

Analisis *Economic Engineering* Penggunaan Koagulan *Natural-Based* dan Koagulan *Metal-Based* dalam Pengolahan Air Bersih

Rahmadiyah Indah Setyoningrum, Euis Nurul Hidayah*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: euisnh.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 22 Oktober 2025

Disetujui: 27 Oktober 2025

Abstract

Clean water treatment is always a challenge with the increasing pollution of water resources. This study focuses on an economic engineering approach in clean water treatment using various types of coagulants, namely using natural-based coagulants (moringa seed coagulant and maggot shell coagulant) and metal-based coagulants (alum coagulant). The main objective of this study is to analyze the comparison of technical aspects and cost aspects in the process of making coagulants and clean water treatment processes. This research method, in the technical aspect involves the coagulation-flocculation process in the removal of pH, turbidity, TSS, and color parameters, and in the cost aspect involves laboratory and industrial simulation methods to measure cost efficiency in coagulant production and clean water treatment by analyzing capital costs and operational costs. These results indicate that the use of natural-based coagulants, especially moringa seed coagulants, is more efficient overall than maggot shell coagulants and alum. Moringa seed coagulant can be 10-25% more cost-effective than maggot shell coagulant and alum, while maggot shell coagulant only provides a 15% cost savings in TSS processing compared to alum. Moringa seed coagulant is significantly more cost-effective because it has a low optimum dosage for processing pH, turbidity, TSS, and color, and is more environmentally friendly because it does not contain high levels of contaminants like metal-based coagulants.

Keywords: *natural-based coagulant, metal-based coagulant, moringa seed coagulant, economic engineering, cost efficiency*

Abstrak

Pengolahan air bersih selalu menjadi tantangan dengan adanya peningkatan pencemaran sumber daya air. Penelitian ini berfokus pada pendekatan *economic engineering* dalam pengolahan air bersih dengan menggunakan berbagai jenis koagulan yaitu menggunakan koagulan *natural-based* (koagulan biji kelor dan koagulan cangkang maggot) dan koagulan *metal-based* (koagulan tawas). Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis perbandingan aspek teknik dan aspek biaya dalam proses pembuatan koagulan dan proses pengolahan air bersih. Metode penelitian ini, dalam aspek teknik melibatkan proses koagulasi-flokulasi dalam penyisihan parameter pH, kekeruhan, TSS, dan warna, dan dalam aspek biaya melibatkan metode simulasi laboratorium dan industri untuk mengukur efisiensi biaya dalam pembuatan koagulan dan pengolahan air bersih dengan melakukan analisis biaya modal dan biaya operasional. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan koagulan *natural-based* terutama koagulan biji kelor lebih efisien secara keseluruhan dibanding koagulan cangkang maggot dan tawas. Biaya koagulan biji kelor bisa lebih hemat 10-25% dari koagulan cangkang maggot dan tawas, sedangkan koagulan cangkang maggot jika dibanding dengan tawas hanya terjadi penghematan biaya pada pengolahan TSS yaitu sebesar 15%. Koagulan biji kelor jauh lebih hemat karena memiliki dosis optimum yang rendah untuk pengolahan pH, kekeruhan, TSS, dan warna, dan menjadi lebih ramah lingkungan karena tidak mengandung kontaminan yang tinggi seperti koagulan *metal-based*.

Kata Kunci: *koagulan natural-based, koagulan metal-based, koagulan biji kelor, rekayasa ekonomi, efisiensi biaya*

1. Pendahuluan

Ekonomi teknik memiliki peran penting dalam proses pengolahan air bersih untuk menjadi acuan dalam menentukan kelayakan dari suatu proses pengolahan air. Pemilihan teknologi dan bahan kimia dalam pengolahan air bersih tidak hanya mengutamakan pada efektivitas teknis, tetapi juga perlu mengutamakan dari sisi efisiensi biaya ekonomi terutama pada biaya operasional serta ketersediaan bahan. Analisis ekonomi teknik menjadi dasar dalam menentukan pengolahan air bersih yang optimal dan berkelanjutan. Kondisi saat ini kebutuhan air bersih akan semakin terus meningkat, dan jika air tidak diolah dengan baik

akan menimbulkan permasalahan pada parameter air baku seperti kekeruhan, TSS, warna serta bahan organik lainnya dalam menghasilkan air bersih [1]. Teknologi pengolahan air sangat banyak yang terbukti efektif secara teknis, namun sering menjadi kendala pada biaya operasional yang tinggi khususnya pada skala lab dan skala industri. Dari berbagai teknologi yang ada untuk mengatasi pencemaran pada air baku, metode koagulasi-flokulasi menjadi salah satu teknologi pengolahan air yang memiliki tingkat efisien tinggi dalam memisahkan partikel tersuspensi dan zat organik, sehingga dapat menghasilkan air yang lebih jernih. Proses koagulasi-flokulasi sering digunakan karena efisien dalam segi teknik pengolahan padatan tersuspensi dan efisien dalam segi ekonomis [2]. Proses koagulasi-flokulasi sering menggunakan koagulan kimia seperti Aluminium Sulfat (Tawas), karena memiliki tingkat efektivitas tinggi dalam mengurangi padatan tersuspensi. Namun, tawas dapat merusak lingkungan karena menghasilkan lumpur yang mengandung racun dan sulit terurai secara alami. Sehingga dapat diatasi dengan memanfaatkan bahan alami sebagai koagulan [3].

Sebagai alternatif, penggunaan koagulan *natural-based* seperti biji kelor dan cangkang maggot dapat dijadikan sebagai bahan koagulan yang dinilai lebih ekonomis karena bahan baku yang melimpah dan tidak membutuhkan pengolahan lanjutan yang mahal [4]. Biji kelor mengandung 40% minyak nabati dan protein bermuatan positif (kationik) yang bisa menetralkan partikel tersuspensi pada air yang bermuatan negative, dan mampu menurunkan 88,5% kekeruhan (Zviuya et al., 2024) [5]. Cangkang maggot merupakan bagian dari pelepasan pada proses metamorfosis pupa yang menjadi lalat dewasa. Cangkang maggot mengandung 44,5% protein, 7,7% lemak, dan 23% kitin. Kitin dari cangkang maggot didapat melalui proses pemisahan mineral (demineralisasi) dan pemisahan protein (deproteinasi) (Achmad et al., 2021). Senyawa kitin dicirikan dengan unsur OH dan NH, yang akan berinteraksi membentuk gugus fungsi amida [6]. Keberlanjutan penggunaan koagulan perlu dilakukan pendekatan *economic engineering* lebih lanjut. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat kinerja koagulan *natural-based* dan koagulan *metal-based* dalam pengolahan air bersih dan menganalisis biaya ekonominya. Adanya pendekatan *economic engineering* bisa dijadikan sebagai acuan dalam merancang sistem pengolahan air bersih yang efisien dari segi teknis, segi biaya ekonomi, dan keberlanjutan [7].

2. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan air limbah yang digunakan yaitu air sungai jagir, Surabaya, Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya.

Bahan dan Alat

Bahan utama pada pengolahan air bersih yaitu limbah air sungai, serbuk koagulan biji kelor, serbuk koagulan cangkang maggot, dan koagulan tawas. Untuk alat yang digunakan yaitu Jar Test dan *vacum filtration* TSS.

Pembuatan Biokoagulan Biji Kelor dan Cangkang Maggot

Proses pembuatan koagulan biji kelor akan melalui proses ekstraksi biji kelor. Tahap ekstraksi yaitu ekstraksi minyak biji kelor menggunakan etanol 95% dan ekstraksi serbuk biji kelor menggunakan NaCl, kedua tahap ekstraksi ini untuk mendapatkan biokoagulan biji kelor (BBK). Proses pembuatan koagulan cangkang maggot meliputi tahap ekstraksi kitin yaitu melalui proses deproteinasi dan demineralisasi. Tahap deproteinasi menggunakan NaOH 5%, dan tahap demineralisasi menggunakan HCl 1 N. Selanjutnya tahap ekstraksi kitosan menggunakan NaOH 50% untuk memperoleh ekstrak kitosan.

Analisis Efektivitas Penurunan Parameter

Penentuan efektivitas penurunan parameter menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan volume limbah yang digunakan yaitu sebanyak 1000 mL. Proses pengolahan air dilakukan dengan variasi dosis koagulan, yaitu dosis optimum koagulan alami pada koagulan biji kelor dan koagulan cangkang maggot di range 50 mg/L – 150 mg/L, sedangkan untuk koagulan tawas berada di range 150 mg/L – 250 mg/L. Kemudian dilakukan metode jar test dengan kecepatan pengadukan cepat 120 rpm dengan waktu pengadukan 1 menit, dan kecepatan pengadukan lambat 40 rpm dengan waktu pengadukan 20 menit, dan dilanjut pada proses pengendapan dengan waktu pengendapan 15 menit. Selanjutnya, dilakukan sampel uji untuk mengetahui nilai kualitas pada parameter pH, kekeruhan, TSS, dan warna berdasarkan acuan SNI.

Hasil data pengujian nilai sebelum dan sesudah perlakuan pada parameter pH, kekeruhan, TSS, dan warna akan dijadikan sebagai nilai (%) efektivitas perubahan nilai parameter. (%) efektivitas dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut.

$$\text{Efektifitas (\%)} = \frac{(\text{Konsentrasi Awal} - \text{Konsentrasi Akhir})}{\text{Konsentrasi Awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis Kelayakan Ekonomi

Dengan adanya penggunaan koagulan natural-based dan koagulan metal-based dalam pengolahan air bersih, maka dilakukan pendekatan *economic engineering* untuk menganalisis kelayakan ekonomi. Untuk mengoptimalkan biaya ekonomi, perlu dilakukan biaya investasi awal dan biaya operasional selama proses pengolahan. Dalam skenario kelayakan biaya ekonomi dari penggunaan koagulan natural-based dan koagulan metal-based dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) berikut.

$$\text{Total Biaya} = \text{Biaya modal} + \text{Biaya Operasional} \quad (2)$$

Dalam kelayakan biaya per (%) penyisihan parameter dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3) berikut.

$$\text{Biaya 1\% Efisiensi} = \frac{\text{Total Biaya}}{\text{Efisiensi Parameter (\%)}} \quad (3)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Biaya Produksi Koagulan

Produksi koagulan dalam skala laboratorium menggunakan bahan baku mentah masing-masing sebanyak 0,1 kg/hari dan dalam skala industri bahan baku mentah sebanyak 100 kg/hari. Perhitungan biaya produksi koagulan meliputi biaya modal dan biaya operasional. Biaya modal atau biaya investasi awal meliputi perhitungan peralatan yang dibutuhkan selama proses pembuatan koagulan. Sedangkan biaya operasional adalah biaya keseluruhan pengeluaran yang dikeluarkan selama proses produksi, komponen biaya operasional meliputi bahan baku dan jumlah energi yang dibutuhkan. Berikut total biaya ekonomi selama proses produksi koagulan berdasarkan skala laboratorium dan skala industri.

Tabel 1. Biaya Produksi Koagulan Skala Laboratorium

Biokoagulan	Biaya Modal (Rp/batch)	Biaya Operasional (Rp)	Output (g)	Total Biaya	Biaya/g (Rp)
Biji Kelor	Rp 23.550	Rp 36.098	50	Rp 59.647	Rp 1.193
Cangkang Maggot	Rp 23.550	Rp 183.000	10	Rp 206.550	Rp 20.655
Tawas	0	Rp 50.000	1000	Rp 50.000	Rp 50

Sumber: Data Analisis, 2025

Produksi koagulan dalam skala industri dapat diasumsikan perharinya memproduksi dengan bahan baku mentah sebanyak 100 kg/hari. Untuk mengetahui biaya dalam skala industri yang diasumsikan sebanyak 100 kg/hari dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan persamaan hukum skala industri. Persamaan hukum skala industri dapat dilakukan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Biaya Industri} = \text{Biaya Lab} \times \left(\frac{Q_{lab}}{Q_{industri}} \right)^k$$

Keterangan:

Q : Jumlah produk (gram)

k : Faktor skala (0,6 – 0,9) → Semakin kecil akan semakin efisien

k : 0.7 = Asumsi

Tabel 2. Biaya Produksi Koagulan Skala Industri

Koagulan	Biaya Lab/gram	Skala Industri (kg)	Estimasi Biaya Industri/gram
Biji Kelor	Rp 1.193	100	Rp 238
Cangkang Maggot	Rp 20.655	100	Rp 4.121
Tawas	Rp 50	Beli langsung	Rp 50

Sumber: Data Analisis, 2025

Berdasarkan total biaya yang didapat, selisih ketiga koagulan tersebut memiliki selisih harga yang jauh berbeda dalam skala lab dan skala industri. Biaya dari koagulan tawas berdasarkan harga jual di pasaran karena tidak bisa diproduksi sendiri. Total biaya produksi koagulan cangkang maggot memiliki harga yang lebih mahal dibanding koagulan yang lain. Koagulan cangkang maggot memiliki harga lebih mahal karena tahapan proses pembuatannya cukup banyak dan membutuhkan energi serta waktu yang lebih lama. Sehingga, koagulan cangkang maggot kurang efisien jika digunakan dalam jangka waktu yang lama karena membutuhkan biaya dan waktu yang cukup lama. Koagulan biji kelor bisa menjadi alternatif untuk pengganti penggunaan tawas, karena tawas memiliki kandungan yang kurang baik bagi lingkungan. Koagulan biji kelor jauh lebih murah jika memproduksi dalam jumlah banyak, sehingga koagulan biji kelor sangat efisien dalam segi teknik pengolahan air bersih serta biaya yang tidak kalah jauh dari tawas jika digunakan dalam skala yang lebih besar.

Biaya Per % Penyisihan Parameter Air

Pada pengolahan skala lab menggunakan rincian alat dan bahan dengan volume kecil. Air yang diolah dalam skala lab yaitu dengan volume air 1 liter. Berikut rincian biaya ekonomi per % penyisihan parameter menggunakan tiga jenis koagulan yang berbeda.

Tabel 3. Biaya Pengolahan Per % Penyisihan (Skala laboratorium)

Biji Kelor						
Dosis (mg/L)	Biaya Koagulan (per volume air)	Total Biaya	Biaya Per % Kekeruhan	Biaya Per % TSS	Biaya Per % Warna	
50	Rp 60	Rp 12.718	Rp 128	Rp 140	Rp 1	
100	Rp 119	Rp 12.777	Rp 129	Rp 175	Rp 1	
150	Rp 179	Rp 12.837	Rp 131	Rp 218	Rp 2	
Cangkang Maggot						
Dosis (mg/L)	Biaya Koagulan (per volume air)	Total Biaya	Biaya Per % Kekeruhan	Biaya Per % TSS	Biaya Per % Warna	
50	Rp 1.033	Rp 11.991	Rp 122,36	Rp 146,23	Rp 11,23	
100	Rp 2.066	Rp 13.024	Rp 132,90	Rp 137,09	Rp 134,27	
150	Rp 3.098	Rp 14.057	Rp 144,91	Rp 147,96	Rp 147,96	
Tawas						
Dosis (mg/L)	Biaya Koagulan (per volume air)	Total Biaya	Biaya Per % Kekeruhan	Biaya Per % TSS	Biaya Per % Warna	
150	Rp 3	Rp 12.661	Rp 127,93	Rp 154,46	Rp 127,93	
200	Rp 4	Rp 12.662	Rp 127,96	Rp 164,52	Rp 129,26	
250	Rp 5	Rp 12.663	Rp 129,29	Rp 197,97	Rp 127,98	

Sumber: Data Analisis, 2025

Tabel 4. Biaya Pengolahan Per % Penyisihan (Skala Industri)

Biji Kelor						
Dosis (g/L)	Biaya Koagulan (per volume air)	Total Biaya	Biaya Per % Kekeruhan	Biaya Per % TSS	Biaya Per % Warna	
500	Rp 596.500	Rp 1.041.453	Rp 10.520	Rp 11.445	Rp 6.214	
1000	Rp 1.193.000	Rp 1.637.953	Rp 16.545	Rp 22.438	Rp 12.427	
1500	Rp 1.789.500	Rp 2.234.453	Rp 22.801	Rp 37.872	Rp 18.641	
Cangkang Maggot						
Dosis (g/L)	Biaya Koagulan (per volume air)	Total Biaya	Biaya Per % Kekeruhan	Biaya Per % TSS	Biaya Per % Warna	
500	Rp 10.327.500	Rp 10.772.453	Rp 109.922	Rp 131.371	Rp 112.255	
1000	Rp 20.655.000	Rp 21.099.953	Rp 215.305	Rp 222.104	Rp 217.525	
1500	Rp 30.982.500	Rp 31.427.453	Rp 323.994	Rp 330.815	Rp 330.815	
Tawas						
Dosis (g/L)	Biaya Koagulan (per volume air)	Total Biaya	Biaya Per % Kekeruhan	Biaya Per % TSS	Biaya Per % Warna	
1500	Rp 30.000	Rp 474.953	Rp 5.252	Rp 6.340	Rp 5.252	
2000	Rp 40.000	Rp 484.953	Rp 5.504	Rp 7.077	Rp 5.560	
2500	Rp 50.000	Rp 494.953	Rp 5.815	Rp 8.905	Rp 5.757	

Sumber: Data Analisis, 2025

Berdasarkan hasil perhitungan dari penelitian pengolahan yang telah dilakukan, perhitungan biaya per % penyisihan dilakukan berdasarkan % penyisihan dari masing-masing dosis yang telah didapat dari hasil pengujian sebelumnya pada parameter pH, kekeruhan, TSS, dan warna. Parameter pH tidak dapat dilakukan perhitungan biaya karena pH merupakan parameter yang tidak memiliki nilai awal-akhir untuk dilakukan perhitungan seperti mg/L.

Berdasarkan dari perhitungan antara skala lab dan skala laboratorium memiliki selisih harga yang hampir sama disetiap jenis koagulan. Koagulan biji kelor dan koagulan tawas lebih unggul dari segi biaya ekonomi, sedangkan cangkang maggot memiliki harga yang jauh lebih mahal dari biji kelor dan tawas. Secara garis besar, dari semua perhitungan berdasarkan skala lab dan skala industri dari masing-masing koagulan, untuk mengurangi adanya penggunaan tawas yang berlebih dapat menjadikan koagulan biji kelor sebagai koagulan alternatif. Koagulan biji kelor hampir setara dengan koagulan tawas dari segi teknik pengolahan dan juga biaya yang masih tergolong murah. Koagulan biji kelor sangat aman jika digunakan dalam jangka panjang karena kandungan yang tergolong ramah lingkungan dan bahan baku yang masi tergolong stabil di wilayah indonesia, sehingga biji kelor lebih banyak diterima oleh masyarakat.

Karakteristik Awal Air Sungai Jagir

Limbah yang digunakan yaitu air sungai jagir Surabaya, dimana air sungai memiliki karakteristik air tertentu yang perlu diuji sebagai dasar untuk dilakukan pengolahan selanjutnya yaitu air bersih. Air sungai jagir memiliki warna yang lumayan keruh yang disebabkan adanya padatan tersuspensi dan bahan organik dari aktivitas domestik dan industri. Karakteristik air baku sungai jagir sebelum proses koagulasi-flokulasi dengan perlakuan tiga jenis koagulan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Hasil Pengujian Awal Karakteristik Air Sungai Jagir

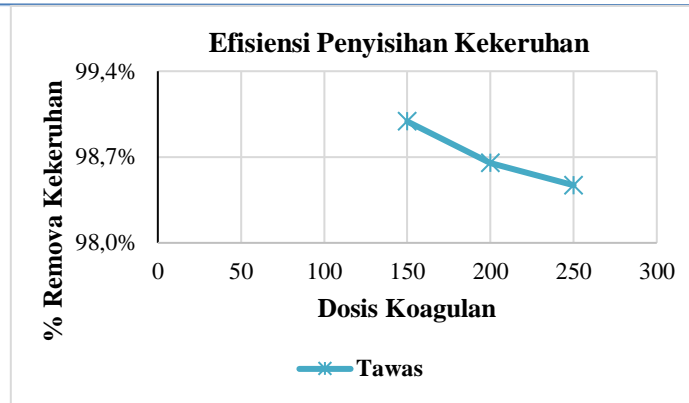
Air Sungai Jagir	
Parameter	Hasil Uji
pH	8,3
TSS	220 mg/L
Kekeruhan	170 NTU
Warna	224 Pt-Co

Sumber: Data Analisis, 2025

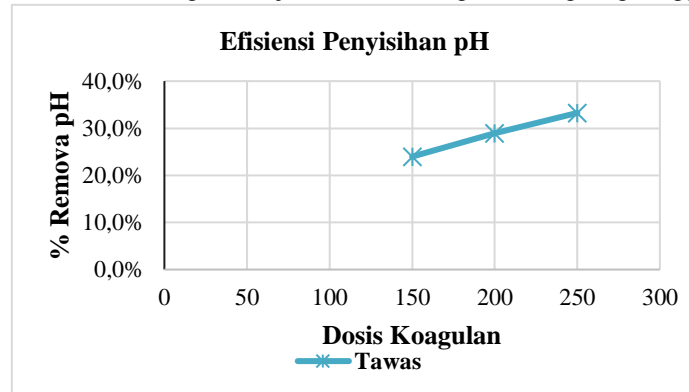
Hasil Pengukuran Parameter Setelah Perlakuan

Pengukuran parameter air dilakukan dengan menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan menggunakan tiga jenis koagulan dengan variasi dosis koagulan. Variasi dosis koagulan dapat mempengaruhi perubahan nilai parameter, setelah perlakuan menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai pada parameter pH, kekeruhan, TSS, dan warna yang signifikan. Hasil pengujian setelah perlakuan menunjukkan hasil efektivitas yang berbeda-beda tergantung pada dosis optimum yang didapat. Penggunaan koagulan biji kelor dan cangkang maggot mampu menurunkan nilai parameter pada range dosis 50 mg/L – 150 mg/L, sedangkan koagulan tawas berada pada range dosis 150 mg/L – 250 mg/L.

Hasil pengujian setelah perlakuan, koagulan biji kelor menjaga kestabilan pH berada di range 6,97-7,75, koagulan cangkang dan tawas berada di range 6,36-7,19. Pengaruh variasi dosis dari masing-masing koagulan dapat dilihat pada **Gambar 1**. Dari hasil grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis koagulan tidak menjamin untuk menurunkan nilai pH. Namun, pada koagulan tawas sangat signifikan dalam penurunan nilai pH. Penggunaan koagulan biji kelor dapat menjaga kestabilan pH pada dosis optimum 50 mg/L. Untuk penggunaan koagulan cangkang maggot dosis optimum dalam menjaga kestabilan pH ada pada dosis 100 mg/L. Pada koagulan biji kelor dan cangkang maggot dapat menurunkan pH karena disebabkan adanya asam amino yang terkandung pada koagulan terionisasi, sehingga dapat menurunkan nilai pH air (Varsani et al., 2022). Sedangkan penggunaan koagulan tawas dosis optimum yang dapat menjaga kestabilan pH adalah dosis 150 mg/L. Koagulan tawas mampu menjaga kestabilan dosis karena tawas yang telah terhidrolisis dapat membebaskan ion H⁺ dalam jumlah yang signifikan, sehingga semakin tinggi dosis tawas akan berhubungan dengan penurunan nilai pH (Pasha Hanindyta, 2021).

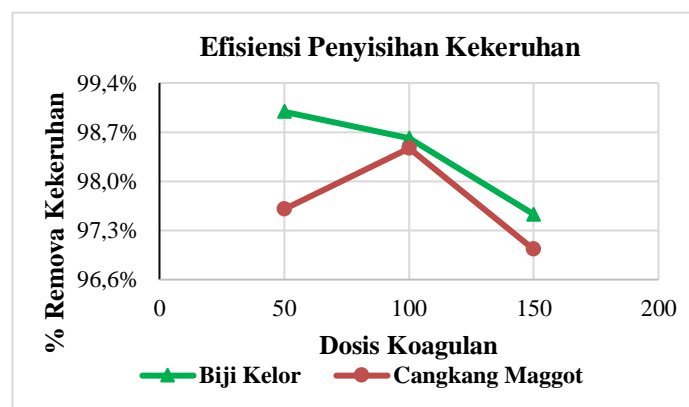


(a) Perlakuan Koagulan Biji Kelor dan Koagulan Cangkang Maggot

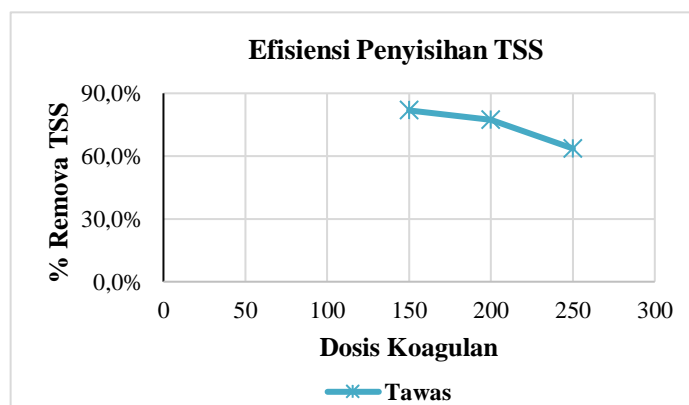


(b) Perlakuan Koagulan Tawas

Gambar 1. Grafik Penyisihan Parameter pH Setelah Perlakuan (a) Biokoagulan (b) Tawas



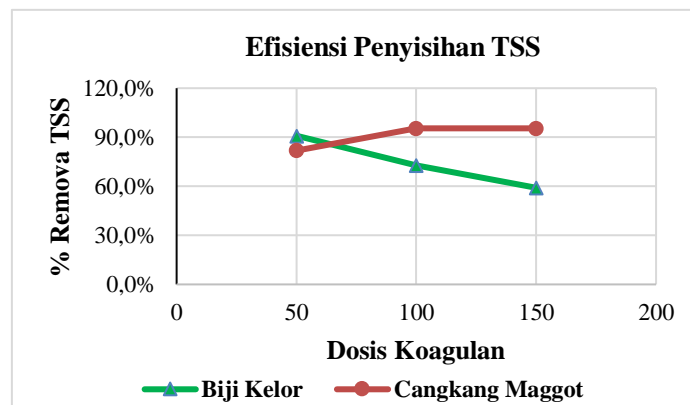
(a) Perlakuan Koagulan Biji Kelor dan Koagulan Cangkang Maggot



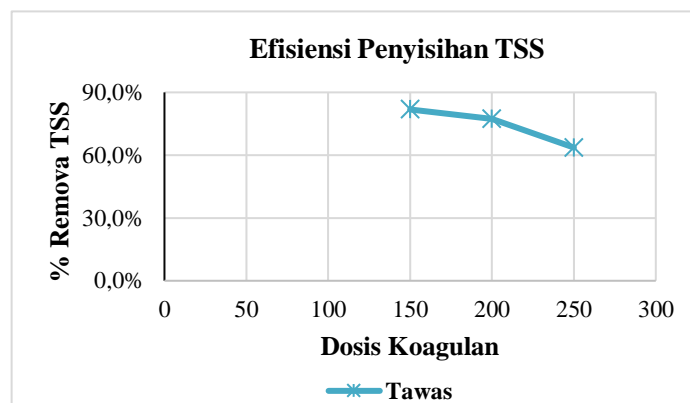
(b) Perlakuan Koagulan Tawas

Gambar 2. Grafik Penyisihan Parameter kekeruhan Setelah Perlakuan (a) Biokoagulan (b) Tawas

Dari hasil grafik pada **Gambar 2** tersebut menunjukkan bahwa dari ketiga koagulan tersebut mampu menurunkan nilai kekeruhan yang sangat tinggi. Dosis optimum pada koagulan biji kelor dalam menurunkan nilai kekeruhan adalah dosis 50 mg/L dengan nilai akhir 1,71 mg/L. Dosis optimum pada koagulan cangkang maggot terletak pada dosis 100 mg/L dengan nilai akhir 2,595 mg/L. Sedangkan dosis optimum koagulan tawas terletak pada dosis 150 mg/L dengan nilai akhir 1,72 mg/L. Hasil koagulan biji kelor dan cangkang maggot memiliki dosis optimum rendah karena biji kelor dan cangkang maggot mengandung protein yang dapat menghubungkan partikel koloid menjadi gabungan flok yang besar, sehingga flok tersebut dapat mengendap dan mengubah air baku menjadi air yang lebih jernih. Ketiga koagulan tersebut memiliki pola kerja yang sama yaitu mengalami kenaikan nilai kekeruhan setelah melewati dosis optimum dari masing-masing koagulan. Hal ini dapat disebabkan karena terjadinya dosis yang berlebih, sehingga dengan penambahan koagulan yang berlebih akan semakin tinggi zat terlarut yang menyebabkan flok-flok yang terbentuk tidak lagi terbentuk dan menyebabkan nilai kekeruhan meningkat kembali (Mulyana et al., 2025).



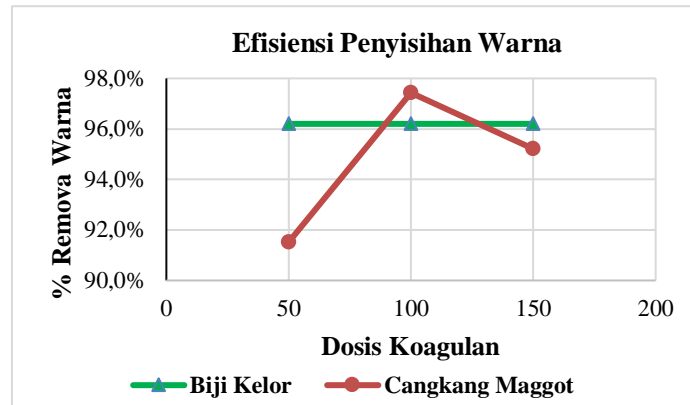
(a) Perlakuan Koagulan Biji Kelor dan Koagulan Cangkang Maggot



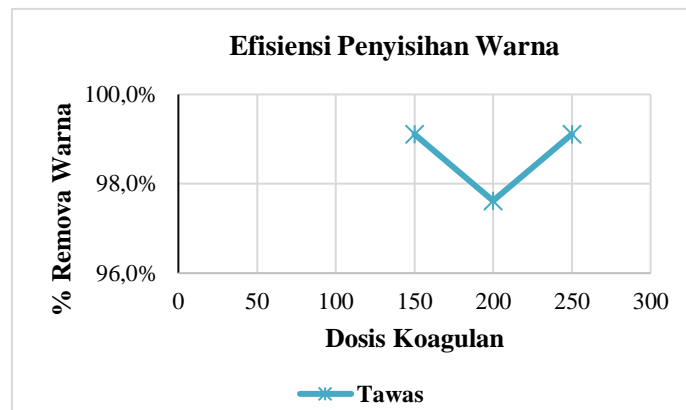
(b) Perlakuan Koagulan Tawas

Gambar 3. Grafik Penyisihan Parameter TSS Setelah Perlakuan (a) Biokoagulan (b) Tawas

Dari hasil grafik pada **Gambar 3** tersebut menunjukkan bahwa dari ketiga koagulan tersebut mampu menurunkan nilai TSS yang sangat tinggi. Penggunaan koagulan biji kelor mampu menurunkan nilai kekeruhan pada dosis optimum 50 mg/L karena mampu menurunkan TSS hingga menjadi 20 mg/L. Koagulan cangkang maggot pada dosis 100 mg/L dan 150 mg/L memiliki tingkat penyisihan yang sama, namun lebih optimum pada dosis 100 mg/L karena dengan jumlah dosis yang lebih sedikit sudah efisien dalam menurunkan TSS hingga 10 mg/L. Dosis optimum koagulan tawas ada di dosis 150 mg/L yang mampu menurunkan TSS hingga 40 mg/L. Pada koagulan biji kelor dan tawas, grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi penggunaan dosis yang digunakan akan semakin meningkatkan nilai TSS. Hal tersebut terjadi karena dosis yang melebihi batas optimum akan menyebabkan restabilisasi partikel koloid, partikel koloid yang bermuatan negatif akan menjadi positif dan terjadi tolak menolak antar partikel yang mengakibatkan rusaknya ikatan flok yang terbentuk apabila terjadi penyerapan dosis koagulan yang berlebih.



(a) Perlakuan Koagulan Biji Kelor dan Koagulan Cangkang Maggot



(b) Perlakuan Koagulan Tawas

Gambar 4. Grafik Penyisihan Parameter Warna Setelah Perlakuan (a) Biokoagulan (b) Tawas

Berdasarkan hasil setelah perlakuan, tingkat efisiensi penyisihan dapat dilihat pada grafik diatas. Dari hasil grafik tersebut menunjukkan bahwa dari ketiga koagulan tersebut mampu menurunkan nilai warna. Penggunaan koagulan biji kelor dengan variasi dosis tersebut memiliki hasil akhir yang sama yaitu 8,51 Pt-Co, namun pada dosis 50 mg/L sudah optimal untuk penyisihan warna dengan maksimal. Dosis optimum koagulan kitosan terletak pada dosis 100 mg/L dengan hasil akhir 5,75 Pt-Co. Dosis optimum koagulan tawas terletak pada dosis 150 mg/L dengan hasil akhir 1,99 Pt-Co. Koagulan alami kurang unggul dalam penyisihan warna karena koagulan alami tidak selalu memiliki struktur yang sesuai untuk mengikat senyawa pada parameter warna, sedangkan tawas sangat efektif dalam penyisihan warna karena melalui pembentukan kompleks $Al(OH)_3$ yang dapat mengikat senyawa warna secara kimia.

4. Kesimpulan

Pada biaya ekonomi dari proses produksi koagulan hingga digunakan dalam pengolahan air bersih dapat disimpulkan bahwa koagulan biji kelor lebih unggul. Koagulan biji kelor efisien dalam segi teknik pengolahan air bersih dan segi efisiensi biaya karena koagulan biji kelor mampu mengolah air bersih dengan jumlah dosis yang rendah yaitu 50 mg/L, sehingga tidak membutuhkan biaya lebih selama proses pengolahan. Untuk mengurangi penggunaan koagulan tawas, koagulan biji kelor sangat cocok sebagai alternatif dalam jangka panjang pengolahan air bersih.

Pada penggunaan tiga jenis koagulan yang berbeda-beda dalam pengolahan air bersih dengan penyisihan parameter pH, kekeruhan, TSS, dan warna memiliki dosis optimum yang berbeda-beda. Tingkat efisiensi dari ketiga jenis koagulan tersebut juga berda-beda. Dalam penyisihan parameter pH, kekeruhan, dan TSS, dari ketiga koagulan tersebut lebih optimum menggunakan koagulan biji kelor dan tawas. Koagulan biji kelor mampu menurunkan nilai parameter dengan jumlah dosis yang lebih kecil dibandingkan dengan tawas, dosis 50 mg/L koagulan biji kelor mampu menyisihkan parameter pH, kekeruhan, dan tawas dengan maksimal. Akan tetapi, untuk penyisihan warna koagulan tawas lebih optimal dalam penyisihan warna, koagulan alami kurang optimal karena struktur dalam koagulan alami kurang mampu untuk mengikat senyawa pada parameter warna.

5. Referensi

- [1] Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 262). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>.
- [2] Ardianto, R., & Amalia, R. (2023). Optimasi Proses Deasetilasi Kitin menjadi Kitosan dari Selongsong Maggot menggunakan RSM. *METANA*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.14710/metana.v19i1.50480>.
- [3] Beltran-Heredia, J., Sanchez-Martín, J., & Gomez-Munoz, C. (2012). Performance and characterization of a new tannin-based coagulant. *Applied Water Science*, 2(3), 199–208. <https://doi.org/10.1007/s13201-012-0037-2>.
- [4] Hak, A., Kurniasih, Y., & Hatimah, H. (2018). *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia Efektivitas Penggunaan Biji Kelor (Moringa Oleifera, Lam) Sebagai Koagulan Untuk Menurunkankadar Tds Dan Tss Dalam Limbah Laundry* (Vol. 6, Issue 2). <http://ojs.ikipmataram.ac.id/index.php/hydrogen/index>.
- [5] Hasan, R., & Khoirunnisa, A. (2024). Efektivitas Koagulan Aluminium Sulfat dan Poly Aluminium Chloride (PAC) pada Pengolahan Limbah Cair B3 PT X. In *JULI* (Vol. 48, Issue 1).
- [6] Kurniawan, S. B., Ahmad, A., Imron, M. F., Abdullah, S. R. S., Hasan, H. A., Othman, A. R., & Kuncoro, E. P. (2023). Performance of Chemical-Based vs Bio-Based Coagulants in Treating Aquaculture Wastewater and Cost-benefit Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 32(2), 1177–1187. <https://doi.org/10.15244/pjoes/156419>.
- [7] Marlina. (2024). Pemanfaatan Larva Maggot (*Hermetia Illucens*) Untuk Mengolah Food Waste Di Kantin Uin Raden Intan Lampung.
- [8] Mulyana, T., Kadaria, U., & Nugraheni, W. (2025). Perbandingan Efektivitas Antara Koagulan Lidah Buaya Dan Tawas Dalam Memperbaiki Kualitas Air Gambut. 8, 28–42. <https://doi.org/10.47080/jls.v8i1.3964>.
- [9] Muqim, R. B., & Purnomo, S. (2023). *Koagulan Polielektrolit Alami dari Kulit Udang Kaki Putih untuk Menyisihkan Parameter Warna, TSS, dan COD dalam Limbah Cair Batik*. VIII(4).
- [10] Pasha Hanindyta, L. (2021). *Treatment Of Dyes Wastewater Using Aluminium Sulfate And Poly Aluminium Chloride (Pac)*.
- [11] Mayangsari, N. E., & Ramadani, T. A. (2024, November). Perbandingan Penggunaan Koagulan Alami dan Magnetik dari Biji Kelor (Moringa oleifera) terhadap Efisiensi Penurunan Warna Congo Red. In *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology* (Vol. 7, No. 1).
- [12] Setyawati, H., Kriswantono Mawan, Nisa Dinda An, & Hastuti. Rakhmawati. (2017). Serbuk Biji Kelor Sebagai Koagulan Pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu.
- [13] Sulistiawaty, L., Puspita, F., Foliatini, & Nurdiani. (2022). Isolasi dan Karakterisasi Kitin dan Kitosan dari Pupa Black Soldier Fly (BSF). In *JULI* (Vol. 46, Issue 1).
- [14] Varsani, V., Vyas, S. J., & Dudhagara, D. R. (2022). Development of bio-based material from the Moringa oleifera and its bio-coagulation kinetic modeling—A sustainable approach to treat the wastewater. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10447>.
- [15] Zviuya, A., Govha, J., Sigauke, P., Mamvura, T. A., & Danha, G. (2024). *Sustainable Bio-Coagulant From Moringa Oleifera Seed Extract For Water Treatment Application*.