

PENYISIHAN KEKERUHAN DAN *NATURAL ORGANIC MATTER* (NOM) PADA UNIT KOAGULASI-FLOKULASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM DI ASIA TENGGARA : STUDI LITERATUR

MOHAMAD RANGGA SURURI¹, HARDIKA¹

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Jl. Phh. Mustofa No.23, Bandung, 40124
Email : dikahardika02@gmail.com

ABSTRAK

Kekeruhan dan senyawa organik (NOM) adalah faktor penting dalam pengolahan air minum. Unit koagulasi-flokulasi memiliki peran penting dalam mengatasi tantangan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merekomendasikan teknik dan strategi peningkatan efisiensi penghilangan kekeruhan dan NOM melalui koagulasi-flokulasi. Tinjauan literatur selama 10 tahun terakhir mengidentifikasi berbagai parameter yang memengaruhi efisiensi, seperti jenis koagulan, dosis koagulan, parameter kimia air, dan dampak NOM. Hasil penelusuran penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter kimia air, khususnya penggunaan koagulan tawas pada kondisi pH asam, temperatur optimal, dan tingkat kekeruhan sedang, dapat mencapai efisiensi penyisihan 85,27% dengan dosis koagulan 20 mg/L. Namun, beberapa studi hanya mencapai efisiensi $\leq 70\%$. Keberadaan senyawa NOM, terutama triptofan, dari aktivitas non-alami dapat menurunkan efisiensi penyisihan, berdampak pada peningkatan dosis koagulan lebih tinggi serta meningkatkan risiko kegagalan selama pengolahan. Meskipun terdapat kemajuan pada pengolahan air minum, penelitian lebih lanjut dibutuhkan di Indonesia terutama dalam memahami dampak NOM pada air baku sungai. Parameter ini perlu untuk diperhatikan karena krusial dalam meningkatkan efisiensi instalasi pengolahan air minum di Indonesia.

Kata kunci: Kekeruhan, koagulasi, dosis, triptofan.

ABSTRACT

Turbidity and organic compounds (NOM) are significant factors in the treatment of drinking water. Coagulation-flocculation units play an essential role in addressing these challenges. This study aims to recommend techniques and strategies for improving turbidity and NOM removal efficiency through coagulation-flocculation. A literature review over the past 10 years identified various parameters that affect efficiency, including coagulant type, coagulant dosage, water chemistry parameters, and NOM impact. A review of previous studies revealed that water chemistry parameters, particularly the use of alum coagulant under acidic pH, optimal temperature, and moderate turbidity conditions, can achieve a removal efficiency of 85.27% with a coagulant dosage of 20 mg/L. However, some studies only achieved $\leq 70\%$ efficiency. The presence of NOM compounds, especially tryptophan, derived from non-natural activities, can reduce the removal efficiency, necessitating the use of higher coagulant doses and increasing the risk of treatment failure. Despite advances in drinking water treatment, further research is needed in Indonesia, particularly in understanding the impact of NOM on river raw water. This parameter must be considered as it is crucial in improving the efficiency of drinking water treatment plants in Indonesia.

Keywords: Turbidity, coagulation, dosage, tryptophan.

1. PENDAHULUAN

Sumber daya air permukaan sangat rentan terhadap pencemaran karena mudah terkontaminasi oleh berbagai jenis polutan (Kristanto,2002). Namun, dalam beberapa dekade terakhir, kualitas air permukaan semakin memburuk akibat aktivitas manusia seperti urbanisasi, pertanian yang semakin intensif, industri, peternakan, dan lain sebagainya (Dirgawati dan Sururi,2023 ; Sururi dkk.,2022 ; Setyowati dkk.,2015). Penurunan kualitas air tercermin pada parameter fisika, kimia, dan biologi yang semakin mempengaruhi kesehatan manusia, hal tersebut ditandai dengan penurunan tingkat pencemaran air permukaan. Namun, berdasarkan Indeks Kualitas Air (IKA), Indonesia baru mengalami peningkatan nilai dari 52,82 pada tahun 2021 menjadi 53,88 pada tahun 2022 dalam delapan tahun terakhir (KLHK,2022). Hal tersebut dapat menjadi peringatan penting bagi masyarakat bahwa upaya dalam menurunkan tingkat pencemaran khususnya pada air permukaan masih terbilang sulit untuk dilakukan. Oleh karena itu, masyarakat Indonesia yang menggunakan air sungai sebagai sumber air baku untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari perlu memastikan kembali bahwa air yang dikonsumsi tersebut aman dan sehat (Widodo, 2021).

Pada proses pengolahan air minum, kualitas air permukaan perlu diukur dan diketahui karakteristiknya sebelum dilakukan tahapan pengolahan lebih lanjut. Salah satu parameter kunci yang perlu diperhatikan adalah kekeruhan dan *Natural Organic Matter* (NOM). Kekeruhan yang tinggi dapat mengindikasikan adanya kontaminan oleh partikel organik dan anorganik yang berdampak pada kesehatan manusia jika dikonsumsi (Mahapatra dkk.,2021). Sedangkan, NOM merupakan komponen di dalam air permukaan yang merupakan hasil degradasi dari sisa tumbuhan dan hewan yang menghasilkan senyawa (asam humat, asam fulvat, dan protein) (Chen dkk.,2019). Kehadirannya menyebabkan peningkatan kekeruhan serta masih seringkali diabaikan dalam proses pengolahan pada IPAM konvensional (Sururi dkk., 2021; Sururi dkk., 2019). Selain menjadi sumber dari kekeruhan, keberadaan NOM pada air baku juga dapat mempengaruhi karakteristik kualitas air dan proses pengolahan air baku secara keseluruhan di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) (Sururi dkk.,2020).

Keberadaan kekeruhan dan NOM menjadi permasalahan utama pada proses pengolahan air minum. Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yang menggunakan unit koagulasi-flokulasi konvensional mendapati masalah yang kompleks dalam mengatasi kedua parameter tersebut karena sifat NOM yang beragam serta membentuk koloid stabil dengan muatan negatif, sehingga IPAM konvensional tidak dirancang untuk mengatasi kedua parameter tersebut secara bersamaan (Sururi dkk.,2023; Li dkk.,2019). Hubungan antara NOM dengan kekeruhan sangatlah kompleks dikarenakan keberadaannya dapat meningkatkan jumlah partikel tersuspensi yang menyebabkan peningkatan kekeruhan pada air baku yang akan diolah sehingga beban kinerja unit pengolahan di IPAM akan semakin besar.

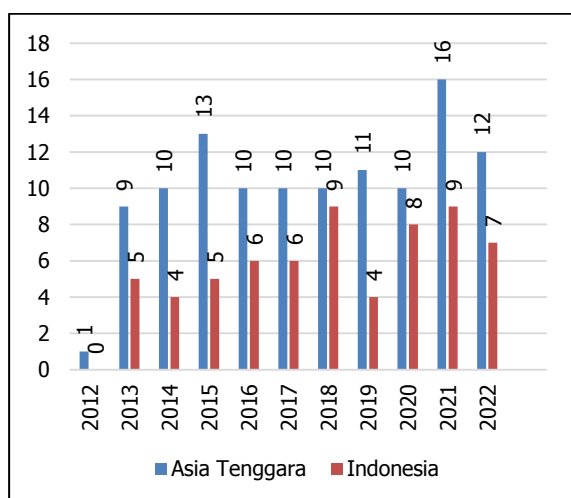
Kegagalan dalam menyisahkan kedua parameter ini dapat menyebabkan beban kerja pada unit pengolahan lainnya, seperti peningkatan dosis koagulan, frekuensi backwash yang tinggi, dan tingkat pengotoran membran semakin tinggi (Sururi dkk.,2021;Wang dkk.,2022). Namun, berdasarkan hasil penelusuran jurnal yang membahas terkait koagulasi-flokulasi dalam menyisahkan parameter kekeruhan dan NOM di IPAM Indonesia sering ditemui kegagalan. Dampak tersebut terlihat pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa senyawa organik yang terkandung dalam air sungai perkotaan memengaruhi efektivitas proses pengolahan air konvensional, terutama pada unit koagulasi (Sururi dkk.,2022; Sururi dkk.,2021). Dampak tersebut mencakup penggunaan dosis koagulan yang tinggi, kegagalan dalam pembentukan flok, ketidakpenuhan terhadap parameter fisik dan kimia, serta kriteria

umum lainnya yang terkait dengan proses koagulasi-flokulasi, yang berdampak pada efisiensi penyisihan dan kinerja yang tidak optimal (Sururi dkk., 2023).

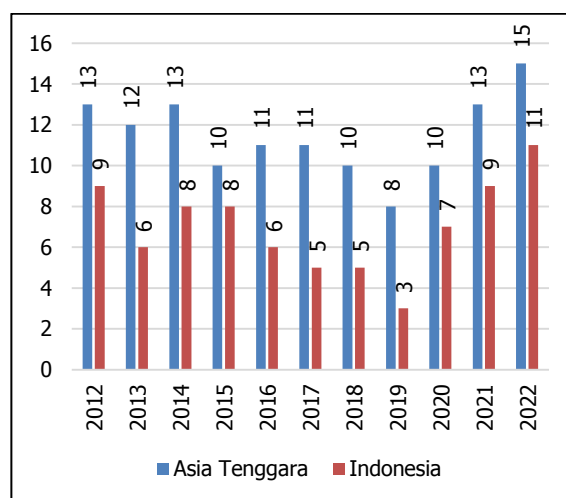
Oleh sebab itu, diperlukan upaya dalam pengolahan air minum terutama unit koagulasi-flokulasi dalam menyisihkan parameter kekeruhan dan NOM dengan tujuan untuk menghasilkan air minum yang aman dan sehat. Karena keberadaan NOM dapat menjadi prekursor senyawa disinfection by-product (DBP) seperti trihalomethane (THM) dan haloacetic acid (HAA) yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan manusia jika melebihi baku mutu. Sehingga, tujuan khusus dari studi literatur ini adalah memberikan masukan agar dapat mengoptimalkan kinerja unit koagulasi-flokulasi dalam menyisihkan parameter kekeruhan dan parameter NOM, serta membuat parameter NOM dapat dipertimbangkan sebelum dilakukan proses pengolahan air minum pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM).

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah *literature review*. Sumber pustaka yang digunakan dalam penyusunan *review paper* ini menggunakan artikel jurnal dari tahun 2012-2022, agar memperoleh sumber yang terbaru dari penelitian terkait penyisihan kekeruhan dan NOM dengan metode pengolahan koagulasi-flokulasi. Proses pencarian artikel menggunakan aplikasi *Publish or Perish 8* hasil penelusuran *GoogleScholar* dengan menuliskan judul terkait penyisihan kekeruhan dan penyisihan NOM menggunakan koagulasi-flokulasi pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM). Kata kunci yang digunakan dalam penelusuran ini adalah kekeruhan, NOM, Koagulasi, Dosis, IPAM, dan lain sebagainya yang memiliki keterkaitan dengan topik ini. Kemudian, berdasarkan hasil penelusuran terhadap 126 artikel mengenai penyisihan kekeruhan dan 88 mengenai penyisihan NOM pada IPAM, selanjutnya disortir berdasarkan keterkaitan dengan topik, kemudian artikel tersebut disimpan pada *reference manager* yakni *Mendeley*. Penyimpanan artikel ini dilakukan agar memudahkan dalam mengakses, memilah dan mengelola hasil dari artikel. Berikut merupakan kumpulan artikel terkait penyisihan NOM pada IPAM yang ditunjukkan pada **Gambar 1** sedangkan **Gambar 2** merupakan kumpulan artikel terkait penyisihan kekeruhan.



Gambar 1. Jumlah Artikel Terkait Penyisihan NOM Pada IPAM



Gambar 2. Jumlah Artikel Terkait Penyisihan Kekeruhan Pada IPAM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sumber Keekeruhan dan Kandungan NOM Pada Sungai

Sungai rural merupakan sungai yang terletak pada daerah alami dan terjaga ekosistem disekitarnya, sedangkan sungai urban merupakan sungai yang melintasi wilayah budidaya seperti peternakan, pemukiman, industri sehingga diperlukannya upaya pengelolaan agar fungsi sungai tidak terganggu (Widodo,2021). Pada kondisi sungai alami, keekeruhan disebabkan oleh banjir, gerakan tanah, atau aliran sungai yang deras sehingga partikel padatan seperti pasir, lumpur, dan lapisan tanah terutama humus yang terbawa oleh air dan tercampur di dalam sungai (Brilly,2015). Sedangkan pada kondisi sungai urban, keekeruhan dapat disebabkan aktivitas antropogenik baik yang berasal dari domestik ataupun non-domestik yang menyebabkan pencemaran air dan peningkatan keekeruhan pada sungai berupa partikel organik dan anorganik (EPA,2019 dan UNEP 2016).

Sementara itu, sumber dari NOM dapat berasal dari bahan-bahan organik yang terbawa oleh air sungai dari hulu ke hilir. Pada kondisi alami NOM dapat berasal dari tanah dan vegetasi (dedaunan, ranting, dan akar tanaman), hewan (tinja, bangkai, dan daging) yang terbawa oleh aliran sungai yang membusuk dan terurai di dalam sungai sehingga melepaskan senyawa organik yang masuk ke dalam air sungai (Frazier,2016; Chew dkk.,2003). Sedangkan, pada kondisi tidak alami yang disebabkan aktivitas manusia, NOM dapat berasal dari pertanian, pemukiman, dan industri. Bahan organik seperti pupuk, limbah domestik, dan limbah industri yang terbuang langsung ke sungai dapat memperburuk kualitas air sungai dan meningkatkan kandungan NOM yang didalamnya terdapat senyawa organik seperti protein, karbohidrat, lemak, dan lain-lain (USGS,2019).

NOM secara fisik terbagi menjadi Dissolved Organic Matter (DOM) dan Particulate Organic Matter (POM), dalam mengkarakterisasi kualitas air DOM merupakan parameter yang perlu diperhatikan karena strukturnya kompleks dan memiliki senyawa yang heterogen (Khamis dkk.,2018). DOM allochthonous yang berasal dari limpasan tanah, antropogenik dari domestik memiliki fungsi dalam mencerminkan tutupan dan penggunaan lahan,vegetasi, dan karakteristik iklim disekitar sungai (Sururi dkk.,2022 dan Leehnerr dkk.,2003). Menurut Yamashita (2010), DOM dalam sungai-sungai tropis, terutama di Indonesia, sangat sensitif terhadap perubahan iklim dan penggunaan lahan. Hal ini disebabkan oleh tingginya aktivitas manusia di sepanjang DAS yang menyebabkan penurunan kualitas air. Keterkaitan antara keekeruhan dan DOM dalam sungai menjadi faktor penyebab keekeruhan tersebut. Penelitian menunjukkan bahwa seiring meningkatnya konsentrasi DOM, keekeruhan juga meningkat secara proporsional, menunjukkan adanya peningkatan senyawa organik yang terlarut dalam air (Smith dkk., 2020; Nurjannah dkk., 2019).

3.2 Mekanisme dan Permasalahan Koagulasi Pada Air Sungai di Negara Tropis

Mekanisme koagulasi melibatkan penambahan koagulan ke dalam air dengan tujuan memfasilitasi proses koagulasi partikel, yang melibatkan tahapan destabilisasi, penggabungan, pembentukan flok, dan pengendapan (Islam, S.M dkk.,2016). **Tabel 1** disajikan untuk memberikan tinjauan mekanisme dan jenis koagulan yang umumnya digunakan dalam pengolahan air pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) konvensional. Tabel ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam memilih koagulan yang sesuai dengan karakteristik air dan kebutuhan proses pengolahan pada air baku yang akan diolah di IPAM, sehingga dapat mencapai efektivitas penyisihan keekeruhan dan Natural Organic Matter (NOM) secara optimal.

Tabel 1. Tinjauan Mekanisme dan Jenis Koagulan

Mekanisme	Dosis Optimum	Kelebihan	Kekurangan	Ref
Parameter Aluminium Sulfat				
Mekanisme kinerja koagulan tawas melibatkan tiga tahap yaitu tahap hidrolisis, tahap koagulasi, tahap pengendapan.	20-60 mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya relatif rendah dan mudah didapat • Efektif menghilangkan partikel kecil dan koloid • Daya adsorpsi kuat dalam mengikat partikel-partikel kecil • Mampu membentuk senyawa kompleks dengan NOM menjadi flok dengan kondisi tertentu 	<ul style="list-style-type: none"> • pH optimum yang sempit (5,5-7,5) • pH akhir cenderung asam • Lemah akah karakteristik air yang mengandung besi dan mangan • Waktu pengendapan yang lama • Dosis optimum sulit ditentukan • Produksi lumpur yang tinggi • Efektivitas penyisihan NOM yang rendah • Menyebabkan peningkatan kekeruhan karena flok tidak stabil 	Sutanto dkk., 2018 ; Ng dan Lee., 2017
Parameter Poli Aluminium Klorida				
Mekanisme kinerja PAC terutama berdasarkan proses hidrolisis dan koagulasi. Pada proses hidrolisis, PAC mengalami reaksi hidrolisis yang menyebabkan terbentuknya senyawa-senyawa polimerik. Sedangkan pada proses koagulasi, PAC bekerja dengan cara menetralkan muatan negatif koloid dengan memberikan ion aluminium yang berfungsi untuk menghilangkan muatan negatif tersebut	5-100 mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat digunakan pada jenis air baku dengan kualitas yang berbeda • Dapat menyisihkan partikel dengan ukuran yang lebih kecil dibanding koagulan tawas • Proses koagulasi yang lebih cepat dan efisien • Efektif dalam pengolahan air dengan kandungan ionik yang tinggi • Stabil pada pH yang berbeda-beda • Penghilangan NOM lebih efektif dan menghasilkan flok yang lebih besar dan padat • Memiliki kemampuan dalam menghilangkan prekursor trihalomethane (THM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya relatif tinggi/mahal • Berpotensi menghasilkan sludge yang lebih banyak • Berpotensi dalam peningkatan kadar aluminium dalam air minum • Menghasilkan limbah yang sulit untuk diproses 	Kurniawan dkk.,2021; Li dkk., 2019 ; Gao dkk., 2018; Wang dkk.,2016
Parameter Besi Klorida				
Koagulan besi klorida (FeCl ₃) bekerja dengan cara membentuk kompleks hidroksida besi yang kemudian mengikat partikel-partikel kekeruhan dan zat organik. Ketika FeCl ₃ ditambahkan ke dalam air, ion Fe ³⁺ akan bereaksi dengan ion OH ⁻ dari air dan membentuk endapan hidroksida besi [Fe(OH) ₃], yang kemudian membentuk polimerisasi menjadi flok yang dapat mengikat dan menyisihkan partikel-partikel kekeruhan dan zat organik yang terdapat dalam air.	10-50 mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Stabil pada berbagai pH air • Efektif dalam mengurangi warna dan bau pada air kondisi tercemar • Efektif dalam menghilangkan zat organik terlarut dan partikel-partikel halus (sulfat, amonia, dan logam berat) • Biaya relatif rendah • Efektifitas yang tinggi karena dapat mengikat partikel terlarut dalam air 	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya yang relatif lebih tinggi dibandingkan alum dan berpotensi menghasilkan sludge yang lebih banyak • Tidak efektif pada penyisihan NOM seperti humic acid • Produksi lumpur lebih tinggi • Menyebabkan masalah korosi pada pipa saluran • Penentuan dosis optimum sulit ditentukan karena bergantung pada karakteristik air dan pengaruh konsentrasi FeCl₃ 	Ning dkk.,2019

Selain meninjau mekanisme dan koagulan yang digunakan untuk pengolahan air, terdapat beragam permasalahan yang terjadi pada proses koagulasi karena keberadaan NOM pada air baku yang akan diolah terutama yang termasuk kategori sungai tercemar. Berikut ini merupakan beberapa permasalahan yang dapat terjadi ketikan proses pengolahan air baku dengan kondisi sungai tercemar :

1. Penurunan Efektivitas Koagulasi-Flokulasi

Efektivitas koagulasi-flokulasi pada kondisi air baku tercemar menunjukkan adanya penurunan efektivitas akibat pengaruh Natural Organic Matter (NOM) selama proses koagulasi (Sururi,2019). Hal ini disebabkan oleh keberadaan NOM dalam air baku tercemar yang dapat mengganggu serabgkaian proses pembentukan flok dan penggumpalan partikel terlarut. Oleh sebab itu, senyawa organik dalam NOM dapat membentuk koloid yang stabil dengan muatan negatif, sehingga berdampak pada sulitnya proses koagulasi dalam menggabungkan partikel-partikel terlarut menjadi flok yang lebih besar dan mudah diendapkan (Dantas dan Leao, 2021).

2. Kenaikan Kekeruhan Setelah Pengolahan

Keberadaan senyawa organik yang dapat membentuk koloid stabil dengan muatan negatif memiliki pengaruh yang berdampak pada peningkatan kekeruhan kembali (Sururi dkk., 2023; Sururi dkk., 2019). Selama proses koagulasi, interaksi antara senyawa organik alami (NOM) dan koagulan dapat menghambat pembentukan flok yang stabil (Lin dan Chiang, 2015). Akibatnya, partikel-partikel koloid yang terbentuk tidak dapat menggumpal dengan efektif dan tetap terlarut dalam air, yang berkontribusi pada peningkatan produksi lumpur dan memperburuk kualitas air setelah melewati proses pengolahan (Wang dkk., 2019).

3. Peningkatan Kebutuhan Dosis Koagulan

Peningkatan dosis koagulan, kehadiran NOM dalam jumlah tinggi akan meningkatkan kebutuhan dosis koagulan yang tinggi, hal ini dikarenakan adanya senyawa triptofan yang membuat efektivitas dari koagulan semakin menurun dan memicu penambahan dosis (Zhang dan Yang, 2019).

3.3 Penyisihan Kekeruhan dan NOM Dengan Koagulan Tawas

Koagulan tawas atau alum ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) merupakan jenis koagulan yang sering digunakan dalam pengolahan air untuk menghilangkan kekeruhan dan NOM. Koagulan tawas juga efektif dalam mengurangi kandungan NOM pada air, karena kekeruhan pada air umumnya terkait dengan kandungan partikel-partikel anorganik sedangkan NOM lebih bersifat organik dan kompleks seperti asam humat, asam fulvik, dan senyawa aromatik. Oleh karena itu, penggunaan koagulan tawas pada pengolahan air minum berperan dalam membantu mengurangi kandungan NOM pada air dengan cara mengurangi muatan negatif pada partikel-partikel organik tersebut, sehingga lebih mudah dalam membentuk flok dan diendapkan (Liu dkk.,2021). Berikut ini merupakan penyisihan kekeruhan dan NOM dengan koagulan tawas yang tersaji pada **Tabel 2**.

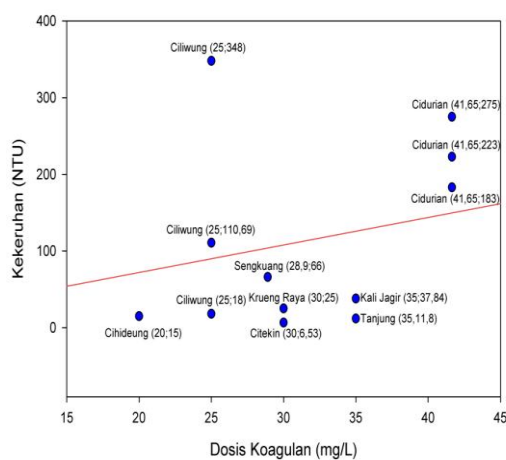
Pada umumnya, penyisihan parameter kekeruhan masih menggunakan unit koagulasi-flokulasi sebagai unit utama (esensial) karena dinilai terbukti efektif dalam menghasilkan air minum dengan kualitas tinggi, pengoperasian yang mudah, biaya operasi yang rendah serta fleksibel dikombinasikan dengan teknologi lainnya (Ghafari dan Aroua,2013 dan Wang dkk.,2012). Pada PDAM Tirta Pancur Aji Kota Sanggau, air baku yang diolah berasal dari Sungai Sengkuang yang menggunakan koagulan jenis tawas dengan konsentrasi 10%, sehingga dalam menghitung dosis yang digunakan pada PDAM tersebut menggunakan pendekatan pemakaian rata-rata koagulan perhari berbanding debit IPA (Crittenden,2012). Pemakaian koagulan perhari yang digunakan adalah 50 kg tawas/hari dengan debit IPA sebesar 20 L/detik sehingga diperoleh dosis koagulan yang digunakan sebesar 28,9 mg/L.

Tabel 2. Pengaruh Dosis Koagulan Tawas pada Penyisihan Kekeruhan dan NOM

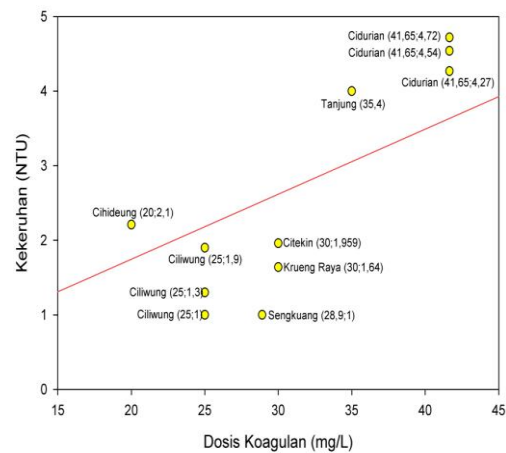
Lokasi Studi	Status Sungai	Karakteristik Air	Kondisi Pengolahan	Hasil dan Efisiensi Pengolahan	Ref
Sungai Sengkuang, Kabupaten Sanggau	-	Temperatur : - pH : 5,97 Kekeruhan : 66 NTU Warna : 321 Pt.Co	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 28,9* mg/L Waktu detensi : 43 detik Gradien kecepatan : 319,67/s Gtd : 13.745,81 Tipe Koagulasi : Hidrolik	Kekeruhan akhir : 1 NTU Efisiensi Penyisihan Kekeruhan : 98,48% Warna akhir : 23 Pt.Co Besi : 0,18 mg/L pH akhir : 4,82	(Hermanto dkk., 2010)
Sungai Cihideung, Kabupaten Bogor	Tercemar ringan	Temperatur: 26,5°C pH : 6,5 Kekeruhan : 15 NTU Warna : 100 Pt.Co	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 10-50 mg/L Waktu Pengadukan : 104,78 s Gradien Kecepatan : 152,85/detik Tipe Koagulasi : Hidrolik	Kekeruhan akhir : 2,21 NTU Efisiensi Penyisihan Kekeruhan : 85,27% Warna akhir : 20 TCU Efisiensi penyisihan warna : 80% pH akhir : 7 Dosis optimum : 20 mg/L	(Putri,2013)
Sungai Kapuas, Pontianak	Tercemar sedang-berat	Temperatur : - pH : - Kekeruhan : 39 NTU Warna : 248 Pt.Co	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : - Tipe koagulasi : Hidrolis	Kekeruhan akhir : 11 NTU Efisiensi penyisihan kekeruhan : 71,79% Warna akhir : 67 Pt.Co Efisiensi penyisihan Warna : 72,89%	Risa dkk.,2013
Sungai Tanjung, Kabupaten Aceh Besar	Tercemar ringan	Temperatur : 27,1°C pH : 5,8 Warna : 19 Pt.Co Kekeruhan : 11,8 NTU Warna : -	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 10-50 mg/L	Temperatur : - pH : - Kekeruhan akhir : 4 NTU Efisiensi penyisihan kekeruhan : 66,10% Dosis optimal : 35 mg/L	Sutapa, 2014
Sungai Krueng Raya, Kabupaten Aceh Besar	Tercemar ringan	Temperatur : 26,2°C pH : 6,02 Kekeruhan 25 NTU Warna : 25 Pt.Co	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 10-50 mg/L	Temperatur : - pH : - Kekeruhan akhir : 1,64 NTU Efisiensi penyisihan kekeruhan : 63,9% Dosis optimal : 30 mg/L	Sutapa, 2014
Sungai Citekin, Kecamatan Sumedang Selatan	Tercemar ringan	Temperatur : - pH : 6,47 Kekeruhan : 6,53 NTU	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 10-50 mg/L Tipe koagulasi : Mekanik	Temperatur : - pH : - Kekeruhan akhir : 1,959 NTU	Andini, 2017

Lokasi Studi	Status Sungai	Karakteristik Air	Kondisi Pengolahan	Hasil dan Efisiensi Pengolahan	Ref
		Besi : 1,034 mg/L Mangan : 0,613 mg/L		Efisiensi penyisihan kekeruhan : 70% Dosis optimal : 30 mg/L	
Sungai Cidurian, Kabupaten Tangerang	Tercemar ringan	Temperatur : - pH : - Kekeruhan : 223, 183, dan 275 NTU	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 41,65 mg/L Tipe Koagulasi : Hidrolik Waktu detensi : 847 detik Gradien kecepatan : 3183,09/s Gtd : 2201341	Kekeruhan akhir : 4,27, 4,54, 4,72 NTU Efisiensi Penyisihan Kekeruhan : 97,67%, 97,57%, dan 98,46%	(Ramadhan dkk., 2019)
Sungai Ciliwung, Bogor	Tercemar sedang	Temperatur : - pH : - Kekeruhan : 18, 110,69, dan 348 NTU Warna : 321 Pt.Co	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 25 mg/L Waktu detensi : 17,1 detik Gradien kecepatan : 1421,64/s Gtd : 6572,222 Tipe Koagulasi : Hidrolik	Kekeruhan akhir : 1, 1,3, dan 1,9 NTU Efisiensi Penyisihan Kekeruhan : 94,44%, 98,48%, dan 99,45%	(Widhianti dkk., 2019)
Kali Jagir, Surabaya	Tercemar sedang-berat	Temperatur : - pH : 7 Kekeruhan : 37,84 NTU Warna : - TOC : 11,67 mg/L UV210 : 1,4983 cm-1 UV254 : 0,10895 cm-1	Koagulan : $Al_2(SO_4)_3$ Dosis : 35 mg/L	Temperatur : - pH : - Kekeruhan akhir : - Efisiensi penyisihan TOM dengan proses pengolahan pre-oksidasi $CaOCl_2$ dan koagulasi dengan tawas: 21,94% Efisiensi penyisihan TOM dengan proses pengolahan pre-oksidasi $KMnO_4$ dan koagulasi dengan tawas: 3,60% Efisiensi penyisihan UV210 dengan proses pengolahan pre-oksidasi $CaOCl_2$ dan koagulasi dengan tawas : 12,86%	Firdaus dan Hidayah, 2019

Penyisihan parameter kekeruhan harus memperhatikan tingkat kekeruhan dan dosis koagulan yang digunakan selama proses pengolahan (Liu dkk.,2018) . Tingkat kekeruhan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu kekeruhan rendah (0-5 NTU), kekeruhan sedang (5-50 NTU), dan kekeruhan tinggi (50-100 NTU) (USGS, 2017). Sementara itu, dosis koagulan tawas juga memiliki rentang dosis optimum 20-60 mg/L, tergantung pada karakteristik air yang diolah dan kondisi pengolahan (AWWA, 2011; Metcalf dan Eddy, 2003). Tingkat dosis koagulan dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan pada beberapa penelitian, yaitu dosis rendah (5-20 mg/L), dosis sedang (>20-35 mg/L), dan dosis tinggi (>35-80 mg/L) (Hoang dkk., 2013; Edzwald, 2011; USEPA, 1999). Berikut ini merupakan grafik perbandingan antara dosis koagulan dengan tingkat kekeruhan yang tersaji pada Gambar 3 dan Gambar 4. Diperoleh pola hubungan yang berbanding lurus antara kekeruhan awal dan dosis koagulan yang diperlukan untuk mencapai proses penyisihan kekeruhan pada gambar tersebut. Namun, pola ini juga memiliki batasan, ketika dosis koagulan terlalu tinggi dapat menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan kekeruhan karena pembentukan flok menjadi tidak maksimal.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kekeruhan Dengan Dosis Koagulan Tawas Sebelum Pengolahan



Gambar 4. Grafik Hubungan Kekeruhan Dengan Dosis Koagulan Tawas Setelah Pengolahan

Oleh karena itu, grafik ini berfungsi untuk menentukan rekomendasi dosis koagulan yang optimal dalam menyisihkan parameter kekeruhan dalam air dan mencapai efisiensi penyisihan yang tinggi. Dalam penelitian ini, Sungai Cihideung mewakili tingkat dosis rendah, beberapa sungai (Ciliwung, Sengkuang, Krueng Raya, Citekin, Kali Jagir dan Tanjung) mewakili tingkat dosis sedang, dan Sungai Cidurian mewakili tingkat dosis tinggi. Sementara itu, Grafik hubungan kekeruhan akhir dengan dosis koagulan digunakan juga untuk menunjukkan pola yang sebanding antara kekeruhan air yang dihasilkan dan dosis koagulan yang diberikan. Sehingga, semakin tinggi dosis koagulan yang diberikan maka semakin rendah tingkat kekeruhan air yang dihasilkan (Edzwald,2005). Namun, terdapat kondisi dimana dosis koagulan yang diberikan terlalu tinggi menyebabkan terbentuknya endapan yang berlebih, sehingga flok yang terbentuk dapat terpecah kembali sehingga mempengaruhi kualitas air, serta efisiensi penyisihan kekeruhan yang dihasilkan (Suwadiwangsa dkk.,2013).

Selain itu, pada Gambar 3 diperoleh analisis regresi linier. Pada Gambar 3A, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,1622 dan R sebesar 0,4027. Sementara itu, pada Gambar 3B, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,7381 dan R sebesar 0,8591. Nilai R^2 menunjukkan besarnya pengaruh dosis koagulan tawas terhadap pengurangan kekeruhan sebesar 73,81% setelah dilakukan pengolahan pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), namun sisanya dapat dipengaruhi oleh parameter-parameter lainnya. Sedangkan nilai R sebesar 0,8591 mencerminkan hubungan antara dosis koagulan tawas terhadap pengurangan kekeruhan. Berdasarkan hasil perbandingan kedua grafik, koagulan tawas memiliki kelemahan terkait ketidakkonsistenan dalam

penyisihan kekeruhan pada rentang dosis tertentu di beberapa IPA. Hal ini perlu diperhatikan, terutama pada IPA Sungai Ciliwung yang dengan dosis 25 mg/L pada kekeruhan 348 NTU mampu menyisihkan hingga 1,9 NTU, sedangkan IPA Sungai Cidurian dengan dosis 41,65 mg/L pada kekeruhan 275 NTU hanya mampu menyisihkan hingga 4,72 NTU.

Perbedaan kekeruhan akhir yang lebih kecil serta efisiensi penyisihan yang tinggi antara kedua sungai tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti karakteristik sungai, tingkat status tercemar, atau faktor teknis. Meninjau dari segi teknis yakni waktu detensi, diperoleh pada kedua sungai tersebut faktor waktu detensi dapat menjadi salah satu faktor yang perlu dioptimalkan dalam proses koagulasi, pada Cidurian dan Ciliwung ditunjukkan bahwa tidak memenuhi standar SNI 6774 Tahun 2008 yakni 1-5 detik untuk waktu detensi akan tetapi memenuhi ketentuan kriteria lainnya 5-60 detik untuk Sungai Ciliwung (Masduqi,2012). Tercapainya waktu detensi secara optimal mengakibatkan proses pembentukan flok menjadi optimal, pengendapan flok menjadi lebih cepat dengan ukuran yang lebih besar dan kontak antara koagulan dan partikel dalam air menjadi sangat efektif (Huang dkk.,2017).

Selain itu, terdapat pula perbedaan lain dari hasil penyisihan kekeruhan pada rentang dosis tertentu antara IPA Sungai Sengkuang dengan dosis 28,9 mg/L pada kekeruhan 66 NTU yang mampu menyisihkan hingga 1 NTU, akan tetapi pada IPA Sungai Krueng Raya, Citekin, dan Tanjung dengan dosis lebih besar yakni 30-35 mg/L menghasilkan penyisihan kekeruhan yang lebih kecil. Hal ini terjadi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti seperti kualitas air baku, dosis koagulan, pH, dan tingkat kekeruhan air baku. Sungai Tanjung dan Krueng Raya yang termasuk sungai urban dengan tingkat kondisi tercemar ringan dengan sumber pencemar limbah rumah dengan skala kepadatan rendah sedangkan berbeda hal nya dengan Sungai Citekin yang termasuk pada sungai urban dengan tingkat kondisi tercemar ringan dengan sumber pencemar limbah rumah dengan skala kepadatan sedang. Pada kondisi kualitas air baku tidak tercemar dan tercemar ringan kandungan organik dan anorganik dan kekeruhan akan lebih rendah, kondisi ini dapat menyebabkan pengolahan air yang lebih sulit dan memerlukan dosis koagulan yang lebih tinggi untuk mengatasi kekeruhan air baku terutama pada tingkat kekeruhan rendah (USEPA,2021; Tchobanoglous dkk.,2014).

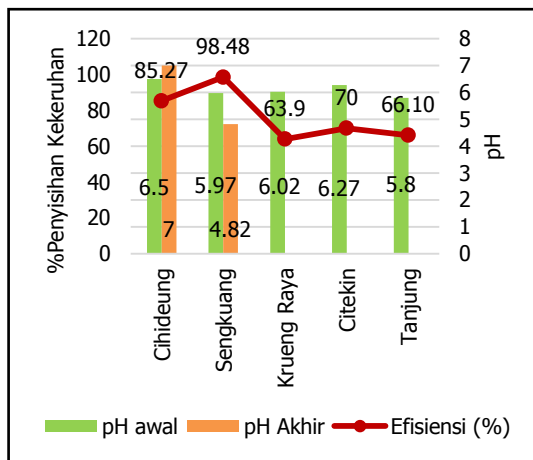
Faktor-faktor tersebut dapat berbeda antara satu IPA dengan IPA lainnya, sehingga menyebabkan ketidakkonsistenan dalam hasil penyisihan kekeruhan pada rentang dosis tertentu. Selain itu, koagulan tawas juga dapat membentuk endapan yang tidak stabil atau flok yang mudah pecah, sehingga dapat mengurangi efektivitas penyisihan kekeruhan pada dosis yang terlalu tinggi (Wang,2015). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas koagulan tawas dalam penyisihan kekeruhan pada setiap IPA, sehingga dapat mengoptimalkan dosis yang digunakan untuk mencapai efisiensi penyisihan yang maksimal.

3.4 Analisis Pengaruh Kualitas Kimia Air Terhadap Efisiensi Penyisihan Kekeruhan

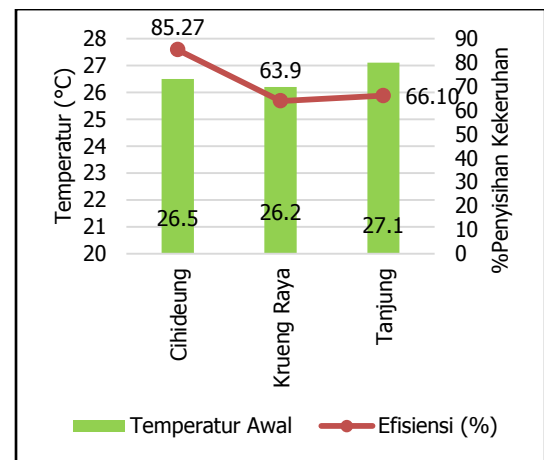
Ketergantungan akan efisiensi penyisihan yang tinggi dalam proses koagulasi kini menjadi target utama dalam proses pengolahan air minum terutama dalam menyisihkan kekeruhan diantaranya yang mempengaruhi hal tersebut adalah parameter pH dan temperatur. Proses koagulasi perlu dioptimalkan kinerjanya secara maksimal dengan memperhatikan parameter pendukung seperti pH dan temperatur sehingga efisiensi penyisihan kekeruhan dapat optimal. Berikut ini merupakan analisis perbandingan antara parameter kualitas air dengan efisiensi penyisihan kekeruhan berdasarkan data pada tabel 2 yang diinterpretasikan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

Berdasarkan hasil perbandingan Gambar 5, beberapa sungai seperti Cihideung, Sengkuang, Krueng Raya, Citekin, dan Tanjung memiliki rentang pH dengan kondisi asam hingga netral. Namun, hanya Sungai Cihideung dan Sengkuang yang menunjukkan perubahan pH setelah dilakukan proses pengolahan. pH awal di beberapa sungai (Sengkuang, Krueng Raya, Citekin dan Tanjung) cenderung lebih asam karena penelitian menunjukkan bahwa pH optimum koagulan tawas berada dalam rentang pH 6,5-7,5

(Rachmaniah dan Helard, 2019). pH awal dapat memengaruhi proses koagulasi, ketika dalam kondisi asam, efektivitas koagulan untuk mengikat partikel-partikel yang akan diendapkan menjadi lebih sulit (Ahmadi dan Saeedi, 2018).



Gambar 5. Perbandingan pH pada Tiap Sungai



Gambar 6. Perbandingan Temperatur Pada Tiap Sungai

Namun, pada Sungai Sengkuang hal tersebut tidak terjadi dan dengan kondisi pengolahan tersebut menghasilkan penyisihan kekeruhan akhir sebesar 1 NTU dengan efisiensi sebesar 98,48%. Sementara itu, pada beberapa sungai lainnya dengan kondisi yang hampir serupa penyisihan kekeruhannya hanya mencapai $\leq 70\%$. Efisiensi penyisihan yang tinggi serta kekeruhan akhir yang semakin kecil menunjukkan peran pH dan efektivitas koagulan yang bekerja secara maksimal. Sebagai contoh pada Sungai Sengkuang dengan kondisi pengolahan pH asam dan Sungai Cihideung dengan kondisi pengolahan pada pH optimum, proses koagulasi berjalan secara maksimal karena terdapat interaksi ion Al^{3+} dan ion OH^- untuk membentuk endapan hidroksida aluminium ($Al(OH)_3$) di rentang pH $>4,5$ dan pH >8 sehingga memudahkan dalam pembentukan flok berukuran besar dan mudah diendapkan, akan tetapi hal ini dipengaruhi oleh kondisi dan karakteristik sumber air pada IPA tersebut (Siswanto dan Juwari, 2019). Sedangkan, pada beberapa sungai lainnya ketika dalam kondisi asam interaksi yang terbentuk yakni bersaingnya ion hidrogen (H^+) dengan ion hidroksida (OH^-), hal ini menyebabkan terganggunya pembentukan endapan hidroksida aluminium ($Al(OH)_3$) yang berdampak pada mudahnya terpecah pembentukan flok dan peningkatan kembali kekeruhan (Siswanto dan Juwari, 2019; Ahmadi dan Saeedi, 2018).

Selain parameter pH, parameter temperatur juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil akhir penyisihan kekeruhan dalam proses koagulasi dengan koagulan tawas. Berdasarkan beberapa penelitian, temperatur dapat dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu tingkat rendah, sedang, dan tinggi. Pada suhu rendah (kurang dari $20^\circ C$), proses koagulasi akan berlangsung lebih lambat dan efisiensi penyisihan kekeruhan akan menurun (Meng dkk., 2018). Pada suhu sedang ($20-30^\circ C$), efisiensi koagulasi akan meningkat dan waktu pengendapan akan lebih cepat. Namun, pada suhu tinggi (lebih dari $30^\circ C$), efisiensi koagulasi dapat menurun karena terjadi penurunan kemampuan koagulan tawas untuk membentuk flokulasi yang stabil (Bongiovanni dkk., 2015). Berdasarkan hasil perbandingan dari beberapa penelitian yang diinformasikan pada Gambar 6, beberapa sungai seperti Sungai Cihideung, Krueng Raya, dan Tanjung memiliki rentang temperatur $26,2-27,1^\circ C$ yang termasuk pada kategori temperatur sedang sehingga efisiensi koagulasi akan kian meningkat dan waktu pengendapan akan lebih cepat. Hal ini tercermin pada Sungai Cihideung yang memiliki efisiensi penyisihan kekeruhan yang cukup tinggi, selama proses koagulasi terjadi reaksi antara koagulan dengan partikel-partikel kekeruhan di dalam air, penurunan tegangan permukaan, dan viskositas yang menyebabkan flok dapat bergerak lebih bebas dan mempercepat waktu pengendapan (Ma dkk., 2014). Akan tetapi, hal serupa tidak berlaku pada Sungai

Krueng Raya dan Tanjung yang memperoleh hasil efisiensi penyisihan rendah yang dapat dipengaruhi oleh karakteristik air baku, suhu lingkungan, waktu reaksi/kontak, dan konsentrasi koagulan yang digunakan (Sulistiyono dan Yuliastri, 2015).

3.5 Analisis Pengaruh Keberadaan NOM Pada Proses Koagulasi Dengan Koagulan Tawas

Natural Organic Matter (NOM) merupakan bahan organik yang terdapat di dalam air yang berasal dari sisa-sisa kehidupan tanaman dan hewan yang telah mati. NOM mempunyai sifat yang kompleks dan bervariasi, yang dapat mempengaruhi kinerja dari proses koagulasi dalam pengolahan air. Pengaruh NOM pada koagulasi telah banyak dibahas dalam berbagai penelitian, akan tetapi masih jarang digunakan sebagai parameter kunci dalam mengolah air minum. Salah satu contohnya adalah penelitian oleh Al-Omari dkk. (2020) yang menunjukkan bahwa keberadaan NOM dalam air dapat mengurangi efektivitas koagulasi dengan meningkatkan turbiditas dan memperpanjang waktu koagulasi sehingga hal tersebut menjadi salah satu faktor keberadaan NOM perlu diperhatikan. Berikut merupakan tabel terkait efisiensi penyisihan kekeruhan pada tiap sungai yang tertera pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Penyisihan Kekeruhan dan Organik Dengan Koagulan Tawas

Lokasi Studi			Status Sungai		Dosis Koagulan	Efisiensi Penyisihan Kekeruhan	Efisiensi Penyisihan Organik
			Kondisi	Ref			
Sungai Bogor	Cihideung,	Kabupaten	Tercemar ringan	Kristianti dkk.,2022	20 mg/L	85,27 %	-
Sungai Sanggau	Sengkuang,	Kabupaten	-	-	28,9 mg/L	98,48%	-
Sungai Tangerang	Cidurian,	Kabupaten	Tercemar ringan	Novianti dkk.,2022	41,65 mg/L	97,67% ; 97,57% ; dan 98,46%	-
Sungai Ciliwung, Bogor			Tercemar sedang	Millah dan Satyanto, 2018	25 mg/L	94,44% ; 97,57% ; dan 98,46%	-
Sungai Kapuas		Pontianak	Tercemar sedang-berat	Dino,2022	-	-	-
Sungai Sumedang Selatan	Citekin,	Kecamatan	Tercemar ringan	Dita dkk.,2019	30 mg/L	70%	-
Sungai Tanjung Besar		Kabupaten Aceh	Tercemar ringan	MenLHK,2023	35 mg/L	66,10%	-
Sungai Aceh Besar	Krueng Raya,	Kabupaten	Tercemar ringan	MenLHK,2023	30 mg/L	63,9%	-
Kali Jagir, Surabaya			Tercemar sedang-berat	Nusa dan Dinda,2017	35 mg/L	-	TOM : 21,94% dan 3,60% UV210 : 12,86% dan 15,10%

Parameter NOM menjadi faktor penting yang dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan kekeruhan dalam proses koagulasi. Namun, parameter ini sering diabaikan dalam Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) konvensional di Indonesia karena pemahaman yang terbatas serta keterbatasan alat dan teknologi untuk mengukur parameter ini (Sururi, 2019; Chen C dan Chen X, 2018; Amy dkk., 2003). Pada Kali Jagir, efisiensi penyisihan senyawa organik menjadi faktor penting dalam pengolahan air baku menjadi air minum di Indonesia. Pengukuran NOM dengan UV₂₁₀ ini memiliki peran penting dalam mengidentifikasi keberadaan senyawa-senyawa organik aromatik seperti asam humat dan fulvat dalam NOM (Sururi dkk., 2023). Informasi yang diperoleh dari pengukuran UV₂₁₀ sangat berharga dalam proses koagulasi-flokulasi pada pengolahan air baku, karena nilai ini dapat digunakan sebagai upaya mengoptimalkan proses koagulasi-flokulasi (Rahmwati dkk., 2019; Wijaya dkk., 2019). Optimalisasi koagulasi-flokulasi berdasarkan pengukuran nilai UV₂₁₀ memiliki kelebihan dalam peningkatan efektivitas proses dalam menghilangkan kekeruhan dan senyawa organik dalam air, pemilihan unit pengolahan yang sesuai dengan karakteristik air baku pada IPAM konvensional, serta penentuan dosis yang tepat untuk menghilangkan parameter kekeruhan dan organik secara bersamaan yang sering menjadi permasalahan pada IPAM konvensional dengan permasalahan kegagalan pembentukan flok (Sururi dkk., 2023; Hariyanto dkk., 2020).

Permasalahan efisiensi penyisihan kekeruhan yang rendah terdapat pada Sungai Citekin, Tanjung, dan Krueng Raya sehingga hal ini dapat diindikasikan terdapat pengaruh keberadaan NOM pada air baku tersebut. Keberadaan NOM ini dapat diidentifikasi berdasarkan status sungai pada sungai-sungai tersebut yang termasuk pada kategori tercemar, sehingga NOM yang masuk ke dalam air dapat berasal dari aktivitas manusia serta mengandung senyawa organik seperti minyak, lemak, dan deterjen, yang dapat membentuk senyawa organik kompleks (Azhar dan Idris, 2016). Selain itu, indikasi keberadaan NOM dapat ditinjau dari penggunaan dosis koagulan, kekeruhan awal dan akhir serta hasil efisiensi penyisihan diperoleh oleh sungai-sungai tersebut, karena keberadaan NOM sendiri menyebabkan ukuran flok kecil dan padat dan proses pembentukan flok yang sulit yang pada akhirnya berpengaruh pada besaran nilai efisiensi penyisihan (Wang dkk.,2017 ; Lin dkk.,2015). Selain terjadi penurunan efisiensi penyisihan kekeruhan, salah satu efek lain yang terjadi adalah peningkatan konsumsi koagulan. Pada beberapa sungai, meskipun digunakan dosis koagulan dalam kategori sedang, ketika koagulan tawas ditambahkan ke dalam air yang mengandung NOM, terjadi reaksi antara koagulan tawas dan senyawa organik. Reaksi ini menghasilkan pembentukan flok kompleks dengan ukuran kecil, di mana partikel dalam air tidak sepenuhnya bergabung. Akibatnya, penambahan dosis koagulan tambahan diperlukan untuk mencapai efisiensi penyisihan yang tinggi (Tan dan Feng, 2018).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur tentang proses penyisihan kekeruhan menggunakan koagulan tawas, penting untuk memperhatikan beberapa faktor, termasuk parameter kimia seperti kandungan organik, serta jenis dan dosis koagulan yang digunakan. Namun, dalam kondisi air baku yang tercemar, diperlukan upaya pengolahan yang lebih spesifik, termasuk pengaturan parameter kimia seperti pH, suhu, dan tingkat kekeruhan, agar proses koagulasi dapat bekerja secara optimal. Hal ini menunjukkan bahwa pH dan suhu memiliki pengaruh dalam efektivitas koagulan tawas. Berdasarkan hasil penelusuran literatur pada proses koagulasi air tercemar, monomer dan polimer dari koagulan alum akan membentuk presipitat $Al(OH)_3$ yang terlarut dalam air pada rentang pH < 4,5 dan pH > 8,0, di luar pH tersebut penurunan kekeruhan dengan koagulan alum hanya mencapai efisiensi penyisihan kekeruhan di bawah 70%. Oleh karena itu, penting untuk mengoptimalkan proses koagulasi dalam pengolahan air guna mencapai kualitas air yang sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan.

Keberadaan NOM dalam air baku, terutama pada sistem pengolahan air konvensional di Indonesia, belum menjadi parameter kunci dalam pengolahan air baku menjadi air minum menggunakan unit pengolahan koagulasi-flokulasi. Indikasi keberadaan NOM tercermin melalui pengukuran nilai UV_{210} untuk mengoptimalkan proses koagulasi-flokulasi pada air baku tercemar sehingga mampu menyisihkan kekeruhan dan senyawa organik dalam air secara optimal. Berbagai permasalahan dalam proses koagulasi-flokulasi seperti kegagalan pembentukan flok, rendahnya efisiensi penyisihan, dan peningkatan kebutuhan dosis koagulan pada IPAM konvensional dapat dihindari. Oleh karena itu, pengendalian konsentrasi NOM dan senyawa organik lainnya dalam air baku menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi proses koagulasi-flokulasi untuk menghasilkan air yang aman dan berkualitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, M., & Saeedi, M. (2018). Optimization of Turbidity Removal from Water Using Coagulation-Flocculation Method. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 6(1), 12-17.
- Al-Omari, A., Al-Zboon, K., & Abdulla, F. (2020). Impact of Natural Organic Matter on Coagulation Performance and Fouling of Ultrafiltration Membrane. *Water Science and Technology: Water Supply*, 20(2), 876-884.
- Amy, G., Drewes, J., Schippers, J., & Leslie, G. (2003). The Role of Natural Organic Matter (NOM) in Water Reuse and Recycling. *Water Science and Technology*, 47(11), 1-8.
- Andini. (2017). Perencanaan Unit Pengolahan Air Bersih di Kecamatan Sumedang Selatan. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, No.2| Vol.05, - Oktober 2017, 05(2), 1–11.
- AWWA (American Water Works Association). (2011). *Water Quality and Treatment: A Handbook on Drinking Water* (6th ed.). McGraw-Hill.
- Azhar, A. T., & Idris, A. (2016). Characterization of Raw Water Quality in Sungai Selangor Basin. *Journal of Engineering Science and Technology*, 11(4), 533-544.
- Bongiovanni, R., Rusu, L., & Tiron-Tudor, A. (2015). Influence of Temperature on Coagulation–Flocculation Process. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 16(4), 1735-1742.
- Chen, C., & Chen, X. (2018). Natural Organic Matter Characterization and Removal in Drinking Water Treatment Processes: A Comprehensive Review. *Chemosphere*, 202, 600-610.
- Chen, Z., Zhou, Y., Zhang, J., & Wei, X. (2019). Occurrence, Fate, and Removal of Natural Organic Matter in Drinking Water Sources. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(17), 17235-17250.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *Water treatment: Principles and design*. John Wiley & Sons.
- Dantas, A. D. B., & Leao, V. A. (2021). Influence of Natural Organic Matter in the Coagulation–Flocculation Process: A Review. *Journal of Environmental Engineering*, 147(3), 04021007.
- Dirgawati, M., & Sururi, M. R. (2023). Characteristics of Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Forming Potential Occurrence in Watersheds with Different Upstream Land Use. *Environment and Natural Resources Journal*, 21(2), 140–152. <https://doi.org/10.32526/enrj/21/202200179>
- Edzwald, J. K. (2005). *Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water* (5th ed.). American Water Works Association.
- Edzwald, J. K. (2011). Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants. *Water Research*, 45(5), 1432-1446.
- Gao, J., Zhang, L., Deng, Y., Wang, H., & Zhang, L. (2018). The effect of pH on the performance of a novel composite flocculant and its application in a turbid water treatment process. *Water Science and Technology*, 77(1), 110-117.
- Ghafari, S., & Aroua, M. K. (2013). Coagulation-flocculation process for water clarification: A review of recent studies. *Journal of Water Process Engineering*, 1, 295-319.
- Hermanto, J., Yusuf, W., St, M. T., Jati, D. R., & Si, S. T. M. (2010). Evaluasi Dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Air Minum (Ipa I) Sungai Sengkuang Pdam Tirta Pancur Aji. *Ipa I*, 1–10.
- Hoang, T., Huynh, Q., & Ho, P. (2013). Efficiency of the combined systems for water treatment. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(8), 787-792.
- Huang, S., Zhang, S., Yang, Q., & Liu, Y. (2017). Optimization of Coagulation Performance in Drinking Water Treatment: Effects of pH and Coagulant Dosage. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(34), 26431-26441.
- Kamal, M. F., & Hidayah, E. N. (2019). Penyisihan Kandungan Bahan Organik Alami Pada Air Baku Untuk Produksi Air Minum Dengan Kombinasi Pre-Oksidasi Dan Koagulasi. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.20527/jukung.v5i1.6190>
- KLHK (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan). (2022). *Laporan Tahunan Kualitas Lingkungan Hidup 2022*.
- Kristanto, G. A. (2002). Pencemaran dan Kualitas Air Sungai: Tinjauan Mengenai Penanganan Limbah Cair. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 1-9.

- Kurniawan, T. A., Suwasono, M. S., & Martanto, D. (2021). Performance analysis of coagulation-flocculation process using poly-aluminium chloride (PAC) and ferric chloride (FeCl₃) as coagulants on municipal wastewater treatment. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 9(2), 705-710.
- Li, G., Wang, S., Sun, H., Zhang, X., & Qu, J. (2019). Effect of Natural Organic Matter Composition on Membrane Fouling in Ultrafiltration: A Review. *Chemosphere*, 214, 828-843.
- Li, S., Li, S., Li, X., Li, Y., ... & Xiong, Y. (2019). Comparison of coagulation effect of different PAC products on algae-removed water. *Journal of environmental management*, 236, 759-765.
- Lin, H. Y., & Chiang, P. C. (2015). Flocculation behavior of dissolved organic matter with aluminum salts. *Water Research*, 81, 18-25.
- Lin, T., Lin, J., & Zhang, C. (2015). Role of NOM in Membrane Fouling in a Microfiltration/ultrafiltration Membrane Bioreactor: A Critical Review. *Journal of Membrane Science*, 475, 453-482.
- Liu, G., Liu, H., & He, C. (2018). Effects of coagulant dosages and initial turbidity on the performance of coagulation-flocculation process. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(25), 25231-25239.
- Liu, R., Liu, J., & Qu, J. (2014). Enhanced coagulation using poly-aluminum chloride (PAC) as a coagulant and modified clays as a coagulant aid for high NOM waters. *Journal of Environmental Sciences*, 26(1), 146-153.
- Liu, X., Li, X., Wang, D., & Liu, Y. (2021). Investigation of coagulation behavior and floc characteristics using alum (Al₂(SO₄)₃•14H₂O) in water treatment. *Water Science and Technology: Water Supply*, 21(5), 1704-1714.
- Ma, J., Li, B., Wu, X., Chen, F., & Liu, C. (2014). Study on Coagulation Mechanism and Kinetics of Polymeric Aluminum Silicate Sulfate (PASS). *Desalination and Water Treatment*, 52(34-36), 6995-7003.
- Mahapatra, P. S., Ram, P., Kumar, P., & Bhattacharya, J. (2021). Assessment of Water Quality of River Yamuna in Delhi Stretch Using Water Quality Index (WQI). In *Sustainable Water Resources Management* (pp. 1-12). Springer.
- Masduqi, A. (2012). Optimalisasi Waktu Detensi untuk Pengolahan Air Baku Menggunakan Koagulan Tawas pada Air Sungai Ciliwung dan Cidurian. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(2), 36-43.
- Meng, L., Chen, H., Liu, J., Liu, R., & Zhu, X. (2018). The Effect of Temperature on Coagulation Process in Treating River Water. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(32), 31915-31923.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Ning, B., Liu, C., Zhang, X., & Wu, J. (2019). The evaluation of FeCl₃/NaOCl coagulation process in the treatment of refractory dissolved organic matter in landfill leachate. *Environmental science and pollution research international*, 26(9), 9281-9291.
- Putri, D. T. R. (2013). *Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Bersih Unit 1 Sungai Ciapus Di Kampus IPB Dramaga Bogor*. Skripsi Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Teknik Lingkungan, IPB Bogor.
- Rachmaniah, A., & Helard, H. (2019). Pengaruh pH terhadap Efisiensi Koagulasi Tawas pada Air Tanah Mengandung Besi (Fe) Tinggi. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 13(1), 37-46.
- Rahmawati, F., Sururi, S., Purnawan, A. S., & Wijaya, C. (2019). Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Turbidity and UV₂₁₀ Removal in Raw Water Treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 293, 012060.
- Ramadhan, F., Siami, L., & Winarni, W. (2019). Optimalisasi Instalasi Pengolahan Air Minum Solear, PDAM Tirta Kerta Raharja -Kabupaten Tangerang. *Seminar Nasional Pembangunan Wilayah Dan Kota Berkelanjutan*, 1(1), 132-141. <https://doi.org/10.25105/pwkb.v1i1.5269>
- S.M. Islam, M. Azam, & S.M. Shafiqul Alam (2016). Coagulation-Flocculation Processes in Water/Wastewater Treatment: The Application of New Generation Organic Coagulants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(2), 1442-1460.
- Setyowati, M., Prasetya, N. B., & Tama, C. (2015). Analysis of Water Quality in the Downstream of Serayu River from 2009 to 2013. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 47(2), 132-145.

- Siswanto, & Juwari, S. (2019). Optimasi Pengolahan Air Sungai dengan Koagulasi Tawas pada IPA dengan Tingkat Kekeruhan Tinggi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 473-486.
- Sulistiyono, H., & Yuliasri, N. (2015). Coagulation Process Using Tawas to Reduce Turbidity in Raw Water from Tanjung River, Bandar Lampung. *Jurnal Pengolahan dan Pemanfaatan Hasil Perikanan Indonesia*, 1(1), 59-67.
- Sururi, M. R., dkk. (2022). Chromophoric dissolved organic compounds in urban watershed and conventional water treatment process: evidence from fluorescence spectroscopy and PARAFAC. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- Sururi, N. (2019). The Effect of Natural Organic Matter (NOM) in Raw Water on the Performance of Coagulation-Flocculation Process. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(1), 012084.
- Sururi, S. (2019). Improving Raw Water Treatment by Optimizing Coagulation-Flocculation Process Based on UV210 Measurement. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 14(2), 27-34.
- Sururi, S., Purnawan, A. S., Wijaya, C., & Rahmawati, F. (2022). Analysis of Surface Water Quality and Its Relationship with Urbanization in Indonesian Rivers. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 71(1), 45-57.
- Sururi, S., Purnawan, A. S., Wijaya, C., & Rahmawati, F. (2023). Optimization of Coagulation-Flocculation Process Based on UV210 Measurement for Raw Water Treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* (In press).
- Sutapa, I. D. A. (2014). Optimalisasi dosis koagulan aluminium sulfat dan poli-aluminium florida (PAC) untuk pengolahan air Sungai Tanjung dan Krueng Raya. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 5(1), 29-42.
- Suwadiwangsa, A. D., Lestari, P., & Yulianto, B. (2013). Optimization of coagulant dosage for the treatment of turbid water using polyaluminium chloride (PAC). *Procedia Environmental Sciences*, 17, 208-217.
- Tan, S. K., & Feng, X. (2018). Membrane Fouling by Natural Organic Matter (NOM) and Its Control Strategies in Drinking Water Treatment: A Review. *Journal of Environmental Sciences*, 68, 148-157.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (1999). *Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual*.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). (2021). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-03/documents/dwsm-ch1-contents.pdf>
- USGS (U.S. Geological Survey). (2017). *National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data: Turbidity (Chapter A6)*. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/tm/04/a06/>
- Wang, L. K. (2015). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment* (3rd ed.). CRC Press.
- Wang, X., Li, Z., & Bai, Y. (2012). Effects of hydrolyzed inorganic and organic coagulants on coagulation performance and floc characteristics. *Separation and Purification Technology*, 84, 1-7.
- Wang, X., Wang, Y., Li, G., Xu, X., & Zhou, J. (2016). Comparison of polyaluminum chloride and aluminum sulfate coagulant on the removal of fluoride in drinking water treatment. *Environmental science and pollution research international*, 23(19), 19194-19202.
- Liu, Y., Li, L., Wang, Y., Liu, Z., Fu, J., Yu, Z., Zhang, H., & Zhao, H. (2022). Impact of Natural Organic Matter on Coagulation Efficiency and Membrane Fouling in Drinking Water Treatment: A Review. *Journal of Environmental Management*, 312, 114693.
- Wang, Y., Zhou, X., Li, J., Xu, L., Liu, R., & Yang, J. (2017). Effect of Organic Matter on the Performance of Ultrafiltration Membranes for Drinking Water Treatment. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(1), 92-100.
- Widhianti, R., Tazkiaturrizki, T., & Ratnaningsih, R. (2019). Evaluation at Cibinong Water Treatment Plant (WTP) in Bogor District. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033014>

- Widodo, R. (2021). Water Resources and Water Supply in Indonesia: Challenges and Opportunities. In Water Resources Management in Indonesia (pp. 3-16). Springer.
- Wijaya, C., Purnawan, A. S., Sururi, S., & Rahmawati, F. (2019). Coagulation-Flocculation Process for Turbidity and UV210 Removal in Raw Water Treatment. *International Journal of Technology*, 10(3), 540-548.