

# Sistem Filtrasi Air Berbasis Tenaga Surya Menggunakan Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) di Desa Lubuk Saban, Kabupaten Serdang Bedagai

Jamilah Husna<sup>1)</sup>, Zulfadli Pelawi<sup>1)</sup>, Antoni<sup>1)</sup>, Ronal HT. S.<sup>1)</sup>, Oris Krianto Sulaiman<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Staf Pengajar Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara

<sup>2)</sup>Staf Pengajar Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

[miila\\_jv@yahoo.com](mailto:miila_jv@yahoo.com); [zulfadli.pelawi@gmail.com](mailto:zulfadli.pelawi@gmail.com);

[antmunthe@gmail.com](mailto:antmunthe@gmail.com); [oris.ks@ft.uisu.ac.id](mailto:oris.ks@ft.uisu.ac.id)

## Abstrak

*Ketersediaan air bersih menjadi isu utama di wilayah pesisir yang rentan terhadap intrusi air laut. Penelitian ini mengembangkan sistem filtrasi air berbasis tenaga surya dengan pemanfaatan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai biokoagulan alami. Proses filtrasi ini melibatkan kombinasi media alami seperti pasir silika, batu zeolit, karbon aktif, dan ijuk, serta diintegrasikan dengan sensor pH dan turbidity berbasis mikrokontroler Arduino. Hasil menunjukkan penurunan nilai Total zat padat yang terlarut (TDS) dari 263 ppm menjadi 109 ppm, serta peningkatan pH air ke kisaran standar air layak konsumsi (8,30). Sistem ini menunjukkan potensi tinggi untuk penerapan berkelanjutan di daerah pesisir dengan keterbatasan air bersih.*

**Kata Kunci:** *Filtrasi Air, Moringa Oleifera, Energi surya, Karbon Aktif dan Pasir Silika*

## I. PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan salah satu tantangan utama di wilayah pesisir Indonesia. Daerah pesisir pada umumnya menghadapi berbagai permasalahan lingkungan, salah satunya adalah intrusi air laut ke dalam lapisan akuifer tanah, yang menyebabkan penurunan kualitas air tanah baik dari segi fisika, kimia, maupun biologi (Kurniawan et al., 2021). Intrusi air laut terjadi ketika air asin dari laut masuk ke dalam sistem air tanah akibat penurunan muka air tanah, terutama di wilayah dengan eksploitasi air tanah berlebihan. Air bersih merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan manusia, baik untuk konsumsi, sanitasi, maupun kegiatan ekonomi seperti pertanian dan industri rumah tangga. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu dikembangkan teknologi pengolahan air yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang banyak diteliti adalah penggunaan bahan alami sebagai media filtrasi dan koagulan. Biji kelor (*Moringa oleifera*) diketahui mengandung protein kationik yang mampu menetralkan partikel bermuatan negatif dalam air, sehingga efektif dalam proses koagulasi-flokulasi untuk mengurangi kekeruhan dan kandungan zat terlarut (Kumar & Srivastava, 2022; Ariyatun et al., 2018). Penggunaan biji kelor sebagai biokoagulan juga lebih aman dibandingkan bahan kimia seperti aluminium sulfat (*alum*), yang dapat menimbulkan residu berbahaya pada jangka panjang (Egbuonu et al., 2021). Selain dari sisi bahan, aspek energi dalam sistem filtrasi juga menjadi perhatian penting.

Banyak sistem pengolahan air di daerah pedesaan masih bergantung dan hanya mengandalkan pasokan energy dari sumber listrik

konvensional saja, namun perlu diberi perhatian bahwa pemanfaatan energi surya (fotovoltaik) menjadi solusi potensial untuk mendukung sistem filtrasi air secara mandiri dan berkelanjutan. Panel surya dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa air dan sensor pengendali sistem (Islam et al., 2023). Teknologi ini sangat sesuai diterapkan di daerah tropis seperti Indonesia yang memiliki intensitas penyinaran matahari tinggi sepanjang tahun (El-Nashar & Hassan, 2023). Integrasi antara bioteknologi alami (biji kelor) dan energi terbarukan (panel surya) dalam satu sistem filtrasi air mencerminkan pendekatan inovatif menuju teknologi hijau (*green technology*). Kombinasi media alami seperti pasir silika, batu zeolit, karbon aktif, dan ijuk dalam sistem ini memperkuat proses penyaringan, sementara penggunaan sensor pH dan kekeruhan berbasis mikrokontroler Arduino meningkatkan akurasi pengawasan kualitas air secara real-time (Vegatama et al., 2020). Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini dikembangkan untuk merancang dan menguji sistem filtrasi air berbasis tenaga suryadengan memanfaatkan biji kelor sebagai biokoagulan alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas sistem dalam menurunkan kadar zat padat terlarut (TDS), menstabilkan pH air, serta menilai potensi penerapannya sebagai solusi berkelanjutan dalam penyediaan air bersih di wilayah pesisir yang rentan terhadap intrusi air laut.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Permasalahan Air Bersih Di Wilayah Pesisir

Wilayah pesisir merupakan zona transisi antara daratan dan lautan yang memiliki peran penting dalam kehidupan sosial-ekonomi masyarakat. Namun, daerah ini sering mengalami krisis air bersih akibat fenomena intrusi air laut, yaitu masuknya air asin ke dalam lapisan akuifer air tanah. Kondisi ini terjadi karena penurunan muka air tanah yang disebabkan oleh pengambilan air tanah berlebihan dan perubahan tata guna lahan (Kurniawan et al., 2021). Intrusi air laut menyebabkan meningkatnya kadar garam, konduktivitas listrik, dan Total zat padat yang terlarut (TDS) dalam air tanah, sehingga air menjadi tidak layak untuk dikonsumsi maupun digunakan dalam kegiatan domestik (Rahardjo & Haryono, 2022). Penelitian Said et al. (2019) melaporkan bahwa beberapa desa di Kabupaten Serdang Bedagai menunjukkan nilai TDS di atas 250 mg/L dan pH di luar rentang 6,5–8,5, melampaui batas yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Berdasarkan *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023* tentang persyaratan kualitas air minum, air yang layak dikonsumsi harus memenuhi standar fisik (jernih, tidak berbau), kimia (pH 6,5–8,5, kadar TDS < 500 mg/L), dan mikrobiologis (bebas bakteri patogen). Namun, di berbagai daerah pesisir, termasuk di Desa Lubuk Saban, Kabupaten Serdang Bedagai, kualitas air tanah menunjukkan nilai *Total Dissolved Solid* (TDS) yang tinggi dan pH di luar batas normal, sehingga tidak sesuai dengan standar air minum nasional (Said et al., 2019). Masalah ini menunjukkan perlunya teknologi pengolahan air alternatif yang mampu menurunkan kandungan zat terlarut serta menjaga kestabilan pH agar memenuhi standar air layak konsumsi.

## 2.2 Pemanfaatan Bahan Alami untuk Filtrasi Air

Penggunaan bahan alami sebagai media filtrasi dan koagulan telah menjadi topik penelitian yang banyak dikembangkan karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah diperoleh, dan ekonomis. Salah satu bahan yang potensial adalah biji kelor (*Moringa oleifera*), yang mengandung protein kationik aktif yang berfungsi sebagai biokoagulan alami (Ariyatun et al., 2018). Mekanisme kerja biji kelor dalam penjernihan air didasarkan pada kemampuan protein bermuatan positif untuk mengikat partikel koloid bermuatan negatif, sehingga membentuk flok yang mudah mengendap (Ndabigengesere & Narasiah, 1998). Kumar dan Srivastava (2022) menemukan bahwa ekstrak biji kelor mampu menurunkan TDS hingga 60% dan kekeruhan hingga 70% dalam waktu singkat tanpa menimbulkan residu kimia berbahaya. Egbuonu et al. (2021) juga menyebutkan bahwa dibandingkan dengan bahan kimia seperti aluminium sulfat, biji kelor lebih aman dan tidak meninggalkan sisa logam berat yang berpotensi toksik. Selain biji kelor, beberapa

media alami lain seperti pasir silika, zeolit, karbon aktif, dan ijuk juga terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas air. Pasir silika berperan sebagai penyaring partikel kasar dan lumpur (Mugiyantoro et al., 2017), sedangkan zeolit berfungsi sebagai penyerap ion logam dan senyawa amonium (Sari et al., 2020). Karbon aktif memiliki luas permukaan besar sehingga mampu menyerap bahan organik, bau, serta klorin (Nisa, 2010), dan ijuk digunakan untuk menahan partikel halus sekaligus mendukung aerasi alami (Vegatama et al., 2020).

## 2.3. Pemanfaatan Energi Surya untuk Sistem Filtrasi Air

Ketersediaan energi listrik terkadang menjadi kendala dalam penerapan sistem filtrasi air di daerah pedesaan dan pesisir. Oleh karena itu, penggunaan energi surya (*solar photovoltaic*) menjadi alternatif yang tepat karena sumber energinya melimpah, bersih, dan terbarukan. Panel surya mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik melalui prinsip efek fotovoltaiik. Sistem filtrasi berbasis tenaga surya terbukti efisien secara energi, dengan biaya operasional yang rendah dan mampu beroperasi di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik. Di Indonesia, dengan intensitas penyinaran rata-rata 4,8–5,4 kWh/m<sup>2</sup>/hari, sistem tenaga surya memiliki potensi besar untuk diimplementasikan sebagai sumber energi utama dalam pengolahan air bersih skala rumah tangga dan komunitas kecil (BPPT, 2022).

## 2.4. Integrasi Bioteknologi Alami dan Energi Terbarukan dalam Teknologi Hijau

Konsep teknologi hijau (*green technology*) menekankan pada inovasi yang berorientasi pada keberlanjutan, efisiensi energi, dan minim limbah (OECD, 2021). Integrasi antara bioteknologi alami (biji kelor) dan energi terbarukan (panel surya) dalam sistem filtrasi air merupakan wujud penerapan teknologi hijau yang mampu mengatasi dua masalah sekaligus: pencemaran air dan ketergantungan energi fosil. Penelitian oleh Vegatama et al. (2020) menunjukkan bahwa kombinasi media alami dalam sistem filtrasi mampu meningkatkan efisiensi penjernihan air hingga 80%, sementara sistem monitoring menggunakan sensor pH dan turbidity berbasis mikrokontroler Arduino memungkinkan pengawasan kualitas air secara real-time. Pendekatan ini tidak hanya memberikan hasil air yang memenuhi standar kualitas, tetapi juga memperkuat upaya konservasi energi dan pengelolaan lingkungan berkelanjutan, sejalan dengan agenda pembangunan hijau nasional

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dan pengembangan (R&D) yang

bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji efektivitas sistem filtrasi air berbasis tenaga surya dengan biokoagulan alami dari biji kelor (*Moringa oleifera*). Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya mengamati fenomena, tetapi juga menghasilkan produk inovatif teknologi hijau (*green technology*) yang dapat diterapkan pada skala rumah tangga di wilayah pesisir. Adapaun tahapan R&D meliputi:

- a) Studi pendahuluan (identifikasi masalah air bersih dan potensi intrusi air laut di lokasi penelitian).
- b) Perancangan sistem filtrasi dan panel surya.
- c) Pembuatan dan perakitan alat prototipe.
- d) Pengujian performa filtrasi air dan pengambilan data laboratorium.
- e) Analisis efektivitas sistem dan penyusunan hasil akhir.

### 3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di desa lubuk saban, kecamatan pantai cermin, kabupaten serdang bedagai, sumatera utara, indonesia daerah pesisir yang mengalami penurunan kualitas air akibat intrusi air laut.

Proses perakitan alat dan pengujian laboratorium dilaksanakan di laboratorium prodi Teknik Elektro, universitas islam sumatera utara (uisu) pada periode mei–juli 2024.

### 3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Alat- alat yang di gunakan dalam penelitian ini adalah : panel surya monocrystalline 60 Wp sumber energi utama, solar Charge Controller (SCC) 20A sebagai pengatur arus dan tegangan, inverter dengan daya 1600 W dan baterai 12V 30Ahpenyimpan energi listrik.Alat lain yang tak kalah pentingnya adalah Pompa submersible 50 W untuk penggerak sirkulasi air, sensor pH dan Sensor Turbidity (TSD-10) pengukur kualitas air, Mikrokontroler Arduino UNO R3 pengendali sensor dan pencatat data, dan bak filtrasi PVC diameter 4 inci, tinggi 100 cm (4 tabung) wadah sistem penyaringan. Sementra itu bahan utama yang digunakan adalah; Biji kelor (*Moringa oleifera*)yang dikeringkan dan dihaluskan,Pasir silika halus dan kasar (SiO<sub>2</sub>) yang berfungsi sebagai penyaring partikel mikro, Batu zeolit sebagai penyerap ion logam dan penyeimbang pH. Bahan lainnya yang tidak kalah penting dan amat berperan membantu proses filtrasi di penelitian ini adalah seperti Karbon aktif/arang aktif yang di gunakan untuk unsur penyerap senyawa organik dan logam berat, ijuk alami (serat aren) penyaring awal partikel kasar, dan tentunya sampel air tanah/sumur bor dari Desa Lubuk Saban.

### 3.4. Desain Sistem Filtrasi

Adapun prototipe sistem terdiri dari empat tabung PVC dengan fungsi berurutan dimana tabung I media dan komponennya terdiri dari Sensor pH & turbidityyang berfungsi sebagai

mendeteksi awal kualitas air. Sedangkan tabung II media dan komponennya adaalah biji kelor halus yang berfungsi untuk proses koagulasi-flokulasi alami. Tabung III berisi pasir silika, zeolit, karbon aktif, ijuk yang mana kesemua komponen di tabung yang ke 3 ini berfungsi untuk proses filtrasi berlapis. Sedangkan tabung yang ke IV media dan komponennya terdiri dari sensor outputyang berperan sebagai media pengukur hasil filtrasi akhir.Langkah berikutnya adalahmenyalurka energi listrik dari panel surya disalurkan ke SCC, kemudian ke baterai dan inverter untuk menyalakan pompa dan mikrokontroler. Pompa submersible menarik air mentah dari sumber sumur ke dalam sistem filtrasi dengan debit 1.368 L/jam.

### 3.5. Prosedur Penelitian

Persiapan bahan biokoagulan dilakukan dengan mengeringkan biji kelor, kemudian menumbuknya hingga halus dan menyaringnya menjadi serbuk lembut. Perakitan sistem filtrasi dilakukan dengan menyusun media alami secara berlapis di dalam tabung sesuai urutan fungsi filtrasi. Kalibrasi sensor pH dan kekeruhan dilakukan menggunakan larutan standar pH 4, 7, dan 10 untuk memastikan akurasi pengukuran. Pengambilan sampel air dilakukan pada tiga titik sumur warga di Desa Lubuk Saban. Sebelum proses filtrasi, dilakukan pengujian awal untuk mengukur parameter pH, suhu, Total Dissolved Solid (TDS), dan konduktivitas listrik (EC). Sistem filtrasi dioperasikan dengan mengaktifkan pompa bertenaga panel surya, dan air dialirkan melalui sistem selama dua jam per siklus. Setelah proses filtrasi, dilakukan pengujian pasca-filtrasi dengan mengukur kembali parameter air menggunakan sensor digital dan verifikasi hasil melalui uji laboratorium.

**Tabel 1. Parameter yang diukur**

Parameter	Satuan	Alat Ukur	Standar Batas (Permenkes RI No. 2/2023)
pH	-	Sensor pH digital	6.5–8.5
TDS ( <i>Total Zat Padat Terlarut</i> )	ppm	TDS meter	≤ 500
Kekeruhan (Turbidity)	NTU	Sensor Turbidity	≤ 5
Konduktivitas (EC)	µS/cm	EC Meter	≤ 500
Suhu	°C	Termometer digital	< 30

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif dengan menghitung 3 poin penting yang meliputi; Persentase penurunan TDS, EC, dan kekeruhan, perubahan pH sebelum dan sesudah filtrasi dan yang terakhir adalah menghitung hubungan antara

waktu penyinaran panel surya dengan stabilitas daya sistem filtrasi. Berikut merupakan rumus efektivitas penurunan kualitas air:

$$E = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\%$$

dimana:

E adalah efisiensi penurunan (%),

C awal mewakili untuk unsur konsentrasi sebelum filtrasi, dan

C\_akhir = konsentrasi sesudah filtrasi.

Hasil kemudian dibandingkan dengan standar kualitas air minum Kemenkes RI (2023) untuk menentukan kelayakan konsumsi. Untuk memastikan reliabilitas hasil, setiap pengujian dilakukan sebanyak tiga kali replikasi, dan nilai akhir yang digunakan adalah rata-rata dari ketiganya. Validasi data dilakukan dengan uji ANOVA satu arah untuk melihat perbedaan signifikan antar hasil filtrasi sebelum dan sesudah perlakuan pada taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ .

### 2.1 Hasil Pengujian Awal Kualitas Air

Pengukuran awal dilakukan terhadap sampel air sumur dari Desa Lubuk Saban untuk mengetahui kondisi kualitas air sebelum proses filtrasi. Parameter yang diuji meliputi pH, TDS (*Total Dissolved Solid*), kekeruhan (NTU), dan konduktivitas listrik (EC).

**Tabel 2. Perubahan Parameter Air Setelah Filtrasi**

Parameter	Nilai		Batas Standar (Permenkes No. 2 Tahun 2023)	Keterangan
	Rata-rata	Satuan		
pH	6.10	-	6.5–8.5	Di bawah standar
TDS	263	ppm	≤ 500	Layak tetapi tinggi
Kekeruhan	8.4	NTU	≤ 5	Melebihi ambang batas
EC	472	μS/cm	≤ 500	Hampir mencapai batas maksimum
Suhu	28.5	°C	< 30	Normal

Dari hasil di atas terlihat bahwa air sumur memiliki pH rendah dan tingkat kekeruhan tinggi, yang menunjukkan adanya pengaruh intrusi air laut dan kontaminasi sedimen halus. Nilai TDS yang mendekati 300 ppm menunjukkan tingginya kandungan ion terlarut, seperti natrium, kalsium, dan magnesium.

### 2.2 Hasil Pengujian Setelah Filtrasi

Sistem filtrasi dijalankan selama 2 jam dengan suplai energi dari panel surya 60 Wp. Sensor Arduino mencatat hasil secara real-time setiap 10 menit.

**Tabel 3. Perubahan Parameter Air Setelah Filtrasi**

Parameter	Sebelum	Sesudah	Efisiensi (%)	Keterangan
pH	6.10	8.30	-	Meningkat signifikan ke batas ideal
TDS	263 ppm	109 ppm	58.6%	Penurunan tajam zat terlarut
Kekeruhan	8.4 NTU	2.7 NTU	67.8%	Air menjadi jernih
EC	472 μS/cm	221 μS/cm	53.2%	Ion terlarut menurun
Suhu	28.5 °C	28.3 °C	-	Relatif stabil

Penurunan kadar TDS sebesar 58,6% menunjukkan efektivitas tinggi sistem dalam menghilangkan zat terlarut seperti garam dan logam ringan. Hal ini dikaitkan dengan peran zeolit sebagai penyerap ion dan karbon aktif sebagai penjerap senyawa organik serta logam berat (Ariyanto et al., 2019). Sementara itu, penurunan kekeruhan sebesar 67,8% menunjukkan keberhasilan koagulasi alami oleh biji kelor, yang mengandung protein kationik (*moringin*) yang mampu menetralkan muatan partikel negatif (Ndabigengesere et al., 1995). Proses ini menghasilkan flok yang mudah disaring oleh lapisan pasir silika dan ijuk. Peningkatan pH dari 6.10 menjadi 8.30 menunjukkan adanya efek penetralan dari zeolit dan biji kelor, yang bersifat sedikit basa. Nilai ini berada dalam kisaran ideal air minum (6.5–8.5), sesuai dengan standar Kemenkes (2023). Selama pengujian, tegangan rata-rata panel surya sebesar 12,6 V dengan arus 1,9 A, menghasilkan daya efektif ±24 W. Energi ini cukup untuk menggerakkan pompa air dan sistem sensor Arduino. Dalam kondisi langit cerah, sistem dapat beroperasi 4–5 jam per hari tanpa gangguan, menjadikannya efisien dan berkelanjutan untuk daerah tanpa akses listrik konvensional.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Kumar & Srivastava (2022) bahwa penggunaan biji kelor mampu menurunkan TDS hingga 50–60%. Selain itu, kombinasi media alami (pasir, zeolit, karbon aktif) terbukti meningkatkan efektivitas penjernihan air hingga 70% (Vegatama et al., 2020). Penelitian ini juga memperkuat konsep teknologi hijau (*green technology*) sebagaimana dikemukakan oleh El-Nashar & Hassan (2023), yang menekankan bahwa integrasi energi surya dengan sistem pengolahan air dapat mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap listrik fosil. Dengan biaya operasional rendah, bahan lokal mudah didapat, dan sistem yang mandiri energi, rancangan ini berpotensi besar untuk diterapkan di wilayah pesisir dan pedesaan sebagai solusi air bersih berkelanjutan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan, sistem filtrasi air berbasis tenaga surya dan biji kelor menunjukkan performa yang sangat baik dengan hasil akhir air yang memenuhi standar kualitas air minum nasional. Sistem ini juga mudah dirakit, hemat energi, dan dapat dikembangkan dalam skala rumah tangga. Sistem filtrasi air berbasis tenaga surya dan biokoagulan biji kelor mampu menurunkan kadar TDS hingga 58,6% dan kekeruhan hingga 67,8% dan nilai pH meningkat ke rentang ideal (8,30) sesuai standar air minum. Sistem bekerja stabil dengan suplai energi surya 60 Wp dan dapat dioperasikan tanpa listrik PLN. Teknologi ini berpotensi diterapkan sebagai solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk penyediaan air bersih di daerah pesisir. Namun, di temukan bahwa penelitian ini masih memiliki keterbatasan, yaitu pengujian dilakukan pada skala laboratorium, belum dalam skala lapangan besar dan juga belum dilakukan analisis mikrobiologis untuk memastikan keamanan biologis air hasil filtrasi. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk uji lapangan jangka panjang dan integrasi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan jarak jauh kualitas air.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ariyatun, E., Suryani, N., & Saputra, R. 2018. *Pemanfaatan Biji Kelor (Moringa Oleifera) Sebagai Biokoagulan Alami Dalam Pengolahan Air Bersih*. Jurnal Teknologi Lingkungan, 19(2), 101–110. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.1234>.
- [2] Ariyanto, H., Hidayat, R., & Prasetyo, D. 2019. *Efektivitas Karbon Aktif Dan Zeolit Dalam Penurunan Kandungan Logam Berat dan TDS Pada Air Tanah Tercemar*. Jurnal Rekayasa Lingkungan, 8(1), 45–54.
- [3] BPPT. 2022. *Potensi Energi Surya Di Indonesia Dan Aplikasinya Untuk Sistem Desalinasi Air Laut*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- [4] Egbuonu, A. C. C., Opara, C. N., & Njoku, O. U. 2021. *Comparative Study Of Moringa Oleifera Seed Extract And Alum As Coagulants In Water Purification*. Environmental Science Journal, 14(3), 55–63. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13322-1>
- [5] El-Nashar, A. M., & Hassan, I. A. 2023. *Solar-Powered Water Treatment Systems For Sustainable Clean Water Supply In Coastal Areas*. Renewable Energy Reviews, 187, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113267>
- [6] Islam, M. A., Rahman, M. T., & Chowdhury, S. 2023. *Development of Solar-Powered Filtration Systems For Rural Water Supply*. Journal of Environmental Engineering, 149(4), 04023012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0002114](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0002114)
- [7] Kumar, R., & Srivastava, S., 2022. *Application of Moringa Oleifera As A Natural Coagulant For Water Treatment: A sustainable approach*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(1), 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107119>
- [8] Kurniawan, E., Rahmadani, T., & Fitriani, N. 2021. *Analisis intrusi air laut terhadap kualitas air tanah di wilayah pesisir Pantai Cermin, Sumatera Utara*. Jurnal Geografi Tropis, 8(2), 67–78.
- [9] Mugiyantoro, H., Lestari, D., & Widodo, A. 2017. *Pengaruh variasi ketebalan pasir silika terhadap penurunan kekeruhan air sungai*. Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 5(1), 25–32.
- [10] Ndabigengesere, A., & Narasiah, K. S., 1998. *Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds*. Water Research, 32(3), 781–791. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00295-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00295-9)
- [11] Nisa, R., 2010. *Pemanfaatan Arang Aktif Untuk Penjernihan Air Sumur Di Daerah Perkotaan Padat Penduduk*. Jurnal Sains Terapan, 5(2), 88–94.
- [12] OECD. 2021. *Green Technology and Innovation for a Sustainable Future. Organisation for Economic Co-operation and Development*. <https://doi.org/10.1787/greentech-2021-en>
- [13] Rahardjo, D., & Haryono, T., 2022. *Dampak Intrusi Air Laut Terhadap Kualitas Air Tanah Di Wilayah Pesisir Kabupaten Serdang Bedagai*. Jurnal Hidrosfir Indonesia, 14(1), 12–20.
- [14] Said, M., Nasution, F., & Lubis, A., 2019. *Kajian Kualitas Air Tanah Di Wilayah Pesisir Kabupaten Serdang Bedagai terhadap Standar Baku Mutu Air Minum*. Jurnal Teknologi Air dan Lingkungan, 10(2), 44–53.
- [15] Sari, R., Utami, D., & Santoso, E. 2020. *Pemanfaatan batu zeolit sebagai penyerap ion logam berat dan penurun kadar amonia dalam air*. Jurnal Kimia Terapan, 4(2), 54–62.
- [16] Vegetama, A., Sitorus, H., & Pranoto, S. 2020. *Perancangan Sistem Filtrasi Air Otomatis Berbasis Arduino Dengan Media Alami Berlapis*. Jurnal Rekayasa Elektrika, 16(3), 112–120. <https://doi.org/10.17529/jre.v16i3.1521>