

Biokoagulan Sebagai Teknologi Koagulasi Untuk Pengendalian Kekeruhan Pada Pengolahan Air : Sebuah Tinjauan Sistematis

Muhammad Aidil Fitrah^{1*}, Setiawan Kasim², Muh. Saleh³, Morrin Choirunnisa Thohira¹

¹Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

²Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas kesehatan Masyarakat, Universitas Patria Artha, Gowa, Indonesia

³ Program Studi Kesehatan Masyarakat, Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar, Indonesia

*Corresponding author: aidilfitriah@fkm.unmul.ac.id

Info Artikel: Diterima bulan Januari 2025 ; Disetujui bulan Nopember 2025 ; Publikasi bulan Desember 2025

ABSTRACT

Water pollution is an environmental challenge that threatens public health and natural ecosystems. To overcome this urgent problem, efficient and environmentally friendly water treatment methods will be implemented. One approach that can be taken is using biocoagulants as an alternative to chemical coagulants. This study aims to determine the effectiveness of biocoagulants in reducing turbidity in the water treatment process. The research method used is a systematic literature review by collecting secondary data from several journal databases such as Google Scholar, Scopus, and Pubmed from 2020 to 2024. There were 561 journal articles found based on keywords, which were then screened based on inclusion and exclusion criteria, resulting in 13 journal articles for analysis. The results show that moringa oleifera is more widely used than several types of biocoagulants, effectively reducing turbidity by 83.06% - 99% and chitosan being the highest in reducing turbidity by 99%. This shows that biocoagulants can be an alternative to coagulants in reducing turbidity levels while still paying attention to water characteristics. Further research is needed to optimize the use of biocolloid in water treatment with the integration of filtration membrane technology so that it can become a safer and more environmentally friendly sustainable solution in water treatment.

Keywords : Biocoagulant; Water Treatment; Turbidity; Coagulation; Flocculation

ABSTRAK

Pencemaran air merupakan tantangan lingkungan yang menimbulkan ancaman signifikan terhadap kesehatan masyarakat dan ekosistem alam. Untuk mengatasi masalah yang mendesak ini diharapkan adanya penerapan metode pengolahan air yang efisien dan ramah lingkungan, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan yakni pemanfaatan biokoagulan sebagai alternatif koagulan kimia. Penelitian ini bertujuan mengetahui efektivitas biokoagulan dalam mengurangi kekeruhan dalam proses pengolahan air. Metode penelitian yang digunakan adalah systematic literatur review dengan mengumpulkan data sekunder dari beberapa database jurnal seperti Google Scholar, Scopus, dan Pubmed dalam rentang Tahun 2020-2024. Terdapat 561 artikel jurnal yang ditemukan berdasarkan kata kunci yang kemudian dilakukan skrining berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi sehingga didapatkan 13 artikel jurnal untuk dilakukan analisis. Hasil menunjukkan moringa oleifera lebih banyak digunakan dari beberapa jenis biokoagulan dengan efektivitas mengurangi kekeruhan sebesar 83,06% - 99% dan chitosan menjadi yang tertinggi dalam mengurangi kekeruhan sebesar 99%. Hal ini menunjukkan bahwa biokoagulan dapat menjadi alternatif pengganti koagulan dalam menurunkan kadar kekeruhan pada dengan tetap memperhatikan karakteristik air. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan biokoagulan dalam pengolahan air dengan integrasi teknologi membran filtrasi sehingga dapat menjadi solusi berkelanjutan yang lebih aman dan ramah lingkungan dalam pengolahan air.

Kata Kunci: Biokoagulan; Pengolahan Air; Kekeruhan; Koagulasi; Flokulasi

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan salah satu masalah lingkungan yang sering terjadi di beberapa wilayah di dunia, termasuk di Indonesia. Pencemaran air di utamanya disebabkan oleh aktivitas manusia yang menghasilkan limbah rumah tangga, pertanian, dan industri, termasuk limbah dari kegiatan pertambangan. Pencemaran tersebut berdampak buruk terhadap lingkungan, yang mencerminkan kurangnya pengelolaan lingkungan yang memadai dalam aktivitas manusia. Konsekuensi dari pencemaran air sangat signifikan, yang menyebabkan degradasi ekosistem perairan seperti sungai, danau, dan perairan pesisir. Degradasi lingkungan ini menimbulkan ancaman serius terhadap keanekaragaman hayati dan membahayakan ketersediaan sumber daya air tawar. (Laksamana, Sudarti and Yushardi, 2024).

Menurut data Badan Pusat Statistik (2023), sekitar 2,98% rumah tangga di Indonesia masih melakukan praktik pembuangan limbah tinja ke lingkungan perairan, termasuk sungai, danau, dan laut. Selain itu, sekitar 15% rumah tangga tidak memiliki akses terhadap fasilitas sanitasi yang memadai, sehingga limbah langsung dibuang ke lingkungan sekitar. Selain itu, hanya 91,05% rumah tangga yang memiliki akses terhadap air minum yang aman, dengan persentase yang jauh lebih rendah yaitu hanya 20,68% yang memiliki akses terhadap air minum. Hal ini menunjukkan pencemaran air tidak hanya memengaruhi kesehatan lingkungan tetapi juga membahayakan ketersediaan dan kualitas air yang diperlukan untuk aktivitas manusia sehari-hari (BPS, 2023).

Air sebagai sumber daya yang sangat penting sehingga kualitasnya harus selalu diperhatikan, karena semua organisme hidup sangat bergantung padanya. Pemanfaatan air harus mematuhi standar mutu yang telah ditetapkan, meliputi parameter fisika, kimia, dan biologi. Meningkatnya kepadatan penduduk menyebabkan permintaan air bersih untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari meningkat. Kualitas air dapat ditingkatkan dengan melakukan pengolahan seperti koagulasi dan filtrasi air. Efektivitas koagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk konsentrasi koagulan, durasi dan intensitas pengadukan, waktu sedimentasi, dan jenis koagulan yang digunakan (Harahap, Sirait and Lubis, 2023).

Pada proses koagulasi, penambahan koagulan berupa zat kimia yang ditambahkan ke dalam air sangat penting untuk pengendapan partikel koloid yang sulit dihilangkan secara efektif. Hal ini dicapai dengan mendestabilisasi partikel melalui mekanisme pengadukan cepat. Oleh karena itu, pemilihan koagulan merupakan faktor penting yang harus dievaluasi secara cermat selama proses pengolahan air. Koagulan kimiawi yang sering digunakan yakni aluminium sulfat dan feri klorida. Namun, residu kimiawi yang tertinggal sering kali berisiko menimbulkan masalah kesehatan dan lingkungan. Oleh karena itu, sangat penting untuk menyelidiki bahan-bahan alami yang berkelanjutan bagi lingkungan dan memiliki potensi signifikan sebagai koagulan alternatif seperti koagulan dari tanaman (biokoagula). (Octavianka and Purnomo, 2023).

Biokoagulan berperan penting dalam meningkatkan proses pengolahan air dengan menetralkan muatan listrik yang ada dalam air secara efektif. Tindakan ini mendorong penyerapan berbagai partikel, memfasilitasi pembentukan gumpalan yang lebih besar yang mengendap lebih cepat, sehingga meningkatkan laju sedimentasi. Senyawa aktif yang ditemukan dalam biokoagulan, seperti polisakarida dan protein, berperan penting dalam proses agregasi ini, khususnya untuk partikel koloid bermuatan negatif. Selain itu, biokoagulan ini memiliki gugus fungsi seperti karboksil dan hidroksil, yang mampu mengikat ion logam berat. Fungsi ganda ini tidak hanya membantu dalam penghilangan partikel tetapi juga berkontribusi pada pemurnian air secara keseluruhan dengan mengurangi pencemaran air. biokoagulan merupakan alternatif yang berkelanjutan dan efisien untuk koagulan kimia tradisional dalam aplikasi pengolahan air (Salehizadeh, Yan and Farnood, 2018).

Penggunaan Koagulan alami menawarkan banyak manfaat dibandingkan dengan koagulan anorganik. Sifatnya yang biodegradable, non-toksik, dan lebih ramah lingkungan menjadikan limbah organik seperti kulit pisang, biji kelor, kulit udang (sumber kitosan), kulit buah jeruk, daun pepaya telah diteliti sebagai bahan baku biokoagulan karena kandungan senyawa aktifnya seperti protein, polisakarida, dan tanin. Penggunaan koagulan alami seperti kitosan dan ekstrak biji kelor tidak hanya mengurangi dampak buruk terhadap kesehatan manusia, tetapi juga menghasilkan lebih sedikit limbah dan lebih mudah terurai secara hayati (Kristianto, Prasetyo and Sugih, 2019; Coleman *et al.*, 2021). Penelitian menunjukkan bahwa kitosan secara efektif mengikat kotoran dalam air dan memiliki karakteristik yang dapat terurai secara hayati, sehingga menjadikannya pilihan yang unggul untuk pengolahan air (Ratnawulan, Noor and Suptijah, 2018). Lebih jauh lagi, penggunaan koagulan alami mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya seperti aluminium sulfat, yang umum digunakan dalam metode pengolahan air tradisional (Afiatun, Wahyuni and Hamdan, 2018; Octavianka and Purnomo, 2023).

Beberapa koagulan alami lainnya yang telah menarik perhatian adalah biji asam jawa (*Tamarindus Indica* L). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa biji ini tidak hanya mampu mengurangi kekeruhan air, tetapi juga efektif dalam menurunkan konsentrasi klorida dalam air sumur (Syamsudin and Amin, 2024). Selain itu, biji kelor (*Moringa oleifera*) telah tervalidasi khasiatnya dalam mengurangi indikator kualitas air seperti COD, BOD, dan TSS dalam air limbah industri (Aras & Asriani, 2021; Thabrani, 2024). Kitosan, yang berasal dari cangkang krustasea, merupakan koagulan

alami lain yang menjanjikan, yang menunjukkan kemampuan substansial dalam mengurangi metrik polusi dalam air limbah cucian (Ihsani and Widyastuti, 2014; Setiawan *et al.*, 2020).

Pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme kerja biokoagulan sangat penting untuk memajukan studi ini. Studi terkini menunjukkan bahwa biokoagulan berfungsi melalui proses koagulasi dan flokulasi; namun, interaksi terperinci antara biokoagulan dan partikel polutan di lingkungan perairan memerlukan penyelidikan tambahan (Ratnawulan, Noor and Suptijah, 2018; Santoso, Sudarti and Yushardi, 2023). Memperoleh wawasan tentang mekanisme ini akan memfasilitasi terciptanya biokoagulan yang lebih efektif dan efisien.

Meskipun berbagai penelitian telah membuktikan keunggulan biokoagulan, variasi dalam hasil yang dipengaruhi oleh jenis sumber air dan kondisi lokal memerlukan penelitian lebih lanjut. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk melakukan *Literature Review (LR)* terhadap penggunaan biokoagulan dalam mengurangi pencemaran air. Pendekatan SLR ini akan menyusun, menganalisis, dan mensintesis bukti-bukti ilmiah yang ada untuk memberikan gambaran komprehensif tentang efektivitas, tantangan, dan peluang dalam penggunaan biokoagulan sebagai solusi pengolahan air.

METODE

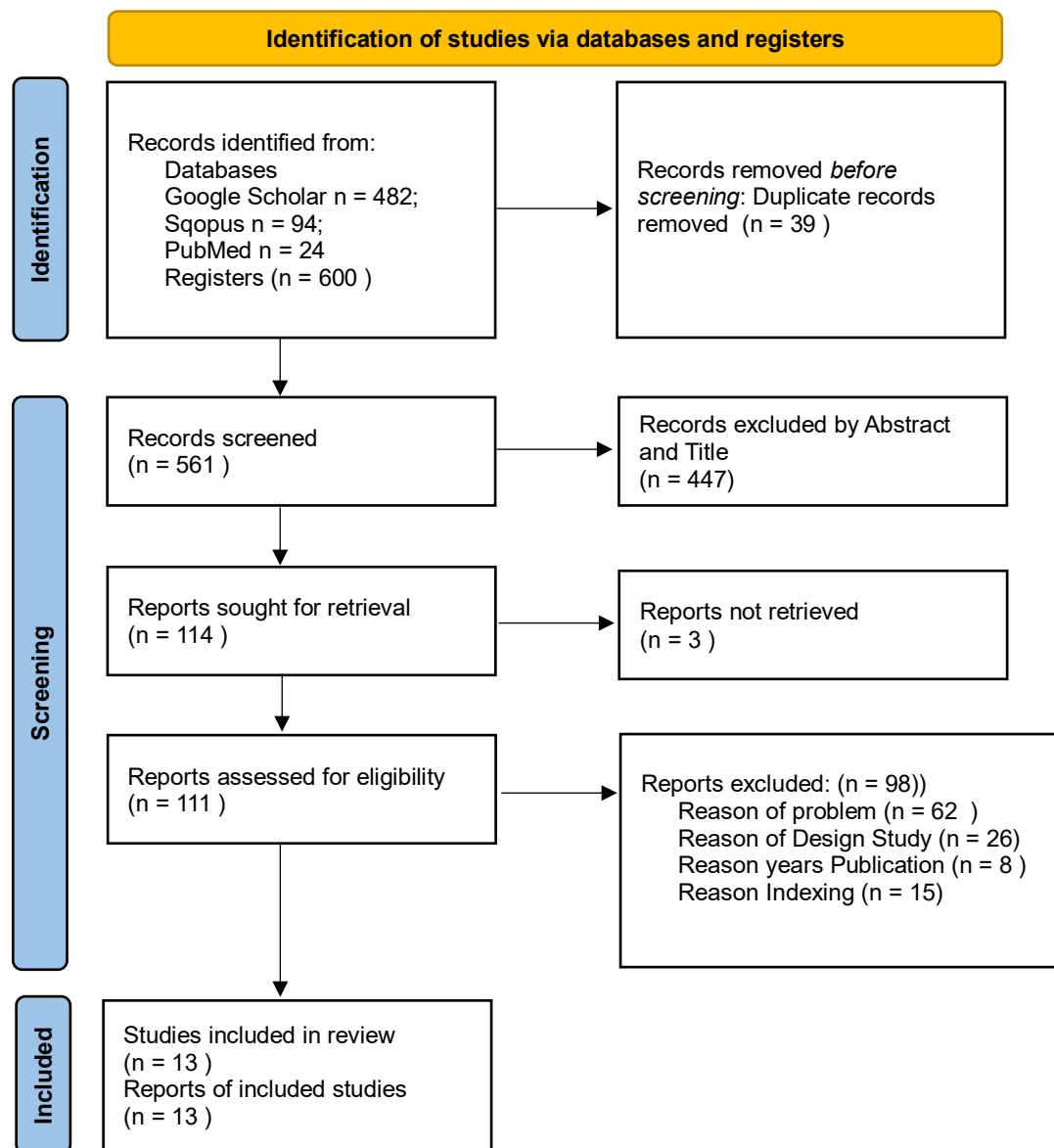
Metode pada penelitian ini berupa systematic literature review (SLR) dengan melakukan pendekatan yang terstruktur dan sistematis dalam mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan dengan topik penelitian tertentu. Tujuan utama SLR adalah untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang penelitian yang ada sekaligus menunjukkan area yang masih memiliki kesenjangan dalam literatur. Proses SLR mengikuti serangkaian langkah yang telah ditetapkan sebelumnya, yang mencakup perumusan pertanyaan penelitian, penelusuran literatur yang komprehensif, pemilihan studi yang relevan, dan analisis serta sintesis selanjutnya dari data yang dikumpulkan. (Triandini *et al.*, 2019; Adeoye *et al.*, 2023)

Studi ini memanfaatkan banyak data sekunder yang diperoleh dari beragam jurnal nasional terakreditasi dan jurnal yang diakui secara internasional yang berasal dari database Google Scholar, PubMed, dan Sqopus. Pendekatan komprehensif ini memungkinkan analisis yang kuat berdasarkan literatur yang berkualitas yang meningkatkan validitas dan dampak studi secara keseluruhan.

Pencarian awal database jurnal menggunakan aplikasi Publish or Persih 8 dengan memasukkan kata kunci “Biocoagulan AND Water treatment AND Turbidity”, dengan memasukkan periode publikasi lima tahun terakhir atau dari tahun 2020 hingga tahun 2024 dan dapat diakses fulltext (jurnal peer review). Selanjutnya data diolah pada microsoft excel dengan melakukan screening karakteristik sesuai kriteria inklusi dan eksklusi pada tabel 1 dengan alur seleksi literatur seperti gambar 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Masalah	Jurnal Nasional dan internasional dari berbagai sumber database dan terkait dengan masalah yang sama yaitu efektivitas biokoagulan pada pengolahan air bersih dan/ limbah cair terhadap parameter kekeruhan.	Jurnal Nasional dan internasional dari berbagai sumber database dengan rumusan masalah yang berbeda.
Desain Studi	Penelitian cross sectional, kohort, penelitian eksperimental, quasi eksperimental, penelitian laboratorium dan lapangan.	Selain penelitian cross sectional, penelitian kohort, penelitian eksperimental, quasi eksperimental, penelitian laboratorium dan penelitian lapangan.
Tahun Publikasi	2020-2024	Sebelum 2024
Indeks Jurnal	Jurnal Nasional Terakreditasi Sinta/Garuda dan Jurnal Internasional terakreditasi Sqopus/WoS/DOAJ	Jurnal Nasional dan Internasional tidak terakreditasi



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA.

HASIL

Tabel 2. Hasil Seleksi dan Analisis Artikel Jurnal

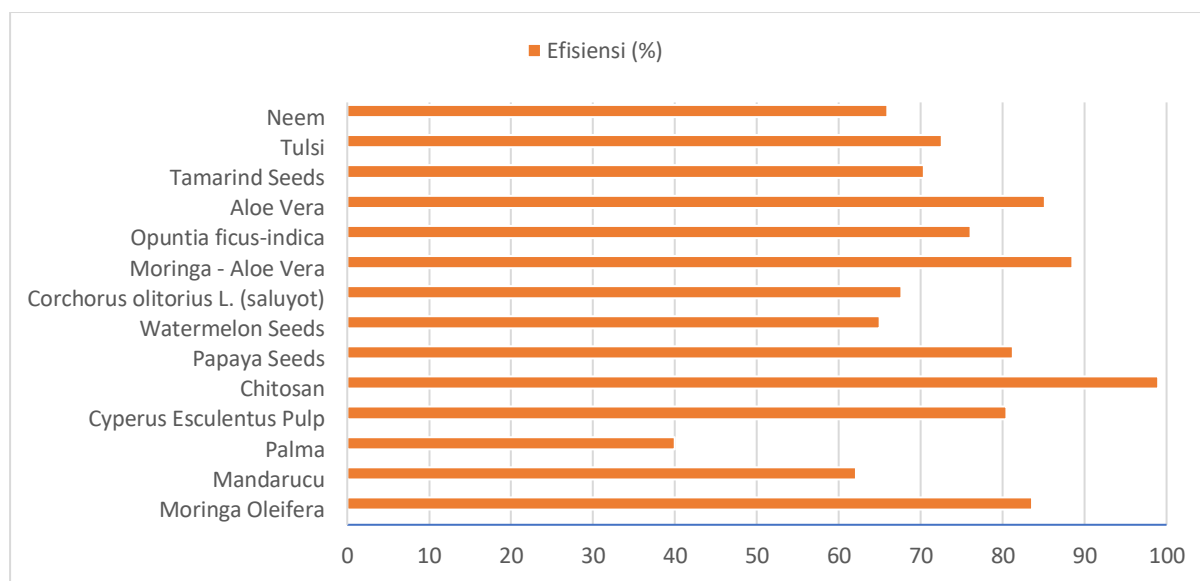
No	Tahun dan Penulis	Judul	Publisher	Metode	Hasil
1	2023, Ahmed S. Abd Askar, Athraa Shakir Dakhil	Efficiency of Moringa oleifera seeds as a natural alternative to the chemical coagulants in the drinking water treatment process	Journal of Wildlife and Biodiversity	Studi eksperimental yang membandingkan efisiensi biji Moringa oleifera (MO) dengan koagulan tradisional alum dalam pengolahan air minum. Sampel air mentah dikumpulkan, dan beberapa parameter kualitas (misalnya, suhu, pH, EC, DO, kekeruhan, TDS, BOD, COD, sulfat, aluminium, bakteri, fitoplankton) diukur sebelum dan sesudah pengolahan.	Biji Moringa Oleifera menunjukkan efisiensi pengurangan kekeruhan yang mirip (83,6%) dibandingkan dengan alum (88,8%). MO lebih efektif dalam mengurangi BOD (51,1% vs. 39,4%), COD (77,39% vs. -4,36%), sulfat (5,75% vs. 75,14%), dan HB (90,0% vs. 83,3%). MO meningkatkan DO hingga 7,06 mg/l dan memiliki TDS yang lebih tinggi (2,9%) dan aluminium (49,57%) dibandingkan alum.
2	2021, Danuza das Virgens Lima, Ludmilla Santana Soares e Barros	Alternative water treatment using organic polymers associated with the solar disinfection method	Journal of Public Health and Epidemiology	Studi eksperimental menggunakan desain acak sepenuhnya. Parameter fisikokimia seperti <i>turbidity</i> diukur sebelum (<i>T0</i>) dan sesudah (<i>T1</i>) perlakuan dengan <i>Mandacaru</i> , <i>Moringa</i> , dan <i>Palma</i> . dengan masing masing dosis 4g, 2g, dan 0.5g,	Mandacaru Menurunkan turbidity dari 37.50 NTU (<i>T0</i>) menjadi 10.23 NTU (<i>T1</i>) efisiensi 72.72%; Moringa Menurunkan turbidity dari 50.11 NTU (<i>T0</i>) menjadi 19.00 NTU (<i>T1</i>) efisiensi 62.08%. ; Palma Menurunkan turbidity 14.16 NTU (<i>T0</i>) menjadi 8.50 NTU (<i>T1</i>) efisiensi 39.96%. Semua perlakuan menunjukkan pengurangan kekeruhan yang signifikan, dengan Palma menjadi perlakuan paling efektif.
3	2022, D. O. Akuboh, M. Saidu, A. S. Abdulkareem, A. O. Busari	Assessing the Potentials of a Plant-Based Coagulant (Cyperus Esculentus Pulp) as Alternative to Alum in Conventional Water Treatment Process	Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment	Penelitian ini menggunakan metode Jar Test untuk mengevaluasi efektivitas koagulan berbasis tanaman (pulp <i>Cyperus esculentus</i>) dibandingkan dengan Aluminium Sulfat (Alum). Sampel air diambil dari Sungai Gorao dan diuji sesuai dengan prosedur laboratorium American Public Health Association (APHA). Parameter kualitas air yang diuji	Efisiensi penghilangan turbidity dan warna untuk <i>Cyperus esculentus</i> adalah 80.45% dan 55.37% masing-masing. WQI untuk <i>Cyperus esculentus</i> menunjukkan kualitas air yang baik (grade B) dengan nilai WQI 44.5. Penelitian merekomendasikan bahwa <i>Cyperus esculentus</i> dapat digunakan sebagai koagulan bantu untuk mengurangi turbidity dalam air,

No	Tahun dan Penulis	Judul	Publisher	Metode	Hasil
				termasuk turbidity, warna, dan Water Quality Index (WQI).	
4	2021, Nadiyah Khairul Zaman, Rosiah Rohani, Izzati Izni Yusoff, Muhammad Azraei Kamsol, Siti Aishah Basiron, Aina Izzati Abd. Rashid	Eco-Friendly Coagulant versus Industrially Used Coagulants: Identification of Their Coagulation Performance, Mechanism and Optimization in Water Treatment Process	International Journal of Environmental Research and Public Health (MDPI)	Metode One-Factor-at-a-Time (OFAT) dan Response Surface Methodology (RSM) untuk mengoptimalkan kinerja koagulan dalam proses pengolahan air. Koagulan yang dibandingkan termasuk koagulan organik (chitosan) dan koagulan anorganik (alum, polyaluminum chloride (PAC), dan aluminum chlorohydrate (ACH)).	Chitosan dan ACH menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mengurangi turbidity, dengan pengurangan mencapai 99% untuk chitosan dan 95% untuk ACH pada dosis 10 mg/L. Namun, ACH lebih efektif pada pH di atas 7.4 dengan dosis yang lebih rendah dibandingkan chitosan. chitosan dapat menjadi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan dibandingkan koagulan anorganik yang umum digunakan, dengan hasil yang sebanding dalam kondisi optimal yang berbeda.
5	2020. Nawel Adjeroud-Abdellatif, Yasmina Hammoui, Asma Boudria, Salma Agab, Farid Choulak, Jean-Pierre Leclerc, Belkacem Merzouk, Khodir Madani	Effect of a natural coagulant extract from <i>Opuntia ficus-indica</i> cladode on electrocoagulation-electroflotation water treatment process	International Journal of Environmental Analytical Chemistry	Studi eksperimen dengan dua metode ekstraksi untuk mendapatkan mukilase dari kladode <i>Opuntia ficus-indica</i> yakni Conventional Extraction (CE) Melibatkan macerasi bahan yang digiling dalam air distilasi dengan pengadukan pada suhu yang berbeda (20°C-22°C dan 80°C) dengan waktu yang bervariasi (60, 120, dan 180 menit) dalam meningkatkan efisiensi penghilangan kekeruhan pada air	Hasil Penelitian menunjukkan bahwa UAE memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan CE. Pada UAE, hasil ekstraksi maksimum mencapai 60.77% dalam waktu 10 menit dengan amplitudo 60%. Penambahan mukilase (5 mg/L) dalam proses elektrokoagulasi-elektroflotasi (EC-EF) meningkatkan efisiensi penghilangan kekeruhan hingga 89.47% dalam waktu 25 menit.
6	2023, Wilanda T. G. H., Pramitasari N., Kartini A. M., Badriani R. E.	Effectiveness of Papaya Seeds as a Biocoagulant to Reduce Turbidity in Grained Media Water Treatment	IOP Publishing, dalam IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Metode penelitian menggunakan biji pepaya sebagai koagulan biologi dalam mengurangi kekeruhan air. Dosis optimum koagulan ditentukan melalui uji jar (jar test) dengan variasi dosis 50 ppm, 70 ppm, 90 ppm, 110 ppm, 130 ppm, 150 ppm, dan 170 ppm.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum koagulan biji pepaya untuk mengurangi kekeruhan air (15-110 NTU) adalah 130 ppm, yang dapat menurunkan kekeruhan hingga 2.9 NTU dengan efisiensi pengurangan kekeruhan antara 58.55% hingga 81.21%. Penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan media flokulasi tunggal dan ganda memiliki pengaruh signifikan terhadap kekeruhan akhir <0.05,

No	Tahun dan Penulis	Judul	Publisher	Metode	Hasil
7	2023, Abdullahi Sanda Ndayako, Badruddeen Saulawa Sani, Umar Alfa Abubakar, Simon U. Isama, A. Yakubu	Assessing the Efficacy of Bio-Coagulants in Water Treatment	European Journal of Applied Science, Engineering and Technology, Published by AMO Publisher	Penelitian ini menggunakan metode jar tests dan settling columns untuk mengevaluasi efisiensi penghilangan turbidity dari air menggunakan bio-koagulan (ekstrak biji Moringa oleifera dan biji semangka) dibandingkan dengan koagulan komersial (alum). Air turbid sintetis disiapkan menggunakan tanah liat sebagai sumber turbidity. Uji jar dilakukan untuk menentukan dosis optimum koagulan masing masing 3 mg/l dan 8 mg/l.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum untuk ekstrak biji Moringa oleifera adalah 3 mg/l, ekstrak biji semangka adalah 8 mg/l, dan 6 mg/l untuk Alum. Efisiensi penyisihan optimum yang diamati dari uji kolom pengendapan adalah 99%, 84% dan 65% menggunakan tawas, M. Oleifera dan biji semangka. Penelitian ini menyimpulkan bahwa ekstrak biji Moringa oleifera dapat menjadi alternatif yang layak untuk alum sebagai koagulan dalam pengolahan air di tangki pemisahan.
8	2023, Gina C. Lacang , Corazon V. Ligaray	Domestic Wastewater Treatment through the Application of <i>Corchorus olitorius</i> L. as Bio-Coagulant in Cagayan de Oro City, Philippines	Journal of Environmental & Earth Sciences	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menguji efektivitas <i>Corchorus olitorius</i> L. (saluyot) sebagai koagulan alami dalam pengolahan air limbah domestik. Daun saluyot diproses menjadi bubuk mukus melalui ekstraksi,. Karakterisasi kimia dilakukan dengan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi aktif. Optimasi koagulan dilakukan melalui <i>jar test</i> dengan variasi dosis (50, 100, 150 mg/L), waktu pengendapan (30, 60, 90 menit), dan pH (5, 7, 9), serta kombinasi dengan alum (0-100%). Parameter kualitas air (turbiditas, TSS, BOD) dianalisis sebelum dan setelah perlakuan menggunakan turbidimeter digital, metode gravimetri, dan teknik pengenceran.	Biokoagulan <i>Corchorus olitorius</i> L. murni menunjukkan performa optimal pada dosis 50 mg/L dengan waktu pengendapan 90 menit. Pada pH netral (7), tercapai efisiensi penghilangan BOD 70.51%, TSS 66.67%, dan turbiditas 67.62%. Analisis FTIR mengungkap kandungan gugus fungsi -OH dan -NH yang berperan dalam mekanisme koagulasi melalui pembentukan jembatan partikel. Namun, peningkatan dosis hingga 150 mg/L justru menurunkan efisiensi (turbiditas 48.02%) akibat fenomena steric hindrance. Secara statistik, hasil menunjukkan perbedaan signifikan antar variasi dosis ($p < 0.05$) namun tidak terpengaruh signifikan oleh variasi pH. Kelemahan utama terletak pada kebutuhan waktu pengendapan yang lebih panjang dibanding koagulan kimia, dengan keunggulan berupa minimnya residu logam berat dan biaya produksi yang ekonomis.
9	2023, Daniel Kenea, Tibebu Deneke, Rahel Bulti, Bilise	Investigation on surface water treatment using blended moringa oleifera	South African Journal of	Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan menggunakan alat jar test	Blended powder dari biji Moringa oleifera (MOS) dan tanaman Aloe vera (AVP) menunjukkan efisiensi penghilangan yang

No	Tahun dan Penulis		Judul	Publisher	Metode	Hasil
	Olani, Temesgen, Sefiw, Beyene, Ebba, Mekonin	Deme Dawit Dejene Million Wendesen	seed and aloe vera plants as natural coagulants	Chemical Engineering,	untuk mengevaluasi efisiensi penghilangan warna, kekeruhan, TDS, COD, Kekeruhan dan fosfat dari air permukaan. Penelitian ini juga mempertimbangkan parameter operasi seperti dosis koagulan 0.5 g, 1g, 1.5g, pH, kecepatan pengadukan, dan waktu pengendapan.	signifikan: Warna: 87.1%; Kekeruhan: 88.5%; TDS: 92.1%; COD: 52.6%; Fosfat: 93.9%, Penelitian ini menyarankan penggunaan koagulan alami sebagai alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan dengan koagulan sintetik.
10	2020, Adetutu Olasunkanmi Olalekan Abimbola Akinyele, Nnenneh Ochor	Aderonke Okoya, Olaiya, Bankole dan Oruada	Efficacy of Moringa oleifera Seed Husk as Adsorptive Agent for Trihalomethanes from a Water Treatment Plant in Southwestern, Nigeria	Hindawi Journal of Chemistry	Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi efikasi Moringa oleifera seed husk (MOSH) sebagai adsorben trihalometana (THMs) dan koagulan alami. MOSH dikarbonisasi pada suhu 650°C selama 30 menit, diaktivasi dengan H ₃ PO ₄ 2%, dan dikarakterisasi menggunakan SEM/EDX serta FTIR. Efektivitas MOSH sebagai koagulan diuji melalui jar test dengan mengukur penurunan turbiditas, pH, konduktivitas, dan total padatan terlarut (TDS) sebelum dan setelah perlakuan.	MOSH menunjukkan efisiensi adsorpsi THMs hingga 100% pada kondisi optimal (pH 9, dosis 0.8 g, waktu kontak 60 menit). Untuk turbiditas, MOSH berhasil menurunkan nilai turbiditas air baku dari 9.76 ± 0.03 NTU menjadi 5.92 ± 0.13 NTU, dengan persentase removal sebesar 39.3%. Pada air olahan, turbiditas turun dari 1.84 ± 0.24 NTU menjadi 1.03 ± 0.08 NTU (removal 44.0%). Selain itu, MOSH juga mengurangi parameter lain seperti TOC dan BOD, serta memenuhi standar WHO. Studi ini menegaskan potensi MOSH sebagai solusi berkelanjutan untuk pengolahan air, terutama di daerah dengan sumber daya terbatas.
11	2024. Mauricio Flores Syah Zahro Sinta	Miguel Aguilera al.Rudy Navilla Female, Dewi	Evaluation of the Potential of a Biocoagulant Produced from Prickly Pear Peel Waste Valorization for Wastewater Treatment	Water Journal. MDPI	Studi ini memproduksi biokoagulan dari limbah kulit buah nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) melalui ekstraksi musilago dengan proses pencucian, penghancuran, pemanasan (50°C), sentrifugasi, dan pengeringan. Efektivitas biokoagulan dievaluasi menggunakan dua desain eksperimen: <i>Central Composite Design</i> (CCD) untuk mengoptimalkan pH (4–7) dan dosis (50–450 mg/L), serta <i>Simplex Lattice Design</i> (SLD) untuk mengevaluasi campuran	Biokoagulan Tunggal kulit buah nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) menunjukkan efisiensi penghilangan kekeruhan tertinggi (76,1%) pada pH 4 dan dosis 100 mg/L, dengan prediksi model matematis yang akurat (error 0,42%). Penggunaan sebagai bahan pembantu koagulan (30% biokoagulan + 70% aluminium sulfat) meningkatkan efisiensi menjadi 58,2% pada pH 7,8. Analisis FTIR mengkonfirmasi peran gugus karbohidrat (galakturonat) dalam mekanisme <i>bridging</i> dan netralisasi muatan. Selain itu, biokoagulan menurunkan

No	Tahun dan Penulis	Judul	Publisher	Metode	Hasil
				biokoagulan dengan aluminium sulfat. Uji <i>jar test</i> dilakukan dengan pengadukan cepat (150 rpm, 5 menit) dan lambat (50 rpm, 30 menit), diikuti sedimentasi (60 menit). Parameter kualitas air (pH, EC, TSS, kekeruhan) dianalisis sebelum dan setelah perlakuan.	TSS hingga 99,99% dan sedikit meningkatkan pH (0,4 unit), memenuhi standar kualitas air. Hasil ini menegaskan potensi limbah kulit nopal sebagai alternatif berkelanjutan dalam pengolahan air limbah.
12	2021, Abderrezzaq Benalia, Kerroum Derbal, Amel Khalfaoui1, Antonio Pizzi and Ghouti Medjahdi	The Use of Aloe Vera as Natural Coagulant in Algerian Drinking Water Treatment Plant	Journal of Renewable Materials	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi kemampuan Aloe vera sebagai koagulan alami dalam pengolahan air minum. Air mentah diambil dari pabrik pengolahan air di Mila, Aljazair. Berbagai pelarut (NaCl, NaOH, dan HCl) digunakan sebagai aktivator kimia untuk mengekstrak komponen aktif dari Aloe vera. Uji alat <i>jar test</i> untuk mengevaluasi efisiensi koagulan yang diekstrak, serta pengaruh dosis koagulan terhadap parameter air seperti turbidity, pH, alkalinitas total, dan bahan organik.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan koagulan yang diperoleh dengan menggunakan pelarut yang berbeda meningkatkan efisiensi koagulasi dibandingkan dengan koagulan yang diperoleh dari bahan baku, misalnya efisiensi penghilangan kekeruhan maksimum adalah 28,23, 78,07, 83,46 dan 85,15% dengan dosis optimum 37.5 mg/l ketika menggunakan bubuk lidah buaya (bahan baku), AV-NaCl (0,5 M), AV-NaOH (0,05 M) dan AV-HCl (0,05 M).
13	2022, Tanuja Bhalwe, Revati Powade, Apoorva Hanwate, Amita Dongare, Kamini Khandare, Abhilasha Deshmukh	To Study and Compare Plant-Based Natural Coagulant in Water Treatment	International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRA)	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pengujian koagulasi menggunakan berbagai koagulan alami (seperti Moringa oleifera, bubuk biji asam jawa, daun Tulsi, dan daun Neem) serta koagulan kimia (alum) dengan dosis masing-masing 0.2, 0.4, 0.6, dan 0.8 mg/l. Pengujian dilakukan dengan menggunakan <i>jar test</i> untuk menentukan dosis optimal koagulan yang diperlukan untuk mengurangi turbidity (kekeruhan) air limbah.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa alum lebih efektif dalam mengurangi turbidity dibandingkan dengan koagulan alami. Turbidity maksimum yang berhasil dikurangi adalah 97.2% dengan alum, diikuti oleh Moringa oleifera (92.8%), biji asam jawa (70.34%), daun Tulsi (72.54%), dan daun Neem (65.89%).



Gambar 2. Perbandingan Biokoagulan Terhadap Penurunan Kadar Kekeruhan Pada Pengolahan Air

Pada gambar 2, menunjukkan Hasil perbandingan berbagai biokoagulan, chitosan menjadi biokoagulan dengan efisiensi tertinggi dalam menurunkan kekeruhan mencapai 99%, disusul kombinasi Moringa-Aloe Vera 88,5% dan Aloe Vera tunggal 85,15%. Bahan alami lain seperti Moringa Oleifera 83,6%, Cyperus Esculentus Pulp 80,45%, dan biji pepaya 81,21% mencatat efisiensi di atas 80% sedangkan beberapa biokoagulan seperti biji semangka 65%, Mandarucu 62,08%, dan Palma 39,96% yang memiliki efektivitas yang terbatas.

PEMBAHASAN

Upaya mitigasi pencemaran air salah satunya dengan melakukan perbaikan kekeruhan dengan pengolahan air yang berkelanjutan dan efisien. Salah satu pendekatan yang menjanjikan dan sedang berkembang adalah pemanfaatan biokoagulan atau koagulan alami yang berasal dari berbagai sumber termasuk flora, mikroorganisme, atau sekresi hewan yang berfungsi sebagai alternatif yang layak untuk menggantikan koagulan kimia konvensional.

Efektivitas Biokoagulan

Beberapa jenis biokoagulan yang telah banyak diteliti untuk pengolahan air meliputi biji kelor (*Moringa oleifera*), chitosan, *Opuntia ficus-indica*, dan *Cyperus esculentus*. Setiap jenis biokoagulan ini memiliki karakteristik dan mekanisme kerja yang sedikit berbeda, tetapi semuanya menunjukkan potensi yang baik dalam pengurangan kekeruhan dan polutan lainnya. Beberapa biokoagulan menunjukkan efektivitasnya masing-masing.

Moringa oleifera

Moringa oleifera merupakan tanaman tropis yang bijinya yang mengandung protein polielektrolit aktif sehingga dapat mengikat partikel tersuspensi melalui interaksi elektrostatik. *Moringa oleifera* digunakan dalam bentuk bubuk halus yang dihasilkan dari biji matang yang dikeringkan dan digiling. Bubuk ini bertindak sebagai koagulan alami dengan memanfaatkan ekstrak biji kelor yang dapat mengurangi kekeruhan air. yang Penelitian oleh Abdullahi dkk. (2023) menunjukkan bahwa biji *Moringa oleifera* memiliki kemampuan untuk mengurangi kekeruhan hingga 83,6%, hampir setara dengan koagulan kimia tradisional seperti alum (88,8%). Selain itu, *Moringa oleifera* juga lebih efektif

dalam mengurangi BOD (51,1%) dan COD (77,39%) dibandingkan dengan alum, yang hanya mencapai 39,4% dan -4,36%, masing-masing (Ndayako *et al.*, 2023).

Lebih lanjut, pada penelitian Ahmed dkk (2023) Efektivitas biji *Moringa oleifera* tidak hanya terbatas pada penghilangan kekeruhan, tetapi juga mampu mengurangi kandungan sulfat (5,75%) dan total coliform (97,8%), yang setara dengan alum. Tidak hanya itu *Moringa oleifera* (MO) tidak memerlukan lingkungan pH tertentu untuk berinteraksi dengan air, yang membuatnya lebih mudah beradaptasi dibandingkan dengan tawas, yang hanya beroperasi secara efektif dalam kondisi basa untuk proses koagulasi. Mengingat karakteristiknya yang dapat terurai secara hayati, tidak beracun, dan hemat biaya, biji *Moringa oleifera* menghadirkan alternatif yang aman, ekonomis, dan berkelanjutan secara lingkungan untuk koagulan kimia konvensional dalam pengolahan air minum, terutama dalam konteks negara-negara berkembang (Askar and Dakhil, 2023).

Chitosan

Kitosan adalah biopolimer yang berasal dari rangka luar krustasea, serangga, atau jamur dan dicirikan oleh sifatnya yang dapat terurai secara hayati dan ramah lingkungan. Fungsinya dikaitkan dengan keberadaan gugus amino bermuatan positif yang memfasilitasi pengikatan partikel bermuatan negatif dan senyawa organik dalam lingkungan berair, sehingga menghasilkan pembentukan gumpalan yang dapat diendapkan. Hasilnya menunjukkan bahwa dosis optimal kitosan sebesar 200 mg/L selama 30 menit menghasilkan efisiensi penghilangan tertinggi, yaitu 81,58% untuk COD, 89,5% untuk BOD, 29,11% untuk TDS, 66,81% untuk besi, dan 73,85% untuk mangan. Selain itu, kitosan juga meningkatkan pH air gambut dari 4,78 menjadi 7,71 (Nasir *et al.*, 2024)

Sebagai biokoagulan yang dihasilkan dari kitosan (polimer alami dari exoskeleton udang dan kepiting), chitosan telah terbukti memiliki efisiensi yang sangat tinggi dalam mengurangi kekeruhan, bahkan mencapai 99% pada dosis yang tepat. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa chitosan dapat menggantikan koagulan anorganik dalam kondisi tertentu dan memberikan hasil yang lebih ramah lingkungan dan tidak menimbulkan residu yang berbahaya (Danuza and Ludmilla, 2021; Zaman *et al.*, 2021)

Biji Pepaya

Biokoagulan biji pepaya merupakan bahan koagulan alami yang diperoleh dari biji tanaman *Carica papaya*, biokoagulan ini memanfaatkan senyawa aktif yang terdapat dalam biji pepaya, terutama protein bermuatan positif yang berperan dalam proses koagulasi.. Penelitian yang dilakukan oleh Wilanda T *et al.* (2023) telah menyelidiki efektivitas biokoagulan yang berasal dari biji pepaya dalam konteks pengolahan air, yang mengungkap beberapa manfaat penting. keunggulan utamanya adalah sifat biji pepaya yang ramah lingkungan, yang bersumber dari bahan alami, dapat terurai secara hayati, dan tidak beracun. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa biji pepaya menunjukkan kemanjuran yang cukup besar dalam mengurangi kekeruhan air, dengan efisiensi pengurangan kekeruhan yang dilaporkan berkisar antara 58,55% hingga 81,21%.

Tingkat efektivitas ini menempatkan biji pepaya sebagai alternatif yang layak untuk koagulan sintetis konvensional, seperti aluminium sulfat atau polialuminium klorida (PAC). Selain itu, pemanfaatan biokoagulan seperti biji pepaya mengurangi efek merugikan yang terkait dengan koagulan sintetis, yang diketahui secara signifikan menurunkan pH air dan meninggalkan residu kimia yang dapat membahayakan kesehatan jika dikonsumsi dalam jangka waktu lama. Mengingat keunggulan ini, biji pepaya merupakan pilihan yang efektif, aman, dan berkelanjutan untuk pengolahan air. (Wilanda *et al.*, 2023).

Opuntia ficus-indica

Mucilage yang dihasilkan dari cladode *Opuntia ficus-indica*, atau yang dikenal sebagai kaktus buah pir, merupakan koagulan alami dengan potensi yang luar biasa dalam pengolahan air, terutama dalam metodologi elektrokoagulasi-elektroflotasi (EC-EF). Ekstrak mukilase dari kladode tanaman ini juga menunjukkan kemampuan yang signifikan sebagai biokoagulan. Penelitian yang dilakukan oleh Adjeroud-Abdellatif et al. (2020) mengindikasikan bahwa mukilase dari *Opuntia ficus-indica* mampu meningkatkan efisiensi pengolahan air, dengan pencapaian pengurangan kekeruhan mencapai 89,47%. Komposisi mucilage ini meliputi polisakarida pektik, yang memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan partikel-partikel terlarut dalam air, sehingga sangat efektif dalam menurunkan turbiditas. Salah satu keunggulan utama dalam penggunaan mucilage ini terletak pada efisiensinya dalam mengikat dan mengendapkan partikel, yang berlangsung melalui mekanisme adsorpsi, di mana partikel terikat pada struktur polimerik mukilase. (Adjeroud-Abdellatif et al., 2022).

Potensi biokoagulan yang teridentifikasi dalam ekstrak mukilase kladode *Opuntia ficus-indica* melampaui sekadar kandungan senyawa bioaktifnya. Kemampuannya untuk bertindak sebagai adsorben serta agen pengental menjadikannya sebagai alternatif yang sangat menjanjikan dalam konteks pengolahan air dan upaya pengendalian pencemaran air (Choudhary, Choudhary and Palan, 2024).

Cyperus esculentus

Cyperus esculentus yang biasa disebut kacang tiger, telah muncul sebagai koagulan alami yang menjanjikan untuk aplikasi pengolahan air. Investigasi ilmiah mengungkapkan bahwa ekstrak yang berasal dari biji *Cyperus esculentus* kaya akan senyawa bioaktif, yang menunjukkan sifat koagulan (Kristianto, Prasetyo and Sugih, 2019). Sebuah studi oleh Akuboh et al. (2022) menunjukkan bahwa pulp dari *Cyperus esculentus* dapat mengurangi kekeruhan hingga 80,45%, dan meningkatkan kualitas air dengan penurunan yang signifikan pada parameter warna dan indeks kualitas air (WQI (Akuboh et al., 2022)).

Jaringan tanaman ini kaya akan polimer alami, termasuk karbohidrat dan protein, yang berfungsi sebagai agen pengikat yang efektif. Polimer ini memiliki kemampuan untuk melekat pada permukaan partikel tersuspensi, sehingga mengurangi muatan negatif yang biasanya terkait dengan partikel ini dan mendorong agregasinya. Selain itu, konstituen yang ditemukan dalam *Cyperus esculentus* menunjukkan kapasitas untuk mengikat partikel koloid melalui mekanisme penyerapan, di mana molekul koagulan menempel pada permukaan partikel, yang berkontribusi pada pengurangan kekeruhan air. Setelah fase penyerapan, partikel yang melekat cenderung bergerak lebih dekat satu sama lain dan menyatu menjadi gumpalan yang lebih besar, yang lebih mudah mengendap. Proses ini pada akhirnya meningkatkan kemanjuran metode pengolahan air secara keseluruhan. (Akuboh et al., 2022).

Moringa Oleifera – Aloe Vera

Terdapat studi yang melakukan kombinasi biokoagulan alami dari biji *Moringa oleifera* dan tanaman *Aloe vera*, hal ini memberikan pendekatan inovatif dalam teknologi pengolahan air yang berorientasi pada keberlanjutan. Hasil penelitian Daniel Kenea dkk (2023) menunjukkan aplikasi campuran biji Kelor (*Moringa oleifera*) dan tanaman *Aloe vera* (AVP) sebagai koagulan alami dalam pengolahan air menunjukkan beberapa keunggulan yang patut dicatat. Keunggulan yang paling utama adalah sifat koagulan alami ini yang ramah lingkungan, yang ditandai dengan biodegradabilitasnya, tidak beracun, dan tidak mengandung residu kimia berbahaya, berbeda dengan koagulan sintesis. Selain itu, bahan bakunya, MOS dan AVP, mudah diperoleh, terutama di negara-negara berkembang, sehingga pendekatan ini ekonomis dan berkelanjutan untuk proses pemurnian air. Khasiat koagulan ini juga mengesankan, menunjukkan kapasitasnya untuk menghilangkan warna (87,1%), kekeruhan (88,5%),

total padatan terlarut (TDS) (92,1%), chemical oxygen demand (COD) (52,6%), dan fosfat (93,9%) dalam kondisi optimal.

Selain itu, koagulan alami ini menunjukkan fleksibilitas di berbagai parameter operasional, bekerja secara optimal dalam kondisi asam untuk menghilangkan warna dan kekeruhan, sekaligus efektif dalam kondisi basa untuk pengurangan COD dan fosfat. Dibandingkan dengan koagulan sintesis seperti aluminium sulfat, campuran MOS dan AVP tidak hanya menghadirkan alternatif yang lebih aman bagi lingkungan tetapi juga terbukti lebih hemat biaya dengan meminimalkan produksi lumpur dan biaya pengelolaan residu terkait. Mengingat atribut ini, kombinasi MOS dan AVP merupakan solusi yang efektif, terjangkau, dan berkelanjutan untuk pengolahan air, terutama di lingkungan dengan sumber daya terbatas (Kenea *et al.*, 2023)

Pengaruh Dosis dan pH air dalam Penggunaan Biokoagulan

Efektivitas biokoagulan dalam mengurangi kekeruhan air dapat dipengaruhi oleh dua faktor utama yakni dosis dan tingkat pH. Jumlah biokoagulan yang digunakan menentukan ketersediaan senyawa aktif yang dapat mengikat partikel tersuspensi. Sejumlah penelitian telah mengidentifikasi dosis optimal yang memaksimalkan efisiensi koagulasi. Misalnya, penelitian oleh Askar *et al.* (2023) menunjukkan bahwa biji Moringa oleifera berfungsi sebagai koagulan alami yang efektif untuk mengurangi kekeruhan pada dosis tertentu. Namun, dosis yang berlebihan mengakibatkan peningkatan kekeruhan karena adanya partikel organik yang tidak teragregasi. Demikian pula, Akuboh *et al.* (2022) melaporkan bahwa penggunaan pulp Cyperus esculentus menunjukkan peningkatan efisiensi penghilangan kekeruhan hingga dosis 250 mg/L, dan menurun setelah melewati titik optimum tersebut (Akuboh *et al.*, 2022; Abd Askar and Dakhil, 2023)

Selain pertimbangan dosis, tingkat pH merupakan faktor penting yang memengaruhi efektivitas proses koagulasi-flokulasi saat menggunakan biokoagulan. pH larutan memengaruhi muatan permukaan partikel tersuspensi dan stabilitas komponen aktif yang ditemukan dalam biokoagulan, termasuk protein dan polisakarida. Penelitian yang dilakukan oleh Benalia *et al.* (2021) menunjukkan bahwa Aloe vera, sebagai koagulan alami, menghasilkan hasil optimal pada kisaran pH netral 6,5 hingga 7,5, di mana senyawa aktifnya secara efektif memfasilitasi netralisasi muatan dan pembentukan jembatan partikel. Sebaliknya, Adjerooud-Abdellatif *et al.* (2020) melaporkan penurunan efisiensi pada tingkat pH ekstrem, khususnya di atas 9, yang menghambat pembentukan flok. Mendukung temuan ini, Zaman *et al.* (2021) menunjukkan bahwa kondisi yang terlalu basa mengakibatkan tolakan elektrostatis antara partikel dan flok, sehingga mengurangi efisiensi koagulasi. Lebih lanjut, Ndayako *et al.* (2023) menyoroti bahwa setiap jenis biokoagulan memiliki rentang pH kerja yang berbeda, sehingga pengujian awal terhadap karakteristik air dan biokoagulan menjadi langkah penting sebelum diterapkan pada skala penuh (Khairul Zaman *et al.*, 2021; Adjerooud-Abdellatif *et al.*, 2022; Benalia *et al.*, 2022; Ndayako *et al.*, 2023).

Tantangan Penggunaan Biokoagulan

Meskipun biokoagulan memiliki banyak manfaat, kendala signifikan dalam penerapannya terletak pada efektivitasnya yang komparatif terhadap koagulan kimia tradisional. Kendala signifikan yang dihadapi dalam bidang ini berkaitan dengan ketersediaan dan biaya bahan baku yang digunakan untuk biokoagulan. Meskipun bahan-bahan ini biasanya lebih berkelanjutan, proses yang terlibat dalam pengumpulan dan pemrosesannya dapat terbukti mahal (Rahmat *et al.*, 2021). Tidak hanya itu, aksesibilitas bahan baku regional, seperti biji asam jawa dan kitosan, dapat menimbulkan kendala, terutama di daerah yang tidak memiliki akses mudah ke sumber daya tersebut

Lebih jauh, produksi biokoagulan dalam skala besar menghadirkan tantangan yang signifikan. Pemanfaatan sumber daya alam secara luas dapat berdampak buruk pada ekosistem setempat jika tidak

diatur dengan cermat. Sebuah penelitian oleh Yulistio dan Wahyudi menekankan perlunya menyelaraskan penerapan biokoagulan dengan pemahaman yang komprehensif tentang dampaknya terhadap kualitas air dan lingkungan sekitar (Yulistio and Wahyudi, 2021).

Secara keseluruhan, meskipun penerapan biokoagulan dalam pengolahan air memberikan banyak manfaat, penting untuk menghadapi tantangan yang berkaitan dengan kemandirannya, ketersediaan bahan baku, dan potensi dampak lingkungan. Mengatasi masalah ini melalui penelitian dan inovasi yang berkelanjutan sangatlah penting. Dengan mengadopsi perspektif strategis, biokoagulan dapat muncul sebagai solusi yang layak dan berkelanjutan untuk tantangan pengolahan air di berbagai lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan biokoagulan sangat efektif terutama dalam mengurangi kekeruhan pada air. Dari beberapa biokoagulan yang telah diteliti atas perbandingan beberapa literatur, ditemukan biokoagulan yang paling banyak digunakan adalah Moringa oleifera dengan efektivitas sebesar Chitosan memiliki efektivitas sebesar 83,06% - 99% dan chitosan menjadi yang tertinggi sebesar 99%, kombinasi moringa-aloevera 88,5%, dan aloevera tunggal 85,15% dan beberapa biokoagulan lainnya. Penelitian ini membuktikan bahwa biokoagulan dapat menjadi alternatif pengganti koagulan kimia. Namun demikian, variasi hasil yang diperoleh dipengaruhi oleh jenis air baku dan kondisi lokal seperti pH, suhu, dan kadar bahan organik, disarankan untuk pengembangan ke depan adalah integrasi biokoagulan dengan teknologi membran guna mengoptimalkan proses pengolahan terhadap seluruh parameter kualitas air.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Askar, A.S. and Dakhil, A.S.D.S. (2023) 'Efficiency of Moringa Oleifera Seeds as Natural Alternative to The Chemical Coagulants in Drinking Water Treatment Process', *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 7(Special Issue), pp. 196–216.
- Adeoye, M.A. *et al.* (2023) 'Organizational Behavior and Its Impact on Teacher Burnout in Public Secondary Schools', *Jpi (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 12(3), pp. 511–518. Available at: <https://doi.org/10.23887/jpiundiksha.v12i3.66845>.
- Adjeroud-Abdellatif, N. *et al.* (2022) 'Effect of a natural coagulant extract from *Opuntia ficus-indica* cladode on electrocoagulation-electroflotation water treatment process', *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(17), pp. 5822–5846. Available at: <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1804889>.
- Afiatun, E., Wahyuni, S. and Hamdan, F. (2018) 'Perbandingan Komposisi Koagulan Biji Kelor (*Moringaoleifera*), Biji Asam Jawa (*Tamarindusindica* L) Dan Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) Untuk Menurunkan Kekeruhan Air Sungai Citarum Atas Ciparay Kabupaten Bandung', *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 2(1), pp. 21–30.
- Akuboh, D.O. *et al.* (2022) 'Assessing the Potentials of a Plant-Based Coagulant (*Cyperus Esculentus* Pulp) As Alternative To Alum in Conventional Water Treatment Process', *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment*, 18(3), pp. 387–402. Available at: www.azojete.com.ng.
- Askar, A.S.A. and Dakhil, A.S. (2023) 'Efficiency of Moringa oleifera seeds as a natural alternative to the chemical coagulants in the drinking water treatment process', *Journal of Wildlife and Biodiversity*, 7(Special Issue), pp. 196–216. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10212120>.
- Benalia, A. *et al.* (2022) 'The use of aloe vera as natural coagulant in algerian drinking water treatment plant', *Journal of Renewable Materials*, 10(3), pp. 625–637. Available at: <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.017848>.
- BPS (2023) 'StatistikIndonesia', *Bps*, 1101001, p. 790. Available at: <https://www.bps.go.id/publication/2020/04/29/e9011b3155d45d70823c141f/statistik-indonesia-2020.html>.
- Choudhary, B., Choudhary, Y. and Palan, S. (2024) 'Study on Treated Fly Ash and Cladodes of *Opuntia*

- ficus indica as Low-Cost Dye Adsorbents', *Ecology, Environment and Conservation*, 30(suppl), pp. 285–287. Available at: <https://doi.org/10.53550/eec.2024.v30i01s.057>.
- Coleman, C.K. *et al.* (2021) 'Chitosan coagulation pretreatment to enhance ceramic water filtration for household water treatment', *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), p. 9736. Available at: <https://doi.org/10.3390/IJMS22189736/S1>.
- Danuza, das V.L. and Ludmilla, S.S. e B. (2021) 'Alternative water treatment using organic polymers associated with the solar disinfection method', *Journal of Public Health and Epidemiology*, 13(3), pp. 224–232. Available at: <https://doi.org/10.5897/jphe2021.1349>.
- Harahap, L.A., Sirait, R. and Lubis, R.Y. (2023) 'Efektivitas Biji Kelor Pada Proses Koagulasi Untuk Penurunan Kekeruhan, Logam (Fe), Dan Zat Organik (KMNO₄) Pada Air', *JOURNAL ONLINE OF PHYSICS*, 8(2), pp. 66–69. Available at: <https://doi.org/10.22437/JOP.V8I2.20970>.
- Ihsani, S.L. and Widyastuti, C.R. (2014) 'Sintesis biokoagulan berbasis kitosan dari kulit udang untuk pengolahan air sungai yang tercemar limbah industri jamu dengan kandungan padatan tersuspensi tinggi', *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 3(2), pp. 66–70.
- Kenea, D. *et al.* (2023) 'Investigation on surface water treatment using blended moringa oleifera seed and aloe vera plants as natural coagulants', *South African Journal of Chemical Engineering*, 45(1), pp. 294–304. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.06.005>.
- Khairul Zaman, N. *et al.* (2021) 'Eco-friendly coagulant versus industrially used coagulants: Identification of their coagulation performance, mechanism and optimization in water treatment process', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), p. 9164.
- Kristianto, H., Prasetyo, S. and Sugih, A.K. (2019) 'Pemanfaatan ekstrak protein dari kacang-kacangan sebagai koagulan alami', *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), pp. 65–80.
- Laksamana, E.I., Sudarti, S. and Yushardi, Y. (2024) 'Literature Review: Analisis Pemanfaatan Koagulan Alternatif Dalam Proses Koagulasi Air Sungai Menjadi Air Bersih', *Journal of Health, Education, Economics, Science, and Technology (J-HEST)*, 6(2), pp. 302–307. Available at: <https://doi.org/10.36339/>.
- Nasir, S. *et al.* (2024) 'Peat water treatment using biocoagulant and ceramic membrane', *Desalination and Water Treatment*, 320, p. 100608. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100608>.
- Ndayako, A.S. *et al.* (2023) 'Assessing the Efficacy of Bio-Coagulants in Water Treatment', *European Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 1(1), pp. 20–29. Available at: [https://doi.org/10.59324/ejaset.2023.1\(1\).03](https://doi.org/10.59324/ejaset.2023.1(1).03).
- Octavianka, H. and Purnomo, A. (2023) 'Perbandingan Kemampuan Poly Aluminum Chloride (PAC) dan Biokoagulan dari Tepung Jagung pada Instalasi Pengolahan Air Bersih di PT. Semen Indonesia', *Jurnal Teknik ITS*, 12(2), pp. 6–11. Available at: <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i2.119867>.
- Rahmat, A. *et al.* (2021) 'Pemanfaatan Biji Aren (Arenga Pinata Meer) Sebagai Biokuagulan Dalam Menurunkan Parameter Limbah Cair Rumah Sakit', *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 16(02), pp. 59–64.
- Ratnawulan, A., Noor, E. and Suptijah, P. (2018) 'Pemanfaatan kitosan dalam daur ulang air sebagai aplikasi teknik produksi bersih', *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), pp. 276–286.
- Salehizadeh, H., Yan, N. and Farnood, R. (2018) 'Recent advances in polysaccharide bio-based flocculants', *Biotechnology Advances*, 36(1), pp. 92–119. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2017.10.002>.
- Santoso, R.A., Sudarti, S. and Yushardi, Y. (2023) 'Mekanisme teknologi bioreaktor membran (mbr) dalam mengatasi pencemaran air', *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), pp. 439–445.
- Setiawan, A. *et al.* (2020) 'Penggunaan ferri klorida dan kitosan cangkang kepiting sebagai alternatif koagulan pada pengolahan air limbah laundry', *Indonesian Journal of Industrial Research*, 11(2), pp. 272–283.
- Syamsudin, S. and Amin, M. (2024) 'Kemampuan Metode Kombinasi Koagulasi Biji Asam Jawa Dan Filtrasi Akar Mangrove Dalam Menurunkan Kekeruhan Dan Kadar Klorida (Cl) Pada Air Sumur Gali Di Kawasan Pesisir', *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 24(1), pp. 94–99.

- Triandini, E. *et al.* (2019) 'Metode Systematic Literature Review Untuk Identifikasi Platform Dan Metode Pengembangan Sistem Informasi Di Indonesia', *Indonesian Journal of Information Systems*, 1(2), p. 63. Available at: <https://doi.org/10.24002/ijis.v1i2.1916>.
- Wilanda, T.G.H. *et al.* (2023) 'Effectiveness of Papaya Seeds as a Biocoagulant to Reduce Turbidity in Grained Media Water Treatment', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, p. 12013. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1279/1/012013>.
- Yulistio, N. and Wahyudi, M.P.E. (2021) 'Water Treatment', *Journal of Applied Sciences, Electrical Engineering and Computer Technology*, 2(1), pp. 31–37.
- Zaman, N.K. *et al.* (2021) 'Reply to Ivy et al. Comment on "Khairul Zaman et al. eco-friendly coagulant versus industrially used coagulants: Identification of their coagulation performance, mechanism and optimization in water treatment process. Int. J. Environ. Res. public health 20', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(23), p. 9164. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph182312716>.