

# Perbandingan Koagulan Komersial dan Biokoagulan Biji Pepaya Pada Flokulasi *Hydrocyclone* Terbuka Dalam Menurunkan *Total Suspended Solid (TSS)*

Maulana Rohman Bahari, Aussie Amalia\*

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

\*Koresponden email: aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 25 November 2024

Disetujui: 1 Desember 2024

## Abstract

Various methods of clean water treatment have been developed to meet the needs of communities, one of which is coagulation-flocculation, an effective process for removing TSS and turbidity. This process involves mixing coagulants to form flocs, followed by aggregation of suspended particles to facilitate sedimentation. Reactor modifications, such as hydrocyclone flocculators, are designed to improve efficiency, although their effectiveness depends on the size and density of the flocs. Chemical coagulants such as alum and PAC are widely used because of their effectiveness, but their residues can be potentially toxic. As an alternative, biocoagulants such as papaya seeds have been developed to provide a safer solution and produce biodegradable residues. A study was carried out to compare the efficacy of alum, PAC and biocoagulants using a hydrocyclone flocculator with test waters representing low, medium and high TSS levels. Samples were taken at 0, 5, 10, 15 and 20 minutes. The results showed that PAC had the highest efficiency with an average of 78.9% for high TSS, 75% for moderate TSS and 70.8% for low TSS.

**Keywords:** *flocculation, hydrocyclone flocculator, coagulation, TSS*

## Abstrak

Berbagai metode pengolahan air bersih telah dikembangkan sesuai kebutuhan masyarakat, salah satunya adalah koagulasi-flokulasi yang efektif untuk menghilangkan TSS dan kekeruhan. Proses ini melibatkan pencampuran koagulan untuk membentuk flok, diikuti dengan penggabungan partikel tersuspensi agar mudah diendapkan. Modifikasi reaktor, seperti flokulator hydrocyclone, dirancang untuk meningkatkan efisiensi proses ini, meskipun efektivitasnya bergantung pada ukuran dan densitas partikel flok. Koagulan kimia seperti alum dan PAC banyak digunakan karena efektivitasnya, tetapi residunya berpotensi toksik. Sebagai alternatif, biokoagulan seperti biji pepaya dikembangkan untuk menawarkan solusi yang lebih aman dan menghasilkan residu yang biodegradable. Penelitian perbandingan efisiensi koagulan alum, PAC, dan biokoagulan dilakukan pada flokulator hydrocyclone dengan air uji yang mewakili kadar TSS rendah, sedang, dan tinggi. Sampel diambil pada menit ke-0, 5, 10, 15, dan 20. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PAC memiliki efisiensi tertinggi, dengan rata-rata 78,9% pada kadar TSS tinggi, 75% pada kadar TSS sedang, dan 70,8% pada kadar TSS rendah.

**Kata Kunci:** *flokulasi, flokulator hydrocyclone, koagulasi, TSS*

## 1. Pendahuluan

Saat ini metode pengolahan air bersih telah banyak dikembangkan demi menunjang kebutuhan masyarakat. Setiap metode dikembangkan dengan mempertimbangkan jenis parameter air yang akan diolah. Koagulasi-flokulasi merupakan salah satu metode yang dikembangkan untuk menyisahkan parameter *total suspended solid (TSS)*, dimana metode ini adalah yang paling umum digunakan dalam proses penjernihan air dengan kekeruhan tinggi. Sesuai dengan namanya, koagulasi-flokulasi mencakup dua tahapan utama yaitu koagulasi dan flokulasi. Tahap koagulasi melibatkan pencampuran koagulan yang berfungsi sebagai agen untuk membantu pembentukan awal flok [1]. Sementara itu, flokulasi merupakan proses pembesaran flok melalui interaksi antar partikel tersuspensi berdasarkan prinsip gaya *van der Waals*, sehingga menghasilkan flok yang lebih besar dan mudah mengendap [2].

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan, metode flokulasi mengalami berbagai macam modifikasi mulai dari flokulasi dengan pengaduk, baffle channel, hingga flokulasi *hydrocyclone*. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses sekaligus menekan biaya operasional. Flokulator *hydrocyclone* merupakan salah satu jenis flokulasi yang dikembangkan saat ini dengan keunggulannya dapat mengakomodir debit dalam jumlah besar, struktur sederhana, dan biaya operasional

rendah. Meskipun memiliki banyak kelebihan, flokulator *hydrocyclone* ini juga memiliki kekurangan yaitu efisiensinya sangat dipengaruhi oleh ukuran dan densitas partikel yang diendapkan [3]. Oleh karena itu untuk mendapatkan efisiensi penyisihan TSS yang tinggi, flokulator jenis ini memerlukan penggunaan jenis koagulan yang mampu menghasilkan flok dengan dimensi dan densitas yang besar.

Saat ini koagulan alum ( $Al_2(SO_4)_3$ ) dan PAC (*Poly aluminium Chloride*) merupakan jenis koagulan yang paling umum digunakan [4]. Kedua jenis koagulan ini memiliki sejumlah keunggulan, seperti efisiensi tinggi dalam penyisihan TSS, ekonomis, ketersediaan yang luas, serta kemampuan bekerja efektif pada air dengan rentang TSS dan pH yang beragam. Meskipun demikian, terdapat perbedaan karakteristik antara keduanya dalam pembentukan flok, dimana PAC cenderung membentuk flok yang lebih kecil, padat dan kuat dibandingkan alum sehingga memiliki massa jenis yang lebih tinggi [5]. Disisi lain alum juga memiliki kelebihan dibandingkan PAC yaitu harganya lebih murah serta dapat membentuk flok yang lebih besar [6]. Meski demikian, koagulan kimia seperti alum dan PAC ini memiliki kekurangan yang sama yaitu menghasilkan residu kimia yang berpotensi menyebabkan toksisitas dan merubah pH air serta menghasilkan lumpur non biodegradable [7]. Untuk mengatasi masalah ini, biokoagulan menjadi alternatif yang potensial meskipun efisiensinya sedikit lebih rendah dibandingkan koagulan kimia.

Salah satu biokoagulan yang dapat bersaing dengan koagulan kimia adalah biokoagulan biji pepaya. Biokoagulan berbasis protein ini memiliki efisiensi penyisihan kekeruhan yang tinggi yaitu 92,2% [8]. Selain itu jenis-jenis biokoagulan tertentu menunjukkan hasil yang lebih stabil pada perbedaan penggunaan dosis. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan [9] dimana biokoagulan berbasis protein (*Moringa oleifera*) menunjukkan hasil penyisihan kekeruhan yang lebih stabil dibandingkan PAC. Berdasarkan hal-hal tersebut diperlukan penelitian mengenai pengaruh jenis koagulan alum ( $Al_2(SO_4)_3$ ), PAC (*Poly Aluminium Chloride*), dan biokoagulan biji pepaya terhadap perbedaan kadar TSS air pada flokulator *hydrocyclone* untuk mengetahui jenis koagulan yang cocok untuk mengolah air dengan kadar TSS tertentu.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Metode Pembuatan Sampel

Sampel air yang digunakan merupakan sampel air *artificial* yang dibuat dengan melarutkan kaolin. Sampel air dibuat dalam tiga kadar TSS yang berbeda yaitu kadar TSS rendah (<50 mg/L), sedang (50-100 mg/L), dan tinggi (>100 mg/L).

### 2.2 Metode Pembuatan Biokoagulan

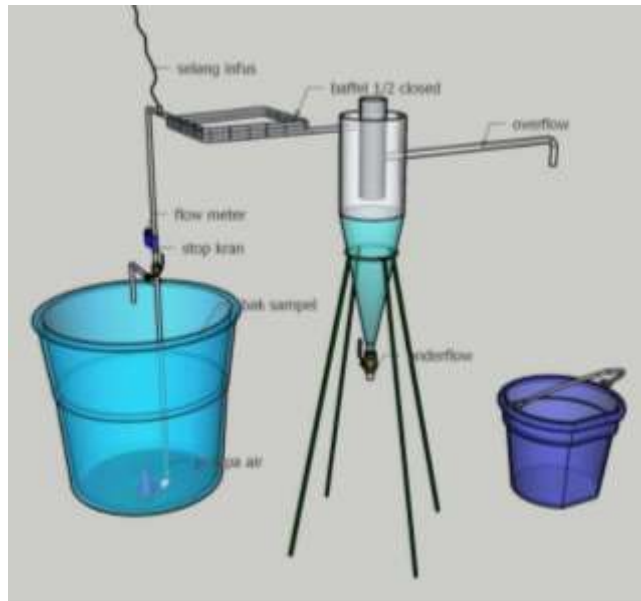
Pembuatan biokoagulan dari biji pepaya didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Nisrina Beauty Alfirdaus, *et.al.* (2023) [10]. Biokoagulan dibuat dengan mengekstrak serbuk biji pepaya berukuran 200 mesh (74  $\mu$ m) yang telah melalui proses pengeringan sinar matahari 1 hari dan oven 100°C selama 1 jam. Proses ekstraksi dilakukan dengan melarutkan serbuk 1 g biji pepaya kedalam 100 ml larutan NaCl 1 M selama 15 menit kemudian dilakukan penyaringan dengan kertas saring untuk diambil filtratnya (biokoagulan).

### 2.2 Metode Penentuan Dosis Optimum

Penentuan dosis optimum dilakukan dengan metode jar test dimana koagulan akan diuji penggunaan konsentrasinya berdasarkan sampel yang digunakan. Dosis optimum koagulan didasarkan pada besarnya tingkat penyisihan TSS dari air sampel.

### 2.3 Metode Percobaan Sampel

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental guna mengetahui kualitas biokoagulan biji pepaya dengan pembanding koagulan alum dan PAC. Sampel yang digunakan berupa sampel *artificial* dibuat dengan melarutkan kaolin pada akuadest sehingga didapatkan air dengan kadar TSS tertentu. Kombinasi reaktor koagulasi pipa dan flokulator *hydrocyclone* terbuka dipilih sebagai reaktor uji dengan detail desain sebagai berikut.



**Gambar 1.** Unit Pengolahan Air Menggunakan Koagulasi Pipa dan Flokulasi *Hydrocyclone*  
 Sumber: Dokumen Pribadi (2024)

Pada penelitian ini sampel air dialirkan secara terus menerus melalui reaktor koagulasi pipa berkelok yang dilengkapi dengan baffle 1/2 close untuk mendapatkan gradien yang sesuai dengan kriteria koagulasi. Air yang telah melewati koagulasi pipa berkelok selanjutnya akan masuk ke dalam flokulator *hydrocyclone* yang mana dalam reaktor ini flok akan diperbesar dan mengendap pada bagian underflow dan air yang telah bersih akan keluar melalui *overflow*. Flokulator *hydrocyclone* dibuat berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Taufik Abdullah (2018) [11] Pada saat penelitian berlangsung, lumpur yang ada pada *underflow* tidak dilakukan pengurasan. Pengambilan sampel air dilakukan pada waktu 0, 5, 10, 15 dan 20 menit. Pengambilan sampel air pada menit ke-0 dilakukan pada bak penampung awal sedangkan untuk sampel pada menit ke-5, 10, 15 dan 20 dilakukan pada *overflow hydrocyclone*. Sampel yang diuji merupakan sampel yang langsung keluar dari flokulator *hydrocyclone* tanpa adanya sedimentasi tambahan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Analisis Penurunan TSS pada Air dengan TSS Tinggi

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap sampel air dengan kadar TSS tinggi dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

**Tabel 1.** Data % Penyisihan TSS pada Air Sampel dengan TSS tinggi

Jenis Koagulan	Dosis (ml/L)	Efisiensi Penyisihan TSS (%)				
		Waktu Sampling (Menit)				
		0	5	10	15	20
PAC	16	0%	80%	80%	76%	78%
Tawas	18	0%	82%	82%	78%	76%
Biokoagulan Biji Pepaya	70	0%	67%	67%	67%	63%

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

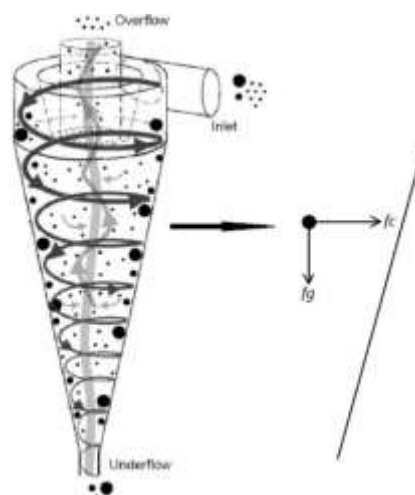
Penelitian terhadap sampel air dengan TSS tinggi menunjukkan bahwa tawas memiliki efisiensi tertinggi dalam proses penyisihan TSS, diikuti oleh PAC, sementara biokoagulan biji pepaya menunjukkan efisiensi yang paling rendah. Meskipun perbedaannya tidak signifikan, pada air dengan TSS tinggi, tawas terbukti lebih unggul dibandingkan PAC. Pada menit ke-5, tawas mampu menyisihkan 82% TSS dan mempertahankan efisiensi ini hingga menit ke-10. Namun, setelah menit ke-15, efisiensi penyisihan tawas sedikit menurun menjadi 78%, dan berlanjut menurun pada menit ke-20 menjadi 76%. Penurunan efisiensi ini kemungkinan disebabkan oleh terjadinya *partial mixing* antara air yang masuk dan air yang keluar melalui *overflow* [12]. Fenomena *partial mixing* tersebut terjadi akibat tingginya laju aliran *overflow* serta

rendahnya rasio gaya sentrifugal terhadap gaya gravitasi ( $f_c/f_g$ ) sehingga menyebabkan beberapa flok tidak bergerak menuju dinding *hydrocyclone* melainkan tetap berada di bagian tengah dan mendekati aliran aksial yang menuju ke *overflow*. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa PAC memiliki efisiensi penyisihan yang sedikit lebih rendah dibandingkan tawas. Pada menit ke-5, PAC mampu mepenyisihan 80% TSS dan mempertahankan nilai tersebut hingga menit ke-10. Akan tetapi, pada menit ke-15 terjadi penurunan efisiensi menjadi 76% sebelum sedikit meningkat kembali menjadi 78% pada menit ke-20. Penurunan efisiensi pada PAC di menit ke-15 dan ke-20 dapat dijelaskan dengan mekanisme yang sama dengan yang terjadi pada tawas, yakni akibat "*partial mixing*" yang disebabkan oleh tingginya *overflowrate*.

Disisi lain, biokoagulan biji pepaya menunjukkan efisiensi removal yang lebih rendah dibandingkan tawas dan PAC namun relatif lebih stabil selama proses penelitian berlangsung. Pada menit ke-5 hingga menit ke-15, efisiensi biokoagulan biji pepaya stabil pada angka 67% kemudian menurun menjadi 63% pada menit ke-20. Disaat koagulan lain mulai menunjukkan penurunan efisiensi pada menit ke-15, biokoagulan biji pepaya baru mengalami penurunan pada menit ke-20. Hal ini dapat dijelaskan oleh rendahnya efisiensi biokoagulan biji pepaya sehingga menghasilkan lebih sedikit lumpur flok yang mengendap di *hydrocyclone*. Endapan lumpur yang lebih sedikit ini mengurangi potensi endapan hanyut dan terbawa arus menuju *overflow*.

Berdasarkan **Tabel 1** dapat dilihat bahwa kinerja koagulan terbaik untuk air dengan kadar TSS tinggi yaitu koagulan tawas disusul oleh PAC serta biokoagulan biji pepaya. Temuan ini sedikit berbeda dari tren umum, di mana PAC biasanya menunjukkan efisiensi penyisihan yang lebih tinggi dibandingkan tawas. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh karakteristik pembentukan flok dari masing-masing koagulan serta mekanisme pengendapan flok dalam *hydrocyclone*. Penelitian yang dilakukan oleh Su Zhaoyang *et al.* (2017) [13] menyebutkan bahwa tawas cenderung menghasilkan flok yang lebih besar tetapi dengan densitas yang lebih rendah, sedangkan PAC membentuk flok yang lebih kecil, padat, dan kompak. Hal ini berkaitan dengan sifat hidrolisis tawas yang lebih sederhana dibandingkan PAC, sehingga spesies hidroksida yang terbentuk memiliki muatan lebih rendah. Hidrolisis yang lebih sederhana ini menghasilkan gaya tarik-menarik antar partikel yang lebih lemah, sehingga partikel tersuspensi cenderung membentuk ikatan yang lebih besar namun lebih longgar. Flok yang terbentuk oleh tawas lebih mudah terdorong menuju dinding *hydrocyclone* untuk kemudian diendapkan pada bagian *underflow*.

Sebaliknya, PAC yang membentuk flok lebih kecil dan padat cenderung kurang optimal pada reaktor *hydrocyclone* dengan rasio gaya sentrifugal terhadap gravitasi ( $f_c/f_g$ ) yang rendah, sekitar 0,028. Nilai  $f_c/f_g$  yang rendah ini membuat flok dengan densitas lebih rendah lebih mudah dipisahkan dan didorong pada dinding *hydrocyclone*. Oleh karena itu, tawas lebih sesuai digunakan untuk mengolah air dengan kadar TSS tinggi dalam reaktor *hydrocyclone* dibandingkan PAC, karena flok yang lebih besar dan ringan akan lebih efektif terdorong ke dinding dan mengurangi potensi terbawanya flok ke saluran *overflow* pada bagian tengah reaktor. Proses ini dapat diamati pada ilustrasi yang disajikan dalam gambar berikut.



**Gambar 1.** Cara Kerja *Hydrocyclone*

Berdasarkan data yang ditampilkan sebelumnya, biokoagulan biji pepaya menunjukkan efisiensi penyisihan TSS yang paling rendah dibandingkan dengan koagulan lainnya. Rendahnya efisiensi ini disebabkan oleh mekanisme flokulasi yang berlangsung relatif cepat dalam reaktor *hydrocyclone* menyebabkan biokoagulan biji pepaya tidak dapat bekerja secara optimal. Secara umum, biokoagulan

mempunyai waktu yang lebih lama untuk membentuk flok dibandingkan dengan koagulan kimia dikarenakan mekanisme pembentukan floknya yang lebih kompleks. Biokoagulan berbasis protein memfasilitasi pembentukan flok melalui gugus fungsional seperti gugus hidroksil dan karboksil [14]. Gugus-gugus tersebut dapat terionisasi, melepaskan partikel bermuatan yang menetralkan partikel tersuspensi untuk memfasilitasi pembentukan flok yang lebih besar melalui proses penghubungan antar partikel (*bridging*) dan adsorpsi. Kompleksitas mekanisme pembentukan flok oleh biokoagulan inilah yang menyebabkan biokoagulan memerlukan waktu flokulasi yang lebih lama dibandingkan koagulan kimia. Secara keseluruhan, biokoagulan biji pepaya membutuhkan durasi yang lebih lama untuk mencapai efisiensi maksimum dalam penyisihan TSS sehingga kurang cocok untuk diterapkan pada reaktor yang memiliki waktu flokulasi relatif singkat seperti flokulator *hydrocyclone*.

### 3.2 Analisis Penurunan TSS pada Air dengan TSS Sedang

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap sampel air dengan kadar TSS sedang dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data % Penyisihan TSS pada Air Sampel dengan TSS sedang

Jenis Koagulan	Dosis (ml/L)	Efisiensi Penyisihan TSS (%)				
		Waktu Sampling (Menit)				
		0	5	10	15	20
PAC	7	0%	75%	75%	75%	75%
Tawas	8	0%	79%	79%	79%	75%
Biokoagulan Biji Pepaya	35	0%	62%	62%	62%	62%

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 2, kinerja flokulator *hydrocyclone* dalam mengolah air baku dengan kadar TSS sedang menunjukkan hasil yang hampir serupa dengan air ber-TSS tinggi dalam hal efisiensi penyisihan TSS. Meskipun demikian, kinerja flokulator *hydrocyclone* dalam menyisihkan TSS pada air dengan TSS sedang cenderung lebih stabil dibandingkan saat mengolah air dengan TSS tinggi yang mengalami penurunan efisiensi untuk ketiga jenis koagulan selama penelitian berlangsung. Pada air baku air dengan TSS sedang ini, penurunan efisiensi hanya terjadi pada koagulan tawas yang memiliki rata-rata persen penyisihan tertinggi. Koagulan tawas menghasilkan efisiensi penyisihan 79% pada menit ke-5 hingga menit ke-15 kemudian mengalami penurunan efisiensi pada menit ke-20 menjadi 75%. Penurunan ini disebabkan oleh efisiensi penyisihan yang tinggi oleh koagulan tawas menghasilkan akumulasi lumpur flok lebih banyak pada *hydrocyclone* dibandingkan koagulan lainnya.

Akumulasi lumpur flok yang lebih banyak di bagian bawah *hydrocyclone* meningkatkan potensi flok untuk terbawa aliran menuju overflow, sehingga mengurangi efisiensi penyisihan. Sementara itu PAC menunjukkan hasil yang konstan dengan efisiensi penyisihan 75% mulai dari menit ke-5 hingga menit ke-20, disusul dengan biokoagulan biji pepaya dengan efisiensi penyisihan 62% mulai dari menit ke-5 hingga menit ke-20. Dalam penelitian ini koagulan tawas terbukti memberikan efisiensi tertinggi, diikuti oleh PAC dengan selisih yang relatif kecil, sementara biokoagulan biji pepaya menunjukkan efisiensi paling rendah.

### 3.3 Analisis Penurunan TSS pada Air dengan TSS Rendah

Hasil pengujian yang dilakukan terhadap sampel air dengan air baku air dengan TSS rendah dapat dilihat pada Tabel 3 berikut,

Tabel 3. Data % Penyisihan TSS pada Air Sampel dengan TSS rendah

Jenis Koagulan	Dosis (ml/L)	Efisiensi Penyisihan TSS (%)				
		Waktu Sampling (Menit)				
		0	5	10	15	20
PAC	3,8	0%	67%	67%	75%	75%
Tawas	4	0%	58%	58%	58%	58%
Biokoagulan Biji Pepaya	20	0%	50%	50%	50%	50%

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Berdasarkan **Tabel 3**, kinerja flokulator *hydrocyclone* dalam pengolahan air baku dengan TSS rendah menunjukkan penurunan efisiensi dibandingkan saat mengolah air dengan TSS sedang. Penurunan efisiensi ini terlihat pada penggunaan semua jenis koagulan, termasuk PAC, tawas, serta biokoagulan biji pepaya. Penurunan efisiensi ini terjadi karena konsentrasi TSS yang lebih rendah pada air baku akan mengurangi frekuensi tumbukan antar partikel tersuspensi sehingga memperlambat proses pembentukan flok yang lebih besar. Koagulan tawas dan biokoagulan biji pepaya menghasilkan efisiensi penyisihan yang konstan dari menit ke-5 hingga menit ke-20, dimana koagulan tawas menghasilkan efisiensi penyisihan 58% dan biokoagulan biji pepaya menghasilkan efisiensi penyisihan 50%. Disisi lain PAC mengalami perubahan efisiensi penyisihan selama penelitian berlangsung dari yang semula sebesar 67% pada menit ke-5 dan menit ke-10 kemudian mengalami peningkatan pada menit ke-15 dan ke-20 menjadi 75%.

Di antara ketiga koagulan yang diuji, PAC menunjukkan efisiensi yang lebih baik. Hal ini dapat dijelaskan oleh sifat hidrolisis PAC yang lebih cepat dan stabil, yang menghasilkan polihidroksida dengan rantai molekul yang lebih panjang serta muatan listrik yang lebih tinggi. Polihidroksida ini meningkatkan interaksi elektrostatis dengan partikel tersuspensi, yang memperkuat gaya fisik selama proses flokulasi dan mempercepat pembentukan flok yang lebih kompak dan stabil [15]. Selain itu, kemampuan PAC juga memungkinkan terjadinya pengikatan kembali antara flok yang baru terbentuk dengan flok yang mulai mengendap atau yang pecah akibat peningkatan gradien kecepatan saat air mencapai bagian *cone*, sehingga menghasilkan flok yang lebih besar dan tidak mudah terbawa aliran air yang menuju *overflow*. Dengan adanya proses ini, flok yang sebelumnya berukuran relatif kecil karena kurangnya interaksi tumbukan antar partikel menjadi lebih besar dan menghasilkan peningkatan efisiensi penyisihan setelah reaktor berjalan selama beberapa waktu, dimana jumlah partikel tersuspensi dalam air merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi proses koagulasi melalui interaksi tumbukan antar partikel tersebut [16].

Kemampuan PAC untuk bekerja dengan efektif pada konsentrasi TSS rendah menjadikannya lebih unggul dalam mengolah air dengan TSS rendah dibandingkan koagulan lainnya. Di sisi lain, efisiensi biokoagulan biji pepaya sangat bergantung pada interaksi antara gugus fungsional yang dihasilkan oleh biokoagulan dengan partikel tersuspensi melalui mekanisme netralisasi muatan dan bridging. Karena biokoagulan ini memerlukan waktu dan konsentrasi partikel yang cukup untuk bekerja optimal, penurunan jumlah partikel tersuspensi dalam air sampel dengan kadar TSS rendah ini dapat mengurangi efektifitas biokoagulan dalam membentuk flok yang besar dan stabil. Dengan demikian, semakin rendah konsentrasi TSS dalam air, semakin terbatas kemampuan biokoagulan biji pepaya untuk mencapai efisiensi penyisihan yang optimal.

### 3.4 Analisis ANOVA Hasil Pengujian % Penyisihan TSS

Analisis ANOVA One-way digunakan untuk membandingkan rata-rata efisiensi dari 3 jenis koagulan sehingga dapat diketahui perbedaan signifikannya secara statistik dan jenis koagulan terbaik untuk menyisihkan parameter TSS secara keseluruhan. Hasil dari analisis anova untuk % penyisihan TSS dapat dilihat sebagai berikut.

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Jenis Koagulan	2	0,1643	0,082141	13,84	0,000
Error	33	0,1958	0,005934		
Total	35	0,3601			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0770304	45,62%	42,33%	35,29%

#### Means

Jenis Koagulan	N	Mean	StDev	95% CI
Alum	12	0,7212	0,1038	(0,6760; 0,7664)
Biokoagulan Biji Pepaya	12	0,5940	0,0714	(0,5487; 0,6392)
PAC	12	0,7492	0,0438	(0,7039; 0,7944)

Pooled StDev = 0,0770304

Hasil analisis ANOVA One-Way yang dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jenis koagulan terhadap % *penyisihan* TSS menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan di antara kelompok koagulan yang diuji, yaitu alum, biokoagulan biji pepaya dan PAC. Berdasarkan hasil uji statistik didapatkan nilai P-Value sebesar 0,000 menolak hipotesis nol yang menyatakan bahwa rata-rata % *penyisihan* TSS untuk ketiga kelompok koagulan adalah sama. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jenis koagulan berpengaruh signifikan terhadap persentase penghilangan Total Suspended Solids (TSS). Selain itu, nilai F-Value yang cukup besar yaitu 13,84, juga mendukung kesimpulan bahwa perbedaan ini nyata dan bukan terjadi secara kebetulan.

Koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 45,62% menunjukkan bahwa hampir setengah dari variasi dalam % *penyisihan* TSS dapat dijelaskan oleh perbedaan jenis koagulan yang digunakan, sementara 54,38% lainnya mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak termasuk dalam model ini seperti reaktor uji atau kondisi eksperimen yang berbeda. Setelah dilakukan perhitungan penyesuaian untuk jumlah derajat bebas, didapatkan nilai R-sq(adj) sebesar 42,33% sedikit lebih rendah yang mengindikasikan bahwa model ini sedikit kehilangan kekuatan penjelas setelah memperhitungkan variabilitas sampel. Meski demikian, nilai ini tetap menunjukkan bahwa jenis koagulan memberikan kontribusi yang cukup penting dalam memengaruhi hasil.

Secara keseluruhan, hasil uji statistik ini menunjukkan bahwa jenis koagulan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap % *penyisihan* TSS, dengan PAC secara konsisten menunjukkan kinerja terbaik di antara ketiga jenis koagulan yang diuji. Meskipun model ini cukup baik dalam menjelaskan variabilitas penghilangan TSS, ada kemungkinan bahwa faktor-faktor lain seperti reaktor uji yang digunakan atau kondisi lingkungan, juga turut berperan dalam menentukan efektivitas koagulan. Penelitian lebih lanjut mungkin diperlukan untuk mengeksplorasi faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi penghilangan TSS secara lebih komprehensif.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang membandingkan kinerja biokoagulan biji pepaya dengan koagulan kimia konvensional seperti alum dan PAC, dapat disimpulkan bahwa biokoagulan biji pepaya belum mampu bersaing secara efektif dalam flokulasi hidrosiklon. Meskipun keunggulannya utama dalam menghasilkan lumpur yang dapat terurai secara biologis, efisiensi biokoagulan ini dalam menghilangkan TSS jauh lebih rendah dibandingkan dengan koagulan komersial seperti PAC dan Alum. Studi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efektivitas biokoagulan biji pepaya dalam proses pengolahan air. Meskipun sifatnya yang ramah lingkungan menjanjikan, perbaikan diperlukan untuk membuatnya sebagai alternatif yang layak untuk koagulan tradisional. Dengan meningkatkan efisiensinya dalam penghilangan TSS dan kinerja secara keseluruhan, biokoagulan biji pepaya bisa menjadi pilihan yang lebih kompetitif untuk aplikasi pengolahan air di masa depan.

#### 5. Referensi

- [1] Ekoputri, S. A.; Rahmatunnissa, A.; Nulfaidah, F.; Ratnasari, Y.; Djaeni, M.; & Sari, D. A. (2024). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Serambi Engineering*, IX.
- [2] Anggarani, B. A. (2015). *Peningkatan Efektifitas Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Aluminium Sulfat dan Polydamac*. Tugas Akhir. Surabaya : ITS.
- [3] Rahmawati, D. & Santoso, B. (2017). Pengaruh Head dan Luas Underflow terhadap Efisiensi Pemisahan Sedimen *Hydrocyclone*. *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*. 4(1), 24-31.
- [4] Said, N. I. (2014). Teknologi Pengolahan Air Asam Tambang Batubara “Alternatif Pemilihan Teknologi”. *Jurnal Air Indonesia*. 7(2).
- [5] Luo, Y.; Gao, B.; Wang, J.; & Yue, Q. (2019). Synchronous *penyisihan* of CuO nanoparticles and  $\text{Cu}^{2+}$  by polyaluminum chloride-Enteromorpha polysaccharides: Effect of Al species and pH. *Journal of Environmental Sciences*.
- [6] Su, Z.; Li, X.; & Yang, Y. (2017). Regrowth ability and coagulation behavior by second dose: Breakage during the initial flocculation phase. *Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects*.
- [7] Halder, A. (2021). Bio-Coagulants, a Substitute of chemical Coagulants. *Journal of Advanced Scientific Research*, 12 (4), 56-67.
- [8] Airun, N. H. (2020). *Pemanfaatan Biji Pepaya (Carica papaya L.) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Batik*. Skripsi. Yogyakarta : UII Yogyakarta.

- [9] Putra, R. S; Ayu, M; Amri, R. Y. (2019). Performance Comparison between Biocoagulant Based on Protein and Tannin Compared with Chemical Coagulant. *Trans Tech Publication*. 840(29-34).
- [10] Alfirdaus, Nisrina Beauty. (2023). *Analisis Kinetika Degradasi TSS dan Kekeruhan Menggunakan Koagulan Carica Papaya Pada Pengolahan Air Limbah Laundry*.
- [11] Abdullah, T., (2018). *Studi Penurunan Kekeruhan Air Permukaan Dengan Proses Flokulasi Hydrocyclone Terbuka*.
- [12] Vijay, V. K., and Agarwel, U. S. (2008). *Study on Centrifugal Clarification of Sugarcane Juice-Possibilities and Limitation*. Agricultural Engineering International. The CIGR E-Journal. Vol. 10 Hal. 1 – 11.
- [13] Su, Z; Li, X; & Yang, Y. (2017). Regrowth ability and coagulation behavior by second dose: Breakage during the initial flocculation phase. *Colloids and Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects*.
- [14] Putra, R. S., Ayu, M., & Amri, R. Y. (2020). Performance Comparison between Biocoagulant Based on Protein and Tannin Compared with Chemical Coagulant. *In Key Engineering Materials* (Vol. 840, pp. 29–34). Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.840.29>.
- [15] Septianto, F., Masrida, R., & Nuraliyah, A. (2024). Analisis pembuatan dan penggunaan koagulan poly aluminium chloride (PAC) pada proses penjernihan air. *Dynamics in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 1(1), 58–71. <https://doi.org/10.61511/dynames.v1i1.737>.
- [16] Al Kholif, Muhammad. (2020). *Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka.