Moringa oleifera* seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal," *Appl. Water Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 1369–1376, 2017, doi: 10.1007/s13201-016-0499-8.
- [19] Z. Zhu, "Experimental study of the rheology of water-kaolinite suspensions," *Water Supply*, vol. 22, no. 2, pp. 1781–1795, 2022, doi: 10.2166/ws.2021.319.
- [20] V. V. F. Rocha, I. F. S. dos Santos, A. M. L. Silva, D. O. Sant'Anna, A. L. Junho, and R. M. Barros, "Clarification of high-turbidity waters: a comparison of *Moringa oleifera* and virgin and recovered aluminum sulfate-based coagulants," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 22, no. 5, pp. 4551–4562, 2020, doi: 10.1007/s10668-019-00397-2.
- [21] J. Rammal *et al.*, "Comparative Analysis of Natural and Synthetic Materials for Wastewater Treatment: Plant Powders, Activated Carbon, Biochar, Zeolite, and Nanomaterials," *J. Chem. Rev*, vol. 7, no. 4, pp. 566–590, 2025.
- [22] A. E. Ahizi *et al.*, "Optimization of *Moringa oleifera* cationic protein/zeolite adsorbent blend for synthetic turbid water treatment," *Sustain. Water Resour. Manag.*, vol. 9, no. 1, 2023, doi: 10.1007/s40899-022-00780-4.
- [23] N. Al-Jadabi, M. Laaouan, S. El Hajjaji, J. Mabrouki, M. Benbouzid, and D. Dhiba, "The Dual Performance of *Moringa Oleifera* Seeds as Eco-Friendly Natural Coagulant and as an Antimicrobial for Wastewater Treatment: A Review," *Sustain.*, vol. 15, no. 5, pp. 1–37, 2023, doi: 10.3390/su15054280.
- [24] K. Sembiring, "Perbaikan Parameter Kualitas Air Menggunakan Biji Kelor dan Zeolit Teraktivasi pada Prototipe Filter Air Payau Sederhana Improvement of Water Quality Parameters Using *Moringa* Seeds ...," *Airaha*, no. June, 2024, doi: 10.15578/ja.v13i01.657.
- [25] L. N. Azizah Azzahra and A. Imam Santoso, "Sistem Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih Dengan Menggunakan Alat Penjernih Air," *J. Tek. SILITEK*, vol. 3, no. 01, pp. 18–22, 2023, doi: 10.51135/jts.v3i01.56.