

PENURUNAN NILAI TURBIDITY DAN *TOTAL SUSPENDED SOLID* PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI *ADDITIVE CHEMICAL CONSTRUCTION* MENGGUNAKAN KOAGULAN TAWAS

Gading Aureza Pradelia¹, Haris Puspito Buwono¹, I Komang Budi Artha²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

² PT Additon Karya Sembada Jl. Raya Surabaya – Malang KM 53 Desa Lemahbang, Sukorejo Pasuruan Indonesia

gadingaureza17@gmail.com; [haris.puspito@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Limbah cair industri bahan *additive* pada *chemical construction* berasal dari proses pencucian peralatan produksi, yang dapat berpotensi menurunkan kualitas air dan lingkungan apabila tidak diolah secara khusus. Komposisi utama limbah cair ini adalah garam lignosulfonat dan polikarboksilat eter, berwarna coklat pekat dan berbau kurang sedap. Penelitian ini dilakukan untuk mengolah limbah cair di PT Additon Karya Sembada yang merupakan industri bahan *additive* pada *chemical construction*. Metode pengolahan limbah cair yang digunakan adalah koagulasi-flokulasi. Metode ini meliputi penambahan tawas, kaporit, dan lempung disertai pengadukan pada limbah cair. Setelah limbah diolah, dilakukan pengujian terhadap pH, turbidity, TDS, dan TSS air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada penambahan koagulan 1 - 6 gram tawas, 1-2 gram kaporit, dan 1 gram lempung, diperoleh hasil terbaik adalah 1,5 gram tawas, 2 gram kaporit, dan 1 gram lempung, dengan nilai pH 7, turbidity 2,97 NTU, TDS 2675 ppm, dan TSS 0 mg/L. Selanjutnya, parameter terbaik tersebut diaplikasikan pada berbagai konsentrasi yang terdapat pada 5 bak penampungan limbah cair. Hasil terbaik pada bak penampungan 1 adalah nilai pH 7, turbidity 7,27 NTU, TDS 3600 ppm, dan TSS 6 mg/L. Kualitas air yang dihasilkan telah sesuai dengan Peraturan Pemerintah mengenai baku mutu air Kelas 1 untuk kriteria bau, pH, turbidity, dan TSS, namun TDS belum memenuhi kriteria tersebut.

Kata kunci: *aditif, koagulan tawas, koagulasi flokulasi, kualitas air, limbah cair*

ABSTRACT

Wastewater additives chemical construction industry comes from production equipment washing processes during production, posing potential threats to water quality and the environment if untreated. The effluent primarily comprises lignosulfonate salts and polycarboxylic ethers, characterized by a dark brown color and unpleasant odor. This study focuses on treating the liquid waste from PT Additon Karya Sembada, an additive industry in chemical construction, using the coagulation-flocculation method. The treatment involves sequentially adding alum, chlorine, and clay, followed by gentle stirring of the effluent. After treatment, comprehensive analyses were conducted on pH, turbidity, Total Dissolved Solids (TDS), and Total Suspended Solids (TSS). Optimal dosages of coagulants were determined, with the best results achieved using 1.5 grams of alum, 2 grams of chlorine, and 1 gram of clay, resulting in a pH of 7, turbidity of 2.97 NTU, TDS of 2675 ppm, and TSS concentration of 0 mg/L. These optimized parameters were applied to five wastewater reservoirs with varying concentrations, and reservoir 1 showed the most effective treatment with pH 7, turbidity of 7.27 NTU, TDS of 3600 ppm, and TSS of 6 mg/L. While the treated water quality meets Government Regulations for Class 1 standards regarding odor, pH, turbidity, and TSS, adjustments are needed to meet TDS criteria.

Keywords: *additive, alum coagulant, coagulation flocculation, water quality, wastewater*

Corresponding author: Haris Puspito Buwono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: haris.puspito@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Limbah cair industri chemical construction merupakan hasil proses pencucian peralatan produksi bahan kimia yang digunakan dalam konstruksi bangunan. Limbah cair didapatkan dari PT Additon Karya Sembada (PT AKS) yang memproduksi macam-macam bahan kimia aditif untuk konstruksi bangunan, seperti bahan kimia perekat, waterproofing, dan aditif beton. Aditif beton adalah bahan yang ditambahkan dalam adonan beton untuk merekayasa sifat beton sehingga mencapai mutu tertentu tanpa harus menggunakan air dengan jumlah yang banyak, yaitu garam lignosulfonat dan polikarboksilat eter. Keberadaan bahan tersebut dapat menurunkan kualitas air jika tidak diolah secara khusus karena berwarna coklat pekat dan berbau menyengat. Limbah yang dibuang perlu mengikuti parameter limbah cair yang telah diolah yang sesuai dengan baku mutu air pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan memanfaatkan proses koagulasi-flokulasi. Metode ini terbukti efektif dalam mengolah sebagian besar parameter polutan dalam limbah cair [1]. Proses ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, dosis koagulan, dan kondisi pencampuran [2,3]. Proses koagulasi-flokulasi tergolong dalam proses yang sederhana, efektif dari segi biaya dan kebutuhan energi yang rendah, sehingga menjadikannya solusi serbaguna dan efisien di berbagai industri [4]. Koagulasi dan flokulasi adalah dua proses yang terintegrasi dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan partikel-partikel kecil dan mengendapkan partikel-partikel besar. Koagulasi adalah proses pengolahan air limbah yang menggunakan bahan kimia untuk menggumpalkan partikel-partikel kecil dalam air limbah menjadi gumpalan yang lebih besar. Tujuannya adalah untuk mempermudah pemisahan partikel dari air limbah selama proses selanjutnya. Proses ini merupakan langkah awal sebelum dilanjutkan dengan flokulasi untuk membentuk flok yang lebih besar dan lebih mudah disaring [5]. Koagulasi kimiawi diakui secara luas sebagai hal yang penting untuk menghilangkan partikel koloid dari air dan air limbah [6]. Flokulasi adalah proses lambat penggabungan inti flok yang telah dibentuk pada proses koagulasi menjadi flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Koagulan atau bahan kimia dalam proses koagulasi digunakan untuk menghilangkan muatan dan membuat partikel tidak stabil [7].

Metode koagulasi-flokulasi telah digunakan untuk mengolah air limbah tekstil menjadi bening [8]. Parameter yang diuji meliputi Nephelometric Turbidity Unit (NTU), Total Suspended Solid (TSS), dan Total Dissolved Solid (TDS). Rusydi dkk. (2017) menunjukkan bahwa untuk menurunkan kandungan COD dari 615 mg/L menjadi 130 mg/L (79%) dan pH 8,5 dibutuhkan dosis 2 g kaporit, 0,3 g kapur, 1 g lempung, dan 1 g tawas dalam 500 mL air limbah pada pengadukan 200 rpm selama 2 menit. Limbah cair dengan nilai COD dan pH yang telah memenuhi baku mutu limbah cair tekstil selanjutnya dapat dibuang ke lingkungan [8]. Penggunaan metode koagulasi-flokulasi dengan koagulan tawas juga efektif untuk pengolahan limbah cair pusat perbelanjaan yang berupa *black water* dan *grey water*. Prameswara dan Sa'diyah (2024) menunjukkan tawas efisien dalam menurunkan pH sebesar 3,75%, nilai TDS sebesar 9,76%, nilai TSS sebesar 25,19%, dan nilai kekeruhan sebesar 43,99% [9]. Penggunaan koagulan alami dari campuran kitosan dan biji asam jawa telah diuji coba pada pengolahan air limbah penyamakan kulit, dan mendapatkan kondisi optimum pada penambahan koagulan 75% biji asam jawa dan 25% kitosan dapat menurunkan kadar krom mencapai 95,86%,

penurunan nilai TSS mencapai 95,24%, dan penurunan turbidity mencapai 49,73% [10]. Pemanfaatan lumpur aktif sebagai koagulan telah diterapkan di unit water treatment PPSDM Migas Cepu. Dosis koagulan optimum diperoleh pada 130 ppm campuran tawas+lumpur+PAC dengan perbandingan 70:20:40. Nilai turbidity yang didapatkan sebesar 213 NTU, pH 7,3, dan TDS 23 mg/L [11]. Tawas memainkan peran penting dalam proses koagulasi-flokulasi sebagai koagulan yang efektif dalam mengurangi kekeruhan dan menggumpalkan partikel koloid dalam air limbah, dan tawas dapat digunakan dalam berbagai variasi dosis untuk disesuaikan dengan tingkat pencemaran yang berbeda. Pemilihan koagulan tawas dilakukan karena tawas mudah didapatkan di pasaran, dan penambahan tawas pada dosis yang tinggi tidak menimbulkan kekeruhan pada air [12]. Tawas juga memiliki kemampuan untuk mengikat partikel dengan cepat dan membentuk flok lebih banyak [13].

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif pengolahan limbah pada PT AKS melalui proses koagulasi-flokulasi dengan koagulan Alumunium sulfat (tawas) terhadap nilai pH, turbidity, TSS, dan TDS. Selain tawas, juga ditambahkan kaporit dan lempung. Kaporit digunakan untuk membantu menjaga kejernihan air limbah dengan menghilangkan partikel-partikel kecil yang dapat membuat air menjadi keruh. Lempung ditambahkan untuk memperkaya partikel-partikel tersuspensi dalam air limbah sehingga flok yang terbentuk dapat mengendap [8]. Hasil penelitian menunjukkan hasil terbaik pada penambahan koagulan 1,5 gram tawas, 2 gram kaporit, dan 1 gram lempung dengan nilai pH 7, turbidity 2,97 NTU, TDS 2675 ppm, dan TSS 0 mg/L. Untuk memahami efektifitas formula tersebut pada berbagai macam kondisi limbah, dilakukan pengujian pada 5 bak penampung limbah yang tersusun secara seri di PT AKS. Parameter hasil pengolahan limbah dapat disesuaikan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Kualitas air yang ingin dicapai adalah air yang peruntukannya untuk mengairi pertanian atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut sesuai pada kategori penggolongan air.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental untuk memahami mekanisme proses koagulasi-flokulasi pada pengolahan air limbah serta mengetahui pengaruh dosis koagulan tawas terhadap nilai pH, turbidity, TDS, dan TSS air limbah PT AKS. Alat yang digunakan untuk koagulasi-flokulasi adalah Jar Test, pengujian pH menggunakan kertas pH, pengujian turbidity menggunakan Portable Turbiditymeter Model 2100 P, dan pengujian TDS menggunakan TDS meter. Adapun bahan yang digunakan adalah kalsium hipoklorit (kaporit), Alumunium sulfat (tawas), dan lempung. Sampel air limbah diambil pada bak penampungan pertama Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) PT AKS. Identitas dan variabel awal masing-masing bahan disajikan pada Tabel 1.

Koagulasi-flokulasi dijalankan dengan cara menambahkan kaporit yang diikuti pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, dilanjutkan dengan penambahan lempung dan tawas yang diikuti pengadukan lambat 30 rpm selama 20 menit. Sampel kemudian didiamkan selama 1 jam untuk pengendapan flok sebelum pengujian parameter air limbah. Parameter yang diuji adalah pH, *turbidity*, dan TDS. Data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang mengkorelasikan variabel tidak tetap masing-masing bahan terhadap pH, *turbidity* TDS, dan TSS air limbah.

Tabel 1. Identitas sampel dan variabel

Identitas sampel	Variabel tidak tetap (g)	Variabel tetap (g)	
	Tawas	Kaporit	Lempung
A10	1	1	1
A20	2	1	1
A30	3	1	1
A40	4	1	1
A50	5	1	1
A60	6	1	1
B10	1	2	1
B15	1,5	2	1
B20	2	2	1
B25	2.5	2	1

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah cair PT AKS diolah menggunakan metode koagulasi-flokulasi dengan parameter uji pH, turbidity, *Total Dissolved Solid* (TDS), dan *Total Suspended Solid* (TSS). Standar kualitas air dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

3.1 Kondisi awal limbah cair

Sampel limbah cair yang akan diolah menggunakan metode koagulasi-flokulasi didapatkan dari bak 1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT AKS. Limbah cair memiliki warna coklat pekat dan berbau menyengat. Tabel 2 merupakan parameter awal limbah cair sebelum dilakukan pengolahan secara koagulasi-flokulasi. Nilai NTU dan TDS limbah berada di atas standar yang telah ditetapkan untuk dapat dibuang ke lingkungan.

Tabel 2. Parameter awal air limbah

No	Parameter	Nilai
1	pH	7
2	Turbidity (NTU)	1400
3	TDS (ppm)	1743

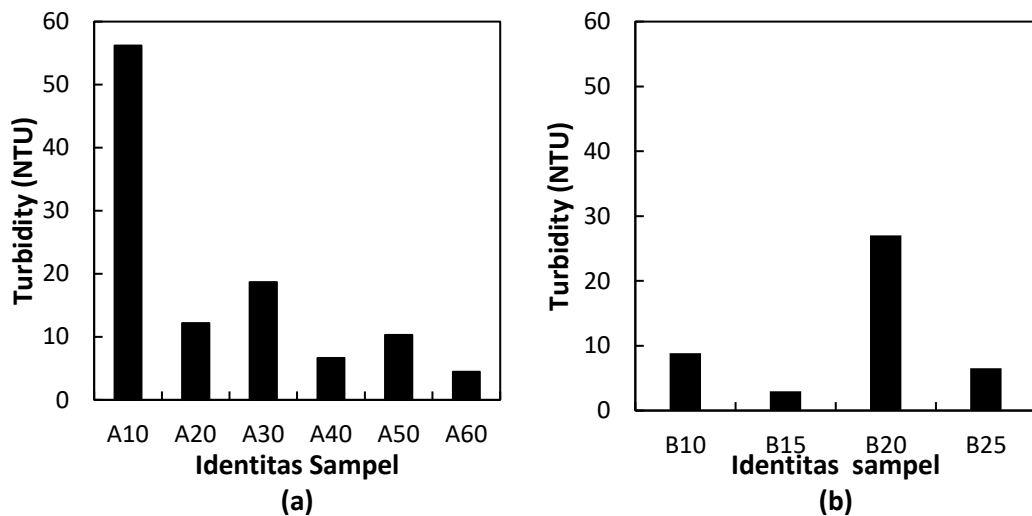
3.2 Hasil Pengujian pH Air Limbah

Parameter pH awal air limbah pada Tabel 2 menunjukkan bahwa air limbah tidak diperlukan penetralan pH sebelum diolah secara koagulasi-flokulasi. Setelah dilakukan pengolahan, parameter pH diuji dengan kertas pH untuk mengetahui pengaruh penambahan koagulan tawas terhadap perubahan derajat keasaman air limbah. Tingkat keasaman pH limbah cair dari semua pengujian adalah 7 yang berarti air limbah bersifat netral. Efisiensi proses koagulasi-flokulasi dalam pengolahan air limbah sangat bergantung pada nilai pH. Kisaran pH optimal untuk proses ini umumnya antara 6-8, dimana koagulan efektif dalam menetralkan muatan dan membentuk flok [14].

3.3 Hasil Pengujian Turbidity

Turbidity adalah parameter kekeruhan air oleh partikel tersuspensi yang tidak larut. Turbidity diukur dalam satuan *NTU* yaitu pengukuran intensitas cahaya yang tersebar oleh

partikel tersuspensi di dalam air. Hasil turbidity setelah sedimentasi flok menunjukkan seberapa baik partikel tersuspensi telah dihilangkan.



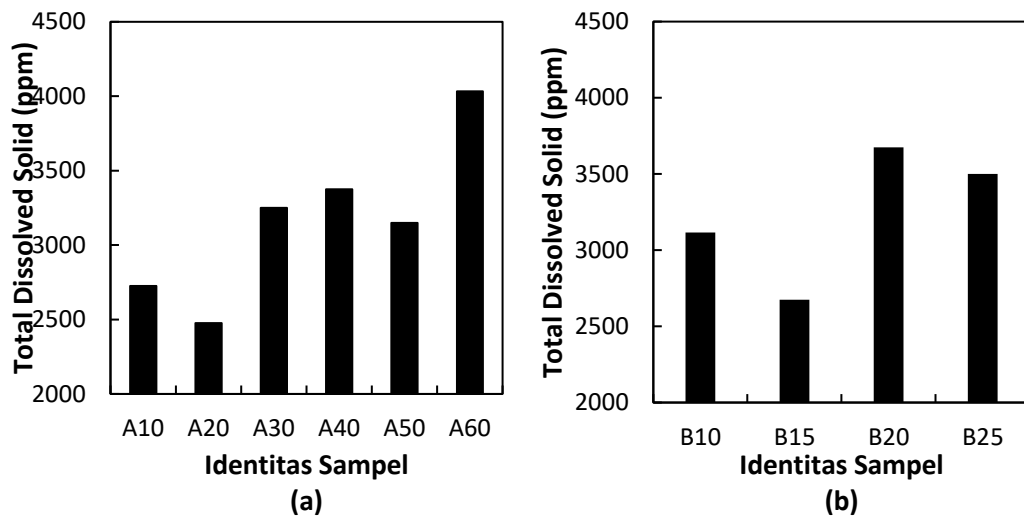
Gambar 1. a) Pengaruh koagulan tawas dengan 1 gram kaporit dan 1 gram lempung terhadap turbidity air limbah. b) Pengaruh koagulan tawas dengan 2 gram kaporit dan 1 gram lempung terhadap turbidity air limbah

Hasil pengujian turbidity pada Gambar 1 menunjukkan bahwa koagulan tawas dengan jumlah 1-6 gram dapat menurunkan nilai turbidity air limbah. Dosis penambahan koagulan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi proses koagulasi. Jika koagulan yang ditambahkan terlalu sedikit maka efektivitas pembentukan flok berkurang karena destabilisasi koloid berlangsung cepat [15]. Selama koagulan ditambahkan dengan dosis yang tepat, pembentukan inti flok akan berlangsung efektif [16,17]. Jumlah koagulan yang paling efektif dalam menurunkan nilai turbidity air limbah yaitu pada B20. Pada B20 ini turbidity air limbah turun hingga 2,97 NTU, pada A60 turbidity air limbah turun hingga 4,48 NTU. Gambar 1a menunjukkan kekeruhan cenderung menurun seiring dengan peningkatan tawas, dan Gambar 1b menunjukkan tidak menunjukkan suatu kecenderungan tertentu dikarenakan turbidity bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kaporit sebanyak 1 gram lebih konsisten dalam menurunkan nilai turbidity.

3.2 Hasil Pengujian *Total Dissolved Solid* (TDS)

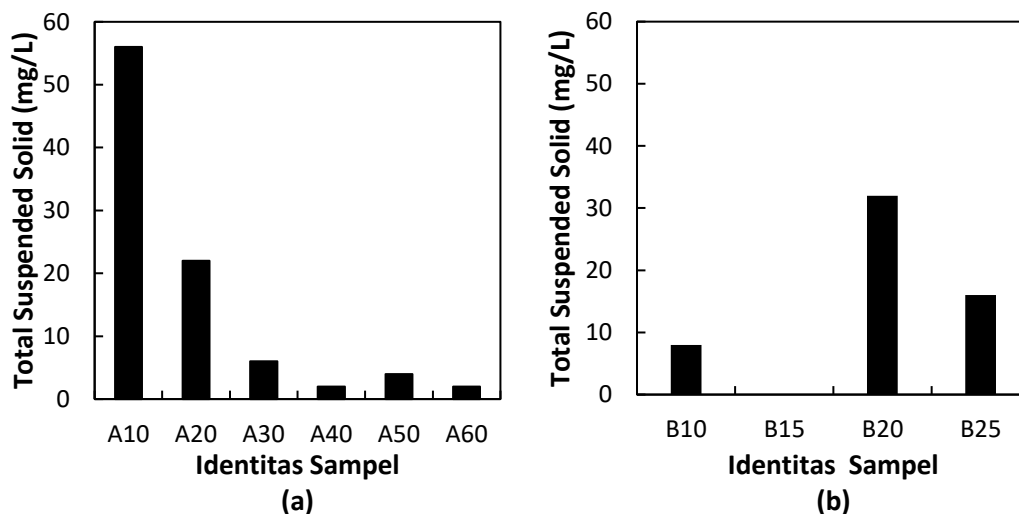
Pengujian TDS pada air limbah bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan koagulan tawas terhadap konsentrasi zat-zat terlarut dalam air limbah yang dinyatakan dalam satuan *part per million* (ppm). Gambar 2 menunjukkan bahwa TDS air limbah semakin meningkat dari TDS awal air limbah. Nilai TDS paling rendah diperoleh pada A2 dengan penambahan koagulan 2475 ppm pada yang dipaparkan pada Gambar 2a. Pada B15 nilai TDS juga meningkat sebesar 2675 ppm seperti pada Gambar 2b. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Igwegbe dan Onukwuli (2019) yang menyebutkan bahwa nilai TDS semakin menurun seiring dengan semakin banyak jumlah koagulan yang ditambahkan [18]. Penambahan koagulan yang terlalu rendah pada air limbah awal dengan

TDS tinggi menyebabkan nilai TDS tidak mengalami penurunan [19]. TDS diatas 2000 ppm tidak dapat memenuhi baku mutu air pada peraturan pemerintah pada kategori kelas 1-4.



Gambar 2. a) Pengaruh koagulan tawas dengan 1 gram kaporit dan 1 gram lempung terhadap TSS air limbah. b) Pengaruh koagulan tawas dengan 2 gram kaporit dan 1 gram lempung terhadap TDS air limbah

3.3 Hasil Pengujian *Total Suspended Solid* (TSS)



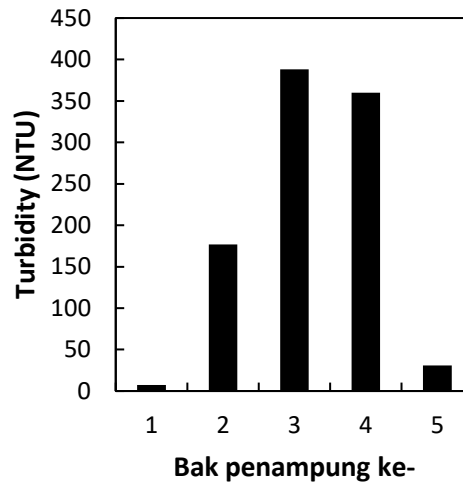
Gambar 3. a) Pengaruh koagulan tawas dengan 1 gram kaporit dan 1 gram lempung terhadap TSS air limbah. b) Pengaruh koagulan tawas dengan 2 gram kaporit dan 1 gram lempung terhadap TSS air limbah

Pengujian TSS menunjukkan adanya partikel tersuspensi yang dapat mencemari air bila tidak diolah dengan baik. Pengujian TSS memastikan bahwa limbah cair industri memenuhi standar yang ditetapkan pemerintah. Koagulan tawas merupakan koagulan yang memiliki efisiensi 100% dalam mengurangi padatan tersuspensi dalam air limbah [20].

3.4 Hasil Pengujian pada Berbagai Bak Penampung

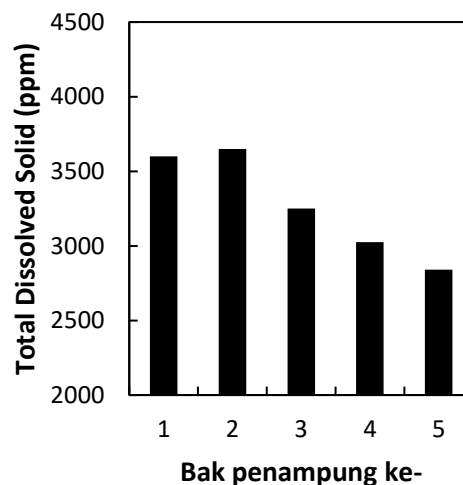
Hasil pengujian parameter air limbah pada bak 1 menggunakan variasi koagulan tawas mendapatkan hasil terbaik pada B15, yaitu 1,5 gram tawas, 2 gram kaporit, dan 1 gram

lempung. Hasil terbaik B15 ini kemudian diterapkan pada air limbah dari 5 bak penampung di PT AKS untuk mengetahui pada bak mana perlakuan metode koagulasi-flokulasi memberikan dampak yang terbaik. Kelima bak-bak tersebut di PT AKS disusun secara seri.



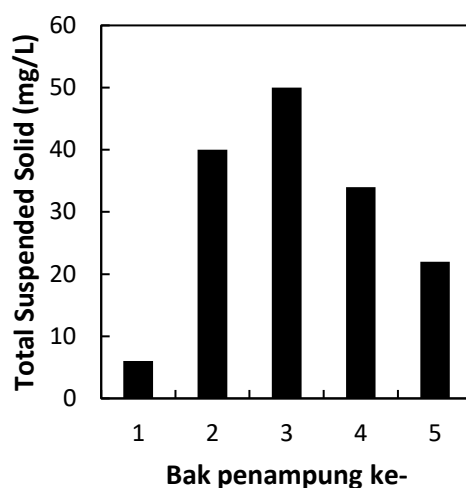
Gambar 4. Pengaruh jumlah koagulan tawas terbaik terhadap turbidity air limbah tiap bak

Gambar 4 menunjukkan nilai turbidity dapat diturunkan secara drastis pada bak 1 dan bak 5 masing-masing sebesar 7,27 NTU dan 31 NTU. Gambar 4 menunjukkan bahwa untuk menurunkan nilai turbidity air limbah dapat dilakukan secara langsung pada bak 1.



Gambar 5. Pengaruh jumlah koagulan tawas terbaik terhadap TDS air limbah tiap bak

Hasil pengujian TDS air limbah pada 5 bak penampung disajikan pada Gambar 5 dengan nilai paling rendah ada pada bak ke-5. Bak ke-5 merupakan bak pengolahan air limbah terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa proses-proses yang dilakukan oleh PT AKS pada masing-masing bak mempengaruhi nilai TDS dan pada akhirnya diperoleh TDS paling rendah pada bak ke-5 dibandingkan pada bak penampung lainnya. Kadar TDS awal dari air limbah yang diolah juga dapat mempengaruhi TDS akhir setelah koagulasi-flokulasi. Tingkat TDS awal yang lebih tinggi dapat menghasilkan tingkat TDS akhir yang lebih tinggi [21].



Gambar 6. Pengaruh jumlah koagulan tawas terbaik terhadap TSS air limbah tiap bak

Hasil TSS pada Gambar 6 menunjukkan nilai paling rendah didapatkan pada bak 1. Hal ini membuktikan pengolahan limbah cair dengan metode koagulasi-flokulasi dapat dilakukan setelah limbah cair proses produksi difiltrasi sebagai perlakuan awal pada pengolahan air limbah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Jumlah koagulan tawas yang paling efektif adalah pada B15, yaitu 1,5 gram tawas, 2 gram kaporit, dan 1 gram lempung, yang mampu mendapatkan nilai pH menjadi 7, nilai turbidity hingga 7,27 NTU, namun nilai TDS meningkat hingga 3600 ppm. Interaksi antara koagulan dan koloid dapat mempengaruhi efisiensi pengurangan TDS. Pengujian pada 5 bak penampung menunjukkan pengaruh pada nilai TDS. Pengolahan air limbah PT AKS menggunakan metode koagulasi-flokulasi dapat memenuhi kriteria kualitas air Kelas 1 sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup untuk parameter bau, pH, turbidity, dan TSS, namun untuk parameter TDS belum memenuhi kriteria tersebut.

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian, TDS yang tinggi hendaknya dapat diupayakan untuk diturunkan melalui metode-metode yang komprehensif. Anda tuliskan kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian sebagai paragraf pertama.

REFERENSI

- [1] S. B. Kurniawan, M. F. Imron, S. R. S. Abdullah, A. R. Othman, dan H. A. Hasan, "Coagulation–flocculation of aquaculture effluent using biobased flocculant: From artificial to real wastewater optimization by response surface methodology," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 53, hal. 1–20, 2023.
- [2] A. Martina, D. S. Effendy, dan J. N. M. Soetedjo, "Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada Berbagai Variasi Operasi," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 12, no. 2, hal. 98–103, 2018.
- [3] R. P. Dwidewitra, M. M. Huda, dan T. A. Rachmanto, "Pengaruh Konsentrasi Koagulan Terhadap Proses Pengolahan Air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya," *Globe:*

- Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*, vol. 2, no. 2, hal. 145–153, 2024.
- [4] M. H. M. Noor dan N. Ngadi, “Global research landscape on coagulation-flocculation for wastewater treatment: A 2000–2023 bibliometric analysis,” *Journal of Water Process Engineering*, vol. 64, no. 2, 2024.
- [5] C. Zhao, J. Zhou, Y. Yi, L. Yang, X. Guohua, H. Li, W. Pei, M. Wang, dan H. Zheng, “Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review,” *Science of The Total Environment*, vol. 765, no. 142795, hal. 15–18, 2021.
- [6] M. Zakeri, H. R. Yousefi, S. A. Mohammadi, A. A. Baziar, M. Mojiri, S. Salehnia, dan A. Hosseinzadeh, “Chemical coagulation-electro fenton as a superior combination process for treatment of dairy wastewater: performance and modelling,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 18, no. 12, hal. 3929–3942, 2021.
- [7] D. Prameswari dan A. Kusuma, “Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi (Studi Kasus Desa Soropadan, Kecamatan Pringsurat, Kabupaten Temanggung),” *G-SMART Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, vol. 5, no. 2, hal. 99–103, 2021.
- [8] A. F. Rusydi, D. Suherman, dan N. Sumawijaya, “Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan Lempung sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi,” *Arena Tekstil*, vol. 31, no. 2, hal. 105–114, 2017.
- [9] M. I. Prameswara dan K. Sa’diyah, “Pengaruh Rasio Penambahan Aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) pada Pengolahan Limbah Cair Pusat Perbelanjaan Secara Koagulasi-Flokulasi,” *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, hal. 219–232, 2024.
- [10] R. W. Shabrina dan Hardjono, “Pemanfaatan Koagulan Alami dari Campuran Kitosan dan Biji Asam Jawa pada Pengolahan Air Limbah Penyamakan Kulit,” *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 613–621, 2021.
- [11] N. A. Khoiro, Z. Fahmia, A. Takwanto, dan R. Mahendra Kusuma, “Pemanfaatan Lumpur Aktif Sebagai Koagulan di Unit Water Treatment PPSDM Migas Cepu,” *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 1, hal. 20–29, 2021.
- [12] W. Aprilianti dan Wahyudin, “Pengaruh Pembubuhan Tawas Sebagai Koagulan Terhadap Penurunan Biological Oxygen Demand Air Limbah Tahu Di Dusun Bunsyafaah Desa Puyung Kecamatan Jonggat Lombok Tengah,” *Jurnal Sanitasi dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, hal. 65–71, 2020.
- [13] U. Salsabila, T. Joko, dan H. L. Dangiran, “Perbedaan Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Melalui Pemberian Tawas Dan Poly Aluminium Chloride (PAC) Pada Limbah Cair Rumah Pematangan Hewan Penggaron Semarang,” *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 6, no. 4, hal. 525–531, 2018.
- [14] C. Y. Teh, P. M. Budiman, K. P. Y. Shak, dan T. Y. Wu, “Recent Advancement of Coagulation-Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment,” *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 55, no. 16, hal. 1–101, 2016.
- [15] Z. Rahimah, H. Heldawati, dan I. Syauqiah, “Pengolahan Limbah Deterjen dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Kapur dan PAC,” *Konversi*, vol. 5, no. 2, hal. 13–19, 2018.
- [16] A. Anhar, E. Dewi, dan I. Purnamasari, “Proses Pengolahan Air Pada Tangki Klarifier ditinjau dari Laju Alir dan Konsentrasi Koagulan di PLTG Borang,” *Jurnal Pendidikan dan*

- Teknologi Indonesia*, vol. 1, no. 8, hal. 315–320, 2021.
- [17] Z. Daud, N. Nasir, dan H. Awang, "Treatment of Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation using Polyaluminum Chloride," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 7, no. 8, hal. 258–262, 2013.
- [18] C. Adaobi Igwegbe dan O. Dominic Onukwuli, "Removal of Total Dissolved Solids (TDS) from Aquaculture Wastewater by Coagulation-flocculation Process using Sesamum indicum extract: Effect of Operating Parameters and Coagulation," *Article in The Pharmaceutical and Chemical Journal*, vol. 6, no. 4, hal. 32–45, 2019.
- [19] F. B. Gultom, H. Haryanto, D. Notriawan, dan A. K. Pratiwi, "Studi Efektivitas Penggunaan Koagulan Kitosan Untuk Pengolahan Air Sumur," *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*, vol. 3, no. 1, hal. 206–212, 2023.
- [20] G. A. Bazedi dan M. A. Abdel-Fatah, "Correlation Between Operating Parameters and Removal Efficiency for Chemically Enhanced Primary Treatment System of Wastewater," *Bulletin of the National Research Centre*, vol. 44, no. 107, hal. 1–6, 2020.
- [21] E. A. Sharghi dan L. Davarpanah, "Optimization of chemical coagulation–flocculation process of detergent manufacturing plant wastewater treatment for full scale applications: a case study," *Desalination and Water Treatment*, vol. 262, hal. 38–53, 2022.