Environmental Engineering Journal ITATS **ENVITATS**
Vol. 6, No. 2, September 2026 *ISSN 2808-2052 (ONLINE)*

Efektivitas kombinasi koagulasi hidrolis dan flokulasi mekanis dalam menurunkan kadar TSS dan kekeruhan limbah cair industri batik

Dicky Rachmadi, Aussie Amalia*
Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya
*Email: aussieamalia.tl@upnjatim.ac.id

Received 14 Mei 2026; Received in revised 15 Juni 2026; Accepted 26 Juni 2026

Abstrak

Industri batik menghasilkan limbah cair dengan kandungan pencemar tinggi, terutama *Total Suspended Solid* (TSS) dan kekeruhan, yang berpotensi menurunkan kualitas badan air. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas kombinasi koagulasi hidrolis dan flokulasi mekanis menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dalam menurunkan TSS dan kekeruhan limbah cair batik. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi debit (6 L/menit dan 8 L/menit) serta jumlah baffle (42, 46, dan 50 buah). Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit 6 L/menit memberikan efisiensi penyisihan TSS lebih tinggi (85,51%–89,86%) dibandingkan debit 8 L/menit (75,36%–82,61%). Peningkatan jumlah baffle juga meningkatkan efisiensi penyisihan TSS dengan kondisi optimum pada 50 baffle (89,86%). Efisiensi penyisihan kekeruhan berada pada kisaran 99,16%–99,31%. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa variasi debit berpengaruh signifikan terhadap penyisihan TSS ($p<0,05$), sedangkan variasi jumlah baffle berpengaruh signifikan terhadap penyisihan kekeruhan ($p<0,05$). Secara keseluruhan, kombinasi koagulasi hidrolis dan flokulasi mekanis menggunakan PAC efektif dalam menurunkan TSS dan kekeruhan limbah cair batik, namun konsentrasi TSS hasil pengolahan masih belum memenuhi baku mutu limbah cair industri batik sehingga diperlukan pengolahan lanjutan.

Kata kunci: batik, flokulasi mekanis, kekeruhan, koagulasi hidrolis, PAC, TSS

Abstract

The batik industry generates wastewater containing high pollutant concentrations, particularly Total Suspended Solids (TSS) and turbidity, which have the potential to degrade receiving water quality. This study aimed to evaluate the effectiveness of a combination of hydraulic coagulation and mechanical flocculation using Poly Aluminium Chloride (PAC) as a coagulant in reducing TSS and turbidity in batik wastewater. The research employed an experimental method with variations in flow rate (6 L/min and 8 L/min) and the number of baffles (42, 46, and 50 units). The results showed that a flow rate of 6 L/min achieved higher TSS removal efficiency (85.51%–89.86%) compared to 8 L/min (75.36%–82.61%). Increasing the number of baffles also improved TSS removal efficiency, with the optimum condition achieved at 50 baffles, resulting in a removal efficiency of 89.86%. Turbidity removal efficiency ranged from 99.16% to 99.31%. Two-way ANOVA analysis indicated that flow rate had a significant effect on TSS removal ($p < 0.05$), while the number of baffles had a significant effect on turbidity removal ($p < 0.05$). Overall, the combination of hydraulic coagulation and mechanical flocculation using PAC was effective in reducing TSS and turbidity in batik wastewater. However, the treated effluent TSS concentration still did not comply with the wastewater discharge standard for the batik industry, indicating that further treatment is required to achieve the applicable regulatory limits.

Keywords: *batik wastewater, hydraulic coagulation, mechanical flocculation, PAC, TSS, turbidity*

1. PENDAHULUAN

Industri batik termasuk salah satu sektor yang mengalami perkembangan pesat di Indonesia. Namun, aktivitasnya menghasilkan limbah cair dengan tingkat pencemaran yang cukup tinggi, terutama *Total Suspended Solids* (TSS) dan kekeruhan. Limbah cair batik berasal dari proses pencucian, pewarnaan, pelorodan lilin, dan pembilasan kain yang mengandung zat warna, lilin, serta bahan kimia lainnya (Apriyani, 2018; Rahayu dan Putro, 2025). Tingginya kandungan TSS dan kekeruhan dapat menurunkan kualitas badan air, menghambat penetrasi cahaya, serta mengganggu ekosistem perairan (Julita *et al*., 2023).

Proses koagulasi–flokulasi merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam pengolahan air limbah. Proses koagulasi merupakan tahap destabilisasi partikel koloid menggunakan koagulan dengan pengadukan cepat, sementara flokulasi berfungsi menyatukan partikel halus menjadi flok berukuran besar agar mudah mengendap (Fitriyah *et al*., 2020; Afrianisa dan Yasmine, 2025). Pengadukan pada proses koagulasi dapat dilakukan secara mekanis maupun hidrolis. Koagulasi hidrolis memanfaatkan energi aliran air seperti terjunan dan sekat (*baffle*) untuk menghasilkan turbulensi pencampuran tanpa penggunaan energi mekanis sehingga lebih hemat energi (Wijayanto *et al*., 2019).

Penggunaan baffle pada reaktor koagulasi hidrolis mampu meningkatkan turbulensi dan frekuensi tumbukan antar partikel sehingga pembentukan flok menjadi lebih optimal. Kombinasi sistem koagulasi hidrolis dan flokulasi *baffle channel* terbukti efektif dalam mempercepat pembentukan flok dan meningkatkan efisiensi pengendapan (Rizkya dan Juliardi, 2020).

Selain itu, penggunaan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) sebagai koagulan diketahui efektif dalam menurunkan parameter TSS dan kekeruhan karena mampu menghasilkan flok yang stabil dan bekerja efektif pada rentang pH yang luas (Widiyanti et al., 2019). Menurut Nurdiani (2020), PAC mampu menurunkan TSS dan kekeruhan hingga lebih dari 85%.

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada optimasi dosis koagulan dan proses koagulasi–flokulasi mekanis menggunakan *jar test*. Sementara itu, kajian mengenai penerapan koagulasi hidrolis dengan variasi jumlah *baffle* dan debit aliran pada limbah cair batik masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengkaji pengaruh variasi debit dan jumlah *baffle* pada sistem koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis menggunakan PAC terhadap penyisihan TSS dan kekeruhan limbah cair batik.

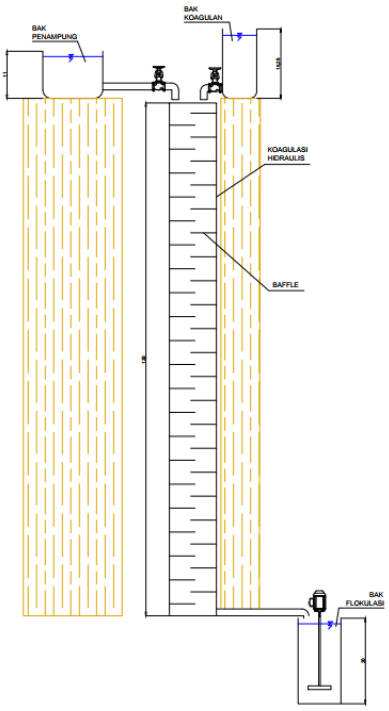
2. BAHAN DAN METODE

Penelitian secara eksperimental pengolahan air limbah industri batik menggunakan metode kombinasi koagulasi hidrolis–flokulasi dengan variasi debit pengolahan sebesar 6 L/menit (0,1 L/detik) dan 8 L/menit (0,13 L/detik). Sebelum melakukan penelitian, dilakukan uji awal air limbah industri batik dalam rangka mengidentifikasi persentase penyisihan parameter setelah dilakukan pengolahan. Parameter air limbah industri batik yang akan disisihkan adalah TSS (*Total Suspended Solids*) dan kekeruhan (*turbidity*). Sampel limbah cair batik diambil menggunakan metode *composite sample* pada satu titik lokasi, yaitu bak penampung limbah industri batik skala rumah tangga di Sentra Batik Jetis, Kabupaten Sidoarjo.

Pengambilan sampel dilakukan selama 7 hari berturut-turut pada saat kegiatan produksi berlangsung, yaitu pada pukul 16.00–17.00 WIB. Volume sampel yang diambil setiap hari sebanyak 13 L, kemudian seluruh sampel harian dicampurkan untuk memperoleh sampel komposit yang mewakili karakteristik limbah selama periode pengamatan. Metode *composite sample* dipilih untuk mengakomodasi fluktuasi kualitas limbah yang dihasilkan dari berbagai tahapan proses produksi batik, sehingga sampel yang diperoleh lebih representatif dibandingkan dengan sampel sesaat (*grab sample*). Sampel komposit selanjutnya disimpan dalam wadah tertutup dan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis karakteristik awal serta pengujian proses koagulasi–flokulasi.

Rangkaian reaktor penelitian terdiri dari reaktor koagulasi hidrolis dengan ukuran 120 cm x 11 cm x 5,5 cm dari bahan akrilik sehingga memiliki volume efektif sebesar 7,26 L, reaktor bak penampung memiliki diameter 40 cm dan tinggi 40 cm sehingga memiliki volume efektif sebesar 50,24 L, reaktor bak koagulan berdiameter 30 cm dengan tinggi 40 cm sehingga memiliki volume efektif sebesar 28,26 L, sedangkan reaktor bak flokulasi mekanis memiliki diameter 40 cm dan tinggi 40 cm sehingga memiliki volume efektif sebesar 50,24 L. Pada penelitian ini menggunakan variasi *baffle* dengan variasi antara lain 42 *baffle* dengan jarak antar *baffle* 2,8 cm, 46 *baffle* dengan jarak antar *baffle* 2,6 cm, dan 50 *baffle* dengan jarak antar *baffle* 2,4 cm. Koagulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah PAC. Dosis optimum PAC ditentukan melalui uji pendahuluan menggunakan metode *jar test*. Pengujian dilakukan pada sampel limbah cair batik sebanyak 1 L dengan variasi dosis PAC sebesar 25, 40, dan 55 mg/L menggunakan pH asli limbah tanpa penyesuaian pH. Proses koagulasi dilakukan melalui pengadukan cepat pada kecepatan 120 rpm selama 1 menit untuk mendispersikan koagulan secara merata, kemudian dilanjutkan dengan proses flokulasi menggunakan pengadukan

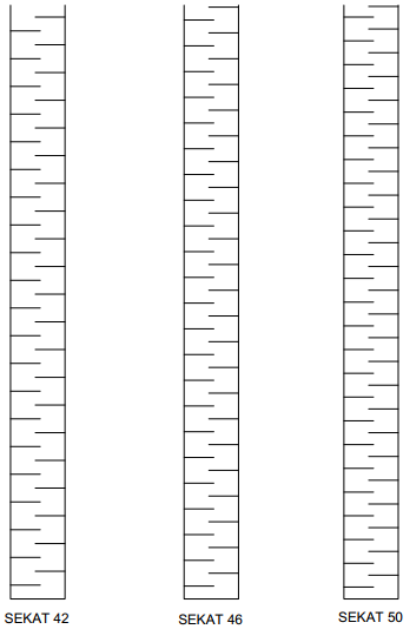
lambat pada kecepatan 35 rpm selama 15 menit. Setelah proses flokulasi, sampel diendapkan selama 90 menit. Dosis optimum ditentukan berdasarkan efisiensi penyisihan parameter TSS dan kekeruhan tertinggi.



Gambar 1. Skema reaktor kombinasi koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis

Hasil uji menunjukkan bahwa dosis PAC sebesar 25 mg/L memberikan efisiensi penyisihan terbaik sehingga digunakan pada seluruh rangkaian penelitian koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis. Pada tahap pengoperasian reaktor koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis, larutan PAC dengan dosis optimum dialirkan secara kontinu ke dalam sistem dengan debit koagulan sebesar 2 L/menit.

Reaktor dijalankan secara kontinu menggunakan variasi debit aliran sebesar 6 L/menit dan 8 L/menit serta variasi jumlah *baffle* sebanyak 42, 46, dan 50 buah. Air limbah yang telah mengalami proses koagulasi hidrolis selanjutnya dialirkan ke unit flokulasi mekanis. Proses flokulasi mekanis dilakukan menggunakan kecepatan pengadukan 50 rpm selama 15 menit, kemudian dilanjutkan dengan proses sedimentasi selama 90 menit. Sampel hasil pengolahan selanjutnya dianalisis untuk parameter TSS menggunakan metode gravimetri dan parameter kekeruhan menggunakan turbidimeter. Nilai yang diperoleh digunakan untuk menghitung efisiensi penyisihan TSS dan kekeruhan sebagai indikator kinerja sistem pengolahan.



Gambar 2. Variasi jumlah *baffle* koagulasi hidrolis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik awal limbah cair batik

Limbah cair batik kawasan rumah tangga memiliki karakteristik awal dengan nilai TSS sebesar 690 mg/L, nilai kekeruhan sebesar 1029 NTU. Untuk parameter TSS serta kekeruhan, melampaui baku mutu air limbah sebesar 50 mg/L untuk TSS dan < 3 NTU untuk kekeruhan. Acuan baku mutu untuk kegiatan kawasan industri rumah tangga menggunakan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 serta Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Hasil pengujian awal menunjukkan bahwa limbah cair industri batik masih melampaui baku mutu TSS dan kekeruhan pada air limbah, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut agar tidak menimbulkan pencemaran air.

Tabel 1. Hasil pengujian awal limbah cair industri batik

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Awal	Baku Mutu
1	TSS*	mg/L	690	50
2	Kekeruhan**	NTU	1029	< 3

Sumber: * Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014
** Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023

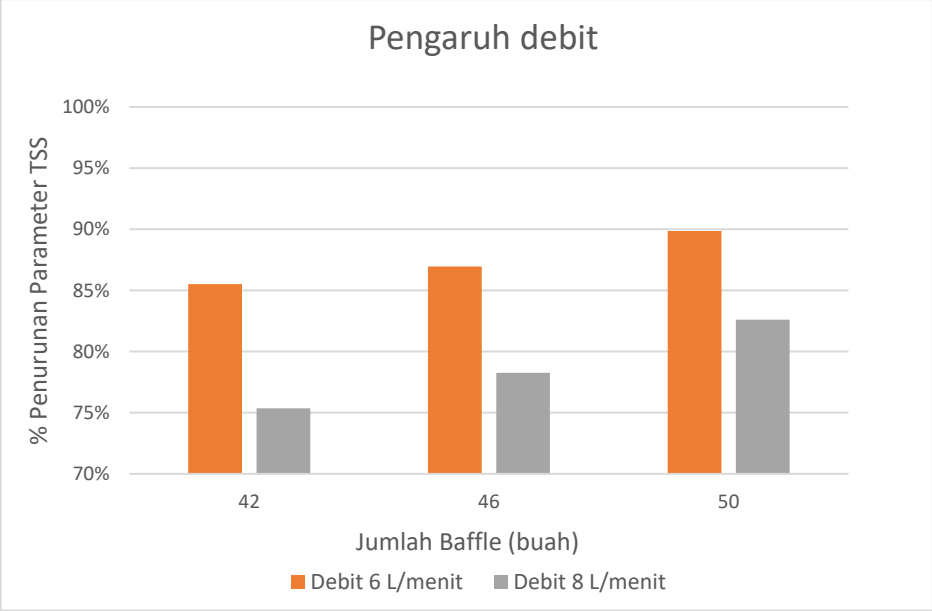
3.2 Pengaruh debit terhadap parameter TSS dan kekeruhan

Variasi debit pada proses koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis memberikan pengaruh yang berbeda terhadap penyisihan parameter TSS dan kekeruhan. Debit aliran memengaruhi waktu tinggal (td), gradien kecepatan (G), dan *headloss* yang menentukan efektivitas proses flokulasi hidrolis (Hamzani, 2020). Menurut Setyaningtias dan Aussie (2025), perubahan debit aliran pada sistem hidrolis dapat memengaruhi energi pencampuran dan efektivitas pembentukan flok dalam proses koagulasi–flokulasi. Hasil pengolahan melalui kombinasi proses koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis dalam penyisihan TSS air limbah disajikan pada tabel berikut.

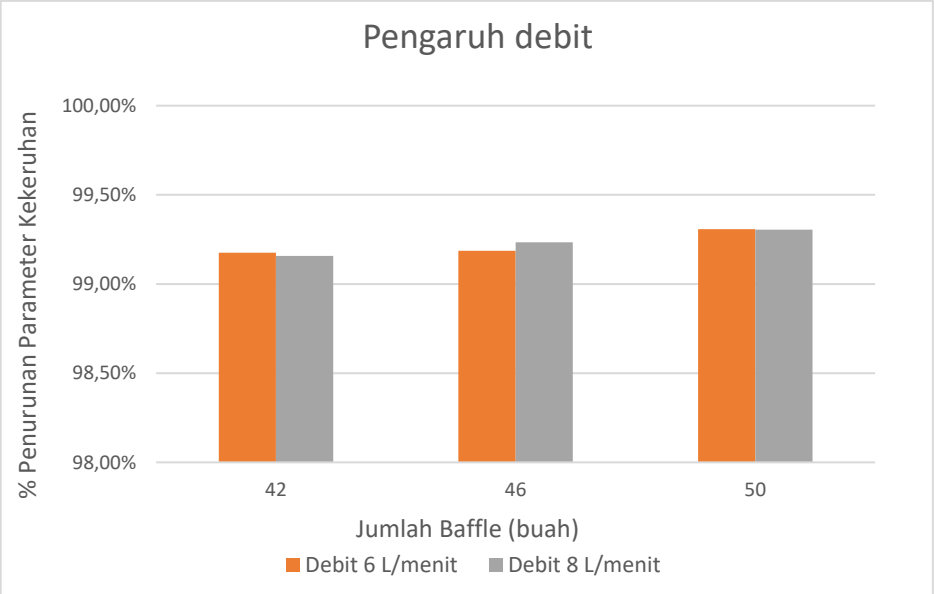
Tabel 2. Analisis penurunan TSS dan kekeruhan pada variasi debit dan jumlah *baffle*

Debit (L/menit)	Jumlah *baffle* (buah)	Hasil uji awal		Hasil uji akhir		Baku mutu	
		TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)
6	42	690	1029	100	8.48	50	25
	46	690	1029	90	8.37	50	25
	50	690	1029	70	7.13	50	25
8	42	690	1029	170	8.67	50	25
	46	690	1029	150	7.88	50	25
	50	690	1029	120	7.15	50	25

Sumber: Hasil Penelitian (2026)



Gambar 3. *Removal* penyisihan TSS dengan variasi debit



Gambar 4. *Removal* penyisihan kekeruhan dengan variasi debit

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada debit 6 L/menit efisiensi penyisihan TSS lebih tinggi dibandingkan dengan debit 8 L/menit. Pada debit 6 L/menit, efisiensi removal TSS berkisar antara 85,51%–89,86%, sedangkan pada debit 8 L/menit hanya sebesar 75,36%–82,61%. Kondisi ini menunjukkan bahwa debit yang lebih rendah menghasilkan waktu tinggal yang lebih lama, sehingga proses destabilisasi partikel dan pembentukan flok berlangsung lebih optimal. Partikel flok yang terbentuk mengalami peningkatan ukuran, kepadatan, serta kestabilan sehingga cepat mengendap (Rizkya dan Juliardi, 2020).

Menurut penelitian Fitria *et al*. (2022), waktu tinggal yang lebih panjang pada proses koagulasi–flokulasi memberikan kesempatan lebih besar bagi partikel tersuspensi untuk mengalami benturan, yang memicu terbentuknya flok berukuran besar serta stabil. Selain itu, penelitian Novianto dan Rosariawari (2022), menyatakan bahwa sistem *baffle channel* pada debit rendah menghasilkan aliran yang lebih stabil sehingga proses flokulasi berlangsung lebih efektif.

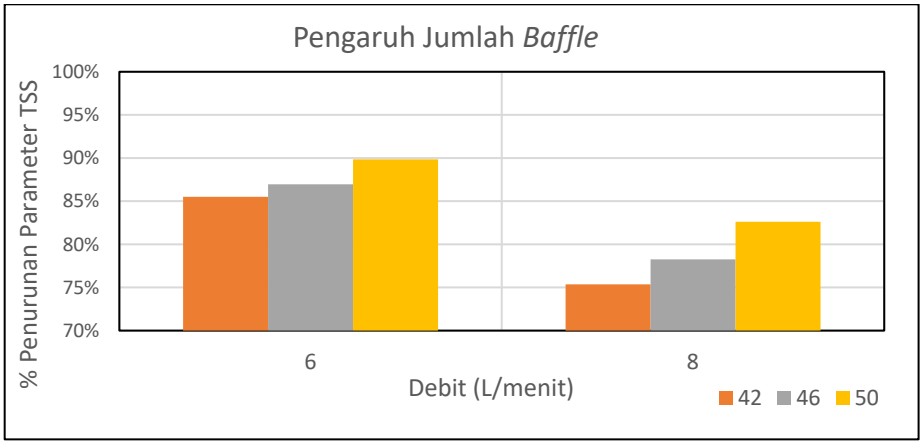
Sebaliknya, peningkatan debit menyebabkan waktu tinggal menjadi lebih singkat dan turbulensi aliran meningkat. Tingkat turbulensi yang tinggi berpotensi memecah flok yang telah terbentuk (*floc breakage*), sehingga ukuran flok menjadi lebih kecil dan sulit mengendap. Hal ini menyebabkan efisiensi penyisihan TSS mengalami penurunan. Menurut Zhan *et al*. (2021), perilaku flok dipengaruhi oleh proses agregasi dan *breakage*, di mana turbulensi dan gaya geser yang terlalu tinggi dapat memperkecil ukuran flok yang terbentuk.

Berbeda dengan parameter TSS, variasi debit tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan. Pada seluruh variasi debit, efisiensi penyisihan kekeruhan tetap sangat tinggi, yaitu berkisar antara 99,16%–99,31%. Efektivitas PAC terlihat dari kemampuannya mendestabilisasi partikel koloid penyebab kekeruhan pada fase awal koagulasi.

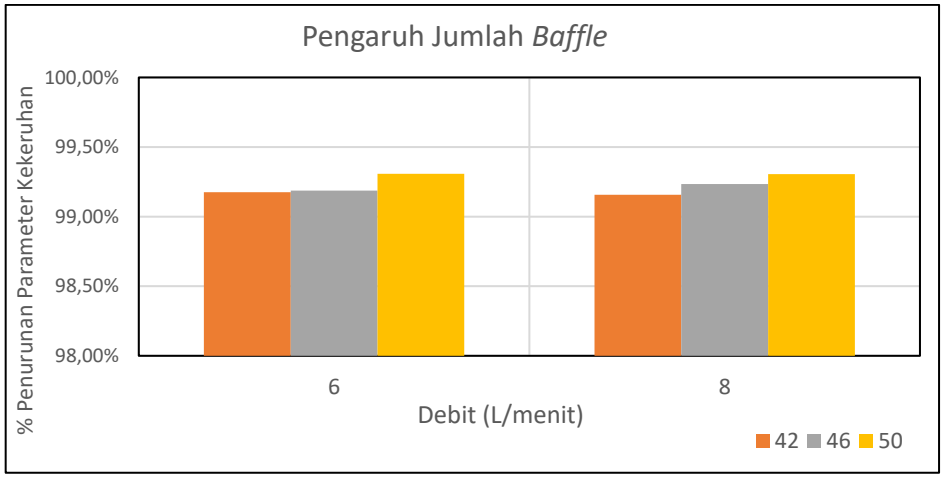
Menurut Miranda *et al*. (2020), PAC efektif mendestabilisasi partikel koloid karena membentuk spesies aluminium polimerik yang efektif dalam proses netralisasi muatan dan pembentukan flok penyebab kekeruhan. Mekanisme utama PAC dalam menyisihkan partikel koloid meliputi *charge neutralization*, *adsorption bridging*, dan *sweep flocculation* sehingga partikel penyebab kekeruhan dapat menggumpal dan mengendap lebih mudah (Wu *et al*., 2020). Oleh karena itu, meskipun terjadi perubahan debit, efisiensi penyisihan kekeruhan tetap tinggi karena proses destabilisasi berlangsung secara cepat pada tahap koagulasi.

3.3 Pengaruh jumlah *baffle* terhadap parameter TSS dan kekeruhan

Jumlah *baffle* pada reaktor koagulasi hidrolis berperan penting dalam mengatur pola aliran dan meningkatkan turbulensi yang dibutuhkan dalam proses pembentukan flok. *Baffle* berfungsi sebagai penghalang aliran yang menyebabkan perubahan arah dan pola aliran sehingga meningkatkan turbulensi dan pencampuran partikel di dalam reaktor (Basheer dan Bharathesh, 2022). Menurut He *et al*. (2018), penambahan jumlah *baffle* pada saluran koagulasi hidrolis mampu meningkatkan distribusi turbulensi dan energi aliran sehingga proses pencampuran dan pembentukan flok menjadi lebih efektif. Hasil pengolahan proses kombinasi koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis dalam menyisihkan TSS dan kekeruhan air limbah dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. *Removal* penyisihan TSS dengan variasi jumlah *baffle*



Gambar 6. *Removal* penyisihan kekeruhan dengan variasi jumlah *baffle*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah *baffle* cenderung meningkatkan efisiensi penyisihan TSS. Pada variasi jumlah *baffle* 42, 46, dan 50 diperoleh efisiensi *removal* TSS yang semakin tinggi, dengan kondisi optimum terjadi pada jumlah *baffle* 50 sebesar 89,86%. Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *baffle*, maka turbulensi dan gradien kecepatan dalam reaktor menjadi lebih optimal sehingga pembentukan flok berlangsung lebih efektif.

Menurut Bruno *et al*. (2021), peningkatan penambahan jumlah *baffle* memperpanjang lintasan aliran (*flow path*) sehingga waktu kontak antarpartikel dan koagulan menjadi lebih lama serta mendekati kondisi *plug flow*. Jumlah *baffle* yang lebih banyak juga meningkatkan kehilangan energi (*headloss*) di dalam reaktor. Kondisi ini menghasilkan gradien kecepatan (G) yang optimum untuk mendukung proses agregasi partikel dan pembentukan flok, karena peningkatan G meningkatkan frekuensi tumbukan efektif antarpartikel selama flokulasi (Qasim *et al*., 2020). Menurut Zhao *et al*. (2020), nilai *shear* atau gradien kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan flok mengalami *breakage*, sedangkan kondisi optimum meningkatkan peluang agregasi partikel selama proses flokulasi.

Selain hal tersebut, studi Pennock *et al*. (2021), menunjukkan bahwa sistem *baffle channel* menghasilkan pola aliran berliku (*zig-zag flow*) yang meningkatkan turbulensi mikro dan kontak antarpartikel sehingga proses flokulasi berlangsung lebih efektif. Turbulensi tersebut membantu mempercepat pembentukan flok dan meningkatkan efisiensi penyisihan padatan tersuspensi.

Berbeda dengan parameter TSS, peningkatan jumlah *baffle* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penyisihan kekeruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh

variasi jumlah *baffle* menghasilkan efisiensi penyisihan kekeruhan yang sangat tinggi, yaitu berkisar antara 99,16%–99,31%. Hal ini menunjukkan bahwa partikel penyebab kekeruhan telah terdestabilisasi secara efektif pada tahap awal proses koagulasi. Menurut Cruz *et al*. (2020), partikel penyebab kekeruhan umumnya berupa partikel koloid berukuran sangat kecil sehingga mudah mengalami destabilisasi oleh PAC melalui mekanisme netralisasi muatan (*charge neutralization*) dan *sweep coagulation*.

Penelitian oleh Campinas *et al*. (2021), juga menyatakan bahwa PAC memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap partikel koloid sehingga mampu meningkatkan efisiensi penyisihan kekeruhan melalui mekanisme adsorpsi dan koagulasi. Oleh karena itu, peningkatan jumlah *baffle* berpengaruh terhadap peningkatan efisiensi penyisihan TSS karena mampu meningkatkan turbulensi, gradien kecepatan, dan frekuensi tumbukan antarpartikel. Namun, pengaruh jumlah *baffle* terhadap penyisihan kekeruhan relatif kecil karena partikel penyebab kekeruhan telah terdestabilisasi secara efektif pada tahap koagulasi menggunakan PAC.

3.4 Analisis statistik pengaruh debit dan jumlah *baffle* terhadap penyisihan TSS

Berdasarkan hasil uji ANOVA *two-way*, variabel debit memiliki nilai *P-value* sebesar 0,009 (< 0,05), yang menunjukkan bahwa debit berpengaruh signifikan terhadap penyisihan TSS. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan debit memberikan pengaruh nyata terhadap efisiensi penurunan TSS dalam proses koagulasi hidrolis–flokulasi mekanis. Sementara itu, variabel jumlah *baffle* memiliki nilai *P-value* sebesar 0,058 (> 0,05) dengan nilai *F-value* yang lebih kecil dibandingkan variabel debit. Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik jumlah *baffle* tidak berpengaruh signifikan terhadap penyisihan TSS. Nilai F yang lebih rendah mengindikasikan bahwa variasi antar perlakuan jumlah *baffle* tidak jauh berbeda dibandingkan dengan variasi dalam kelompok, sehingga pengaruhnya tidak cukup kuat untuk dinyatakan signifikan.

3.5 Analisis statistik pengaruh debit dan jumlah *baffle* terhadap penyisihan kekeruhan

Berdasarkan hasil uji ANOVA *two-way*, variabel debit memiliki nilai *F-Value* sebesar 0,14 dengan *P-Value* sebesar 0,742 (>0,05). Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik, variasi debit tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penyisihan kekeruhan. Sebaliknya, variabel jumlah *baffle* menunjukkan nilai *F-Value* sebesar 22,29 dengan *P-Value* sebesar 0,043 (<0,05), yang berarti berpengaruh signifikan terhadap penyisihan kekeruhan. Nilai F yang

besar menunjukkan bahwa variasi antar perlakuan jumlah *baffle* jauh lebih dominan dibandingkan variasi dalam kelompok, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan jumlah *baffle* memberikan dampak nyata terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa debit rendah sebesar 6 L/menit lebih optimal dalam menurunkan TSS dibandingkan variasi debit 8 L/menit. Pada debit 6 L/menit, TSS turun dari 690 mg/L menjadi 70–100 mg/L dengan kemampuan removal yang tinggi, yaitu 85,51%–89,86%, sedangkan pada debit 8 L/menit, TSS hanya turun menjadi 120–170 mg/L dengan efisiensi 75,36%–82,61%. Peningkatan jumlah *baffle* juga terbukti meningkatkan efisiensi penyisihan TSS, dengan kondisi optimum pada 50 *baffle* yang menghasilkan penurunan hingga 89,86%. Sementara itu, efisiensi penyisihan kekeruhan tetap sangat tinggi pada semua variasi debit dan jumlah *baffle*, yaitu 99,16%–99,31%, dengan penurunan dari 1029 NTU menjadi 7,13–8,67 NTU. Hal ini menegaskan bahwa PAC sangat efektif dalam mendestabilisasi partikel koloid sejak tahap awal koagulasi. Secara keseluruhan, kombinasi koagulasi hidrolis dan flokulasi mekanis menggunakan PAC efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS dan kekeruhan limbah cair batik. Pada kondisi optimum, efisiensi penyisihan TSS mencapai 89,86% dan kekeruhan mencapai 99,31%. Nilai kekeruhan hasil pengolahan telah memenuhi persyaratan kualitas air berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023, namun konsentrasi TSS hasil pengolahan masih belum memenuhi baku mutu limbah cair industri batik berdasarkan Permen LHK Nomor 5 Tahun 2014 sehingga diperlukan pengolahan lanjutan untuk meningkatkan kualitas efluen.

DAFTAR PUSTAKA

Afrianisa, R. D., Yasmine, Y, A. (2025). Optimasi dosis biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya* L.) dalam penurunan parameter TSS, BOD, dan COD pada limbah tahu. *Environmental Engineering Journal ITATS*, *5*(1), 88-99. DOI: https://doi.org/10.31284/j.envitats.2025.v5i1.7972

Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, *3*(1), 21-29. DOI: https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640

Basheer, A. A., Bharathesh, K. (2022). Effect of baffle configuration on hydrodynamics and solid suspension in a continuous stirred vessel. *Chemical Engineering Communications*, *209*(10). https://doi.org/10.1080/00986445.2021.1975681

Bruno, P., Di Bella, G., De Marchis, M. (2021). Effect of the contact tank geometry on disinfection efficiency. *Journal of Water Process Engineering*, *41*. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102035

Campinas, M., Viegas, R. M. C., Coelho, R., Lucas, H., Rosa, M. J. (2021). Adsorption/Coagulation/Ceramic Microfiltration for Treating Challenging Waters for Drinking Water Production. *Membranes*, *11*(2), 1–19. https://doi.org/10.3390/membranes11020091

Cruz, D., Pimentel, M., Russo, A., Cabral, W. (2020). Charge neutralization mechanism efficiency in water with high color turbidity ratio using aluminium sulfate and flocculation index. *Water (Switzerland)*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/w12020572

Fitria, D., Komala, P. S., Vendela, D. (2022). Pengaruh waktu flokulasi pada proses koagulasi flokulasi dengan biokoagulan kelor untuk menyisihkan kadar besi air sumur. *Jurnal Reka Lingkungan*, *10*(2), 165–174. https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v10i2.165-174

Fitriyah., Mayudin, I. A., Wahab, M. F. A., Kusmiyati, P., Alfandiana, I., Septiansyah, E. (2020). Penggunaan PAC, tawas dan arang aktif sebagai koagulan pada UPAM Ciruas Serang Banten. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, *3*(2), 87-92. https://ejournal.lppm-unbaja.ac.id/index.php/jls/article/view/1094

Hamzani, S. (2020). Rancang bangun gravel bed flocculator sistem kontinu untuk pengolahan air sungai Martapura. *Buletin Profesi Insinyur*, *3*(1), 11–16. https://doi.org/10.20527/bpi.v3i1.77

He, W., Xue, L., Gorczyca, B., Nan, J., Shi, Z. (2018). Experimental and CFD studies of floc growth dependence on baffle width in square stirred-tank reactors for flocculation. *Separation and Purification Technology*, *190*. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.08.063

Julita, N. P., Simarmata, A. H., Purwanto, E. (2023). Hubungan Total Padatan Tersuspensi (TSS) dengan klorofil-a di perairan pesisir Kecamatan Dumai Barat, Kota Dumai, Riau. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, *11*(3), 202-210. DOI: https://doi.org/10.31258/

Miranda, R., Latour, I., Blanco, A. (2020). Understanding the efficiency of aluminum coagulants used in Dissolved Air Flotation (DAF). *Frontiers in Chemistry*, *8*. https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00027

Novianto, D. A., Rosariawari, F. (2022). Penyisihan TSS dan kekeruhan air permukaan dengan proses koagulasi sistem hidrolis. *Envirous*, *3*(1), 31–39. https://doi.org/10.33005/envirous.v3i1.62

Nurdiani. (2020). Penentuan optimasi koagulan PAC dan alum pada air limbah tekstil dengan metode jar test. *Warta Akab*, *44*(1), 26-31. DOI: https://doi.org/10.55075/wa.v44i1.116

Pennock, W. H., Lion, L. W., Weber-Shirk, M. L. (2021). Design Algorithm for Vertically-Baffled Flocculators. *Environmental Engineering Science*, *38*(7). https://doi.org/10.1089/ees.2020.0288

Qasim, M., Park, S., Kim, J. O. (2020). The role of ballast specific gravity and velocity gradient in ballasted flocculation. *Journal of Hazardous Materials*, *399*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122970

Rahayu, N. Y., Putro, R. K. H. (2025). Pengaruh pH pada proses fotokatalis *green synthesis* TiO_2 dalam menurunkan konsentrasi logam berat Cr^{6+} pada air limbah Tekstil. *Environmental Engineering Journal ITATS*, *5*(2), 126-133. DOI: 10.31284/j.envitats.2025.v5i2.8175

Rizkya, M. H., Juliardi, N. R. (2020). Penurunan total suspended solid dan kekeruhan air baku menggunakan pipa circular dan gravel bed flocculator dengan koagulan poly aluminium chloride. *Envirous: Jurnal Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur*, *1*(1), 16–21. https://doi.org/10.33005/envirous.v1i1.15

Setyaningtias, B., & Aussie, A. (2025). Pengaruh jumlah baffle pada reaktor koagulasi hidraulis untuk menurunkan parameter TSS dan kekeruhan. *Jurnal Serambi Engineering*, *10*(3), 14372-14379. https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/1034

Widiyanti, S. E., Pabbenteng., Saputra, E. W., Islamiati, A. N. (2019). Optimasi proses koagulasi menggunakan campuran koagulan aluminium sulfat dan poly aluminium chloride (1:1) pada pengolahan air sungai tello. *Konversi*, *8*(1), 59-62. https://doi.org/10.20527/k.v8i1.6515

Wijayanto, E. M., Farahdiba, A. U., & Rosariawari, F. (2019). Penyisihan Total Suspended Solid (TSS) air sungai dengan hidraulis koagulasi flokulasi. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *11*(2), 53-39. DOI: https://doi.org/10.33005/envirotek.v11i2.12

Wu, Z., Zhang, X., Pang, J., Li, J., Li, J., Zhang, P. (2020). High-poly-aluminum chloride sulfate coagulants and their coagulation performances for removal of humic acid. *RSC Advances*, *10*(12), 7155–7162. https://doi.org/10.1039/c9ra10189f

Zhan, M., You, M., Liu, L., Zhang, Y., Yuan, F., Guo, B., Cheng, G., Xu, W. (2021). Numerical simulation of mechanical flocculation in water treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(4). https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105536

Zhao, K., Vowinckel, B., Hsu, T. J., Köllner, T., Bai, B., Meiburg, E. (2020). An efficient cellular flow model for cohesive particle flocculation in turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, *889*. https://doi.org/10.1017/jfm.2020.79