Terbit *online* pada laman web jurnal :http://jurnaldampak.ft.unand.ac.id/

Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas

| ISSN (Print) 1829-6084 |ISSN (Online) 2597-5129|

Artikel Penelitian

Kemampuan Unit Koagulasi-Flokulasi untuk Menurunkan Total Fosfat dan COD dalam Pengolahan Air Sungai Menggunakan Koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ dan $Al_2(SO_4)_3$

Muhamad Ruby Syahputra [1)], Eddy Setiadi Soedjono[1]*

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*Koresponden: rubysyahputra9@gmail.com

Diterima: 30 Mei 2025 Diperbaiki: 2 Juli 2025 Disetujui: 7 Juli 2025

ABSTRACT

Rivers are vital water resources that support various human activities, yet increasing domestic, industrial, and agricultural waste has degraded river water quality. The Jagir River, part of the Brantas River watershed in Surabaya, receives a domestic pollutant load of approximately 75.48 tons per day, leading to elevated Chemical Oxygen Demand (COD) and total phosphate levels that contribute to eutrophication and reduced dissolved oxygen. This study aims to evaluate the effectiveness of the coagulation-flocculation process using aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) and ferric sulfate ($Fe_2(SO_4)_3$) coagulants under different velocity gradients (701.48 s^{-1} and 802.2 s^{-1}) and seasonal raw water conditions (rainy and summer seasons). The treatment was conducted in a jar test apparatus followed by sedimentation. Results showed that $Fe_2(SO_4)_3$ at a velocity gradient of 802.2 s^{-1} achieved the highest removal efficiencies, with COD reductions of 68.4% in the rainy season and 88.1% in the summer, and total phosphate removal reaching 96.77% in the summer. In contrast, $Al_2(SO_4)_3$ at 701.48 s^{-1} demonstrated the lowest performance, particularly in COD removal during the rainy season, with an efficiency of only 22.03%. The superior performance of $Fe_2(SO_4)_3$ is attributed to the ability of Fe^{3+} ions to form larger, denser, and more stable flocs that effectively adsorb and precipitate organic matter and phosphate. Therefore, $Fe_2(SO_4)_3$ under high velocity gradients is recommended as the most effective coagulant for improving river water quality across varying seasonal conditions.

Keyword: Coagulation-Flocculation, Chemical Oxygen Demand, Total Phosphate, Coagulant $Fe_2(SO_4)_3$, Coagulant $Al_2(SO_4)_3$

ABSTRAK

Sungai merupakan sumber daya air yang sangat penting untuk mendukung berbagai aktivitas manusia, namun peningkatan limbah domestik, industri, dan pertanian telah menurunkan kualitas air sungai. Sungai Jagir, yang merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas di Surabaya, menerima beban pencemar domestik sekitar 75,48 ton per hari, sehingga menyebabkan tingginya kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan total fosfat yang memicu eutrofikasi serta penurunan kadar oksigen terlarut. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas proses koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) dan feri sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$) pada variasi gradien kecepatan (701,48 detik^{-1} dan 802,2 detik^{-1}) dan kondisi air baku musiman (musim hujan dan musim kemarau). Proses pengolahan dilakukan dengan jar test diikuti sedimentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa $Fe_2(SO_4)_3$ pada gradien kecepatan 802,2 detik^{-1} memberikan efisiensi penyisihan tertinggi, dengan penurunan COD sebesar 68,4% pada musim hujan dan 88,1% pada musim kemarau, serta penyisihan total fosfat mencapai 96,77% pada musim kemarau. Sebaliknya, $Al_2(SO_4)_3$ pada gradien 701,48 detik^{-1} menunjukkan kinerja terendah, khususnya pada penyisihan COD musim hujan dengan efisiensi hanya 22,03%. Keunggulan $Fe_2(SO_4)_3$ ini diduga disebabkan oleh kemampuan ion Fe^{3+} dalam membentuk flok yang lebih besar, padat, dan stabil sehingga efektif mengadsorpsi serta mengendapkan bahan organik dan fosfat. Dengan demikian, $Fe_2(SO_4)_3$ pada gradien kecepatan tinggi direkomendasikan sebagai koagulan yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas air sungai pada berbagai kondisi musim.

Kata Kunci: Koagulasi-Flokulasi, *Chemical Oxygen Demand*, Total Fosfat, Koagulan $Fe_2(SO_4)_3$, Koagulan $Al_2(SO_4)_3$

 Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International.

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan sumber daya air penting yang menunjang kebutuhan manusia, mulai dari air bersih, irigasi, hingga aktivitas industri. Namun, meningkatnya pembuangan limbah domestik, industri, dan pertanian menyebabkan pencemaran sungai yang berdampak pada penurunan kualitas air. Sungai Jagir, bagian dari DAS Brantas di Surabaya, tercatat menerima beban pencemar domestik sekitar 75,48 ton per hari (Della, 2014). Limbah ini banyak berasal dari deterjen, laundry, serta industri, sehingga kadar pencemar dalam air sering melebihi baku mutu yang ditetapkan (Mawaddati, 2021).

Parameter kualitas air yang sering melebihi ambang batas adalah COD dan total fosfat. COD menunjukkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik dan anorganik dalam air; semakin tinggi nilainya, semakin tinggi pula kandungan pencemar. Sementara itu, total fosfat banyak bersumber dari deterjen dan pupuk pertanian. Kadar fosfat yang tinggi dapat memicu eutrofikasi, yaitu ledakan populasi alga yang kemudian mati dan terdekomposisi, sehingga meningkatkan senyawa organik dan COD dalam air (Sutamihardja, 2018). Hal ini tidak hanya mengganggu ekosistem, tetapi juga meningkatkan beban pada unit pengolahan air.Pengolahan air sungai untuk menurunkan kadar COD dan fosfat dapat dilakukan melalui proses fisik, kimia, maupun biologis. Salah satu metode kimia yang efektif adalah koagulasi-flokulasi, yaitu penambahan koagulan seperti ferri sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$) atau aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) untuk menggumpalkan partikel tersuspensi, koloid, serta bahan organik agar mudah diendapkan. Proses ini dipengaruhi oleh jenis koagulan, dosis, kecepatan pengadukan, dan karakteristik air baku. Penelitian sebelumnya menunjukkan efisiensi penyisihan COD hingga 90,53% dan total fosfat hingga 98,77% dengan penggunaan koagulan ini (Fatimah, 2019).

Pengaturan dosis dan gradien kecepatan sangat penting agar flok terbentuk optimal. Dosis yang terlalu rendah mengurangi tumbukan antar partikel, sedangkan dosis terlalu tinggi justru mengganggu proses penggumpalan (Dwidewitra, 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas unit koagulasi-flokulasi dalam menurunkan kadar COD dan total fosfat pada air Sungai Jagir dengan variasi jenis koagulan ($Fe_2(SO_4)_3$ dan $Al_2(SO_4)_3$), gradien kecepatan 701,48 detik^{-1} dan 802,2 detik^{-1} , dan sumber air baku musim panas dan musim hujan, sehingga diperoleh pengolahan yang optimal.

2. METODOLOGI

2.1. Ide dan Waktu Penelitian

Pemaanfaatan air baku untuk pengolahan air minum membutuhkan kriteria dan baku mutu yang sesuai. Semakin meningkatnya penduduk, semakin banyak kebutuhan air bersih dan air minum. Dengan sumber daya air yang terbatas dikarenakan sumber air baku yang tercemar, sehingga tidak bisa dimanfaatkan secara optimal. Pencemaran air baku yang bersumber dari kegiatan dan aktivitas manusia seperti pembuangan limbah industri dan limbah domestik sembarangan. Sehingga penelitian ini dapat membantu dalam permasalahan mendapatkan air bersih dan air minum yang sesuai baku mutu yang sudah ditetapkan.

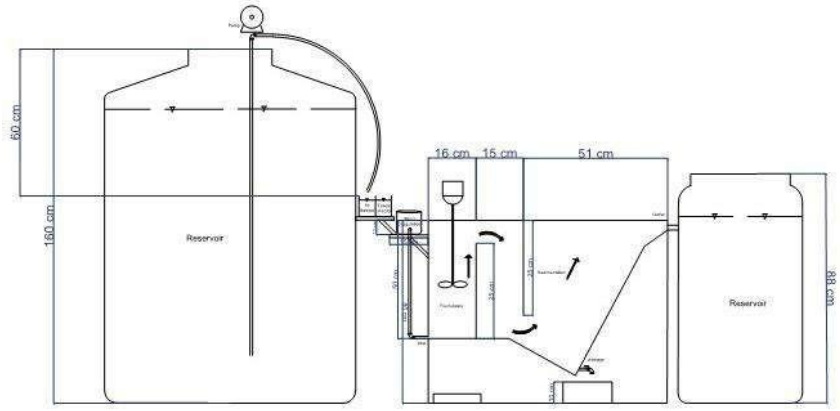
Sungai jagir adalah sumber air baku untuk dijadikan air bersih untuk PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Uji karakteristik pada sungai jagir untuk *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 146 mg/L dan Total Fosfat adlah 0,5 mg/L. Pada PP 22 Tahun 2021 baku mutu COD sebesar 25 mg/L dan pada total fosfat sebesar 0,2 mg/L. Hasil dari parameter pencemar pada sungai jagir tersebut melebihi baku mutu yang sudah ditetapkan. Nilai COD tinggi juga diakibatkan tingginya nilai fosfat, dikarenakan total fosfat yang besar menghasilkan fenomena eutrofik. Fenomena tersebut dapat menghasilkan kandungan senyawa organik yang tinggi dalaam badan air disebabkan oleh dekomposisi tanaman algae. Maka dibutuhkan teknologi untuk mengurangi beban pencemar, sehingga proses pengolahan air dapat berlangsung dengan efisien. Pada penelitian ini menggunakan teknologi koagulasi-flokulasi yang dilanjutkan proses sedimentasi. Koagulan yang digunakan adalah koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ dan $Al_2(SO_4)_3$. Variabel yang digunakan adalah dosis koagulan, jenis koagulan, dan kecepatan pengaduk. Penelitian ini dilaksanakan selama 40 hari, bertempat di dua lokasi utama. Analisis karakteristik air dan pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Sedangkan reaktor koagulasi-flokulasi ditempatkan di Rumah Kompos Universitas Airlangga. Air baku diperoleh dari Sungai Jagir Surabaya, yang merupakan salah satu sumber air baku PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

2.2. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan meliputi air Sungai Jagir sebagai sampel, koagulan aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) dan feri sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$), glukosa (untuk meningkatkan COD), serta KH_2PO_4 (untuk meningkatkan total fosfat). Alat yang digunakan adalah tangki penampung 1100 L, pompa submersible kapasitas 4000 L/jam, unit koagulasi-flokulasi (jar test), reaktor sedimentasi, pH meter, turbidimeter, spektrofotometer, serta perlengkapan glassware standar.

2.3. Desain Reaktor dan Variabel Penelitian

Proses pengolahan air dilakukan dalam skema berkesinambungan yang terdiri dari unit koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Pada unit koagulasi dilakukan pengadukan cepat dengan gradien kecepatan bervariasi (701,5 s^{-1} dan 802,2 s^{-1}) selama 60 detik, bertujuan untuk mendestabilisasi partikel tersuspensi dan koloid. Selanjutnya pada unit flokulasi dilakukan pengadukan lambat pada kecepatan 25 rpm selama 20 menit agar flok yang terbentuk dapat membesar dan stabil. Air hasil flokulasi kemudian dialirkan ke unit sedimentasi selama 30 menit untuk proses pengendapan. Desain reaktor ini mengacu pada SNI 6774:2008 tentang tata cara perencanaan instalasi pengolahan air minum, memastikan kondisi operasi berada dalam rentang Reynolds number yang memenuhi syarat (>1000 pada koagulasi dan 3000-10000 pada flokulasi) untuk mendukung efisiensi proses. Reaktor Penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Reaktor Penelitian

Variabel pada penelitian ini adalah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol pada unit koagulasi-flokulasi. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jenis koagulan, sumber air baku terdiri air baku pada musim kemarau, air baku pada musim hujan dan gradien kecepatan pengadukan koagulasi. Variabel terikat yaitu parameter total fosfat dan COD. Variabel kontrol yaitu debit air pada unit koagulasi-flokulasi sebesar 5 ml/detik dan air baku yang digunakan adalah Sungai Jagir.

2.4. Pengumpulan Data

2.4.1. Data Primer

Untuk mengetahui kualitas air sungai jagir dilakukan uji karakteristik kualitas air baku untuk digunakan unit koagulasi-flokulasi. Uji karakteristik kualitas air dilakukan dengan analisis parameter pH, kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan total fosfat. Hasil uji karakteristik air baku sungai jagir dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Uji karakteristik Awal sungai Kali Jagir

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis	Baku Mutu
1.	pH	-	7,6	6,5-8,5
2.	Kekeruhan	NTU	314	<3
3.	COD	Mg/L	146	25
4.	Total Fosfat	Mg/L	2,5	2

Uji yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji *jar test*, uji COD dengan metode refluks tertutup, uji total fosfat dengan EPHA *method* 365.3, dan uji *spiking.* Nilai beban pencemar yang akan digunakan sebagai karakteristik air limbah sungai adalah COD dan Total Fosfat. Air limbah sungai yang akan dilakukan *spiked* adalah air sungai pada musim hujan dan akan ditambahkan beban pencemar sehingga sesuai dengan karakteristik air sungai pada musim panas. Berikut karakteristik air Sungai Jagir Wonokromo pada musim hujan dan musim panas pada **Tabel 2.**

Tabel 2. Karakteristik Air Sungai Jagir Wonokromo pada Musim Hujan dan Musim Panas

Air Sungai	Karakteristik Beban Pencemar	
	COD (mg/L)	Total Fosfat (mg/L)
Musim Hujan	147.5	0.5
Musim Panas	262.78	5

Nilai COD (Chemical Oxygen Demand) pada Sungai Jagir tercatat jauh melebihi baku mutu air baku menurut PP No.22 Tahun 2021 (10–80 mg/L), baik pada musim hujan maupun musim panas. Pada musim hujan, tingginya debit air membawa limpasan permukaan (runoff) yang sarat bahan organik dari pemukiman, lahan pertanian, dan aktivitas perkotaan, serta meningkatkan TSS hingga 320–580 mg/L (Mufida, 2023) yang turut menyumbang oksidasi bahan organik. Sementara pada musim panas, suhu air yang lebih tinggi (27–30 °C) mempercepat aktivitas mikroba dalam mendekomposisi bahan organik sehingga meningkatkan senyawa terlarut penyumbang COD (Marlina et al., 2017). Selain itu, debit sungai yang rendah mengurangi efek pengenceran, menyebabkan akumulasi polutan organik maupun anorganik (Soukotta, 2019). Oleh karena itu, tingginya COD di Sungai Jagir dipengaruhi kombinasi faktor musiman, suhu, aliran permukaan, serta konsentrasi polutan yang tidak terdispersi dengan baik. Untuk membuat larutan *spike* dapat menggunakan bahan kimia glukosa untuk meningkatkan COD dan bahan kimia KH_2PO_4 untuk meningkatkan total fosfat. Langkah pertama yaitu menentukan kebutuhan glukosa dan KH_2PO_4 dengan mengetahui massa molekul relatif, perhitungan kebutuhan sebagai berikut:

$$\frac{X}{n C_6H_{12}O_6 .\ mr\ C_6H_{12}O_6} = \frac{262{,}78\ mg/L}{mr\ O_2 .\ mrO_2}$$

$$\text{Glukosa} = 0{,}246\ g/L$$

$$\frac{X}{n KH_2PO_4 .\ mr\ KH_2PO_4} = \frac{5\ mg/L}{mr\ O_2 .\ mrO_2}$$

$$KH_2PO_4 = 0{,}0068\ g/L$$

Maka didapatkan dalam membuat 1 liter larutan dengan nilai beban pencemar COD 262,78 mg/L dibutuhkan glukosa sebesar 0,256 g/L. dan total fosat 5 mg/L, dibutuhkan 0.0068 gram KH_2PO_4. Kemudian untuk mendapatkan jumlah larutan yang ditambahkan pada air baku menggunakan rumus berikut:

$$C_1V_1 + C_2V_2 = C_3V_3$$
$$C_1V_1 + C_2V_2 = C_3(V_1 + V_2)$$

Dalam persamaan diatas terdapat C_1V_1 adalah konsentrasi dan volume air sungai musim hujan, C_2V_2 adalah konsentrasi dan volume larutan *spiked*, dan C_3 adalah konsentrasi yang ingin didapatkan (Mahendra, 2017). Untuk mendapatkan konsentrasi COD adalah 262,78 mg/L dan 5 mg/L total fosfat, sehingga dibutuhkan larutan spiked 1 L dengan konsentrasi COD 378,06 mg/L dan fosfat 9,5 mg/L. Dari hasil stoikiometri diperoleh kebutuhan penambahan glukosa sebesar 0,354 g/L untuk meningkatkan COD dan KH_2PO_4 sebesar 0,013 g/L untuk meningkatkan total fosfat. Larutan ini kemudian dicampur secara homogen agar distribusi polutan merata pada sampel sebelum proses koagulasi-flokulasi.

Uji *jar test* dilakukan tiga kali pengulangan dengan parameter uji pada hasil *jar test* yaitu uji kekeruhan dan TSS. Kemudian sampel yang sudah diproses koagulasi-flokulasi dilakukan uji COD dengan metode refluks tertutup dan uji total fosfat dengan metode EPHA *Method* 365.3. Lalu dapat dilakukan perhitungan persentase efisiensi penyisihan beban pencemar menggunakan rumus berikut.

$$\textit{Removal Efficiency} = \frac{C_o - C}{C_o} \times 100\%$$

2.4.2. Data Sekunder

Studi literatur dilakukan untuk mendukung penelitian, penyusunan laporan, dan pengambilan kesimpulan. Analisis dan pembahasan didasarkaan pada teori dari berbagai sumber refrensi, seperti buku jurnal ilmiah nasional maupun internasional, artikel ilmiah, peraturan, dan penelitian terdahulu yang releven Sumber yang dikaji sesuai dengan topik dari penelitian ini seperti tekonologi koagulasi-flokulasi, koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ dan $Al_2(SO_4)_3$, sumber air baku, pengaruh jenis koagulan, pengaruh gradien kecepatan pada unit koagulasi, dan efisiensi penurunan beban pencemar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan total fosfat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit koagulasi dan flokulasi digunakan pada penelitian ini dengan koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ dan $Al_2(SO_4)_3$ dilakukaan untuk mengurangi beban pencemar total fosfat dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air sungai Jagir Wonokromo. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan dosis optimum koagulan dengan metode *jar test*. Koagulan yang digunakan adalah koagulan Ferri sulfat $Fe_2(SO_4)_3$ dan koagulan alumunium sulfat $Al_2(SO_4)_3$, variasi dosis yang diuji dengan rentang 5 mg/l hingga 50 mg/l untuk air baku musim hujan dan dosis koagulan dengan rentang 10 mg/l hingga 100 mg/l untuk air baku musim panas.

3.1. Hasil Jar Test Dengan Air Baku Musim Hujan Dan Musim Panas

Tabel 2. Data *Jar Test* Air Baku Musim Hujan

Jenis Koagulan	Parameter Uji	Dosis Koagulan				
		10 mg/L	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	100 mg/L
$Al_2(SO_4)_3$	Kekeruhan	73,91%	70,57%	89,49%	93,87%	83,31%
	TSS	93,16%	98,17%	98,78%	99,65%	97,65%
$Fe_2(SO4)_3$	Kekeruhan	37,13%	47,92%	49,67%	59,96%	72,68%
	TSS	97,13%	98,09%	97,39%	98,70%	99,30%

Tabel 3. Data *Jar Test* Air Baku Musim Panas

Jenis Koagulan	Parameter Uji	Dosis Koagulan				
		10 mg/L	20 mg/L	40 mg/L	60 mg/L	100 mg/L
$Al_2(SO_4)_3$	Kekeruhan	72,98%	70,05%	93,52%	89,14%	80,59%
	TSS	92,58%	97,80%	97,45%	99,42%	99,45%
$Fe_2(SO4)_3$	Kekeruhan	36,03%	45,43%	51,77%	59,52%	72,58%
	TSS	93,16%	97,80%	97,57%	98,49%	99,65%

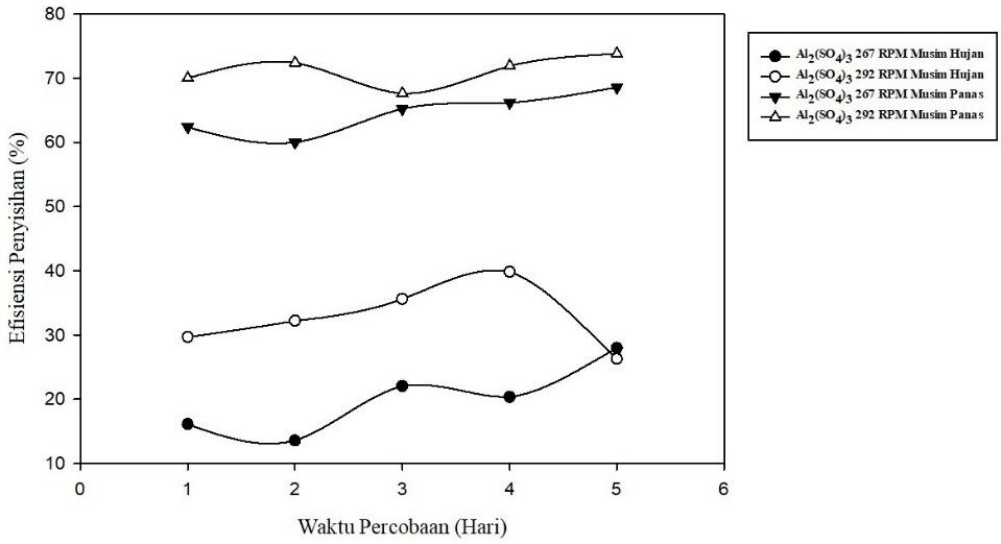
Hasil data *jar test* menunjukkan presentase efisiensi penyisihan dari parameter uji TSS (*Total Suspended Solid*) dan kekeruhan. Pada air baku musim hujan untuk koagulan $Al_2(SO_4)$ dosis optimum sebesar 60 mg/l dengan presentase TSS dan kekeruhan sebesar 99.65% dan 93.87%. Pada koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ menggunakan air baku musim hujan memiliki dosis optimum sebesar 100 mg/l dengan presentase TSS dan kekeruhan sebesar 99.30% dan 72.68%. Untuk air baku musim panas dengan koagulan $Al_2(SO_4)$ memiliki dosis optimum 60 mg/l dengan presentase TSS dan kekeruhan sebesar 99.42% dan 89.14%, sedangkan pada koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ memiliki dosis optimum 100 mg/l dengan presentase TSS dan kekeruhan sebesar 99.65% dan 72.58%. Pada uji *jar test* menggunakan parameter TSS karena nilai TSS memiliki faktor yang mempengaruhi dalam penentuan dosis koagulan. Nilai TSS memiliki faktor dalam penentuaan dosis koagulan yaitu stabilisasi partikel koloid, jika dosis koagulan yang diberikan tinggi akan mengakibatkan restabilisasi koloid. Sedangkan pada parameter kekeruhan ika dosis terlalu besar akan mengakibatkan kegagalan dalam pembentukan flok dan kekeruhan air meningkat (Ainurrofiq, 2017).

3.2. Efisisensi Penyisihan Konsentrasi COD Pada Koagulasi-Flokulasi dengan Koagulan Fe2(SO4)3 dan Al2(SO4)3

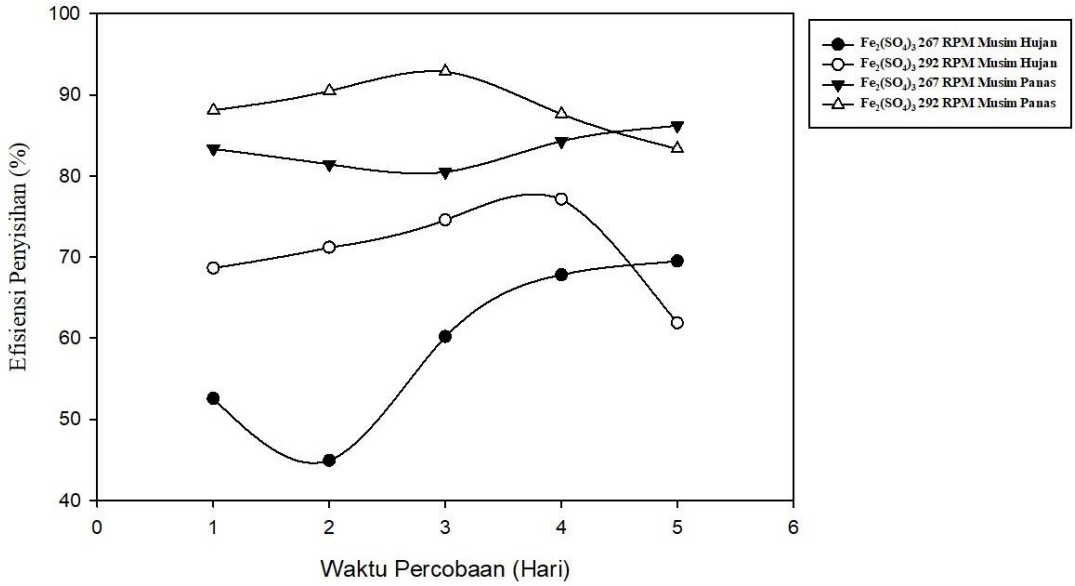
Sebelum dilakukan pengujian COD pada air sungai dengan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dilakukan pembuatan kurva kalibrasi. Dalam uji COD dengan metode spektrofotometri UV-Vis menggunakan panjang gelombang yang akan dipancarkan dan diabosrbsi, kemudian dapat mendapatkan kadar COD.

Berdasarkan **Gambar 1**, grafik persentase efisiensi penyisihan COD yang diperoleh melalui analisis RSM menunjukkan tren yang bervariasi pada setiap kombinasi air baku dan parameter proses. Dari hari ke-1 hingga hari ke-5 terjadi penurunan konsentrasi COD pada air limbah, dengan efisiensi tertinggi dicapai oleh koagulan $Al_2(SO_4)_3$ pada air baku musim hujan dengan kecepatan pengadukan 292 rpm (gradien kecepatan 802,2 s^{-1}) sebesar 72,81%. Efisiensi proses koagulasi-flokulasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kekeruhan, pH, temperatur, waktu detensi, jenis serta dosis koagulan, dan komposisi kimia air (Susanti, 2004). Kecepatan pengadukan (gradien kecepatan) merupakan faktor penting dalam memastikan proses tumbukan antar partikel berlangsung optimal sehingga flok dapat terbentuk dengan baik (Ainurrofiq, 2017). Dalam penelitian ini, gradien kecepatan 802,2 s^{-1} menghasilkan efisiensi penyisihan COD yang lebih tinggi dibandingkan 701,48 s^{-1}, menunjukkan bahwa energi pengadukan yang lebih besar mampu meningkatkan frekuensi tumbukan partikel, mempercepat destabilisasi koloid, dan pembentukan flok yang stabil. Namun demikian, jika waktu pengadukan

melebihi batas optimum atau gradien kecepatan tidak sesuai , flok yang telah terbentuk dapat rusak akibat gaya geser berlebih, yang pada akhirnya justru menurunkan efisiensi penyisihan (Utari, 2023).



Gambar 1. Grafik Persentase Efisiensi Penyisihan COD $Al_2(SO_4)_3$



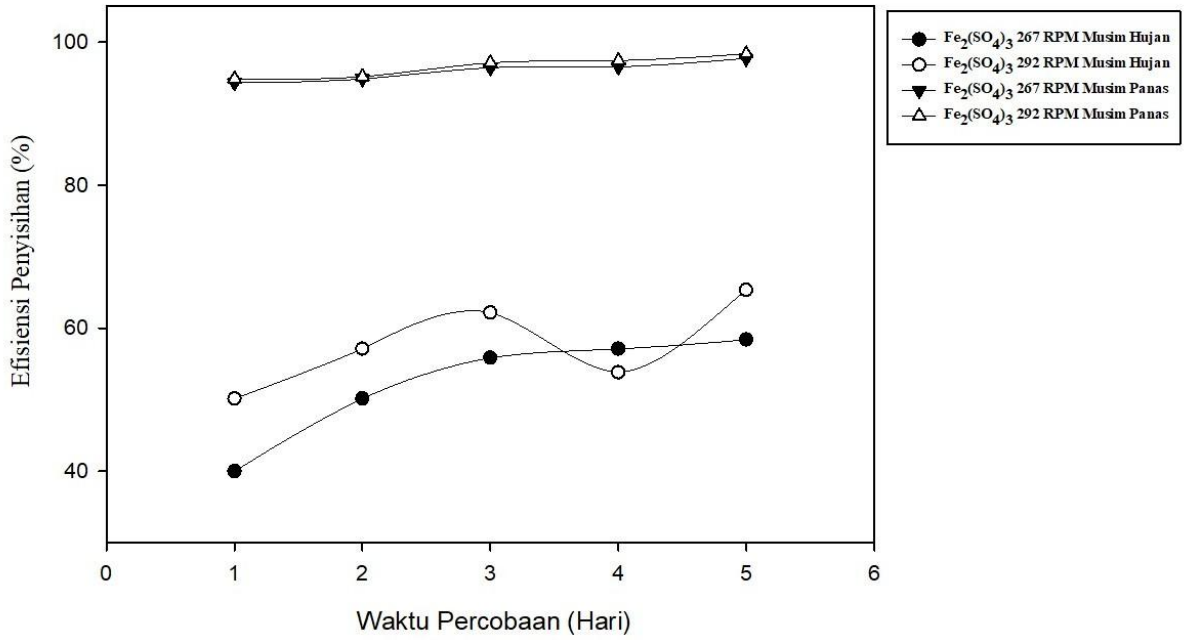
Gambar 2. Grafik Persentase Efisiensi Penyisihan COD dengan $Fe_2(SO_4)_3$

Berdasarkan Gambar 2, efisiensi penurunan COD dengan koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ bervariasi pada setiap kecepatan pengadukan dan hari pengamatan. Pada air baku musim hujan dengan kecepatan 267 rpm, efisiensi paling rendah terjadi di hari ke-2 yaitu 44,92%, sedangkan pada kecepatan lebih tinggi (292 rpm), efisiensi tertinggi tercapai di hari ke-4 sebesar 77,12%. Untuk air baku musim panas, efisiensi terendah tercatat pada hari ke-3 dengan kecepatan 267 rpm sebesar 80,48%, dan tertinggi pada hari yang sama dengan kecepatan 292 rpm sebesar 92,86%. Pada kecepatan 267 rpm memiliki hasil yang lebih rendah daripada kecepatan 292 rpm tetapi tidak memiliki penurunan yang drastis. Sedangkan pada kecepatan pemutaran 292 rpm terjadi penurunan di hari ke 4 dan 5. Perbedaan dalam persentase penyisihan COD juga dipengaruhi oleh faktor dosis koagulan, pH, kecepatan waktu pengadukan, suhu, karakteristik air limbah, dan waktu running reaktor. Efisiensi penyisihan COD sangat dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan, yang membantu membentuk dan menjaga kestabilan flok selama proses koagulasi Karena kecepatan pengadukan yang tidak cukup akan menyebabkan koagulan tidak terdispersi dengan baik, sedangkan jika kecepatan terlalu tinggi akan menyebabkan pembentukan flok terjadi dengan tidak sempurna (Ainurrofiq, 2017). Koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ memiliki keunggulan dibandingkan koagulan $Al_2(SO_4)_3$, pada partikel flok $Fe(OH)_3$ hidrolika besi memiliki kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan koagulan $Al_2(SO_4)_3$. Rentang pH

koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ lebih luas yaitu dengan rentang pH 4,5-9,0 .Tetapi koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ memiliki kekurangan yaitu koagulan sulit larut dan larutannya bersifat korosif (Perwitasari, 2019). Variasi musim panas memiliki efisiensi tertinggi, karena pada air baku musim panas lebih banyak dibandingkan musim hujan. Sehingga lebih banyak ikatan bahan organik sehingga membentuk flok lebih besar dibandingkan flok pada air baku musim hujan.

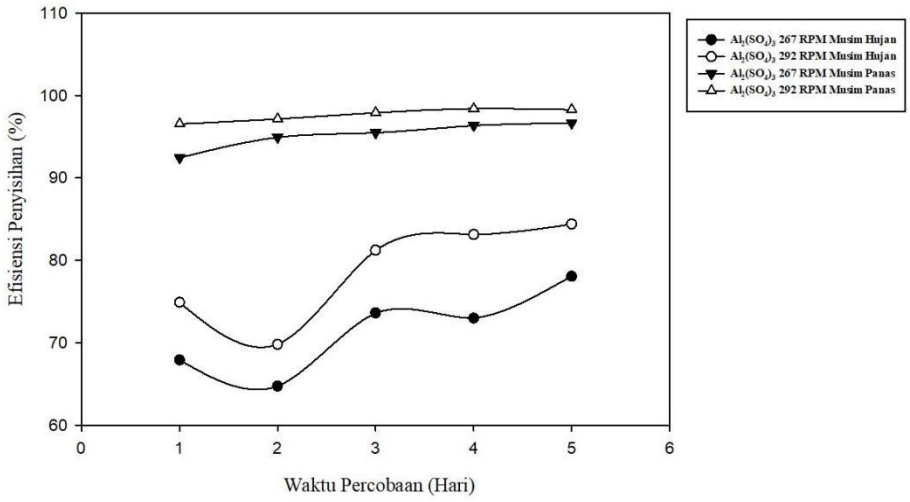
3.3. Efisisensi Penyisihan Konsentrasi Total Fosfat Pada Koagulasi-Flokulasi dengan Koagulan Fe2(SO4)3 dan Al2(SO4)3

Berdasarkan kurva kalibrasi yang telah diperoleh, konsentrasi fosfat dalam sampel dapat dihitung secara akurat. Seperti pada pengujian dengan koagulan $Fe_2(SO_4)_3$, sampel yang digunakan mencakup air baku dari musim hujan dan musim panas, dengan variasi gradien kecepatan pengadukan sebesar 802,2 detik^{-1} dan 701,48 detik^{-1}. Hasil efisiensi penyisihan fosfat menggunakan koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Grafik Persentase efisiensi penyisihan Total Fosfat $Fe_2(SO_4)_3$

Berdasarkan **Gambar 3**, persentase efisiensi penyisihan fosfat oleh koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ pada air baku musim hujan tercatat paling rendah pada hari ke-1 dengan kecepatan 267 rpm sebesar 48,86%, dan meningkat menjadi tertinggi pada hari ke-5 dengan kecepatan 292 rpm sebesar 65,36%. Sementara itu, pada air baku musim panas, efisiensi terendah terjadi pada hari ke-1 sebesar 94,31% pada kecepatan 267 rpm, dan mencapai nilai tertinggi 98,35% pada hari ke-4 dengan kecepatan 292 rpm. Beberapa faktor yang memengaruhi hasil ini antara lain pH, karakteristik awal air baku, kecepatan pengadukan, serta jenis koagulan yang digunakan. Air baku pada musim panas umumnya memiliki kondisi yang lebih stabil, dengan kandungan bahan organik dan kekeruhan yang lebih rendah, sehingga mempermudah proses koagulasi-flokulasi. Selain itu, peningkatan kecepatan pengadukan dari 267 rpm menjadi 292 rpm terbukti membantu mempercepat pertemuan antara koagulan dan partikel-partikel dalam air, sehingga flok dapat terbentuk lebih efektif. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ dalam kondisi optimal mampu memberikan kinerja tinggi dalam proses penyisihan fosfat, sebagaimana dijelaskan menurut (Karamany, 2010), koagulan $Fe_2(SO_4)_3$ mempunyai reaksi kimia lebih reaktif daripada koagulan $Al_2(SO_4)_3$ yang mamu merubah senyawa kimia menjadi hidroksida lebih cepat daripada koagulan $Al_2(SO_4)$ sehingga dapat membentuk flok lebih stabil dan baik dibandingkan koagulan $Al_2(SO_4)$.



Gambar 4. Grafik Persentase efisiensi penyisihan Total Fosfat $Al_2(SO_4)_3$

Berdasarkan Gambar 4. persentase efisiensi fosfat oleh koagulan $Al_2(SO_4)_3$ pada musim hujan terendah terdapat pada hari ke-2 dengan kecepatan 267 rpm dan tertinggi pada hari ke-5 dengan kecepatan pemutaran 292 rpm sebesar 84.9%. sedangkan pada air baku musim panas memiliki persentase terendah sebesar 92.45 pada hari ke-1 dengan kecepatan pemutaran 267 rpm dan tertinggi pada hari ke-4 sebesar 98.41% pada kecepatan pemutaran 292 rpm. Pada air baku musim panas memiliki efisiensi terbesar karena kandungan total fosfat dalam air sebesar 5 mg/l sedangkan pada air hujan memiliki total fosfat sebesar 0,5 mg/l. Faktor yang mempengaruhi dalam efisiensi penyisihan total fosfat adalah dosis koagulan, jenis koagulan, kecepatan pemutaran, dan karakteristik air limbah. Pada hasil yang didapatkan kecepatan 292 rpm memiliki hasil yang lebih tinggi, karena kecepatan pengadukan berhubungan dalam proses destabilisasi partikel dan pencampuran presipitat sehingga terbentuk flok. (Dewi, 2023). Pada reaksi alum dengan fosfat yaitu Al akan berikat dengan PO_4 dan $ALPO_4$ akan mengendap menjadi flok pada proses sedimentasi, Reaksi $Al_2(SO_4)_3$ dengan ion fosfat sebagai berikut.

$$Al_2(SO_4)_3.\ 14H_2O + 2PO_4^{2-} \rightarrow 2AlPO_4 + 2SO_4^{2-} \downarrow + 14H_2O$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis efisiensi penyisihan parameter COD dan total fosfat pada variasi jenis koagulan dan gradien kecepatan, diketahui bahwa koagulan feri sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$) dengan gradien kecepatan 802,2 detik^{-1} merupakan koagulan dengan performa paling optimal. Koagulan ini menunjukkan efisiensi penyisihan tertinggi terhadap COD, baik pada musim hujan (68,4%) maupun musim panas (88,1%). Selain itu, untuk parameter total fosfat, efisiensi penyisihan $Fe_2(SO_4)_3$ pada musim panas juga sangat tinggi, mencapai 96,77%. Kinerja unggul ini diduga disebabkan oleh kemampuan ion Fe^{3+} dalam membentuk flok yang lebih besar, lebih berat, dan lebih stabil, serta memiliki afinitas yang tinggi terhadap senyawa organik dan fosfat melalui mekanisme presipitasi dan adsorpsi. Sebaliknya, koagulan aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) dengan gradien kecepatan 701,48 detik^{-1} menunjukkan efisiensi terendah, khususnya pada penyisihan COD di musim hujan dengan nilai hanya sebesar 22,03%. Rendahnya efisiensi ini kemungkinan disebabkan oleh pembentukan flok yang kurang efektif akibat gradien kecepatan yang tidak optimal dan karakteristik koagulasi ion Al^{3+} yang kurang mampu mengikat kontaminan organik secara efisien dalam kondisi air baku yang keruh dan mengandung padatan tersuspensi tinggi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemilihan jenis koagulan dan optimasi gradien kecepatan sangat menentukan keberhasilan proses koagulasi-flokulasi, dan $Fe_2(SO_4)_3$ pada gradien tinggi direkomendasikan sebagai koagulan yang lebih efektif dalam pengolahan air sungai pada berbagai kondisi musim. Untuk penelitian berikutnya, sebaiknya pengujian COD dan total fosfat dilakukan langsung pada sampel air sungai di musim hujan dan kemarau tanpa *spiking*, sehingga hasilnya dapat mewakili kondisi sungai sebenarnya. Dengan begitu, perubahan kualitas air bisa terlihat lebih jelas dan rencana penanganan pencemaran bisa disusun lebih tepat sesuai kondisi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Ainurrofiq, M.N., Purwono, P., dan Hadiwidodo, M. (2017), "Studi penurunan TSS, Turbidity, dan COD dengan menggunakan kitosan dari limbah cangkang keong sawah (Pila Ampullacea) sebagai nano biokoagulan dalam pengolahan limbah cair PT. PHAPROS, Tbk Semarang," *Tesis Magister*, Universitas Diponegoro, Semarang.

Della Pavita, K., Widiatmono, B.R., dan Dewi, L. (2014), "Studi penentuan daya tampung beban pencemaran sungai akibat buangan limbah domestik (studi kasus kali Surabaya–Kecamatan Wonokromo)," *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Vol. 1, No. 3, hal. 21–27.

Dwidewitra, R.P., Huda, M.M., dan Rachmanto, T.A. (2024), "Pengaruh Konsentrasi Koagulan Terhadap Proses Pengolahan Air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya," *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan*, Vol. 2, No. 2, hal. 145–153.

Dewi, Y.S. (2023), "Efektivitas Penggunaan Koagulan Tawas dan Kapur dalam Mereduksi Surfaktan dan Fosfat pada Limbah Laundry," *Jurnal Techlink*, Vol. 7, No. 1, hal. 1–11.

El Karamany, H. (2010), "Study for Industrial Wastewater Treatment using some Coagulants," *Fourteenth International Water Technology Conference, IWTC*, Vol. 14, hal. 283–291.

Fatimah, N. dan AR, I.H. (2019), "Pengaruh Waktu Pengadukan dan Dosis Koagulan Tawas Terhadap Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan Fosfat Pada Limbah Cair Laundry Menggunakan Metode Koagulasi-Flokulasi," *Tesis Magister*, Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Marhendra, B.A. (2017)**,** *Kombinasi Biofilter Downflow–Upflow Menggunakan Scirpus grossus sebagai Pengolahan Spiked Pond Water*, Disertasi Doktor, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Marlina, N., Hudori, H., & Hafidh, R. (2017). Pengaruh kekasaran saluran dan suhu air sungai pada parameter kualitas air COD, TSS di Sungai Winongo menggunakan Software Qual2Kw. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, Vol. 9, No.2, hal 122-133.

Mawaddati, I., Munfarida, I., dan Hakim, A. (2021), "Evaluasi Daya Tampung Beban Pencemaran Air Sungai Wonokromo (Kali Jagir) Kota Surabaya," *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 7, No. 1, hal. 33–43.

Mufida, Y.I. dan Rachmanto, T.A. (2023), "Komparasi Status Mutu Fisik Sungai Jagir Menggunakan Metode Indeks Pencemaran, STORET, dan BCWQI," *Envirous*, Vol. 4, No. 1, hal. 76–84.

Sutamihardja, R.T.M., Azizah, M., dan Hardini, Y. (2018), "Studi Dinamika Senyawa Fosfat dalam Kualitas Air Sungai Ciliwung Hulu Kota Bogor," *Jurnal Sains Natural*, Vol. 8, No. 1, hal. 43–49.

Utari, K.M.I. dan Mirwan, M. (2023), "Pengaruh Bentuk Impeller pada Proses Koagulasi Flokulasi Terhadap Pola Aliran dan Penyisihan TSS," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 2, No. 4, hal. 824–833.