

Available online at: <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/>

REACTOR
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



Evaluasi Kinerja Penyisihan Kekeruhan dan Penggunaan PAC dalam Operasional Harian di SPAM Katulampa, Kota Bogor

Niesa Hanum Mistoro¹, Enry Adiarto Guntoro¹, Noviani Ima Wantoputri¹, Dahlia Anggita Zahra², Makmur Gunawan³, Muhammad Yacob³

¹ Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km.14,5, Yogyakarta 55584 Indonesia

² Economics, Planning and Public Policy Program, National Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS), Tokyo, 106-0032 Japan

³ Perumda Tirta Pakuan Kota Bogor, Jl. Siliwangi No. 121, Sukasari, Bogor Timur, Kota Bogor, Jawa Barat 16142, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: May 25, 2026

Revised: June 24, 2026

Available online: June 30, 2026

KEYWORDS

drinking water treatment, turbidity, Polyaluminum Chloride, coagulation-flocculation, SPAM Katulampa

CORRESPONDENCE

Name: Niesa Hanum Mistoro

E-mail: niesa.mistoro@uii.ac.id

A B S T R A C T

This study evaluates turbidity removal performance and daily Polyaluminum Chloride (PAC) use at SPAM Katulampa, Bogor, based on routine operational data under fluctuating raw water turbidity. Daily operational data from 10 February to 10 March 2026 were analysed, including raw water turbidity, treated water turbidity, PAC consumption, and flow rate. Descriptive statistics, time-series plots, turbidity removal calculation, and exploratory scatter plots with linear trendlines were used to assess treatment stability and the relationship between PAC use and turbidity. Raw water turbidity varied widely from 12.00 to 262.97 NTU, while treated water turbidity remained low at 0.52–0.91 NTU, below the 3 NTU national turbidity limit. Turbidity removal ranged from 94.9% to 99.8%, indicating stable performance of the treatment process. Daily PAC use ranged from 324.75 to 519.60 kg/day. However, the linear relationships between raw water turbidity and PAC use ($R^2 = 0.0148$), and between PAC use and treated water turbidity ($R^2 = 0.0021$), were very weak. The results indicate that low treated-water turbidity was maintained despite high raw-water variability, but this stability cannot be attributed solely to PAC use. It is more appropriately understood as the combined performance of coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, and routine operational control. Higher-resolution operational data are needed to evaluate real-time PAC dose response and process optimization.

PENDAHULUAN

Kualitas air minum merupakan faktor krusial yang harus dijaga dalam sistem penyediaan air minum, karena secara langsung memengaruhi kesehatan masyarakat dan keberterimaan konsumen. Salah satu parameter fisik utama yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas air adalah kekeruhan (*turbidity*), yang menunjukkan konsentrasi partikel tersuspensi dalam air. Partikel-partikel ini tidak hanya dapat mengurangi efektivitas proses desinfeksi, tetapi juga menjadi media potensial

bagi pertumbuhan mikroorganisme patogen dan dapat memengaruhi warna dan estetika air [1], [2].

Dalam pengolahan air permukaan, proses koagulasi-flokulasi merupakan tahapan kritis yang bertujuan menetralkan muatan partikel tersuspensi dan membentuk flok yang lebih besar sehingga mudah diendapkan pada unit sedimentasi. Koagulan seperti *Polyaluminum Chloride* (PAC) banyak digunakan karena muatan positif yang tinggi memungkinkan interaksi elektrostatis dengan partikel koloid negatif, membentuk agregat flok yang lebih stabil dan mempermudah penghilangan partikel tersuspensi [3], [4]. Efektivitas PAC bergantung

pada dosis, pH, dan kondisi air baku. Dosis yang terlalu rendah menyebabkan flok tidak terbentuk, sementara dosis berlebihan dapat mengakibatkan deflokulasi dan peningkatan kembali kekeruhan [5]. Berbagai studi eksperimental menunjukkan bahwa PAC efektif menurunkan kekeruhan, TSS, dan COD. Optimasi dosis koagulan dapat dilakukan melalui *jar test*, model prediktif, dan metode *response surface methodology*, sehingga dosis dapat disesuaikan dengan karakteristik air baku untuk menjaga konsistensi kualitas air hasil pengolahan [3], [6], [7]. Penelitian terbaru juga menekankan pentingnya pemantauan kualitas air secara *real-time* dan penyesuaian dosis koagulan secara adaptif, khususnya saat air baku mengalami fluktuasi tinggi akibat hujan atau limpasan permukaan, sehingga stabilitas proses pengolahan dapat terjaga [8], [9]. Selain PAC, flokulan polimer digunakan untuk mempercepat pembentukan flok dan meningkatkan stabilitas flok sebelum sedimentasi. Kombinasi PAC dan polimer terbukti menurunkan kekeruhan air hingga <1 NTU sekaligus mempertahankan dosis koagulan yang efisien secara operasional [10]. Strategi ini penting dalam konteks pengolahan air minum modern yang mengedepankan efisiensi dan keamanan operasional.

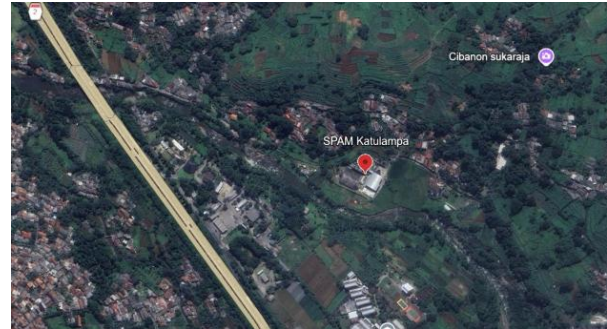
Meskipun berbagai penelitian telah membahas efektivitas PAC dan flokulan dalam pengolahan air secara eksperimental, kajian berbasis data operasional harian pada instalasi pengolahan air minum skala lapangan masih perlu dilaporkan secara lebih luas. Hal ini penting karena kondisi operasi di lapangan tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik air baku, tetapi juga oleh pola penggunaan koagulan, debit pengolahan, serta kinerja unit proses seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja penyisihan kekeruhan dan penggunaan PAC berdasarkan data operasional harian pada SPAM Katulampa, Kota Bogor. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai fluktuasi kekeruhan air baku, stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan, efisiensi penyisihan kekeruhan, serta pola penggunaan PAC dalam konteks operasional instalasi pengolahan air minum skala nyata.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Katulampa, yang dikelola oleh Perumda Tirta Pakuan Kota Bogor. Lokasi geografis SPAM Katulampa berada di kawasan Kecamatan Bogor Timur, Kota Bogor, yang mudah diakses melalui jaringan jalan utama. SPAM Katulampa merupakan salah satu instalasi pengolahan air minum utama di Kota Bogor, dengan

kapasitas total sekitar 600 L/detik, terbagi menjadi Katulampa 1 dan Katulampa 2, masing-masing memiliki kapasitas 300 L/detik. Air baku diambil dari Sungai Ciliwung, yang diketahui memiliki karakteristik fluktuatif terutama pada parameter kekeruhan, akibat pengaruh limpasan permukaan dan curah hujan tinggi [11]. Berikut Gambar 1 merupakan lokasi dari SPAM Katulampa.



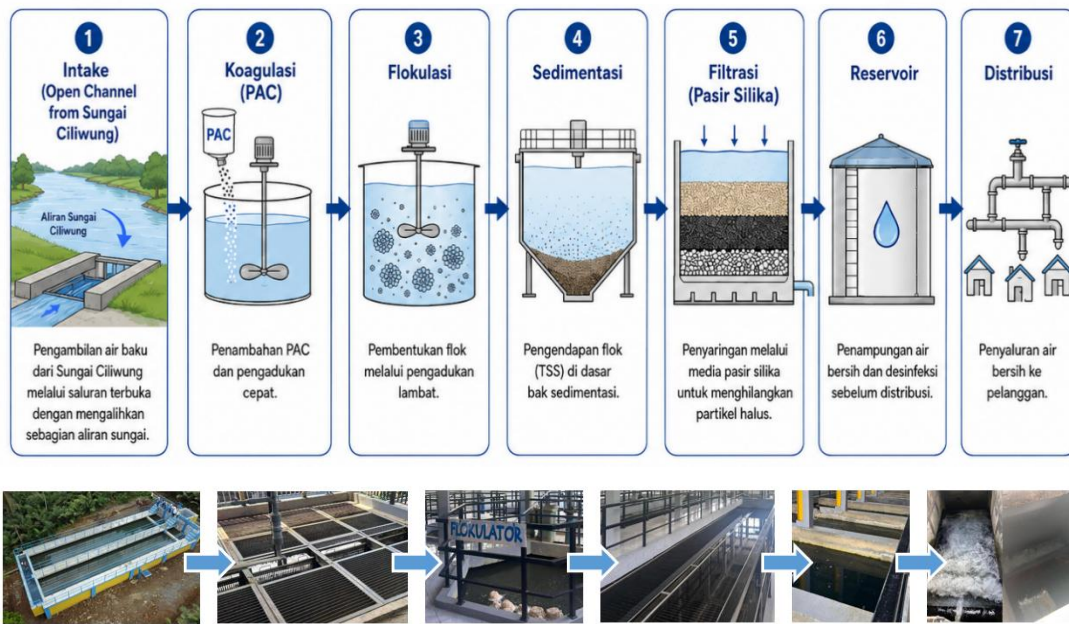
Gambar 1. Lokasi SPAM Katulampa Bogor

Unit Proses Pengolahan Air

Unit pengolahan air minum (IPAM) di SPAM Katulampa terdiri dari serangkaian proses konvensional yang saling terintegrasi, yaitu: *Intake*, Koagulasi, Flokulasi, Sedimentasi, Filtrasi, *Reservoir*, dan Distribusi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 Diagram alir proses pengolahan air di SPAM Katulampa dan foto unit pengolahannya.

Intake dilakukan dengan mengambil sebagian air dari Sungai Ciliwung melalui saluran terbuka (*open channel*) yang langsung mengalir ke unit pengolahan sehingga air baku diambil secara kontinu dan sebagian untuk menjaga kestabilan aliran masuk ke unit pengolahan. Gambar 1 menampilkan lokasi *intake* dan arah aliran air baku menuju unit pengolahan. Koagulasi merupakan tahap awal pengendalian partikel tersuspensi, di mana PAC (*Polyaluminum Chloride*) ditambahkan dan memerlukan pengadukan cepat (*rapid mixing*) agar koagulan tercampur merata. Flokulasi bertujuan memperbesar ukuran flok melalui pengadukan lambat (*slow mixing*), sehingga flok lebih stabil dan mudah diendapkan pada unit sedimentasi. Sedimentasi adalah unit di mana flok yang terbentuk mengendap di dasar bak sedimentasi. Efektivitas sedimentasi bergantung pada ukuran dan stabilitas flok dari tahap koagulasi-flokulasi, serta waktu tinggal (*retention time*) yang cukup. Pengurasan rutin dilakukan untuk membuang lumpur dan menjaga efisiensi endapan. Filtrasi menggunakan media pasir silika untuk menyaring partikel halus yang tersisa dari sedimentasi sebelum air masuk ke reservoir. Filter ini beroperasi secara kontinu dan dilakukan pembersihan berkala (*backwash*) untuk mempertahankan permeabilitas media dan efisiensi penyisihan kekeruhan [1]. Reservoir dan Distribusi berfungsi antara lain untuk

Proses Pengolahan Air di SPAM Katulampa, Kota Bogor



Gambar 2. Diagram alir proses pengolahan air di SPAM Katulampa dan foto unit pengolahannya.

penampungan air bersih sementara sebelum didistribusikan ke konsumen. Pada tahap ini dilakukan desinfeksi akhir menggunakan klorin untuk menjamin keamanan mikrobiologis air. Secara keseluruhan, rangkaian unit proses ini bekerja sinergis untuk menurunkan kekeruhan air baku menjadi air bersih. Penyesuaian dosis PAC terhadap fluktuasi kekeruhan, pemeliharaan rutin unit sedimentasi dan filtrasi, serta pengendalian distribusi merupakan faktor utama yang menjaga stabilitas kualitas air hasil pengolahan di SPAM Katulampa.

Data Operasional dan Parameter Pengamatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data operasional harian SPAM Katulampa selama periode 10 Februari hingga 10 Maret 2026. Data diperoleh dengan izin dan validasi dari pihak pengelola SPAM Katulampa, Perumda Tirta Pakuan Kota Bogor. Selain itu, data berasal dari catatan operasional instalasi dan dikonfirmasi melalui informasi lapangan dari operator/pengelola unit pengolahan. Penelitian ini menggunakan data sekunder operasional sehingga pendekatan yang digunakan bersifat evaluatif terhadap kondisi aktual instalasi pengolahan air minum.

Data operasional yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup beberapa parameter utama yang menjadi indikator kinerja proses pengolahan air minum di SPAM Katulampa. Parameter-parameter tersebut dipilih untuk merepresentasikan kondisi kualitas air baku dan hasil pengolahan serta respon proses terhadap fluktuasi kondisi lapangan. Data yang diamati terdiri dari:

- 1) Kekeruhan air baku (NTU) – diukur pada titik masuk *intake* sebelum proses koagulasi.
- 2) Kekeruhan air hasil pengolahan (NTU) – diukur setelah proses filtrasi sebelum reservoir.
- 3) Dosis PAC (kg/hari) – dosis koagulan PAC yang ditambahkan setiap hari oleh operator sebagai respons terhadap kualitas air baku.
- 4) Debit air (L/detik) – volume aliran air baku yang masuk ke instalasi per satuan waktu.
- 5) Waktu *sampling* harian – tanggal dan jam pengambilan data untuk memastikan konsistensi periode pengamatan.

Pengukuran kekeruhan dilakukan menggunakan turbidimeter yang dikalibrasi sesuai standar APHA/AWWA/WEF (2017) yang merupakan metode baku untuk evaluasi kualitas air minum dan air permukaan [12], [13], [14]. Data kekeruhan yang dianalisis merupakan nilai rerata harian dari catatan operasional, bukan data akumulasi 24 jam. Dosis PAC dicatat harian berdasarkan keputusan operator, yang menyesuaikan jumlah koagulan terhadap fluktuasi kualitas air baku. Pemakaian PAC dinyatakan sebagai jumlah koagulan yang digunakan setiap hari. Debit air masuk ke unit pengolahan dicatat secara bersamaan untuk digunakan sebagai parameter pendukung untuk menggambarkan kondisi operasional instalasi selama periode pengamatan. Penelitian ini difokuskan pada parameter kekeruhan sebagai indikator utama kinerja pengolahan air minum. Oleh karena itu, parameter kualitas air lain seperti pH, warna, zat organik, dan parameter mikrobiologi tidak dianalisis secara kuantitatif dalam penelitian ini. Penggunaan data operasional harian

dipilih untuk memberikan gambaran mengenai fluktuasi kekeruhan air baku, stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan, efisiensi penyisihan kekeruhan, serta pola penggunaan PAC pada kondisi operasi aktual di lapangan.

Analisis Data dan Metode Evaluasi

Analisis data dilakukan secara deskriptif-kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja penyisihan kekeruhan dan pola penggunaan PAC berdasarkan data operasional harian SPAM Katulampa. Analisis difokuskan pada perubahan kekeruhan sebelum dan sesudah proses pengolahan, stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan, serta pola penggunaan PAC dalam kondisi operasional aktual. Analisis yang digunakan meliputi:

- 1) Statistik deskriptif, Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk mengetahui karakteristik data masing-masing parameter, meliputi nilai rata-rata, minimum, maksimum, dan standar deviasi. Hasil analisis statistik deskriptif disajikan dalam bentuk tabel ringkasan pada bagian hasil dan pembahasan. Sementara itu, *time-series plot* digunakan secara terpisah untuk menggambarkan pola perubahan harian kekeruhan air baku dan kekeruhan air hasil pengolahan selama periode pengamatan [13].
- 2) Perhitungan efisiensi penyisihan kekeruhan Efisiensi penyisihan dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$Efisiensi(\%) = \frac{NTU_{air\ baku} - NTU_{air\ hasil}}{NTU_{air\ baku}} \times 100 \quad (1)$$

Rumus ini digunakan secara harian untuk setiap unit pengolahan, sehingga dapat dinilai sejauh mana proses koagulasi – flokulasi – sedimentasi – filtrasi berhasil menurunkan kekeruhan air baku menjadi air hasil pengolahan yang memenuhi baku mutu.

- 3) Visualisasi data, dilakukan dengan menggunakan *software* Microsoft Excel dan dengan menggunakan grafik sebagai berikut:
 - a. *Time-series plot* NTU air baku dan air hasil pengolahan untuk menunjukkan fluktuasi dan stabilitas proses.
 - b. *Scatter plot* NTU air baku vs dosis PAC untuk melihat hubungan antara kualitas air baku dan penyesuaian dosis koagulan.
 - c. *Scatter plot* PAC vs NTU air hasil untuk menilai efektivitas koagulan dalam menurunkan kekeruhan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, data yang digunakan merupakan data operasional harian, sehingga tidak merepresentasikan variasi sesaat dalam skala jam. Kedua, penelitian ini tidak menggunakan data

percobaan terkontrol seperti *jar test*, sehingga hasil analisis tidak ditujukan untuk menentukan dosis optimum PAC. Ketiga, data lingkungan seperti curah hujan harian tidak dianalisis secara kuantitatif dalam penelitian ini. Keterbatasan lain dalam penelitian ini adalah tidak tersedianya data curah hujan harian pada lokasi pengambilan air baku, sehingga hubungan antara kejadian hujan, limpasan permukaan, dan lonjakan kekeruhan tidak dianalisis secara kausal. Oleh karena itu, pembahasan mengenai fluktuasi kekeruhan air baku ditafsirkan sebagai indikasi operasional yang perlu dianalisis secara hati-hati dan tidak digunakan sebagai hubungan kausal langsung tanpa dukungan data lingkungan tambahan. Seluruh proses pengolahan data, perhitungan statistik deskriptif, perhitungan persentase penyisihan kekeruhan, serta pembuatan grafik dilakukan menggunakan Microsoft Excel.

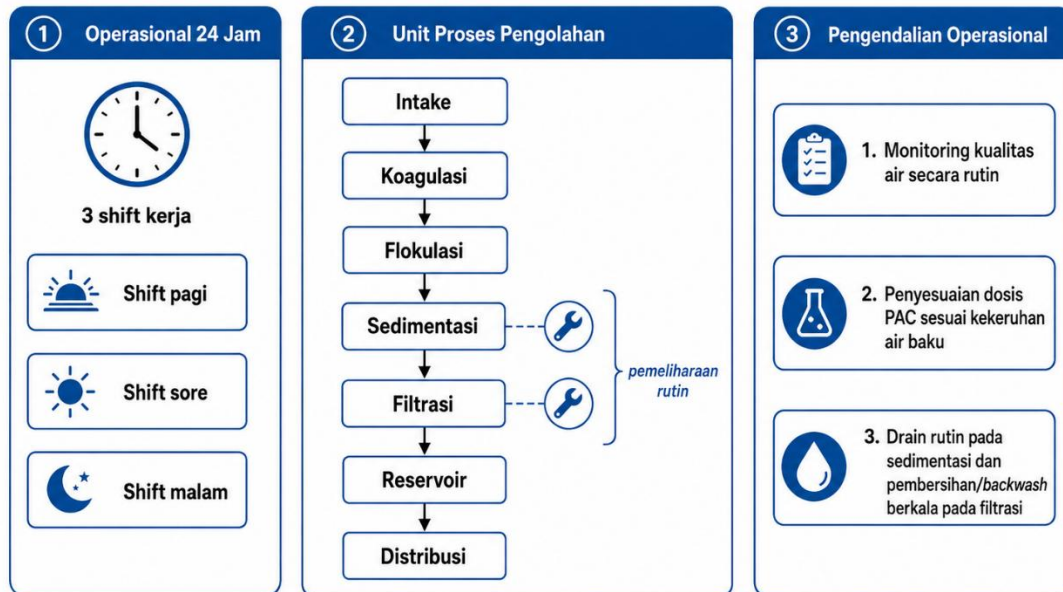
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Operasional SPAM Katulampa

Karakteristik operasional SPAM Katulampa, termasuk pembagian *shift* kerja, unit proses pengolahan, dan kegiatan pengendalian operasional, dapat dilihat secara keseluruhan pada Gambar 3. Diagram ini memperlihatkan bahwa SPAM Katulampa beroperasi 24 jam sehari dalam 3 *shift* kerja—pagi, sore, dan malam—dengan pengaturan kegiatan rutin seperti pemantauan kualitas air, penyesuaian dosis PAC, serta pemeliharaan unit sedimentasi dan filtrasi. Operasi sepanjang hari ini merupakan praktik umum dalam pengelolaan instalasi pengolahan air minum (IPAM) skala besar, di mana penjadwalan *shift* kerja dan *monitoring* berkelanjutan memberikan kontribusi penting terhadap stabilitas performa setiap unit proses pengolahan air [15]. Ringkasan karakteristik data operasional harian SPAM Katulampa selama periode 10 Februari–10 Maret 2026 disajikan pada Tabel 1. Tabel tersebut memuat statistik deskriptif berupa jumlah data, nilai rata-rata, minimum, maksimum, dan standar deviasi dari parameter utama yang dianalisis, yaitu kekeruhan air baku, kekeruhan air hasil pengolahan, pemakaian PAC harian, debit air baku, dan persentase penyisihan kekeruhan. Penyajian statistik deskriptif ini digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai kondisi operasional selama periode pengamatan sebelum dilakukan pembahasan lebih lanjut terhadap pola fluktuasi kekeruhan, stabilitas air hasil pengolahan, dan penggunaan PAC harian.

Selain pemantauan kualitas air, kegiatan operasional SPAM Katulampa juga mencakup pemeliharaan terjadwal terhadap unit-unit proses. Berdasarkan

Karakteristik Operasional SPAM Katulampa, Kota Bogor



Gambar 3. Karakteristik operasional SPAM Katulampa: pembagian *shift* kerja, unit proses pengolahan, dan kegiatan pengendalian operasional.

Tabel 1. Statistik deskriptif parameter operasional SPAM Katulampa selama 10 Februari–10 Maret 2026

Parameter	Satuan	Rerata	Min	Maks	SD
Kekeruhan air baku	NTU	58,83	12,00	262,97	52,06
Kekeruhan air hasil pengolahan	NTU	0,61	0,52	0,91	0,10
Pemakaian PAC harian	kg/hari	423,29	324,75	519,60	59,17
Debit air baku	L/detik	155,79	145,00	169,17	6,12
Persentase penyisihan kekeruhan	%	98,27	94,87	99,78	1,15

informasi operasional lapangan, kegiatan pengurusan pada unit sedimentasi dan intermediate dilakukan setiap 12 jam, sedangkan pengurusan flokulator dilakukan setiap 24 jam. Pembersihan menyeluruh pada unit sedimentasi dan filtrasi dilakukan secara berkala sekitar satu bulan sekali untuk mengurangi akumulasi lumpur dan partikel yang dapat memengaruhi kinerja pengolahan. Pada unit filtrasi, kegiatan pembersihan atau *backwash* dilakukan untuk mempertahankan kemampuan media filter dalam menyaring partikel halus yang masih tersisa setelah proses sedimentasi. Hal ini sejalan dengan praktik pengoperasian instalasi pengolahan air yang efektif, di mana pemeliharaan fasilitas tidak hanya dilakukan saat terjadi penurunan kinerja, tetapi juga dilakukan secara preventif untuk mempertahankan kinerja unit pengolahan secara keseluruhan [16], [17]. Secara umum, SPAM Katulampa menerapkan sistem pengolahan air minum konvensional yang terdiri atas unit *intake*, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, reservoir, dan distribusi. Dalam sistem ini, pengendalian operasional dilakukan melalui pemantauan rutin terhadap kondisi air baku dan air hasil pengolahan, penyesuaian penggunaan PAC berdasarkan perubahan kekeruhan air baku, serta pengaturan operasional pada unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi,

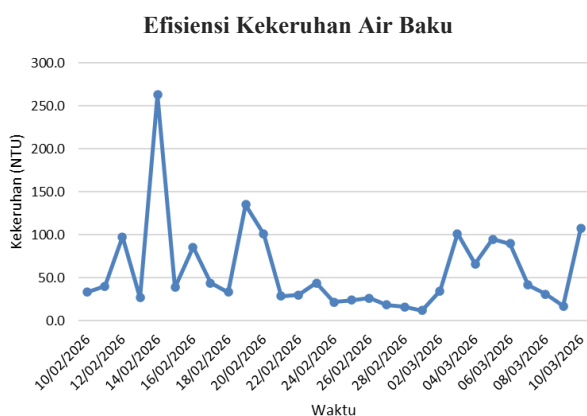
dan filtrasi [18]. Oleh karena itu, stabilitas kualitas air hasil pengolahan tidak hanya dipengaruhi oleh penggunaan PAC, tetapi juga oleh kinerja rangkaian unit proses pengolahan secara keseluruhan.

Dengan demikian, pembagian *shift* kerja, pemantauan rutin, penyesuaian penggunaan PAC, serta pemeliharaan unit pengolahan merupakan bagian dari konteks operasional yang mendukung keberlangsungan proses pengolahan di SPAM Katulampa. Namun, penelitian ini tidak secara khusus mengevaluasi hubungan kuantitatif antara sistem *shift* kerja, kegiatan pemeliharaan, dan kualitas air hasil pengolahan. Evaluasi kinerja sistem dalam penelitian ini difokuskan pada data operasional harian berupa kekeruhan air baku, kekeruhan air hasil pengolahan, pemakaian PAC harian, debit air baku, dan persentase penyisihan kekeruhan yang dibahas pada subbab berikutnya.

Fluktuasi Kekeruhan Air Baku

Fluktuasi kekeruhan air baku merupakan faktor kritis dalam pengolahan air minum, karena perubahan kualitas air baku secara tiba-tiba dapat memengaruhi kinerja unit pengolahan selanjutnya. Data harian SPAM Katulampa selama periode 10 Februari hingga 10 Maret 2026 menunjukkan bahwa kekeruhan air baku bervariasi

antara 12 NTU hingga 262,98 NTU, dengan lonjakan signifikan terutama terjadi pada tanggal 14 Februari 2026 (Gambar 4). Lonjakan kekeruhan air baku yang paling signifikan terjadi pada tanggal 14 Februari 2026, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Peningkatan ini menunjukkan adanya perubahan kondisi air baku yang masuk ke *intake* SPAM Katulampa. Secara umum, peningkatan kekeruhan pada sumber air permukaan dapat berkaitan dengan peningkatan limpasan permukaan dan masukan sedimen ke badan air, terutama pada kondisi hidrologis yang dinamis. Namun, karena data curah hujan harian tidak dianalisis secara kuantitatif dalam penelitian ini, lonjakan kekeruhan pada tanggal tersebut tidak dinyatakan sebagai hubungan kausal langsung akibat curah hujan. Temuan ini tetap sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa curah hujan tinggi dan limpasan permukaan dapat meningkatkan kekeruhan air baku pada *intake* instalasi pengolahan air [19], [20].



Gambar 4. Fluktuasi kekeruhan air baku harian SPAM Katulampa selama periode 10 Februari – 10 Maret 2026.

Analisis grafik *time-series* memperlihatkan pola fluktuasi yang cukup dinamis, di mana beberapa hari mengalami kenaikan tajam sedangkan hari-hari lain tetap dalam rentang normal (<50 NTU). Hal ini menegaskan bahwa pemantauan air baku secara *real-time* menjadi strategi operasional yang penting, sehingga dosis koagulan seperti PAC dapat disesuaikan secara adaptif untuk menjaga stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan [21], [22].

Fenomena ini konsisten dengan temuan sebelumnya, bahwa fluktuasi kekeruhan air baku tidak hanya dipengaruhi oleh hujan, tetapi juga oleh aktivitas *catchment area* dan sedimentasi alami, yang menyebabkan variasi NTU secara signifikan [23]. Dengan memahami pola fluktuasi tersebut, operator SPAM dapat merencanakan pengendalian responsif, misalnya melalui penyesuaian dosis PAC, pengaturan debit air, dan intensifikasi pemeliharaan unit proses kritis. Secara keseluruhan, grafik Gambar 4 memberikan

ilustrasi visual yang jelas mengenai karakteristik kekeruhan air baku SPAM Katulampa, menyoroti tantangan utama dalam pengolahan air minum, yaitu kemampuan sistem untuk merespons perubahan kualitas air baku yang dinamis dan kadang ekstrem.

Kinerja Air Hasil Pengolahan

Kinerja air hasil pengolahan di SPAM Katulampa dievaluasi berdasarkan kemampuan sistem pengolahan dalam menurunkan kekeruhan air baku hingga memenuhi standar kualitas air minum. Dalam penelitian ini, acuan baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, dengan batas kekeruhan air minum maksimum 3 NTU. Berdasarkan data operasional harian selama periode 10 Februari hingga 10 Maret 2026, kekeruhan air hasil pengolahan berada pada rentang 0,52–0,91 NTU seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, sehingga seluruh nilai kekeruhan air hasil masih berada di bawah batas baku mutu tersebut. Hal ini menandakan bahwa seluruh unit pengolahan—mulai dari Koagulasi, Flokulasi, Sedimentasi, hingga Filtrasi—berfungsi secara optimal untuk menghilangkan partikel tersuspensi.



Gambar 5. Fluktuasi kekeruhan air hasil pengolahan SPAM Katulampa selama periode 10 Februari – 10 Maret 2026, dengan batas mutu 3 NTU sesuai Permenkes RI No. 2 Tahun 2023.

Pada tanggal 14 Februari 2026 seperti terlihat pada Tabel 2, kekeruhan air baku mencapai nilai tertinggi selama periode pengamatan, yaitu 262,97 NTU. Pada tanggal yang sama, kekeruhan air hasil pengolahan tetap berada pada nilai rendah, yaitu 0,57 NTU, dengan pemakaian PAC harian sebesar 324,75 kg/hari, debit air baku sebesar 149,58 L/detik, dan persentase penyisihan kekeruhan mencapai 99,78%. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengolahan mampu mempertahankan kekeruhan air hasil pada tingkat rendah meskipun terjadi lonjakan kekeruhan air baku. Namun, stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan pada tanggal tersebut tidak dapat diinterpretasikan sebagai akibat langsung dari

Tabel 2. Kekeruhan air hasil pengolahan dan pemakaian PAC harian pada periode sekitar puncak kekeruhan air baku

Tanggal	Kekeruhan air baku (NTU)	Kekeruhan air hasil pengolahan (NTU)	Pemakaian PAC harian (kg/hari)	Debit air baku (L/detik)	Persentase penyisihan (%)
13 Feb 2026	27,03	0,67	389,70	160,00	97,52
14 Feb 2026	262,97	0,57	324,75	149,58	99,78
15 Feb 2026	38,85	0,61	519,60	157,50	98,44

Catatan: Data operasional harian yang digunakan dalam penelitian ini tidak memuat catatan perubahan dosis PAC dalam resolusi waktu per jam, sehingga evaluasi penyesuaian dosis koagulan secara sesaat tidak dilakukan.

peningkatan penggunaan PAC. Hal ini karena data yang digunakan merupakan data operasional harian dan tidak memuat catatan penyesuaian dosis PAC secara sesaat maupun tindakan operasional detail pada jam tertentu. Selain itu, pemakaian PAC harian pada tanggal 14 Februari 2026 bukan merupakan nilai tertinggi selama periode pengamatan. Oleh karena itu, stabilitas kekeruhan air hasil lebih tepat dipahami sebagai kinerja sistem pengolahan secara keseluruhan, yang mencakup proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, serta pengendalian operasional harian. Dengan demikian, rendahnya kekeruhan air hasil pada saat kekeruhan air baku meningkat menunjukkan stabilitas kinerja pengolahan, tetapi tidak digunakan untuk menyimpulkan efektivitas PAC secara tunggal. Evaluasi yang lebih rinci mengenai respons penggunaan koagulan terhadap perubahan kekeruhan air baku memerlukan data operasional dengan resolusi waktu yang lebih tinggi, seperti data per jam, data dosis aktual pada saat kejadian, dan catatan tindakan operasional unit pengolahan.

Stabilitas kekeruhan air hasil menunjukkan bahwa SPAM Katulampa mampu mempertahankan kualitas air hasil pengolahan pada tingkat rendah meskipun kekeruhan air baku mengalami fluktuasi harian. Pada saat terjadi lonjakan kekeruhan air baku, peningkatan NTU dapat mengindikasikan adanya perubahan kondisi air baku yang masuk ke *intake*, seperti peningkatan limpasan permukaan atau masukan sedimen ke badan air [20], [22]. Namun, karena data curah hujan harian tidak dianalisis secara kuantitatif dalam penelitian ini, lonjakan kekeruhan tidak dinyatakan sebagai akibat langsung dari curah hujan tinggi.

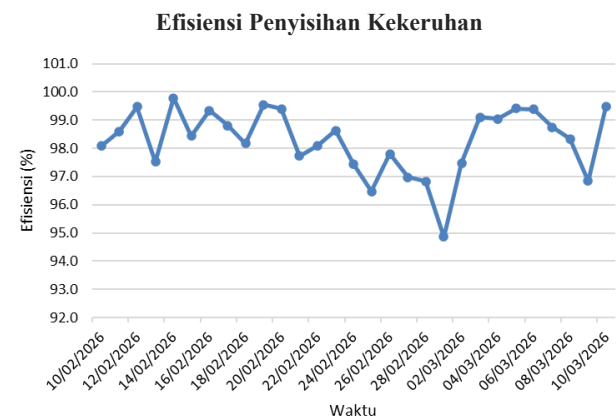
Pengendalian operasional di SPAM Katulampa dilakukan melalui pemantauan berkala, penggunaan PAC harian, serta pemeliharaan rutin pada unit sedimentasi dan filtrasi [21]. Akan tetapi, stabilitas kekeruhan air hasil tidak diinterpretasikan sebagai bukti efektivitas PAC secara tunggal, karena kinerja pengolahan dipengaruhi oleh rangkaian proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan pengendalian operasional harian. Grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kekeruhan air hasil pengolahan tetap berada pada rentang rendah selama periode pengamatan. Dengan memahami perubahan NTU harian, operator dapat

memperoleh informasi operasional untuk merespons perubahan kondisi air baku, menjaga kualitas air hasil sesuai standar kesehatan yang berlaku, dan mendukung kontinuitas suplai air minum bagi masyarakat [19], [23].

Secara keseluruhan, hasil pengolahan air SPAM Katulampa menunjukkan kinerja yang baik, ditunjukkan oleh kekeruhan air hasil yang tetap berada di bawah baku mutu. Dalam naskah revisi ini, acuan kualitas air minum yang digunakan adalah Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan, dengan batas maksimum kekeruhan air minum sebesar 3 NTU.

Evaluasi Penyisihan Kekeruhan

Evaluasi kinerja penyisihan kekeruhan di SPAM Katulampa dilakukan menggunakan data harian kekeruhan air baku dan air hasil pengolahan selama periode 10 Februari–10 Maret 2026. Berdasarkan Gambar 6, persentase penyisihan kekeruhan berada pada rentang 94,9% hingga 99,8%. Hasil ini menunjukkan bahwa rangkaian unit pengolahan, yang meliputi koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi, mampu menurunkan kekeruhan air baku hingga menghasilkan air hasil pengolahan dengan kekeruhan rendah. Kinerja tersebut juga menunjukkan bahwa air hasil pengolahan selama periode pengamatan masih memenuhi baku mutu air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yaitu maksimum 3 NTU [24], [25].



Gambar 6. *Time-series* efisiensi penyisihan kekeruhan harian SPAM Katulampa (10 Feb – 10 Mar 2026).

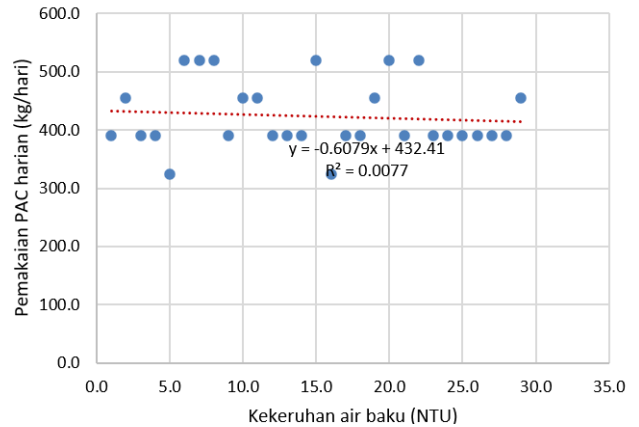
Capaian penyisihan kekeruhan yang tinggi tersebut sejalan dengan penelitian Ridwan dkk. yang menunjukkan bahwa kinerja penyisihan kekeruhan dipengaruhi oleh konfigurasi dan pemeliharaan unit sedimentasi, sehingga desain serta pengaturan unit proses menjadi faktor penting dalam mendukung penurunan kekeruhan air baku [26]. Selain itu, ketebalan dan kualitas media filtrasi juga berperan dalam mempertahankan kualitas air hasil pengolahan, sebagaimana dilaporkan oleh Alfiah dkk. yang menekankan hubungan antara ketebalan media filter dan kemampuan penyaringan partikel tersuspensi [27]. Pada SPAM Katulampa, unit filtrasi menggunakan sistem *rapid sand filter* dengan media utama pasir silika untuk menyaring partikel halus dan flok kecil yang masih tersisa setelah proses sedimentasi. Media filter ini dibersihkan melalui proses *backwash* berkala menggunakan air dan bantuan *air blower* untuk menjaga kemampuan penyaringan. Pada penelitian ini, fluktuasi persentase penyisihan kekeruhan harian menunjukkan adanya penurunan sesaat pada beberapa hari tertentu. Kondisi tersebut dapat terjadi ketika kekeruhan air baku meningkat, sehingga beban partikel yang harus diolah oleh unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi juga bertambah. Temuan ini sejalan dengan Ibrahim yang menyatakan bahwa pengaturan unit sedimentasi dan pengendalian operasional yang tepat diperlukan untuk menjaga kinerja penyisihan kekeruhan tetap tinggi pada berbagai kondisi kualitas air baku [28].

Evaluasi Penggunaan PAC Harian dan Hubungannya dengan Kekeruhan

Hubungan antara penggunaan PAC harian dan kekeruhan air dianalisis secara eksploratif menggunakan dua *scatter plot*, yaitu kekeruhan air baku terhadap pemakaian PAC harian dan pemakaian PAC harian terhadap kekeruhan air hasil pengolahan (Gambar 7 dan 8). Setiap titik pada grafik merepresentasikan satu data operasional harian selama periode 10 Februari–10 Maret 2026, sehingga analisis ini menggunakan 29 data harian dan bukan merupakan data hasil pengukuran *duplo* atau *triplo*. Analisis ini bertujuan untuk menggambarkan kecenderungan hubungan antarparameter dalam data operasional harian, bukan untuk menentukan dosis optimum PAC atau menyimpulkan efektivitas PAC secara tunggal.

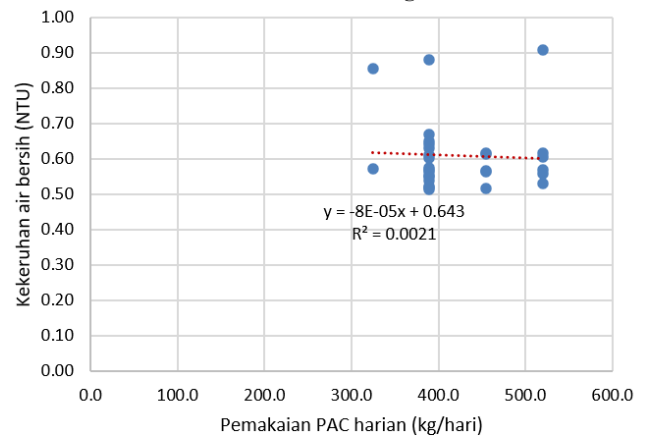
Scatter plot kekeruhan air baku terhadap pemakaian PAC harian menunjukkan bahwa kekeruhan air baku berfluktuasi cukup besar, yaitu pada rentang 12,00–262,97 NTU, sedangkan pemakaian PAC harian berada pada rentang 324,75–519,60 kg/hari. *Trendline* linear menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,0148, yang menunjukkan bahwa hubungan linear antara kekeruhan air baku dan pemakaian PAC harian sangat lemah.

Hubungan Eksploratif Kekeruhan Air Baku dan Pemakaian PAC Harian



Gambar 7. Hubungan eksploratif antara kekeruhan air baku dan pemakaian PAC harian. Setiap titik merepresentasikan satu data operasional harian ($n = 29$).

Hubungan Eksploratif Pemakaian PAC Harian dan Kekeruhan Air Hasil Pengolahan



Gambar 8. Hubungan eksploratif antara pemakaian PAC harian dan kekeruhan air hasil pengolahan. Setiap titik merepresentasikan satu data operasional harian ($n = 29$).

Dengan demikian, variasi kekeruhan air baku pada data operasional harian tidak dapat menjelaskan secara kuat variasi pemakaian PAC. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pemakaian PAC harian tidak mengikuti pola penyesuaian linear sederhana terhadap perubahan kekeruhan air baku. Oleh karena itu, hasil *scatter plot* tidak digunakan untuk menyimpulkan adanya strategi pengendalian PAC yang konsisten, melainkan sebagai indikasi bahwa penggunaan PAC harian kemungkinan dipengaruhi oleh faktor operasional lain, seperti debit air baku, kondisi unit proses, karakteristik partikel, strategi pengoperasian, serta keterbatasan resolusi data harian.

Selanjutnya, *scatter plot* pemakaian PAC harian terhadap kekeruhan air hasil pengolahan menunjukkan bahwa kekeruhan air hasil tetap berada pada rentang rendah, yaitu 0,52–0,91 NTU, meskipun pemakaian PAC harian bervariasi. Seluruh nilai kekeruhan air hasil pengolahan tersebut masih berada di bawah baku mutu air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yaitu maksimum 3

NTU. Namun, *trendline* linear pada Gambar 8 menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,0021, yang menunjukkan bahwa variasi kekeruhan air hasil pengolahan hampir tidak dapat dijelaskan oleh variasi pemakaian PAC harian secara linear. Oleh karena itu, nilai R^2 tersebut tidak digunakan untuk menyimpulkan bahwa PAC secara tunggal efektif mempertahankan kualitas air hasil pengolahan. Stabilitas kekeruhan air hasil lebih tepat dipahami sebagai hasil dari kinerja sistem pengolahan secara keseluruhan, yang mencakup proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan pengendalian operasional harian. Interpretasi ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menjelaskan bahwa kombinasi proses koagulasi dan pengaturan unit proses berperan penting dalam penyisihan kekeruhan pada instalasi pengolahan air [22], [25]. Dengan demikian, rendahnya kekeruhan air hasil pengolahan tidak hanya dikaitkan dengan pemakaian PAC harian, tetapi juga dengan kinerja rangkaian unit proses pengolahan secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, kedua *scatter plot* menunjukkan bahwa hubungan linear antara kekeruhan air baku, pemakaian PAC harian, dan kekeruhan air hasil pengolahan tergolong sangat lemah. Temuan ini menunjukkan bahwa data operasional harian belum cukup untuk menjelaskan respons penggunaan PAC secara rinci terhadap fluktuasi kekeruhan air baku. Oleh karena itu, hasil analisis ini lebih tepat digunakan sebagai evaluasi awal terhadap pola penggunaan PAC harian dan stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan, bukan sebagai dasar untuk menyimpulkan optimasi atau efisiensi penggunaan PAC. Evaluasi yang lebih rinci mengenai respons dosis koagulan memerlukan data dengan resolusi waktu yang lebih tinggi, seperti data per jam, data dosis aktual dalam satuan mg/L, hasil *jar test*, serta catatan tindakan operasional pada saat terjadi perubahan kualitas air baku.

Implikasi Operasional

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kekeruhan air baku SPAM Katulampa mengalami fluktuasi harian, sedangkan kekeruhan air hasil pengolahan tetap berada pada rentang rendah selama periode pengamatan. Kondisi ini menunjukkan pentingnya pemantauan kekeruhan secara rutin sebagai indikator operasional utama dalam pengolahan air minum. Fluktuasi kekeruhan air baku dapat meningkatkan beban partikel pada unit koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi, sehingga pengendalian operasional perlu diarahkan pada stabilitas proses penyisihan kekeruhan. Dalam konteks ini, pemeliharaan unit proses, pencatatan operasional, dan evaluasi berkala menjadi bagian penting dalam menjaga kinerja instalasi pengolahan air minum [29].

Debit air baku dalam penelitian ini digunakan sebagai parameter pendukung untuk menggambarkan kondisi operasional instalasi selama periode pengamatan. Oleh karena itu, istilah pengaturan debit tidak dimaksudkan sebagai analisis teknis terhadap perubahan bukaan *valve*, operasi pompa, atau pengaturan aliran secara sesaat. Data debit yang tersedia merupakan data operasional harian, sehingga interpretasinya dibatasi sebagai informasi pendukung dalam mengevaluasi kestabilan proses pengolahan. Untuk menilai pengaruh pengaturan debit secara lebih rinci terhadap kinerja penyisihan kekeruhan, diperlukan data operasional dengan resolusi waktu yang lebih tinggi serta catatan tindakan operator pada saat terjadi perubahan kualitas air baku.

Selain pemantauan kekeruhan, pemakaian PAC harian, dan debit air baku, pemeliharaan unit proses juga menjadi bagian penting dalam mendukung keberlangsungan kinerja pengolahan. Prosedur pengurusan pada unit sedimentasi dan flokulator serta *backwash* pada unit filtrasi berperan sebagai kegiatan pemeliharaan rutin untuk mengurangi akumulasi lumpur dan partikel pada unit pengolahan. Dalam penelitian ini, prosedur *pengurusan* dan *backwash* tidak diinterpretasikan sebagai *treatment* khusus yang dilakukan pada saat terjadi lonjakan kekeruhan air baku, karena data operasional yang digunakan tidak memuat catatan tindakan per kejadian atau per jam. Dengan demikian, prosedur tersebut lebih tepat dipahami sebagai bagian dari pengendalian operasional preventif yang mendukung kestabilan proses penyisihan kekeruhan.

Berdasarkan hasil evaluasi ini, pencatatan operasional dengan resolusi waktu yang lebih rinci menjadi penting untuk mendukung pengambilan keputusan di lapangan. Data harian sudah dapat memberikan gambaran umum mengenai fluktuasi kekeruhan air baku, stabilitas kekeruhan air hasil pengolahan, pemakaian PAC harian, debit air baku, dan persentase penyisihan kekeruhan. Namun, data harian belum cukup untuk menjelaskan respons operasional secara detail ketika terjadi perubahan kualitas air baku secara sesaat. Oleh karena itu, pencatatan tambahan seperti data kekeruhan per jam, perubahan penggunaan PAC, waktu pelaksanaan *pengurusan*, waktu pelaksanaan *backwash*, serta catatan kondisi visual air baku dapat membantu evaluasi operasional yang lebih kuat pada masa mendatang.

Pembahasan pada subbab ini difokuskan pada parameter yang tersedia dan dianalisis dalam penelitian, yaitu kekeruhan air baku, kekeruhan air hasil pengolahan, pemakaian PAC harian, debit air baku, dan persentase penyisihan kekeruhan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi data operasional harian SPAM Katulampa selama periode 10 Februari hingga 10 Maret 2026, sistem pengolahan menunjukkan kinerja yang baik dalam menurunkan kekeruhan air baku yang berfluktuasi. Kekeruhan air baku berada pada rentang 12,00–262,97 NTU, sedangkan kekeruhan air hasil pengolahan tetap rendah pada rentang 0,52–0,91 NTU. Seluruh nilai kekeruhan air hasil pengolahan tersebut masih berada di bawah baku mutu air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, yaitu maksimum 3 NTU. Persentase penyisihan kekeruhan selama periode pengamatan berada pada rentang 94,9%–99,8%, yang menunjukkan bahwa rangkaian proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi mampu mempertahankan stabilitas kualitas air hasil pengolahan.

Evaluasi penggunaan PAC harian menunjukkan bahwa pemakaian PAC berada pada rentang 324,75–519,60 kg/hari. Namun, hubungan linear antara kekeruhan air baku dan pemakaian PAC harian sangat lemah, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai R^2 yang rendah. Demikian pula, hubungan antara pemakaian PAC harian dan kekeruhan air hasil pengolahan juga sangat lemah. Oleh karena itu, stabilitas kekeruhan air hasil tidak dapat disimpulkan sebagai akibat langsung dari efektivitas PAC secara tunggal, melainkan lebih tepat dipahami sebagai hasil kinerja sistem pengolahan secara keseluruhan, termasuk pengendalian operasional dan pemeliharaan rutin unit proses.

Secara operasional, hasil penelitian ini menunjukkan pentingnya pemantauan kekeruhan air baku dan air hasil pengolahan secara konsisten, pencatatan pemakaian PAC harian, serta pemeliharaan unit sedimentasi dan filtrasi untuk mendukung kestabilan proses penyisihan kekeruhan. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan karena menggunakan data operasional harian dan tidak mencakup data per jam, data curah hujan harian, dosis aktual PAC dalam satuan mg/L, maupun catatan tindakan operasional saat terjadi perubahan kualitas air baku. Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih tepat digunakan sebagai evaluasi awal kinerja penyisihan kekeruhan dan pola penggunaan PAC harian, bukan sebagai dasar untuk menyimpulkan optimasi atau efisiensi penggunaan PAC.

ACKNOWLEDGEMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Perumda Tirta Pakuan Kota Bogor (PDAM Tirta Pakuan) atas kerja sama dan dukungan fasilitas operasional SPAM Katulampa, termasuk akses data lapangan, unit pengolahan air, dan bantuan staf teknis selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Organization, *Guidelines for Drinking-water Quality*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2017.
- [2] P. Jarvis, B. Jefferson, and S. A. Parsons, "The Role of Coagulation in Water Treatment," *Water Res.*, vol. 39, no. 2, pp. 188–198, 2005, doi: 10.1016/j.watres.2005.07.034.
- [3] L. Lin and W. Ika, "Enhanced Coagulation of Low Turbid Water for Drinking Water Treatment: Dosing Approach on Floc Formation and Residuals Minimization," *Environ. Eng. Sci.*, vol. 36, no. 10, pp. 1021–1033, 2019, doi: 10.1089/ees.2018.0430.
- [4] X. Ji, Z. Li, M. Wang, Z. Yuan, and L. Jin, "Response Surface Methodology Approach to Optimize Parameters for Coagulation Process Using Polyaluminum Chloride (PAC)," *Water (Basel)*, vol. 16, no. 11, p. 1470, 2024, doi: 10.3390/w16111470.
- [5] D. Setyaningsih, "Comparative Study of Coagulants," *Jurnal Teknik Kimia UPN Jatim*, 2002.
- [6] A. Chiavola, "A combined experimental-modeling approach for turbidity removal optimization in a coagulation--flocculation unit of a drinking water treatment plant," *J. Process Control*, p. 103068, 2023, doi: 10.1016/j.jprocont.2023.103068.
- [7] H. Ratnaweera and J. Fettig, "State of the Art of Online Monitoring and Control of the Coagulation Process," *Water (Basel)*, vol. 7, no. 11, pp. 6574–6597, 2015, doi: 10.3390/w7116574.
- [8] A. Matilainen, M. Vepsäläinen, and M. Sillanpää, "Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review," *Adv. Colloid Interface Sci.*, vol. 159, pp. 189–197, 2010, doi: 10.1016/j.cis.2010.06.007.
- [9] A. T. Salem and N. O. A. Al-Musawi, "Water Treatment With Conventional and Alternative Coagulants: A Review," *Journal of Engineering*, vol. 27, no. 9, pp. 20–28, 2021, doi: 10.31026/j.eng.2021.09.02.

- [10] D. Wang, J. Wu, L. Deng, Z. Li, and Y. Wang, "A real-time optimization control method for coagulation process during drinking water treatment," *Nonlinear Dyn.*, vol. 105, no. 4, pp. 3271–3283, 2021, doi: 10.1007/s11071-021-06794-5.
- [11] B. News, "Terhenti Akibat Kekerusuhan Tinggi, SPAM Katulampa Kembali Beroperasi," 2026.
- [12] A. International, *ASTM D7726 – Standard Guide for The Use of Various Turbidimeter Technologies for Measurement of Turbidity in Water*. ASTM, 2013.
- [13] APHA, AWWA, and W. E. F, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA, AWWA, WEF, 2017.
- [14] I. O. for Standardization, *ISO 7027-1:2016 – Water quality — Determination of turbidity — Part 1: Quantitative methods*. ISO, 2016.
- [15] A. Rezaldie and S. Yustiani, "Operational Evaluation of Water Treatment Plant: Case Study in Indonesia," *Journal of Applied Water Research*, 2025.
- [16] R. Maulida and M. Sulaiman, "Evaluasi Operasional dan Pemeliharaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Kampus UGM," Yogyakarta, ID, 2019.
- [17] T. Prayogo, "Operational Practices and Maintenance in Drinking Water Supply System," 2016.
- [18] A. Water Works Association, "Operational Control of Coagulation and Filtration Processes AWWA MANUAL M37 Third Edition," 2011.
- [19] F. Z. Harun, F. K. Rahmawati, and N. I. R. Umadji, "Analisis Parameter Kekerusuhan Pada Sistem Pengolahan Air Baku di Kota Gorontalo," *J. Environ. Eng. Res.*, 2025.
- [20] F. Mahdariza, "The Influence of Production Flow Rate and Raw Water Turbidity on Distributed Water Turbidity at Lambaro WTP," *Elkawnie: J. Isl. Sci. Technol.*, 2014.
- [21] L. Wang, F. Ma, C. Pang, and S. Firdoz, "Multicausal analysis on water deterioration processes present in a drinking water treatment system," *Water Environ. Res.*, 2013.
- [22] V. Gauthier, "Impact of raw water turbidity fluctuations on drinking water quality in a distribution system," *J. Environ. Eng. Sci.*, 2003.
- [23] Widya Sabila, et al. "Analysis of Physical and Chemical Parameters in the Raw Water Processing at Perumda Tirtanadi Sunggal," *PROMOTOR*, 2025.
- [24] K. K. R. Indonesia, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 dan acuan 2021 tentang Baku Mutu Air Minum," Kementerian Kesehatan RI, Jakarta, Indonesia, 2021.
- [25] L. Zhang and et al., "Treatment of high turbidity water through plain and coagulated up-flow roughing filter," *Desalination Water Treat.*, vol. 52, pp. 1035–1043, 2014.
- [26] R. Ridwan, R. Afrianita, and Y. Gustina, "The Effect of Variation in Cone Position Height on Raw Water Turbidity Removal in Sedimentation Unit Continuous Discharge Flow (CDF) Method as a New Method," *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 20, no. 1, pp. 58–64, 2022.
- [27] T. Alfiah, B. P. Winata, and R. D. Afrianisa, "Hubungan Ketebalan Media Saringan Pasir Cepat dengan Efisiensi Penurunan Kekerusuhan," *Envitats, Environmental Eng. J. ITATS*, 2021.
- [28] A. K. Ibrahim, "Effect of the Horizontal Perforated Plates on the Turbidity Removal Efficiency in Water Treatment Plant of Tikrit University," *Tikrit J. Eng. Sci.*, vol. 26, no. 4, 2019.
- [29] W. N. Rezaldie and Y. M. Yustiani, "Evaluasi Kinerja Operasional dan Strategi Pemeliharaan Instalasi Pengolahan Air Minum Berbasis Kepatuhan Regulasi (Studi Kasus: IPA X)," *INFOMATEK: Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, vol. 27, no. 2, pp. 237–244, 2025, doi: 10.23969/infomatek.v27i2.41585.