

Available online at: <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/>**REACTOR****Journal of Research on Chemistry and Engineering**

| ISSN Online 2746-0401 |



Optimasi Penghilangan COD dan Warna dengan Proses Koagulasi, Flokulasi dan Sedimentasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Kertas

Ulung Muhammad Sutopo¹, Elfia Fariza¹, Lastri Sartika¹, Reni Desmiarti¹

¹ Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Padang, 25143, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: October 17, 2025

Revised: January 7, 2026

Available online: January 20, 2025

KEYWORDS

Wastewater, coagulants, PAC and polymer, settling time

CORRESPONDENCE

Name: Ulung Muhammad Sutopo

E-mail: ulungmuhammadstp@bunghatta.ac.id

ABSTRACT

Pulp and paper industry wastewater contains very potential pollutants, especially suspended solids, BOD, and COD which are stable colloids and difficult to separate. To reduce the COD content in paper industry wastewater, the addition of coagulant chemicals is needed. The coagulant used is 20% poly aluminum chloride (PAC) with a variation of 100-600 mg/L and polymer with a dose of 1-6 mg/L to reduce COD and color in wastewater treatment. The settling time used is 1-25 minutes. The effect of adding PAC coagulant is able to reduce COD and color of wastewater at the optimal point, but when the addition of PAC is excessive, the COD and color of the wastewater increase again. The results found that the optimum conditions occurred at a PAC dosage of 400 mg/L and a polymer dosage of 4 mg/L with a settling time of 20 minutes, resulting in a reduction of TSS, COD, and color to 12 mg/L, 102 mg/L, and 123 PtCo, respectively. The combination of coagulation-flocculation-sedimentation processes under these optimum conditions proved effective as a tertiary treatment to meet wastewater quality standards for the paper industry

PENDAHULUAN

Industri kertas merupakan salah satu jenis industri terbesar di Indonesia. Saat ini kertas sudah menjadi kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari, seperti kebutuhan kertas untuk menulis, mencetak, dll. Dalam proses produksi kertas, dihasilkan limbah. Pada umumnya, air limbah dari proses pembuatan kertas mengandung senyawa-senyawa organik seperti selulosa, karbohidrat, dan partikel serat (1-5), pencemar lain seperti padatan tersuspensi, BOD, dan COD yang bersifat koloid stabil dan sulit dipisahkan (6-7). Kualitas air limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan ditentukan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor: KEP 05/MENKLH/II/2014 tentang Baku Mutu Limbah Cair.

Dalam setiap industri, pengolahan air limbah industri kertas terdiri dari 3 tahapan yaitu: *primary treatment*, *secondary treatment* dan *tertiary treatment*. *Primary*

treatment merupakan proses pengolahan air limbah secara fisika, dimana partikel atau padatan yang berukuran besar akan mengendap dengan gaya gravitasi. Proses *secondary treatment* merupakan proses pengolahan secara biologi, dengan bantuan *microorganisme* untuk mengurai materi organik dan zat berbahaya. Sedangkan proses *tertiary treatment* merupakan tahapan lanjutan secara kimia. *Tertiary treatment* merupakan tahapan penyempurnaan dari proses sebelumnya, karena hasil dari proses *primary treatment* dan *secondary treatment* COD dan warna masih melebihi baku mutu. Proses *tertiary treatment* menggunakan metode yang efektif dengan konsep koagulasi, flokulasi dan sedimentasi.

Proses koagulasi adalah proses kimia yang digunakan untuk menghilangkan partikel-partikel kecil yang tersuspensi dalam air dengan menambahkan koagulan dengan kecepatan perputaran yang tinggi dan waktu yang singkat. Koagulan yang digunakan dalam pengolahan limbah diantaranya Poli Aluminium Klorida (PAC),

alumunium (III) klorida dan tembaga (II) sulfat. PAC dalam penurunan polutan (TSS, TDS, COD, pH, minyak dan lemak, dan NH_3) sangat bagus dibandingkan alumunium sulfat (8-9). Keberhasilan proses koagulasi sangat bergantung pada konsentrasi koagulan yang digunakan. Apabila konsentasi koagulan terlalu kecil mengakibatkan tidak terbentuknya flok, sebaliknya jika konsentrasi koagulan terlalu tinggi mengakibatkan pembentukan flok tidak sempurna dikarenakan adanya perubahan pH larutan. Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk mengoptimasi persentasi konsentrasi koagulan sehingga proses pengolahan dapat menghilangkan COD dan warna secara maksimal.

METODOLOGI

Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah cair industri PT XYZ daerah provinsi Riau. Karakteristik awal sampel limbah cair industri kertas ditampilkan pada tabel 1. Semua parameter karakteristik awal sampel melampaui nilai baku mutu sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014.

Tabel 1. Karakteristik awal inlet air limbah

| Tahapan | TSS (mg/L) | COD (mg/L) | Warna (PtCo) |
|---|---------------|---------------|-----------------|
| Inlet | 811 | 2271 | 1061 |
| Baku Mutu sesuai Permen LH No 5 Tahun 2014 | 100 | 350 | 200 |

Sebagai adsorbent digunakan yaitu *poli aluminium klorida* (PAC) 20% dengan variasi konsentrasi 100, 200, 300, 400, 500 dan 600 mg/L dan polimer dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 mg/L terhadap penurunan COD dan warna pada pengolahan air limbah. Settling time atau waktu flokulasi yang digunakan adalah 1, 5, 10, 15, 20 dan 25 menit.

Proses Tertiary Treatment skala laboratorium

Air limbah hasil dari *secondary treatment* di masukkan ke dalam gelas kimia 1000 mL. Kemudian diinjeksikan dengan H_2SO_4 hingga tercapai pH 6.0-7.5. Air limbah di letakkan di *mixer jar test* dan atur *speed mixer* 150 rpm. Setelah teraduk selama 5 menit, air limbah di tambahkan koagulan (PAC 20 % (% berat/volume) dengan variasi konsentrasi 100, 200, 300, 400, 500 dan 600 mg/L dan polimer dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 mg/L) dan tunggu hingga 5 menit. Mixer di berhentikan lalu di turunkan *speed* ke 50 rpm. Setelah itu sampel diamkan hingga 1, 5, 10, 15, 20, dan 25 menit. Tahapan optimasi proses Tertiary dilakukan dengan mempelajari pengaruh konsentrasi PAC 100, 200, 300, 400, 500 dan 600 mg/L

dengan konsentrasi polimer tetap (3 mg/L) selama 25 menit. Setelah didapatkan kondisi optimum untuk konsentrasi PAC, proses optimasi dilakukan dengan mempelajari pengaruh konsentasi polimer (1, 2, 3, 4, 5, dan 6 mg/L) dengan konsentasi PAC tetap selama 25 menit. Selain itu, proses optimasi juga mempelajari pengaruh waktu *settling time* (1-25 menit) dengan konsentasi PAC dan polimer tetap.

Air limbah yang sudah tersedimentasi kemudian di pisahkan flok yang menggambangnya secara manual dengan menggunakan spatula. Air limbah yang sudah terpisah dengan flok selanjutnya di analisis kadar COD dan warna.

Prosedur analisa

Prosedur analisa COD

Prosedur analisis kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) diawali dengan preparasi sampel air yang dihomogenkan terlebih dahulu, kemudian sebanyak 2,0 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung digesti (0-1500 mg/L) yang telah berisi reagen. Larutan blangko juga disiapkan dengan menggunakan akuades sebagai pengganti sampel dengan perlakuan yang sama. Seluruh tabung kemudian dipanaskan di dalam *COD reactor* pada suhu 150°C selama 120 menit untuk memastikan oksidasi senyawa organik berlangsung sempurna. Setelah proses destruksi selesai, sampel didinginkan hingga mencapai suhu ruang (23°C - 27°C) untuk mencegah terjadinya fluktuasi pembacaan. Pengukuran nilai COD dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 620 nm untuk rentang tinggi atau 420 nm untuk rentang rendah. Nilai konsentrasi COD yang diperoleh dinyatakan dalam satuan mg/L dan divalidasi melalui perbandingan terhadap kurva standar yang telah dibuat sebelumnya.

Prosedur analisa warna

Air limbah atau filtrat yang sudah terpisah dengan flok selanjutnya dianalisis warnanya. Filtrat yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam kuvet bersih, sementara akuades digunakan sebagai larutan blangko untuk kalibrasi alat. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan absorbansi sampel terhadap larutan standar baku *Platinum-Cobalt* pada panjang gelombang 450 nm. Nilai warna sampel ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi yang telah dipersiapkan sebelumnya dan dinyatakan dalam satuan unit Pt-Co atau *True Color Unit* (TCU).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh konsentrasi PAC terhadap Penurunan COD dan Warna Air Limbah

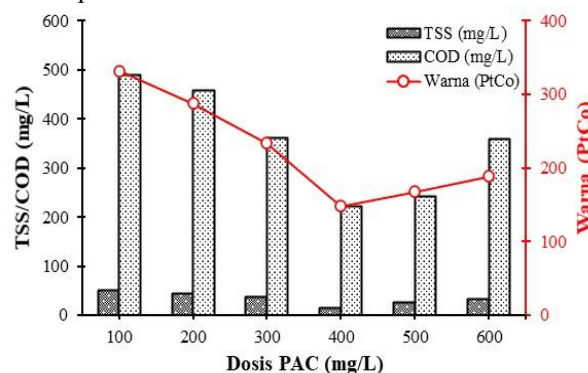
Kunci keberhasilan proses koagulasi sangat bergantung pada penentuan konsentrasi koagulan yang digunakan karena berdampak langsung pada kekeruhan larutan. Saat konsentrasi koagulan terlalu rendah, proses koagulasi tidak akan efektif. Sebaliknya, jika konsentrasi koagulan berlebihan, partikel dalam larutan akan terlalu banyak terlapisi koagulan, menyebabkan permukaan partikel menjadi jenuh dan larutan semakin keruh. Hal ini menghambat proses penggabungan partikel, pembentukan flok yang baik, dan pengendapan yang efektif (9). Optimasi konsentrasi optimum koagulan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi koagulan yang tepat saat proses koagulasi yang berdampak pada penurunan konsentrasi COD, TSS dan kekeruhan larutan. Optimasi penentuan konsentrasi koagulan dilakukan dengan menguji variasi dosis antara 100-600 mg/L dengan konsentrasi polimer tetap yakni 3 mg/L. Konsentrasi optimum ditentukan berdasarkan parameter TSS, COD, dan tingkat kekeruhan (perubahan warna) larutan pada sampel. Observasi visual terhadap efek penambahan konsentrasi koagulan terhadap perubahan warna sampel dapat memberikan indikasi awal mengenai efektivitas proses koagulasi sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Hasil observasi visual ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil jas test dengan variasi dosis koagulan PAC

Gambar 1 menunjukkan perubahan warna sampel air limbah setelah penambahan koagulan dengan konsentrasi yang berbeda-beda, yaitu 100 mg/L hingga 600 mg/L dari kiri ke kanan. Penambahan koagulan menyebabkan penurunan intensitas warna yang signifikan, dari warna gelap menjadi hampir jernih. Pengukuran COD dilakukan setelah sampel diendapkan dan bagian permukaan air diambil secara perlahan untuk dipisahkan dari endapan. Hasil pengukuran parameter TSS, COD, dan warna dapat dilihat pada Gambar 2, yang

menunjukkan pengaruh konsentrasi koagulan PAC terhadap kualitas air limbah.



Gambar 2. Pengaruh penambahan dosis PAC terhadap penurunan COD dan warna pada air limbah

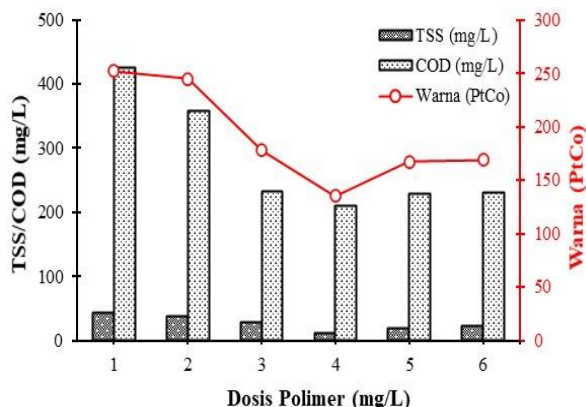
Berdasarkan hasil pengujian jar test pada Gambar 2, pada konsentrasi penambahan koagulan 100 mg/L dan penambahan polimer 3 mg/L diperoleh hasil nilai TSS 51 mg/L, COD 489 mg/L, dan warna 332 PtCo. Ketika konsentrasi koagulan dinaikkan menjadi 200 mg/L terjadi penurunan nilai TSS menjadi 45 mg/L, COD menjadi 458 mg/L, dan warna menjadi 288 PtCo. konsentrasi optimum koagulan PAC adalah 400 mg/L dengan penambahan polimer 3 mg/L, yang menghasilkan nilai TSS 16 mg/L, COD 222 mg/L, dan warna 148 PtCo.

Disisi lain, peningkatan penambahan konsentrasi koagulan menjadi 500 mg/L, menyebabkan nilai TSS, COD, dan warna ikut meningkat. Hal ini disebabkan oleh penambahan PAC yang berlebihan, sehingga flok yang terbentuk menjadi tidak stabil dan pecah kembali karena dosis polimer yang tidak optimal. Penambahan PAC bertujuan untuk menetralkan muatan negatif partikel koloid dengan kation, sehingga partikel dapat terflokulasi melalui gaya Van der Waals dengan bantuan polimer. Namun, jika kation yang diserap berlebihan, partikel koloid akan bermuatan positif dan mengalami gaya tolak-menolak, menyebabkan deflokulasi. Deflokulasi ini membuat larutan menjadi keruh dan meningkatkan nilai TSS, COD, dan warna (10). Menurut Setyaningsih (2002), PAC efektif dalam membentuk flok dengan cepat karena muatan positifnya yang tinggi, sehingga dapat menetralkan muatan koloid dan mengurangi gaya tolak elektrostatis antar partikel, memungkinkan partikel-partikel tersebut menggumpal menjadi ukuran yang lebih besar (16).

Pengaruh konsentrasi polimer terhadap penurunan COD dan warna pada pengolahan air limbah

Optimasi penentuan dosis flokulan memiliki prosedur yang sama seperti penentuan optimasi koagulan, yaitu dengan menguji berbagai dosis polimer untuk mencapai hasil yang optimal. Dosis polimer yang diuji adalah 1-6

mg/L dengan konsentrasi konsentasi PAC tetap yakni 400 mg. Dosis optimum ditentukan berdasarkan nilai TSS, COD, dan warna terendah. Hasil pengujian dosis flokulan polimer dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh penambahan dosis polimer terhadap penurunan COD dan warna pada air limbah

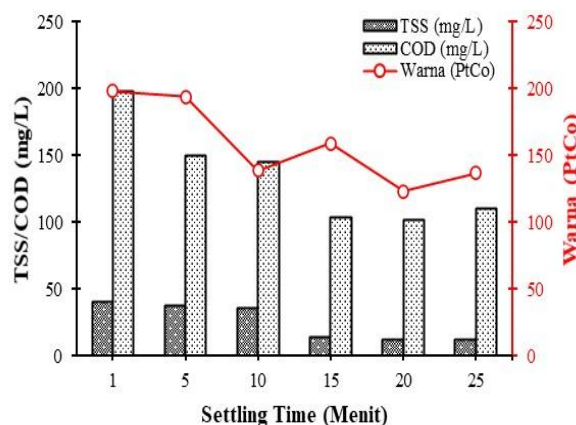
Pada Gambar 3, pada konsentrasi polimer 1 mg/L diperoleh hasil nilai TSS 44 mg/L, COD 452 mg/L, dan warna 252 PtCo. Ketika konsentrasi polimer dinaikkan menjadi 2 mg/L terjadi penurunan nilai TSS menjadi 38 mg/L, COD menjadi 358 mg/L, dan warna menjadi 245 PtCo. Setelah dilakukan pengujian jar test untuk menentukan dosis optimum, didapat dosis optimum flokulan polimer pada dosis 4 mg/L dengan dosis PAC 400 mg/L diperoleh nilai TSS yaitu 12 mg/L, nilai COD yaitu sebesar 210 mg/L dan warna sebesar 135 PtCo. Pengaruh konsentasi flokulan optimal, dimana flok yang mampu mengendap terbentuk (jendela flokulasi). Pada saat melebihi batas konsentrasi menyebabkan stabilisasi ulang partikel tersuspensi (17-21). Hal ini membuktikan bahwa pada dosis polimer 5 mg/L nilai TSS, COD dan warna mengalami kenaikan.

Pengaruh settling time terhadap penurunan COD dan warna pada pengolahan air limbah

Pengolahan air limbah secara kimia bertujuan untuk menghilangkan partikel koloid dan menetralkan limbah cair dengan menambahkan bahan kimia yang memicu reaksi kimia untuk menyisihkan polutan. Proses ini melibatkan penambahan zat pengendap dan pengadukan cepat untuk membentuk gumpalan partikel. Hasil akhir proses ini adalah endapan yang kemudian dipisahkan secara fisik. Kekeruhan pada air limbah dapat disebabkan oleh proses pengendapan yang tidak efektif. Semakin lama waktu pengendapan, semakin banyak endapan yang terbentuk, sehingga dapat menurunkan parameter kekeruhan. Meskipun tidak ada baku mutu khusus untuk kekeruhan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, parameter ini tetap diuji untuk mengetahui efektivitas koagulan dalam mengendapkan kekeruhan. Kekeruhan yang tinggi dapat

mempengaruhi nilai COD dan warna air limbah karena menghambat penetrasi cahaya ke dalam air.

Percobaan ini menguji *settling time* antara 1 hingga 25 menit untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas air limbah dengan parameter konsentasi PAC 400 mg/L dan konsentasi polimer 4 mg/L. Pengadukan lambat pada proses flokulasi bertujuan untuk memfasilitasi interaksi antar partikel dan membentuk flok yang lebih besar, serta menjaga kestabilan flok yang sudah terbentuk agar tidak pecah (14). Hasil pengaruh *settling time* terhadap COD dan warna air limbah dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh *settling time* terhadap penurunan COD dan warna pada air limbah

Berdasarkan Gambar 4, pada waktu *settling time* 1 menit diperoleh hasil nilai TSS 40 mg/L, COD 198 mg/L, dan warna 198 PtCo. Ketika waktu *settling time* dinaikkan menjadi 5 menit terjadi penurunan nilai TSS menjadi 38 mg/L, COD menjadi 150 mg/L, dan warna menjadi 194 PtCo. Waktu *settling time* terbaik adalah 20 menit, dengan nilai TSS 12 mg/L, COD 102 mg/L, dan warna 123 PtCo. Waktu ini optimal karena memungkinkan kontak yang efektif antara flokulan dan kontaminan, sehingga menghasilkan penyisihan polutan yang maksimal. Penambahan waktu *settling time* lebih lanjut justru menurunkan efektivitas flokulan karena flok yang terbentuk dapat rusak dan pecah (11), sehingga nilai COD dan warna meningkat. Hasil ini sejalan dengan penelitian Regita Nurul Anggraeni yang menemukan bahwa waktu detensi optimum sekitar 20 menit dapat menurunkan kekeruhan air baku secara signifikan (22), dengan efisiensi pengurangan turbidity 75-83%.

Kinerja dari proses Tertiary Treatment dibandingkan dengan baku mutu

Baku mutu air limbah adalah standar yang mengatur batas atau jumlah maksimum bahan pencemar yang diperbolehkan dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Menurut peraturan yang berlaku, seperti PP

No. 22 Tahun 2021, baku mutu ini berfungsi sebagai ukuran untuk mengontrol jumlah polutan yang dilepaskan ke air dan tanah. Dalam penelitian ini, kinerja proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi (*tertiary treatment*) untuk mengolah air limbah industri kertas dibandingkan dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik awal inlet air limbah dan hasil pengolahan

| Tahapan | TSS (mg/L) | COD (mg/L) | Warna (PtCo) |
|--|---------------|---------------|-----------------|
| Inlet | 811 | 2271 | 1061 |
| Primary Treatment | 289 | 995 | 547 |
| Secondary Treatment | 128 | 349 | 331 |
| Tertiary Treatment | 23,3 | 198,43 | 156 |
| Baku Mutu sesuai Permen LH No 5 Tahun 2014 | 100 | 350 | 200 |

Tertiary Treatment merupakan tahap akhir dari proses pembersihan air limbah multi-tahap. Pengolahan tahap ketiga ini menghilangkan senyawa anorganik, bakteri, virus, dan parasit. Dengan menghilangkan zat-zat berbahaya ini, air yang diolah aman untuk digunakan kembali, didaur ulang, atau dibuang ke lingkungan. *Primary Treatment* melibatkan penyaringan kontaminan padat yang besar. *Secondary Treatment* kemudian memurnikan air limbah melalui biofiltrasi, aerasi, dan oksidasi. *Tertiary Treatment* merupakan pelengkap kedua tahapan sebelumnya, dimana proses yang dilakukan secara kimia dengan bantuan PAC dan polimer untuk mengoptimalkan penghilangan COD dan warna pada air limbah. Proses *tertiary treatment* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil proses *Tertiary Treatment*

KESIMPULAN

Pengaruh penambahan koagulan PAC mampu menurunkan COD dan warna air limbah pada titik optimal, akan tetapi ketika penambahan PAC berlebih maka nilai COD dan warna air limbah kembali mengalami kenaikan. Adapun dosis optimum penambahan PAC pada penelitian ini sebesar 400 mg/L dimana air limbah memenuhi baku mutu air limbah yaitu TSS 16 mg/L, COD 222 mg/L dan warna 148 PtCo. Pengaruh penambahan flokulan polimer mampu mengendapkan flok-flok yang terbentuk pada titik optimal yaitu pada dosis 4 mg/L diperoleh nilai TSS 12 mg/L, COD sebesar 210 mg/L dan warna sebesar 135 PtCo. Nilai TSS, COD dan warna terendah diperoleh setelah dilakukan proses *settling time* selama 20 menit yaitu TSS sebesar 12 mg/L dengan COD 102 mg/L dan warna 123 PtCo. Pada kondisi optimum tersebut, efisiensi penurunan TSS, COD, dan warna mencapai nilai tertinggi dan telah memenuhi baku mutu. Kombinasi proses koagulasi-flokulasi-sedimentasi dengan kondisi optimum tersebut terbukti efektif sebagai *tertiary treatment* untuk memenuhi baku mutu limbah cair industri kertas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hernaningsih, T. (2016). Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 9(1), 31–46.
- [2] Indrayani, L., & Rahmah, N. (2018). Nilai Parameter Kadar Pencemar Sebagai Penentu Tingkat Efektivitas Tahapan Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 41.
- [3] Reynolds, T. D., & Richards, P. A. (1996). Unit operations and processes in environmental engineering 2nd ed. In *PWS series in engineering*.
- [4] Risdianto, D. (2007). Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi Untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. SIDO MUNCUL). Teknik Kimia, *UNDIP*, 1–156.

- [5] Riyanda Agustira, Kemala Sari Lubis, J. (2019). Kajian Karakteristik Kimia Air, Fisika Air Dan Debit Sungai Pada Kawasan Das Padang Akibat Pembuangan Limbah Tapioka. **Tjyybjb.Ac.Cn**, 3(2), 58–66.
- [6] Oktavia, R. (2023). Efektivitas Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Dan Total Suspended Solid (TSS) Pada Limbah Cair Batik Dengan Metode Koagulasi Menggunakan Tawas Dan Poly Aluminium Chloride (PAC). *Skripsi*.
- [7] Yuliati, Suci. (2006). Proses Koagulasi-Flokulasi pada Pengolahan Tersier Limbah Cair PT Capsugel Indonesia. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- [8] Yustinawati, Nirwana, Irdoni H.S. (2015) Efektifitas *Poly Aluminium Chloride* (PAC) Pada Pengolahan Limbah Lumpur Pemboran Sumur Minyak. Universitas Riau, Pekanbaru
- [9] Ernest, E., Onyeka, O., David, N., & Blessing, O. (2017). Effects of pH, Dosage, Temperature and Mixing Speed on The Efficiency of Water Melon Seed in Removing the Turbidity and Colour of Atabong River, Awka-Ibom State, Nigeria. **International Journal of Advanced Engineering, Management and Science**, 3(5), 427–434.
- [10] Budiman, Anton., dkk. (2008). Kinerja Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih. *Jurnah Fakultas Teknik Widya Mandala*. Surabaya
- [11] D. Fitria, P. S. Komala, and D. Vendela. (2022). Pengaruh Waktu Flokulasi Pada Proses Koagulasi Flokulasi Dengan Biokoagulan Kelor Untuk Menyisihkan Kadar Besi Air Sumur. **Jurnal Rekayasa Lingkungan**, 10(2), 165-174.
- [12] Gebbie, Peter. (2005). A Dummy's Guide to Coagulants. 68th Annual Water Industry Engineers and Operators, Conference Schweppes Centre, Bendigo.
- [13] Haslindah, A. dan Zulkifli. (2012). Analisis Jumlah Koagulan (Tawas/ $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$ yang Digunakan dalam Proses Penjernihan Air pada PDAM Instalasi Ratulangi Makassar. **Iltek**, 7(13), 974-976.
- [14] M. D. Andriansyah. (2020). Potensi Bahan Koagulan Pac (Poly Aluminium Chloride) Untuk Beberapa Sungai Di Wilayah Yogyakarta. SKRIPSI.
- [15] Nalco. (2006). *Coagulation and Flocculation Technical Manual*, Nalco Company.
- [16] Setyaningsh, D. (2002). Perbandingan Penggunaan Koagulan (FeCl, PAC, PE iPoly Electrolite) pada Proses Koagulasi Limbah (White Water) Pabrik Kertas. *Jurnal Teknik Kimia UPN Jatim*.
- [17] Sun, W., Zhang, G., Pan, L., Li, H., Shi, A. (2013). Synthesis, characterization, and flocculation properties of branched cationic polyacrylamide. **International Journal of Polymer Science**, 10.
- [18] Susanto, R. (2008). Optimasi Koagulasi-Flokulasi dan Analisis Kualitas Air Pada Industri Semen. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- [19] Walczak, R. (2020). Optimalisasi proses koagulasi, pencarian koagulan air yang lebih efektif. *Technol. Wody*, 2, 14–19.
- [20] Zhu, J., Zhang, G., Li, J. (2011). Preparation and application of environmental friendly AmPAM flocculant in the treatment of tannery wastewater. **International Journal of Applied Polymer Science**, 120, 518- 52.
- [21] Rachmi, N. F. (2008). Pengolahan Limbah Cair Model Industri Pulp dan Kertas menggunakan Metode Koagulasi-Flokulasi dan Irradiasi UV/H₂O₂. Oleh Fakultas Pendidikan Matematika Dan Ilmu, 148–157.
- [22] R. Nurul Anggraeni. (2020). The optimum of detention time on flocculation unit using a laboratory scale prototype. **Journal of Environmental Engineering and Waste Management**, 5 (2), 101–112.