

Karakterisasi Nanopartikel Flok Pada Kondisi Optimum Pengolahan Air Sungai Jagir Menggunakan Biokoagulan

Muhammad Rizky Firmansyah^{1*}, Okik Hendriyanto Cahyonugroho²

^{1,2}*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya 60924, Jawa Timur, Indonesia*

**Email: mfrizkyah@gmail.com*

Abstrak

*Pencemaran air Sungai Jagir akibat aktivitas domestik dan industri memerlukan teknologi pengolahan yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas biokoagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) dan cangkang maggot Black Soldier Fly (BSF), serta mengarakterisasi ukuran dan sifat permukaan flok yang terbentuk pada kondisi optimum. Penelitian dilakukan menggunakan metode jar test untuk menentukan dosis optimum, diikuti oleh pengukuran parameter kualitas air (pH, kekeruhan, Total Suspended Solids/TSS, dan warna), serta analisis flok menggunakan Particle Size Analyzer (PSA) dan uji potensial zeta. Hasil menunjukkan bahwa biji kelor pada dosis optimum 50 mg/L mampu menyisihkan kekeruhan hingga 98.99%, TSS 81.82%, dan warna 96.20%, dengan ukuran flok relatif homogen sebesar 66.05 μm . Sementara itu, cangkang maggot pada dosis 100 mg/L menghasilkan penyisihan TSS sebesar 95.45%, kekeruhan 98.47%, dan warna 96.43%, dengan ukuran flok rata-rata 3.22 μm . Nilai potensial zeta pada kedua biokoagulan mendekati nol, menunjukkan terjadinya destabilisasi koloid dan pembentukan flok yang efektif. Dibandingkan dengan tawas, biokoagulan menunjukkan kinerja yang sebanding dengan keunggulan dalam menjaga kestabilan pH serta menghasilkan residu logam yang minimal. Dengan demikian, biokoagulan berbasis biji kelor dan cangkang maggot berpotensi sebagai alternatif koagulan ramah lingkungan dalam pengolahan air Sungai Jagir, meskipun optimasi dosis dan karakteristik flok masih perlu dikaji lebih lanjut.*

Kata kunci: *Koagulasi-flokulasi, *Moringa oleifera*, potensial zeta, ukuran flok*

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang semakin kompleks seiring dengan meningkatnya aktivitas antropogenik, terutama pada badan air yang berada di wilayah hilir dan menerima akumulasi limbah dari berbagai sumber. Limbah domestik, industri kecil, hingga aktivitas rumah tangga berkontribusi terhadap peningkatan beban pencemar berupa partikel tersuspensi, bahan organik, serta zat warna yang berdampak pada penurunan kualitas air secara

signifikan (Setiawati & Titah, 2019). Sungai Jagir di Surabaya merupakan salah satu contoh badan air yang mengalami tekanan pencemaran cukup tinggi akibat masuknya limbah dari industri tahu, batik, serta aktivitas domestik masyarakat. Kondisi ini ditandai dengan tingginya nilai Total Suspended Solids (TSS), kekeruhan, dan warna, serta fluktuasi pH yang dalam beberapa kondisi telah melampaui baku mutu air kelas IV sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 (Mufida dan Racmanto, 2023). Penurunan kualitas air tersebut tidak hanya mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, tetapi juga berpotensi menurunkan fungsi sungai sebagai sumber daya air bagi masyarakat sekitar. Selain itu, tingkat pencemaran air Sungai Jagir juga sangat dipengaruhi oleh tingkat kesadaran dan ketaatan masyarakat dalam menjaga lingkungan.

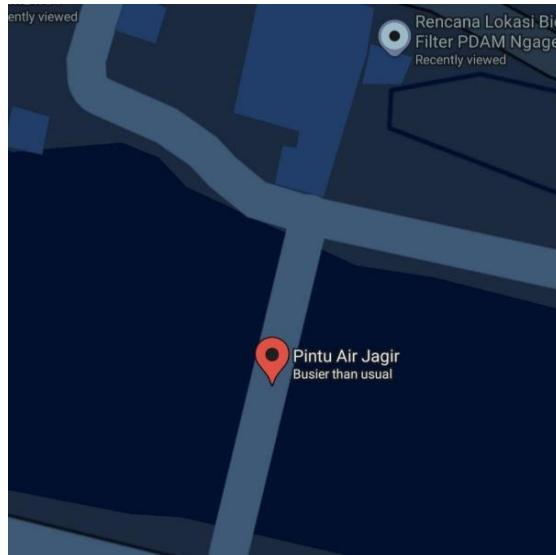
Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengolahan air adalah proses koagulasi–flokulasi, yang bekerja melalui mekanisme destabilisasi partikel koloid dan pembentukan agregat (flok) yang lebih besar sehingga mudah mengendap. Proses ini efektif dalam menghilangkan partikel tersuspensi dan zat warna, terutama pada air dengan tingkat kekeruhan tinggi (Ekoputri, dkk., 2024). Koagulan kimia berbasis garam logam, seperti tawas (aluminium sulfat), telah lama digunakan karena efektivitasnya dalam mempercepat proses agregasi partikel. Namun demikian, penggunaan koagulan kimia memiliki beberapa kelemahan, antara lain potensi terbentuknya residu logam dalam air olahan, produksi lumpur dalam jumlah besar, serta dampak jangka panjang terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Lestari & Purnomo, 2023). Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap keberlanjutan lingkungan, pengembangan koagulan alami atau biokoagulan menjadi alternatif yang semakin banyak diteliti. Biokoagulan umumnya berasal dari bahan hayati yang bersifat biodegradable, tidak toksik, serta lebih aman bagi lingkungan (Kurniawan *et al.*, 2020). Biji kelor (*Moringa oleifera*) telah dilaporkan memiliki kemampuan koagulasi yang baik karena kandungan protein kationik yang mampu menetralkan muatan partikel koloid dan memfasilitasi proses agregasi (Sari, dkk., 2016; Syahbanah, 2016). Di sisi lain, cangkang maggot *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) mengandung kitin yang dapat dideasetilasi menjadi kitosan, suatu biopolimer yang memiliki gugus amina bermuatan positif sehingga efektif dalam proses adsorpsi dan bridging antarpartikel koloid. Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan efektivitas biokoagulan dalam menurunkan parameter kualitas air, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek efisiensi penyisihan polutan, seperti penurunan TSS, kekeruhan, dan warna. Padahal, keberhasilan proses koagulasi–flokulasi tidak hanya ditentukan oleh besarnya penurunan parameter tersebut, tetapi juga oleh karakteristik flok yang terbentuk. Parameter seperti ukuran partikel flok dan nilai potensial zeta menjadi indikator penting dalam mengevaluasi kestabilan sistem koloid, efisiensi destabilisasi muatan, serta kemampuan agregasi dan sedimentasi partikel. Nilai potensial zeta yang mendekati nol menunjukkan bahwa gaya tolak-menolak antarpartikel berkurang, sehingga memungkinkan terbentuknya flok yang lebih stabil dan mudah mengendap.

Namun demikian, kajian mengenai karakterisasi flok hasil penggunaan biokoagulan, khususnya yang berasal dari kombinasi sumber nabati dan hewani seperti biji kelor dan cangkang maggot, masih relatif terbatas. Selain itu, hubungan antara dosis optimum biokoagulan dengan ukuran flok dan sifat permukaannya belum banyak dilaporkan secara komprehensif. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian yang penting untuk dikaji lebih lanjut, terutama dalam upaya mengoptimalkan penggunaan biokoagulan sebagai alternatif koagulan ramah lingkungan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada evaluasi efektivitas biokoagulan serta karakterisasi flok yang terbentuk pada kondisi optimum pengolahan air Sungai Jagir. Karakterisasi dilakukan melalui analisis ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan pengukuran potensial zeta untuk memahami mekanisme destabilisasi koloid dan pembentukan flok. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah dalam pengembangan teknologi pengolahan air berbasis biokoagulan yang tidak hanya efektif dalam menurunkan pencemar, tetapi juga berkelanjutan dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada segmen hilir Sungai Jagir yang berfungsi sebagai titik akumulasi aliran dari berbagai sumber pencemar. Area ini dipilih karena mencerminkan kondisi kualitas air yang telah terpengaruh oleh aktivitas domestik dan industri di sepanjang aliran sungai. Secara hidrologis, lokasi ini memiliki karakteristik aliran yang relatif stabil sehingga representatif untuk evaluasi proses pengolahan air. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel.

Bahan Penelitian

Sampel yang digunakan berupa air Sungai Jagir, Surabaya, yang diambil dari area pintu air dan digunakan sebagai representasi kondisi air tercemar. Sampel disimpan dalam wadah tertutup dan dianalisis segera setelah pengambilan untuk menjaga stabilitas parameter kualitas air. Bahan yang digunakan meliputi koagulan kimia berupa tawas (aluminium sulfat), serta biokoagulan yang berasal dari biji kelor (*Moringa oleifera*) dan cangkang maggot *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*). Biji kelor dipersiapkan dengan cara mengeringkan bahan pada suhu ruang, kemudian menggiling hingga diperoleh ukuran partikel ± 60 mesh. Serbuk yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai biokoagulan nabati. Cangkang maggot diproses melalui tahap isolasi kitin dan dilanjutkan dengan proses deasetilasi menggunakan larutan NaOH untuk menghasilkan kitosan sebagai biokoagulan hewani. Proses ini bertujuan meningkatkan jumlah gugus amina bebas sehingga memperkuat sifat kationik dalam proses koagulasi.

Penentuan Dosis Optimum

Penentuan dosis optimum dilakukan menggunakan metode *jar test*. Larutan koagulan disiapkan dalam beberapa variasi konsentrasi, kemudian ditambahkan ke dalam sampel air dengan volume tertentu. Hasil uji awal menunjukkan bahwa dosis optimum biokoagulan biji kelor diperoleh pada konsentrasi 50 mg/L, sedangkan biokoagulan cangkang maggot pada 100 mg/L, dan koagulan tawas pada 200 mg/L. Berdasarkan nilai tersebut, dilakukan variasi dosis dengan interval ± 50 mg/L dari dosis optimum untuk mengevaluasi pengaruh perubahan konsentrasi terhadap efisiensi proses koagulasi–flokulasi.

Proses Koagulasi-Flokulasi

Proses koagulasi–flokulasi dilakukan menggunakan metode *jar test* yang mengacu pada SNI 19-6449-2000. Koagulan terlebih dahulu ditambahkan ke dalam sampel air dengan volume tertentu,

kemudian dilakukan pengadukan cepat (*rapid mixing*) pada kecepatan $\pm 100\text{--}150$ rpm selama 1–2 menit untuk mendispersikan koagulan secara merata. Selanjutnya, dilakukan pengadukan lambat (*slow mixing*) pada kecepatan $\pm 30\text{--}50$ rpm selama 15–20 menit untuk memfasilitasi pembentukan flok. Setelah itu, pengadukan dihentikan dan sampel didiamkan selama 20–30 menit untuk memungkinkan proses sedimentasi berlangsung. Supernatan yang terbentuk kemudian diambil secara hati-hati untuk selanjutnya dianalisis.

Analisis Parameter Kualitas Air dan Karakterisasi Flok

Supernatan hasil proses koagulasi–flokulasi dianalisis untuk menentukan parameter kualitas air yang meliputi pH, kekeruhan, Total Suspended Solids (TSS), dan warna. Karakterisasi flok dilakukan melalui analisis ukuran dan distribusi partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), serta pengukuran potensial zeta untuk mengevaluasi kestabilan sistem koloid dan efektivitas destabilisasi muatan. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara deskriptif untuk membandingkan efektivitas masing-masing koagulan serta hubungan antara dosis optimum dan karakteristik flok yang terbentuk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Awal Air Sungai Jagir

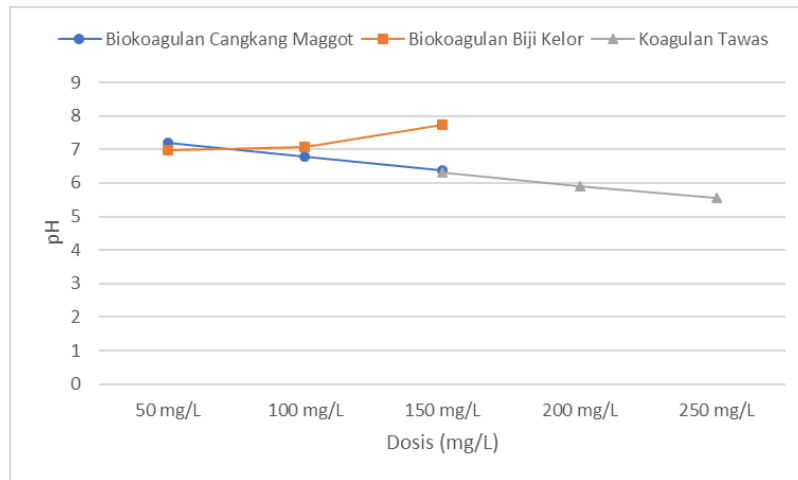
Uji awal dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting air Sungai Jagir berdasarkan parameter pH, kekeruhan, Total Suspended Solids (TSS), dan warna. Hasil analisis menunjukkan bahwa air Sungai Jagir memiliki pH sebesar 8,3, kekeruhan 170 NTU, TSS 220 mg/L, dan warna 224 Pt-Co (Tabel 1). Nilai tersebut menunjukkan bahwa kualitas air telah mengalami pencemaran yang cukup tinggi dan melampaui baku mutu untuk beberapa parameter, sehingga diperlukan proses pengolahan untuk menurunkan beban pencemar.

Tabel 1. Uji Awal Air Sungai Jagir

Parameter	Satuan	Nilai
pH	Unit	8.3
Kekeruhan	NTU	170
TSS	mg/L	220
Warna	Pt-Co	224

Perubahan pH Setelah Koagulasi–Flokulasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis koagulan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap perubahan pH air (Gambar 2). Biokoagulan biji kelor menunjukkan kestabilan pH yang paling baik, dengan nilai pH yang tetap berada dalam kisaran netral (6.97–7.75), sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014 (Darmawan, *dkk.*, 2023). Kondisi ini mendukung proses koagulasi karena berada pada kisaran yang mendekati kondisi potensial zeta nol, sehingga gaya tolak-menolak antarpartikel berkurang dan pembentukan flok menjadi lebih optimal. Sebaliknya, penggunaan tawas menyebabkan penurunan pH yang signifikan, dari 6.31 menjadi 5.54 seiring peningkatan dosis. Penurunan ini disebabkan oleh reaksi hidrolisis aluminium sulfat yang menghasilkan ion H^+ dalam jumlah besar (Sabela & Ramadhani, 2024). Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan sifat asam air serta berdampak negatif terhadap organisme akuatik (Novenpa & Dzulkiflih, 2020).

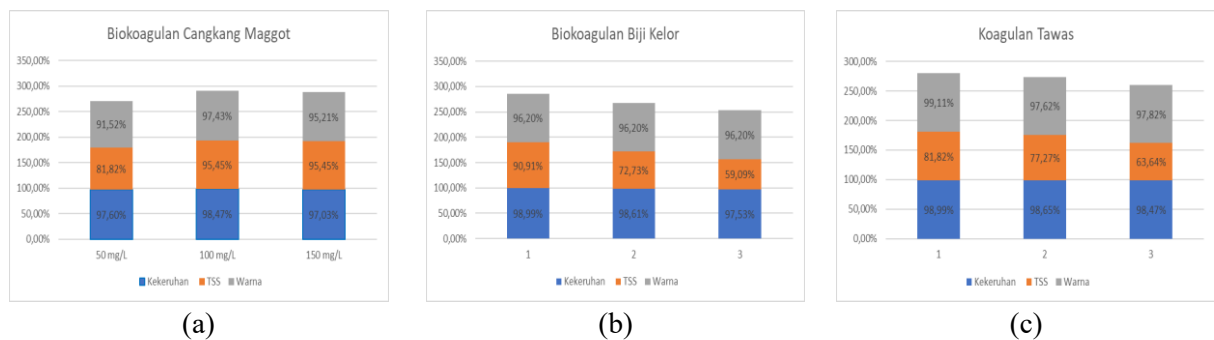


Gambar 2. Penurunan pH Setelah Pengolahan.

Biokoagulan cangkang maggot menunjukkan penurunan pH yang lebih moderat, dari 7.19 menjadi 6.36, namun masih berada dalam kisaran netral. Hal ini menunjukkan bahwa kitosan sebagai komponen aktif hanya melepaskan ion H^+ dalam jumlah terbatas, sehingga tidak menyebabkan perubahan pH yang ekstrem. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa kitosan mampu menurunkan pH secara terbatas tanpa mengganggu kualitas air secara signifikan (Putra, 2021).

Efektivitas Penurunan Kekeruhan, TSS, dan Warna

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh koagulan yang digunakan, baik tawas maupun biokoagulan, mampu menurunkan parameter kekeruhan, TSS, dan warna secara signifikan (Gambar 3). Kekeruhan awal sebesar 170 NTU mengalami penurunan hingga mencapai efisiensi 98.99% pada penggunaan biokoagulan biji kelor dengan dosis 50 mg/L, yang sebanding dengan kinerja tawas pada dosis 150 mg/L. Namun, peningkatan dosis koagulan di atas kondisi optimum justru menurunkan efektivitas, yang mengindikasikan terjadinya restabilisasi partikel akibat kelebihan muatan.



Gambar 3. Hasil Penelitian Pengolahan Air Sungai Jagir menggunakan (a) Biokoagulan Cangkang Maggot, (b) Biokoagulan Biji Kelor, (c) Koagulan Tawas.

Pada parameter TSS, nilai awal sebesar 220 mg/L mengalami penurunan yang signifikan pada semua perlakuan. Biokoagulan cangkang maggot menunjukkan performa paling stabil dengan kemampuan menurunkan TSS hingga 10 mg/L pada rentang dosis 100–150 mg/L. Sebaliknya, biji kelor dan tawas menunjukkan penurunan optimal pada dosis tertentu, namun mengalami peningkatan

kembali pada dosis yang lebih tinggi akibat kelebihan ion aktif yang menyebabkan destabilisasi ulang sistem koloid. Pada parameter warna, seluruh koagulan mampu menurunkan nilai warna secara signifikan dari 224 Pt-Co. Efisiensi tertinggi diperoleh pada penggunaan tawas dengan sisa warna 1.99 Pt-Co pada dosis 150 mg/L, diikuti oleh biokoagulan cangkang maggot sebesar 5.75 Pt-Co pada dosis 100 mg/L, serta biji kelor sebesar 8.51 Pt-Co yang relatif stabil pada berbagai dosis. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa keberhasilan proses koagulasi–flokulasi dipengaruhi oleh keseimbangan antara mekanisme netralisasi muatan dan pembentukan jembatan antarpartikel (*bridging*), yang menghasilkan flok berukuran besar dan mudah mengendap. Berdasarkan hasil tersebut, dosis optimum ditetapkan pada 50 mg/L untuk biji kelor, 100 mg/L untuk cangkang maggot, dan 150 mg/L untuk tawas, yang selanjutnya digunakan untuk analisis karakterisasi flok.

Karakterisasi Flok Biokoagulan Cangkang Maggot

Analisis ukuran partikel menunjukkan bahwa biokoagulan cangkang maggot menghasilkan flok dengan ukuran rata-rata sebesar 3,222.7 nm, yang menunjukkan terbentuknya agregat berukuran relatif besar dan mendukung proses sedimentasi (Gambar 4). Namun, nilai Polydispersity Index (PDI) yang tinggi (155.82) mengindikasikan distribusi ukuran partikel yang sangat heterogen, yang dapat menurunkan kestabilan sistem (Danaei *et al.*, 2018). Nilai potensial zeta sebesar 8.8 mV menunjukkan bahwa sistem berada pada kondisi muatan rendah, sehingga gaya tolak-menolak antarpartikel berkurang dan memungkinkan terjadinya aglomerasi. Kondisi ini mendukung mekanisme koagulasi melalui interaksi elektrostatis dan pembentukan flok, meskipun stabilitas agregat masih relatif rendah akibat heterogenitas ukuran partikel (Fitri, dkk., 2019).

Z average (nm)	PDI (a.u.)	Std Dev (%)	Diffusion Coeff (m ² /s)	Decay Rate (s ⁻¹)
3222,7	155,8166	12,48	104,44	15,26116E-014
		Mean	Std Dev	
Mobility (µm.cm / V.s)		0,68	1,53	
Zeta Potential (mV)		8,8	19,67	

Gambar 4. Ukuran dan Stabilitas Flok Menggunakan Biokoagulan Cangkang Maggot.

Karakterisasi Flok Biokoagulan Biji Kelor

Biokoagulan biji kelor menghasilkan ukuran flok rata-rata sebesar 66,051.09 nm, yang menunjukkan kemampuan tinggi dalam membentuk agregat berukuran besar (Gambar 5). Nilai PDI sebesar 0.647 menunjukkan distribusi ukuran partikel yang relatif homogen dibandingkan dengan cangkang maggot, sehingga flok yang terbentuk lebih stabil dan seragam. Nilai potensial zeta sebesar -7.7 mV menunjukkan bahwa sistem mengalami penurunan stabilitas koloid akibat netralisasi sebagian muatan. Mekanisme yang dominan adalah *polymeric bridging* oleh protein kationik, yang memungkinkan partikel-partikel kecil bergabung membentuk flok yang lebih besar (Fitri, dkk., 2019). Kondisi ini menjelaskan tingginya efisiensi penurunan kekeruhan yang dihasilkan oleh biokoagulan biji kelor.

Z average (nm)	PDI (a.u.)	Std Dev (%)	Diffusion Coeff (m ² /s)	Decay Rate (s ⁻¹)
66051,09	0,647	0,8	5,1	74,45734E-016
		Mean	Std Dev	
Mobility (µm.cm / V.s)		-0,6	3,99	
Zeta Potential (mV)		-7,7	51,32	

Gambar 5. Ukuran dan Stabilitas Flok Menggunakan Biokoagulan Biji Kelor.

Karakterisasi Flok Koagulan Tawas

Koagulan tawas menghasilkan ukuran flok rata-rata sebesar 11,933.29 nm dengan nilai PDI sebesar 0.3264, yang menunjukkan distribusi ukuran partikel yang homogen dan stabil (Gambar 6). Hal ini mengindikasikan bahwa tawas mampu menghasilkan flok dengan ukuran besar dan keseragaman tinggi. Nilai potensial zeta yang mendekati nol (0 mV) menunjukkan bahwa sistem telah mencapai kondisi isoelektrik, di mana muatan partikel sepenuhnya dinetralkan oleh ion Al³⁺. Kondisi ini menyebabkan hilangnya gaya tolak-menolak antarpartikel dan mempercepat proses aglomerasi, sehingga menghasilkan flok yang stabil dan mudah mengendap (Fitri, dkk., 2019).

Z average (nm)	PDI (a.u.)	Std Dev (%)	Diffusion Coeff (m ² /s)	Decay Rate (s ⁻¹)
11933,29	0,3264	0,57	28,23	41,25705E-015
		Mean	Std Dev	
Mobility (µm.cm / V.s)		0	0,2	
Zeta Potential (mV)		0	2,54	

Gambar 6. Ukuran dan Stabilitas Flok Menggunakan Koagulan Tawas.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa biokoagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) dan cangkang maggot *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) efektif sebagai alternatif koagulan ramah lingkungan dalam pengolahan air Sungai Jagir. Kedua biokoagulan mampu menurunkan kekeruhan, TSS, dan warna secara signifikan melalui mekanisme destabilisasi koloid dan pembentukan flok. Biji kelor menunjukkan kinerja optimum pada dosis 50 mg/L dengan pembentukan flok berukuran besar dan relatif homogen, sedangkan cangkang maggot menunjukkan kinerja optimum pada dosis 100 mg/L dengan kemampuan penurunan TSS yang tinggi meskipun distribusi ukuran flok lebih heterogen. Dibandingkan dengan tawas, biokoagulan menunjukkan efektivitas yang sebanding dengan keunggulan dalam menjaga kestabilan pH serta meminimalkan residu logam. Dengan demikian, biokoagulan berbasis biji kelor dan cangkang maggot berpotensi dikembangkan sebagai koagulan alami yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan untuk pengolahan air sungai tercemar.

DAFTAR PUSTAKA

Danaei, M., Dehghankhold, M., Ataei, S., Hasanzadeh Davarani, F., Javanmard, R., Dokhani, A., Khorasani, S., and Mozafari, Y M. R., 2018. *Impact of Particle Size and Polydispersity Index on*

- The Clinical Applications of Lipidic Nanocarrier Systems*. *Pharmaceutics*. 10(2). DOI: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10020057>.
- Darmawan, A., Siagian, R. A., Wakidah, R. N., Elektro, T., dan Kediri, U. K., 2023. *Simulasi Software PLC dan HMI SIEMENS TIA Portal pada Proses Netralisasi pH Air Limbah*. *Jurnal Tecnoscienza*. 8(1): 145-156. DOI: <https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v8i1.1055>.
- Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., dan Sari, D. A., 2024. *Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia*. *Jurnal Serambi Engineering*. 9(1): 7781–7787.
- Fitri, D., Kiromah, N. Z., dan Widiastuti, T. C., 2019. *Formulasi dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan dengan Metode Gelasi Ionik*. *J Pharm Sci*. 1(1): 61–69.
- Kurniawan, S. B., Abdullah, S. R. S., Imron, M. F., Said, N. S. M., Ismail, N., Hasan, H. A., Othman, A. R., and Purwanti, I. F., 2020. *Challenges and Opportunities of Biocoagulant/Bioflocculant Application for Drinking Water and Wastewater Treatment and Its Potential for Sludge Recovery*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(24). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>.
- Mufida, Y. I., dan Rachmanto, T. A., 2023. *Komparasi Status Mutu Fisik Sungai Jagir menggunakan Metode Indeks Pencemaran, STORET, dan BCWQI*. *Jurnal Envirous*. 4(1): 17-23. DOI: <https://doi.org/10.33005/envirous.v4i1.152>.
- Novenpa, N. N., dan Dzulkiflih, D., 2020. *Alat Pendeteksi Kualitas Air Portable dengan Parameter pH, TDS dan Suhu Berbasis Arduino Uno*. *Inovasi Fisika Indonesia*. 9(2), 85–92.
- Lestari, P. A., dan Purnomo, Y. S., 2023. *Penurunan Kekeruhan dan TSS Air Sungai dengan Memanfaatkan Koagulan dari Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*)*. *Envirous*. 3(2): 25-29. DOI: <https://doi.org/10.33005/envirous.v3i2.7>.
- Putra, D. N., 2021. *Penggunaan Kitosan dari Limbah Cangkang Bekicot (*Acahina fulica*) sebagai Biokoagulan dalam Pengolahan Air Terproduksi*. Skripsi. Program Studi Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Sabela, A., dan Ramadhani, A. N., 2024. *Perancangan Bangunan Pengolahan Air Buangan Rumah Pemotongan Hewan*. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.
- Sari, R. A., Pinem, J. A., dan Daud, S., 2016. *Pemanfaatan Biji Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai Koagulan pada Pengolahan Air Payau menjadi Air Minum Menggunakan Proses Koagulasi Ultrafiltrasi*. *Jom Fteknik*. 3(1): 1-7.
- Setiawati, R. T., dan Titah, H. S., 2019. *Strategi Pengelolaan Mangrove di Ekowisata Mangrove Wonorejo Surabaya*. Tesis. Program Magister Bidang Keahlian Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.
- Syahbanah, N., 2016. *Efektivitas Ekstrak NaCl Biji Kelor (*Moringa oleifera*) sebagai Koagulan Sampel Fosfat*. Tesis. Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.