

Efek Koagulasi-Flokulasi Terhadap Penurunan COD Menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan Kapur pada Limbah Cair Tekstil dengan Zat Warna Direk

Asiyah Nurrahmajanti^{1*}, Octianne Djamaludin², Anisa Intanika Sari Klatatiana³

^{1,2,3}Program Studi Kimia Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No.31
Bandung, 40272

*asiyah.rahma@kemenperin.go.id/asiyah.janti@gmail.com

Diterima: 16 01 2026

Direvisi: 23 01 2026

Disetujui: 30 01 2026

ABSTRAK

Limbah cair tekstil mengandung pencemar organik yang tinggi akibat penggunaan zat warna dan bahan kimia pada proses pencelupan yang ditunjukkan oleh nilai COD. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi efektivitas proses koagulasi-flokulasi menggunakan PAC dan kapur sebagai koagulan yang berperan dalam penurunan kadar COD limbah cair tekstil hasil praktikum pencelupan zat warna direk. Pengujian koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan metode *jar test* dengan variasi volume koagulan 20 mL, 25 mL, dan 30 mL pada konsentrasi 5%. Analisis COD dilakukan menggunakan metode dikromat refluks tertutup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi mampu menurunkan nilai COD secara signifikan dengan efisiensi tertinggi diperoleh pada dosis koagulan 25 mL sebesar 74,85%. Peningkatan dosis koagulan hingga 30 mL menyebabkan penurunan efisiensi akibat fenomena restabilisasi partikel koloid. Meskipun terjadi perbaikan kualitas limbah, nilai COD akhir menunjukkan masih melampaui ambang baku mutu limbah cair tekstil, sehingga diperlukan proses pengolahan lanjutan. Walaupun demikian, koagulasi-flokulasi menggunakan PAC dan kapur efektif sebagai pengolahan awal limbah cair tekstil, namun belum memadai sebagai satu-satunya metode pengolahan.

Kata kunci: limbah cair tekstil, koagulasi-flokulasi, PAC, kapur, COD.

ABSTRACT

Textile wastewater contains a high load of organic pollutants resulting from the extensive use of dyes and auxiliary chemicals during the dyeing process, as indicated by elevated Chemical Oxygen Demand (COD) values. This present research conducted to assess the effectiveness of poly aluminium chloride (PAC) and lime as coagulants with coagulation-flocculation process in reducing the COD of textile wastewater generated from direct dyeing laboratory activities. The treatment was carried out using a jar test method with coagulant dosages of 20 mL, 25 mL, and 30 mL at a concentration of 5%. COD analysis was performed using the closed reflux dichromate method. The results demonstrated that the coagulation-flocculation process significantly reduced COD, with the highest removal efficiency of 74.85% achieved at a coagulant dosage of 25 mL. The application of a higher coagulant volume to 30 mL led to diminished in removal efficiency likely due to the redispersion and restabilization of colloidal particles. Nevertheless, the final COD values remained above the regulatory discharge limits for textile wastewater, indicating the need for further treatment processes. These findings suggest that coagulation-flocculation using PAC and lime is effective as a primary treatment for textile wastewater but is insufficient as a standalone treatment method.

Keywords: *Textile Wastewater, coagulation-flocculation, PAC, lime, COD*

PENDAHULUAN

Industri tekstil dan produk tekstil (TPT) merupakan salah satu sektor manufaktur yang berkontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia. Menurut data dari BPS, industri ini berkontribusi 5,46% terhadap total Produk Domestik Bruto (PDB) di sektor non-migas pada triwulan III-2025 [1]. Namun, dibalik besarnya peran industri ini ada ancaman terhadap lingkungan yang sangat besar yakni limbah khususnya limbah cair. Indonesia ternyata menempati urutan kedua dalam pencemaran sektor perairan yang disebabkan oleh industri tekstil diantara negara G-20 [2]. Limbah cair tekstil umumnya memiliki karakteristik pencemaran yang kompleks. Hal tersebut dapat terlihat dari sisi warna, kekeruhan, dan bau yang menyengat pada air sungai yang mengindikasikan bahwa perairan tersebut mengalami pencemaran yang berat. Pembuangan limbah tanpa pengolahan yang maksimal akan menyebabkan kematian biota alami sungai dan dapat menghasilkan senyawa beracun [3].

Tingkat pencemaran limbah cair tekstil umumnya dievaluasi menggunakan parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), yang merepresentasikan kebutuhan oksigen untuk proses oksidasi komponen organik. Nilai COD yang tinggi mengindikasikan beban pencemar organik yang besar dan berkorelasi dengan potensi pencemaran lingkungan yang serius. Dengan pertimbangan dampak lingkungan tersebut, penerapan sistem pengolahan limbah cair tekstil yang efektif sebelum dibuang ke lingkungan menjadi aspek penting untuk memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan serta dalam pengelolaan industri tekstil yang berkelanjutan [4], [5].

Berbagai metode untuk mengolah limbah cair tekstil telah dikembangkan diantaranya adsorpsi baik menggunakan adsorben organik maupun anorganik [6], elektrokoagulasi [7], filtrasi [8] yang dikombinasikan dengan ozon [9], dan koagulasi-flokulasi [10], [11]. Diantara metode tersebut, koagulasi-flokulasi masih banyak dikembangkan karena prosesnya relatif lebih sederhana, biaya operasional lebih rendah, serta efektif dalam menurunkan kekeruhan, warna, dan sebagian beban pencemar organik [12]. Proses koagulasi-flokulasi itu sendiri dikenal sebagai metode pengolahan air limbah yang melibatkan aplikasi koagulan baik tunggal maupun kombinasi dengan tujuan untuk menurunkan tingkat kekeruhan sehingga diperoleh air yang lebih jernih dan bebas dari partikel tersuspensi. Melalui peran koagulan tersebut, partikel-partikel penyebab kekeruhan yang semula berukuran sangat halus dan tidak dapat mengendap secara gravitasi didestabilisasi dan digabungkan menjadi agregat berukuran lebih besar, sehingga dapat diendapkan dengan lebih efektif [13].

Poly Aluminium Chloride (PAC) dikenal sebagai salah satu koagulan yang banyak digunakan karena memiliki kemampuan destabilisasi koloid yang baik dan menghasilkan flok yang relatif stabil dibandingkan koagulan konvensional seperti tawas. Beberapa penelitian telah melaporkan mengenai efektivitas kinerja koagulan PAC. Penelitian yang dilakukan oleh Pertiwi tahun 2019 telah berhasil menurunkan kadar COD sebesar 92,18% pada limbah *laundry* menggunakan koagulan PAC [14]. Efisiensi pengolahan limbah cair rumah sakit dalam menurunkan kadar COD sebesar 95% juga telah berhasil dilakukan oleh Aziz dkk pada tahun 2017 menggunakan koagulan PAC yang dibandingkan dengan alum [15]. Nelza dkk pada tahun 2023 juga telah berhasil menurunkan kekeruhan pada unit pengolahan air proses PT. XYZ Kuala Tanjung yang bersumber dari air Sungai Besar Kuala Indah menggunakan koagulan PAC [16]. Selain PAC, penggunaan kapur sebagai bahan pendukung dalam proses koagulasi-flokulasi untuk memperkuat pembentukan flok, sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengendapan partikel tersuspensi [17].

Meskipun penggunaan PAC dalam pengolahan limbah cair tekstil telah banyak dilaporkan, kajian mengenai penggunaan kombinasi PAC dan kapur pada limbah cair tekstil hasil pencelupan zat warna direk dengan karakteristik COD sangat tinggi masih terbatas, khususnya pada skala laboratorium pendidikan. Sejalan dengan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan evaluasi efektivitas penerapan PAC dengan proses koagulasi-flokulasi dan kapur dalam menurunkan nilai COD limbah cair tekstil hasil pencelupan zat warna direk, serta menentukan dosis koagulan yang paling optimum sebagai dasar pengembangan pengolahan limbah cair tekstil yang lebih efektif.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

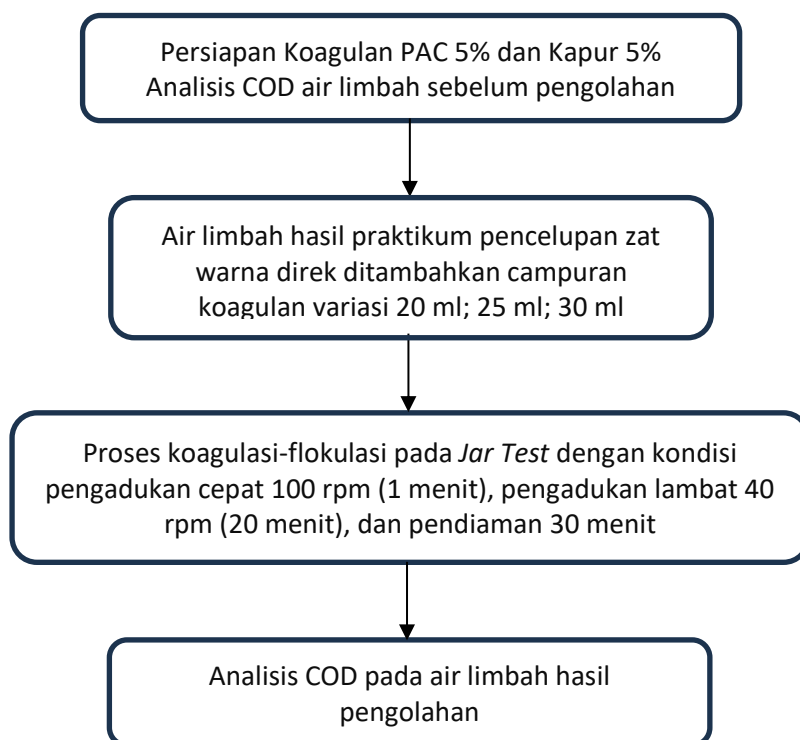
Peralatan yang digunakan meliputi unit *Jar Test* merk VELP JLT 6 *Spindels*, COD Reactor merk Hanna Instrument, serta peralatan gelas laboratorium seperti gelas piala, gelas ukur, labu erlenmeyer, buret, dan pipet volumetrik. Bahan yang digunakan meliputi *Poly Aluminium Chloride* (PAC), kapur, asam sulfat pekat (H_2SO_4), kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), indikator feroin, larutan ferroamonium sulfat (FAS), serta air limbah hasil praktikum pencelupan zat warna direk.

Proses Pengolahan Air Limbah

Koagulan PAC 5% (b/v) dan kapur 5% (b/v) disiapkan dengan melarutkan masing-masing bahan sebanyak 3,75 g ke dalam 75 mL aquades. Koagulasi–flokulasi dilaksanakan memakai metode *jar test* dengan volume sampel limbah cair sebanyak 500 mL pada setiap perlakuan. Variasi volume dari campuran koagulan PAC dan kapur yang digunakan adalah 20 mL, 25 mL, dan 30 mL. Proses pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan 100 rpm selama 1 menit untuk mendistribusikan koagulan secara merata. Lalu pengadukan lambat dengan kecepatan 40 rpm selama 20 menit guna memfasilitasi pembentukan flok. Selanjutnya, sampel didiamkan selama 30 menit untuk proses sedimentasi. Supernatan yang terbentuk kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh digunakan untuk analisis COD.

Analisis COD

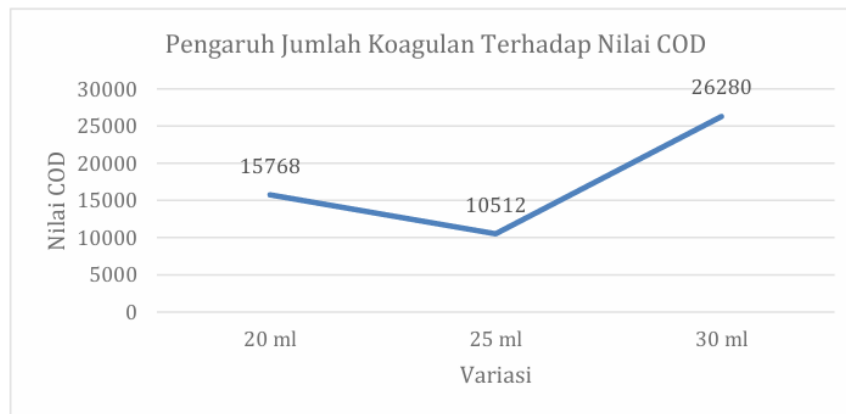
Pengujian COD dilakukan pada filtrat hasil koagulasi–flokulasi menggunakan metode dikromat refluks tertutup. Langkah-langkah pengujiannya ialah sebanyak 1 ml filtrat sampel air limbah dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml lalu ditandabatkan dengan aquades dan dihomogenkan. Selanjutnya dipipet 2,5 ml ke dalam tabung COD, ditambahkan 1,5 ml $K_2Cr_2O_7$ 0,1 N, dan 3,4 ml H_2SO_4 pekat. Tabung COD ditutup dan dimasukkan ke dalam lubang COD Reactor dan dipanaskan pada suhu $150^\circ C$ selama 2 jam. Setelah proses pendinginan, sisa dikromat dititrasikan menggunakan larutan Ferroamonium sulfat dengan indikator feroin sampai terjadi perubahan warna menjadi merah kecokelatan. Nilai COD dinyatakan dalam satuan $mg O_2/L$.



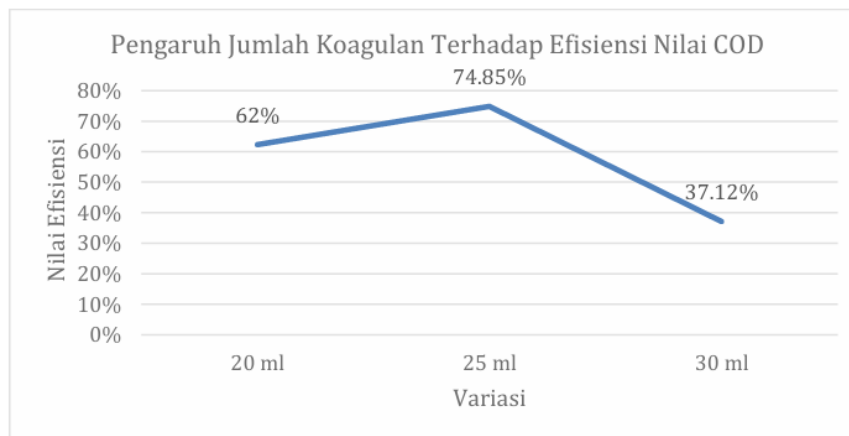
Gambar 1. Diagram alir proses pengolahan air limbah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses koagulasi–flokulasi menggunakan PAC dan kapur mampu menurunkan nilai COD limbah cair tekstil secara signifikan. Penurunan COD terjadi akibat destabilisasi partikel koloid oleh ion Al^{3+} yang berasal dari PAC dan ion Ca^{2+} dari kapur, yang menetralkan muatan negatif partikel tersuspensi sehingga memfasilitasi pembentukan flok berukuran besar dan mudah mengendap [13], [15] Efisiensi penurunan COD tertinggi diperoleh pada dosis koagulan 25 mL, yaitu sebesar 74,85%. Mula-mula, nilai COD terukur sebesar 41.792 mg O_2/L . Pada kondisi ini, jumlah koagulan yang ditambahkan berada pada tingkat optimum untuk menetralkan muatan partikel koloid dan membentuk flok yang stabil. Pada dosis 20 mL, jumlah koagulan yang ditambahkan belum mencukupi untuk menetralkan seluruh muatan partikel, sehingga efisiensi penurunan COD lebih rendah. Sebaliknya, peningkatan dosis koagulan hingga 30 mL menyebabkan penurunan efisiensi akibat kelebihan muatan positif yang memicu terjadinya restabilisasi partikel koloid, sebagaimana juga dilaporkan pada penelitian koagulasi limbah tekstil sebelumnya [10].



a.



b.

Gambar 2. a. Grafik pengaruh jumlah koagulan terhadap nilai COD. b. Grafik pengaruh jumlah koagulan terhadap efisiensi COD

Hal tersebut bersesuaian dengan yang telah dilaksanakan Pertiwi (2019) yang mengemukakan bahwa penentuan dosis optimum PAC sangat berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD, di mana dosis berlebih justru menurunkan kinerja proses koagulasi–flokulasi [14]. Meskipun efisiensi penurunan COD pada penelitian ini cukup tinggi, nilai COD pada tahap akhir pengolahan tercatat masih di atas ambang ketentuan baku mutu limbah cair tekstil yang berlaku. Hal ini menunjukkan bahwa proses koagulasi–flokulasi menggunakan PAC dan kapur efektif sebagai pengolahan awal (*primary treatment*), namun belum memadai sebagai satu-satunya metode pengolahan. Untuk mencapai baku mutu lingkungan sesuai permenklhpbph No.12 Tahun 2025 bahwa nilai COD untuk limbah

cair tekstil sebesar 115 mg O₂/L, maka diperlukan proses pengolahan lanjutan seperti filtrasi, adsorpsi, atau oksidasi lanjut. Integrasi koagulasi–flokulasi dengan proses lanjutan telah dilaporkan secara signifikan memperbaiki kinerja penurunan COD dan warna pada limbah cair tekstil [9].

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa proses koagulasi–flokulasi menggunakan kombinasi PAC dan kapur efektif dalam menurunkan nilai COD limbah cair tekstil hasil pencelupan zat warna direk di laboratorium pencelupan. Efisiensi penurunan COD tertinggi sebesar 74,85% diperoleh pada dosis koagulan 25 mL. Meskipun terjadi penurunan COD, nilai akhir yang diperoleh belum memenuhi ambang batas baku mutu lingkungan, sehingga diperlukan tahapan pengolahan lanjutan. Dengan demikian, metode ini berpotensi diaplikasikan sebagai tahap awal pengolahan limbah cair tekstil dan perlu dikombinasikan dengan proses pengolahan lanjutan pada penelitian selanjutnya agar diperoleh peningkatan efisiensi penurunan COD yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPS, *Statistik Industri Manufaktur Produksi Statistics of Production Manufacturing Industry*, vol. 12. Badan Pusat Statistik Indonesia, 2023.
- [2] A. D. Afriyadi, "Industri Tekstil Jadi Penyumbang Limbah Terbesar, Apa Solusinya?," <https://finance.detik.com/industri/d-7259272/industri-tekstil-jadi-penyumbang-limbah-terbesar-apa-solusinya>.
- [3] Enrico, "Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan Dan Aplikasi Teknik Eco Printing Sebagai Usaha Mengurangi Limbah," *MODA*, vol. 1, Jan. 2019, [Online]. Available: www.google.com
- [4] D. Wu, Y. Hu, and Y. Liu, "A Review of Detection Techniques for Chemical Oxygen Demand in Wastewater," *Am. J. Biochem. Biotechnol.*, vol. 18, no. 1, pp. 23–32, Dec. 2022, doi: 10.3844/ajbbsp.2022.23.32.
- [5] O. LaDuke, "Chemical oxygen demand and its applications," *Advanced Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 13, Apr. 2022, [Online]. Available: www.internationalscholarsjournals.com
- [6] A. K. Shah, Z. M. Ali, A. J. Laghari, and S. F. A. Shah, "Utilization of Fly Ash as Low-Cost Adsorbent for the Treatment of Industrial Dyes Effluents-A Comparative Study," *Res. Rev. J. Eng. Technol.*, vol. 2, 2013.
- [7] O. Djamaludin *et al.*, "Optimalisasi Prototipe Alat Pengolahan Limbah Cair Ikm Batik Menggunakan Elektrokoagulan," in *Seminar Nasional Kimia 2023 UIN Sunan Gunung Djati*, 2023.
- [8] R. Faradila, H. S. Huboyo, and A. Syakur, "Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, vol. 22, no. 3, pp. 342–350, Oct. 2023, doi: 10.14710/jkli.22.3.342-350.
- [9] M. Fabiyi, K. A. Connery, and A. Rambor, "Effect of Filtration using Sand Filter or MBR on Ozone Requirement for Color Removal in Textile Wastewater," 2014.
- [10] A. Sartika Putri and D. P. Soewondo, "OPTIMASI PENURUNAN WARNA PADA LIMBAH TEKSTIL MELALUI PENGOLAHAN KOAGULASI DUA TAHAP OPTIMIZING DYE REMOVAL FROM TEXTILE WASTEWATER USING TWO STAGES COAGULATION," Agustine Sartika Putri dan Prayatni Soewondo, 2010.
- [11] L. N. Ayni, E. Ningsih, J. T. Kimia, and T. Industri, "Pengolahan Limbah Cair Tekstil dengan Menggunakan Koagulan FeCl₃," in *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, Surabaya: Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Mar. 2021, pp. 370–377.
- [12] D. Kusumawardani and R. Iqbal, "Evaluasi Performa Pengadukan Hidrolis Sebagai Koagulator dan Flokulator Berdasarkan Hasil Jar Test," Bandung, 2013.
- [13] P. Sarker, S. M. Isla, and M. M. Kabir, "Removal of iron and turbidity from ground water by natural and chemical coagulants," *Int. Res. J. Environ. Sci.*, vol. 8(1), pp. 36–41, Jan. 2019.
- [14] A. K. Pertiwi, "Pengaruh Konsentrasi Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Waktu Pengadukan Terhadap Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan Fosfat Pada Limbah Cair Laundry Menggunakan Metode Koagulasi-Flokulasi," Surakarta, May 2019.
- [15] N. Aziz, N. Effendy, and K. T. Basuki, "COMPARISON OF POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC) AND

ALUMINIUM SULPHATE COAGULANTS EFFICIENCY IN WASTE WATER TREATMENT PLANT," *Inovasi Teknik Kimia*, vol. 2 No. 1, no. 1, pp. 24–31, Apr. 2017.

- [16] N. Nelza, M. Sebayang, Yuniyanto, and D. F. Simatupang, "Penentuan Kebutuhan Poli Aluminium Klorida pada Proses Penjernihan Air di Unit Water Treatment PT. XYZ Kuala Tanjung," *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 6, pp. 1047–1053, Dec. 2023, doi: 10.55123/insologi.v2i6.2783.
- [17] Wiwin T. D. Astuti, T. Joko, and N. A. Y. Dewanti, "EFEKTIVITAS LARUTAN KAPUR DALAM MENURUNKAN KADAR FOSFAT PADA LIMBAH CAIR RSUD KOTA SEMARANG," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 4, Nomor 3, pp. 2356–3346, Jul. 2016, [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>