



## Efektivitas Penggunaan Koagulan Alami dan Konvensional Dalam Proses Koagulasi Limbah Cair Industri (*Waste Water Treatment*): Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Najya Rahmadany, Annisa Azzahro Ekasuci, Actira Aldora Alfreda, Akhirul Zahran Asy-Syifa, Elrica Dinda Saputri, Anggita Putri Dwi Saptiya Ningrum

Afiliasi: Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga  
Email: rahmadanynajya@gmail.com

**Abstrak.** Pengolahan limbah cair (*Waste Treatment*) industri di era modern memberikan dampak yang serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak ditangani dengan baik. Salah satu metode pengolahan limbah cair industri yang efisien adalah koagulasi. Penelitian ini didasarkan pada pendekatan studi literatur dari sepuluh jurnal ilmiah, yang mencakup jenis koagulan, metode pengolahan, parameter pengujian, dan efisiensi penurunan COD. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa koagulan konvensional, khususnya *Poly Aluminium Chloride* (PAC), memiliki efektivitas tertinggi dengan rata-rata efisiensi hingga 94,14% dalam mengurangi COD pada limbah cair pabrik sepeda motor. Koagulan alami seperti lidah buaya juga menunjukkan efisiensi yang sangat baik, mampu menurunkan COD limbah batik hingga 75,94% dan limbah industri minyak sebesar 77,51%. Koagulan konvensional lainnya seperti Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida ( $FeCl_3$ ) masing-masing menunjukkan efisiensi 78,46% dan 79,26%. Sementara itu, koagulan alami kulit pisang kepok memiliki efisiensi 63,75% dan biji kelor bervariasi, bahkan ada yang hanya mencapai 3,05%.

**Kata Kunci:** *Chemical Oxygen Demand* (COD), Limbah Cair Industri, Koagulan

**Abstract.** *Industrial wastewater treatment in the modern era has a serious impact on the environment and human health if not handled properly. One of the efficient industrial wastewater treatment methods is coagulation. This research is based on a literature study approach from ten scientific journals, which includes coagulant types, treatment methods, testing parameters, and COD reduction efficiency. The review results show that conventional coagulants, specifically Poly Aluminum Chloride (PAC), have the highest effectiveness with an average efficiency of up to 94.14% in reducing COD in motorcycle factory wastewater. Natural coagulants such as Aloe Vera also showed excellent efficiency, reducing the COD of batik effluent by 75.94% and oil industry effluent by 77.51%. Other conventional coagulants such as Aluminum Sulfate and Ferric Chloride ( $FeCl_3$ ) showed efficiencies of 78.46% and 79.26%, respectively. Meanwhile, the natural coagulant kepok banana peel has an efficiency of 63.75% and moringa seed varies, some even only reaching 3.05%.*

**Keywords:** *Chemical Oxygen Demand (COD), Industrial Liquid Waste, Coagulant*

This publication is licensed under a



## Pendahuluan

Pengelolaan limbah menjadi isu krusial di era modern seiring dengan pertumbuhan populasi dan industrialisasi yang pesat. Produksi limbah, baik padat, cair, maupun gas, terus meningkat dan jika tidak ditangani dengan baik akan menimbulkan dampak negatif yang serius terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Limbah dapat mencemari sumber daya air, tanah, dan udara, mengganggu ekosistem, serta menjadi sumber penyakit (Nanda et al., 2023). Oleh karena itu, pengolahan limbah (*waste treatment*) menjadi langkah yang tak terhindarkan dalam upaya menjaga kelestarian lingkungan dan keberlanjutan hidup.

Proses pengolahan limbah bertujuan untuk mengurangi volume, toksisitas, dan potensi bahaya dari limbah, mengubahnya menjadi bentuk yang lebih stabil atau bahkan menghasilkan produk yang dapat dimanfaatkan kembali (Rahmadi et al., 2022). Salah satu metode pengolahan limbah yaitu adalah metode koagulasi. Koagulasi merupakan proses kimiawi di mana bahan kimia ditambahkan ke dalam air untuk memisahkan partikel-partikel yang sebelumnya dalam kondisi stabil. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk mendestabilisasi partikel-partikel tersebut, memungkinkannya saling menempel membentuk gumpalan (*flok*) agar lebih mudah dihilangkan pada tahap pengolahan selanjutnya. Selain itu,

koagulan juga berperan sebagai agen penggumpal material dalam air limbah. Beberapa koagulan berbasis anorganik yang umum digunakan antara lain tawas (aluminium sulfat), natrium aluminat, besi sulfat, dan besi klorida (Ekoputri et al., 2024). Metode koagulasi telah lama digunakan dalam pengolahan limbah cair karena efisiensinya dalam mengendapkan partikel tersuspensi. Proses ini memerlukan bahan kimia yang disebut koagulan untuk menetralkan muatan partikel koloid agar terbentuk *flok* yang mudah mengendap (Ayni & Ningsih, 2021). Di antara koagulan konvensional yang umum digunakan adalah aluminium sulfat (*alum*), ferri klorida ( $FeCl_3$ ), dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC).

Sebagai respons terhadap keterbatasan koagulan konvensional, para peneliti mulai mengeksplorasi bahan-bahan alami sebagai koagulan alternatif. Bahan-bahan seperti biji kelor (*Moringa oleifera*), kulit pisang (*Musa paradisiaca*), dan lidah buaya (*Aloe vera*) telah dibuktikan mampu menurunkan kadar COD secara signifikan pada berbagai jenis limbah industri (Bangun et al., 2013; Hajjah & Suharli, 2024). Pemanfaatan koagulan dari bahan alami dilakukan seoptimal mungkin untuk mengurangi pemakaian bahan sintesis yang menimbulkan dampak samping dalam penggunaan. Penggunaan koagulan berbahan alami ini akan lebih ekonomis dibandingkan menggunakan koagulan

sintetis yang umum dipakai untuk penyaringan air (Idris et al., 2013).

Beberapa studi menyebutkan bahwa efektivitas koagulan alami sangat dipengaruhi oleh dosis, pH, dan jenis limbah yang diolah. Misalnya, kombinasi PAC dan aluminium sulfat terbukti efektif pada limbah tapioka, sementara biji kelor lebih cocok digunakan untuk limbah tahu dengan efisiensi penyisihan TSS mencapai lebih dari 90% (Hidayati & Damajanti, 2022; Ba’adilla et al., 2025). Di sisi lain, efektivitas koagulan alami seperti biji kelor dalam bentuk murni masih tergantung pada optimasi parameter proses agar hasil yang diperoleh memenuhi baku mutu limbah.

Koagulasi telah terbukti sebagai metode yang efisien untuk menghilangkan zat terlarut maupun tersuspensi yang berkontribusi terhadap nilai COD. Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada koagulan konvensional seperti Poly Aluminium Chloride (PAC), Aluminium Sulfat, dan Ferri Klorida. Namun, seiring dengan meningkatnya kesadaran akan keberlanjutan, eksplorasi koagulan alami yang lebih ramah lingkungan dan terbarukan semakin intensif. Meskipun demikian, tinjauan komprehensif yang secara khusus membandingkan dan mengoptimalkan penggunaan koagulan alami dan konvensional hanya untuk parameter penurunan COD pada berbagai jenis limbah industri masih terbatas.

Berdasarkan pendahuluan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas berbagai jenis koagulan alami (biji kelor, kulit pisang kepok, lidah buaya) dan koagulan konvensional (PAC, Aluminium Sulfat, FeCl<sub>3</sub>) untuk optimasi proses pengolahan limbah cair industri dengan fokus pada penurunan COD.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang berfokus pada koagulan konvensional seperti Poly Aluminium Chloride (PAC), Aluminium Sulfat, dan Ferri Klorida. Maka tinjauan ini berfokus pada kompilasi studi terbaru yang secara spesifik mengevaluasi dan membandingkan efektivitas koagulan alami dan konvensional dalam konteks penurunan kadar COD pada beragam limbah cair industri.

## Bahan dan Metode

### Bahan Penelitian

Bahan yang direview dalam jurnal ini adalah publikasi ilmiah (jurnal dan skripsi/tesis) yang secara langsung membahas penggunaan koagulan alami dan konvensional untuk pengolahan limbah cair industri, dengan fokus pada parameter COD.

### Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan adalah perangkat lunak pengolahan kata (untuk menyusun review) dan akses ke database jurnal ilmiah untuk pencarian dan pengunduhan artikel.

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur dari sepuluh jurnal yang memfokuskan pengujian terhadap parameter COD dalam pengolahan limbah cair industri melalui proses koagulasi-flokulasi. Setiap jurnal yang ditinjau mencakup jenis

koagulan, metode pengolahan, parameter pengujian dan hasil efisiensi penurunan COD.

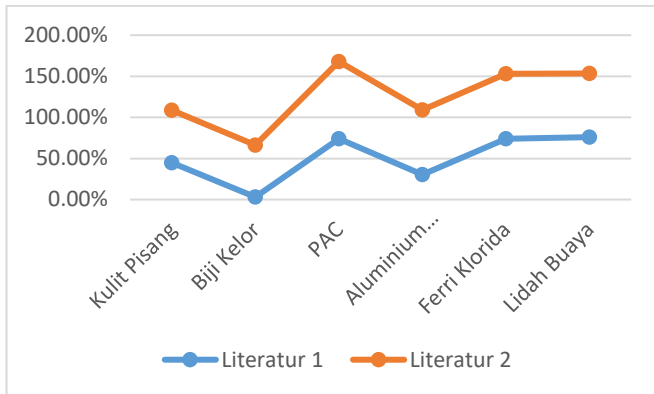
## Hasil dan Pembahasan

Hasil review berikut adalah hasil dari sumber data review berdasarkan pencarian sebanyak 10 jurnal yang membahas mengenai koagulan yang digunakan, jenis limbah yang diolah, efisiensi penurunan COD, serta pustaka yang disajikan pada tabel berikut :

Koagulan	Jenis Limbah	Efisiensi Penurunan COD	Sumber
Kulit Pisang Kepok	Tahu, Laundry	Baik (potensi reduksi COD)	Ramadani et al., 2025; Ba’adilla et al., 2025
Biji Kelor	Tahu	Bervariasi (mis. 3.05% pada dosis 7g)	Bangun et al., 2013; Hajjah & Suharli, 2024;
PAC	Pangan, Pabrik Sepeda Motor	Tinggi (signifikan pada dosis optimum)	Zakaria et al., 2021; Mursitaningrum et al., 2024
Aluminium Sulfat	Tapioka, Industri	Tinggi (signifikan pada dosis optimum)	Hidayati & Damajanti, 2022; Fatma et al., 2022
Ferri Klorida (FeCl <sub>3</sub> )	Tekstil, Laundry	Baik (mampu mereduksi COD tinggi)	Ayni & Ningsih, 2021; Larasati et al., 2017
Lidah Buaya	Batik	Baik (potensi mereduksi COD)	Hidayatullah et al., 2023; Puspitasari et al., 2018

Tabel 1. Data Hasil Review Persentase Penurunan Kadar COD

Berikut ini adalah penyajian grafik hasil presentase penurunan kadar COD berdasarkan literatur menggunakan koagulan alami dan konvensional:



Grafik 1. Hasil Presentase Penurunan Kadar COD

Berdasarkan tabel dan grafik, proses serta hasil koagulasi dalam menghilangkan bahan organik terlarut yang berkontribusi pada nilai COD sebagai berikut:

### 1. Kulit Pisang

Penurunan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair tahu menggunakan biokoagulan kulit pisang kepok paling optimal terjadi pada dosis 4 g/L, yang ditandai dengan penurunan COD dari 1.132 mg/L menjadi 410 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan sebesar 63,75%. Meskipun demikian, nilai COD akhir tersebut belum memenuhi baku mutu limbah cair tahu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014, yang mensyaratkan nilai COD maksimal 300 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kulit pisang kepok cukup efektif dalam mengurangi beban pencemar organik dalam limbah, koagulasi tambahan atau kombinasi dengan metode lain mungkin diperlukan untuk mencapai kualitas air buangan yang sesuai standar (Ba'adilla et al., 2025).

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Ramadani et al. (2025), menunjukkan bahwa efisiensi penurunan presentase kadar COD pada air limbah industri laundry hanya mencapai 44,89% dengan dosis pektin sebesar 7 mg/L dan waktu kontak selama 15 menit. Pektin yang digunakan merupakan koagulan yang berasal dari kulit pisang kepok yang mengalami proses pengeringan terlebih dahulu. Berdasarkan hasil karakterisasi awal air limbah laundry didapatkan konsentrasi COD sebesar 2427,2 mg/L dan hasil konsentrasi akhir sebesar 1337,6 mg/L. Pektin terbukti efektif dalam menurunkan COD dalam air limbah industri laundry akan tetapi dalam skala kecil. Peningkatan dosis pektin beserta perpanjangan waktu pengendapan akan berdampak pada peningkatan efisiensi dalam menghilangkan parameter-parameter polutan.

### 2. Biji Kelor

Berdasarkan hasil penelitian Bangun et al. (2013) Hasil Penurunan COD berdasarkan ukuran partikel dan waktu kontak sebagai berikut:

a. Ukuran Partikel 50 Mesh: Penurunan COD optimum diperoleh pada dosis koagulan 5000 mg/200 ml dengan waktu pengendapan 70 menit, mampu menurunkan COD sebesar 72,7%. Terjadi penyimpangan pada dosis 3000 mg/200 ml dengan pengendapan 50 menit (penurunan 33,22%) dan dosis 4000 mg/200 ml dengan pengendapan 60 menit (penurunan 35,5%). Penyimpangan ini diduga karena tidak semua koagulan terkoagulasi dan terflokulasi sempurna.

b. Ukuran Partikel 70 Mesh: Penurunan COD optimum diperoleh pada dosis koagulan 5000 mg/200 ml dengan waktu pengendapan 60 menit, mampu menurunkan COD sebesar 63,26%. Terjadi penyimpangan pada dosis 4000 mg/200 ml dengan pengendapan 50 menit (penurunan 39,72%) dan dosis 4000 mg/200 ml dengan pengendapan 70 menit (penurunan 53,65%). Penyimpangan ini diduga karena tidak semua koagulan terkoagulasi dan terflokulasi sempurna. Meskipun terjadi penurunan COD yang signifikan (di atas 50%), hasil COD yang diperoleh dari proses koagulasi ini masih jauh di atas baku mutu limbah cair yang ditetapkan oleh Kep-51/MENLH/10/1995 (100 mg/L). Hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan zat organik dan anorganik dalam limbah cair tahu. Biji kelor efektif sebagai koagulan untuk limbah cair industri tahu karena mampu menurunkan kadar COD optimum melebihi 50%. Semakin kecil (halus) ukuran serbuk biji kelor dan semakin banyak dosisnya, maka penurunan COD juga semakin besar. Waktu pengendapan optimum adalah 60 menit dengan penurunan COD 63,26% pada dosis koagulan 5000 mg/L, kadar air 7%, dan ukuran partikel koagulan 70 mesh. Namun, untuk memenuhi baku mutu COD, diperlukan pengolahan lanjutan.

Sedangkan, Hasil pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam penelitian Hajjah dan Suharli (2024) menunjukkan bahwa penggunaan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai koagulan alami pada limbah cair industri tahu belum sepenuhnya efektif. Konsentrasi awal COD limbah cair industri tahu tercatat sebesar 15.000 mg/L. Setelah penambahan koagulan biji kelor dengan dosis 7 gram, konsentrasi COD mengalami penurunan menjadi 14.542 mg/L. Efisiensi penurunan COD pada dosis optimal 7 gram biji kelor hanya sebesar 3,05%. Penurunan yang kecil ini menyebabkan hasil olahan limbah masih jauh dari standar baku lingkungan yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup (2014), yaitu batas maksimum 300 mg/L untuk konsentrasi COD yang dapat dibuang ke lingkungan.

### 3. Lidah Buaya

Berdasarkan penelitian Hidayatullah et al. (2023) menentukan efektivitas gel lidah buaya sebagai koagulan alami pada limbah cair batik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan koagulan lidah buaya efektif dalam menurunkan tingkat COD pada limbah cair batik. Nilai COD setelah perlakuan dengan lidah buaya berkisar antara 125,46 mg/L hingga 367,91 mg/L, tergantung pada dosis yang digunakan.

Dosis optimum yang menghasilkan penurunan COD tertinggi adalah 20 mL/L, dengan efisiensi pengurangan sebesar 75,94%. Hasil ini menunjukkan bahwa koagulan lidah buaya mampu menurunkan COD secara signifikan, bahkan memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup RI. Jadi, penggunaan lidah buaya dapat menjadi alternatif yang efektif dalam pengolahan limbah cair batik untuk menurunkan COD secara efisien.

Selain itu, penelitian pada sampel air limbah industri minyak yang dilakukan oleh Puspitasari dkk (2018) konsentrasi awal *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sampel air limbah industri minyak adalah 338,2 mg/L. Setelah dilakukan pengujian jar test dengan konsentrasi optimum biokoagulan lidah buaya 60 mL/L, konsentrasi COD menurun menjadi 76.05 mg/L. Penurunan ini menunjukkan efisiensi removal COD sebesar 77,51%.

#### 4. Poly Aluminium Chloride (PAC)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mursitanungrum et al. (2024) Poly Aluminium Chloride (PAC) menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam menurunkan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada limbah cair pabrik sepeda motor. Rata-rata efisiensi PAC dalam mengurangi COD mencapai 94,14% dengan konsentrasi 10%. Uji karakteristik limbah didasarkan pada standar LKH No. 5 Tahun 2018 dengan begitu proses pengolahan dan penyesuaian terhadap instalasi pengolahan limbah cair di *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) pabrik sepeda motor dapat diproses dengan mudah. Hasilnya menunjukkan bahwa setelah melalui proses *waste water treatment*, air limbah yang dihasilkan telah memenuhi standar keamanan untuk dibuang ke lingkungan. Sementara itu, endapan yang terbentuk dari proses pengolahan tersebut, yang tergolong sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), akan dikumpulkan dan ditangani lebih lanjut oleh pihak lain.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Zakaria et al. (2021) efisiensi penurunan kadar COD limbah industri pangan mencapai 73,83% dengan karakteristik limbah awal sebesar 937,22 mg/L dan hasil akhir pengujian sebesar 250,56 mg/L. Meskipun efisiensi presentase mencapai 73,83%, hasil akhir karakteristik limbah cair masih belum memenuhi ketentuan baku mutu pada SK Gub TK. 1 Jawa Barat No 6 Tahun 1999, dimana baku mutu yang ditetapkan untuk dibuang ke lingkungan haruslah sebesar 100 mg/L, sedangkan dalam penelitian karakteristik akhir limbah cair sebesar 250,56 mg/L. Hal tersebut dikarenakan air limbah tidak hanya berasal dari proses produksi pangan tetapi juga berasal dari proses pencucian alat produksi.

#### 5. Aluminium Sulfat

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fatma et al. (2022) bahwa penurunan konsentrasi COD pada limbah cair industri unit *Dissolved Air Flotation* (DAF) dari sebelumnya 775 mg/L menjadi 539 mg/L dengan persentase penurunan sebesar 30,45%. Hasil tersebut masih belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri, dimana batas konsentrasi COD yang

diperbolehkan yaitu haruslah  $\leq 100$  mg/L. Hal ini dikarenakan pada unit DAF terfokus pada proses pengikatan minyak dan lemak terlarut menjadi flok-flok agar terpisah dari air limbah dan selanjutnya air limbah tersebut akan dialirkan menuju unit proses pengolahan selanjutnya, hingga didapatkan keluaran air limbah yang telah memenuhi standar baku mutu dan siap untuk dibuang ke badan air.

Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Hidayati dan Damajanti (2022), menunjukkan bahwa penurunan parameter COD pada limbah cair industri tapioka menunjukkan hasil yang signifikan menggunakan aluminium sulfat. Konsentrasi awal COD sebesar 943,3667 mg/L berhasil diturunkan secara efektif. Penggunaan aluminium sulfat pada dosis optimum 8000 mg/L mampu menurunkan kadar COD hingga 203,2 mg/L, yang setara dengan efisiensi penurunan sebesar 78,46%. Hasil ini menunjukkan bahwa aluminium sulfat memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengikat dan mengendapkan senyawa organik dalam limbah cair, sehingga menurunkan kebutuhan oksigen kimia secara signifikan.

#### 6. Ferri Klorida ( $\text{FeCl}_3$ )

Berdasarkan hasil penelitian oleh Ayni (2021), analisa awal COD diketahui sebesar 1890 mg/L. Nilai COD semakin menurun dari penambahan dosis yang paling kecil 366 ppm hingga 854 ppm. Dari penelitian ini, dosis koagulan terbaik untuk menurunkan kadar COD terdapat pada 854 ppm, dengan hasil yang didapatkan yaitu sebesar 392 mg/l. Semakin banyak penambahan dosis semakin kecil juga nilai COD yang didapatkan dikarenakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik dalam air tinggi. Penurunan ini disebabkan adanya kontak antara limbah terhadap koagulan feri klorida tersebut, semakin banyak dosis yang di berikan pada limbah maka akan terjadi peningkatan suplai oksigen ke dalam air limbah dan juga mikroba lebih sering kontak dengan udara. Data pada jurnal ini menunjukkan bahwa nilai hasil penelitian tidak bisa mencapai baku mutu, masih diatas 115 mg/L. Meskipun presentase penurunan COD sebesar 79,26%, tetapi kadar COD masih diatas standar baku mutu, sehingga diperlukan dosis koagulan yang lebih banyak lagi untuk mencapai hasil yang lebih baik.

Adapun berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Larasati dkk., (2017), kadar COD pada Laundry Zone sebelum perlakuan yaitu sebesar 953 mg/l. Efisiensi penurunan kadar COD sesudah penambahan  $\text{FeCl}_3$  dengan dosis 0,5 gr; 0,7 gr; 0,9 gr; 1,1 gr; 1,3 gr; dan 1,5 gr secara berturut-turut sebesar 48,01%; 66,74%; 69,54%, 70,96; 72,82%, dan 73,79%. Efisiensi penurunan kandungan COD terbesar pada limbah cair laundry terjadi pada dosis 1,5 gr dengan rata-rata penurunan sebesar 73,79%. Dosis tersebut dianggap optimum karena mampu menyisihkan konsentrasi COD terbesar. Namun, dosis ini belum mampu menurunkan kadar COD hingga memenuhi baku mutu.

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Koagulan konvensional khususnya *Poly Aluminium Chloride* (PAC), menunjukkan efektivitas paling tinggi dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD). PAC mencapai rata-rata efisiensi hingga 94,14% dalam mengurangi COD pada limbah cair pabrik sepeda motor. Meskipun koagulan alami seperti lidah buaya juga menunjukkan efisiensi yang sangat baik, mampu menurunkan COD limbah batik hingga 75,94% dan limbah industri minyak sebesar 77,51%, PAC secara spesifik memiliki persentase efisiensi tertinggi. Beberapa koagulan konvensional lain seperti Aluminium Sulfat dan Ferri Klorida ( $FeCl_3$ ) juga menunjukkan efisiensi tinggi, masing-masing 78,46% dan 79,26%. Sementara itu, koagulan alami seperti kulit pisang kepok menunjukkan efisiensi 63,75% dan biji kelor bervariasi efektivitasnya, bahkan ada yang hanya mencapai 3,05%.

## Daftar Pustaka

- Ayni, L. &. (2021). Pengolahan Limbah Cair Tekstil dengan Menggunakan Koagulan  $FeCl_3$ . *Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan I (SENASTITAN I)*, 372-377.
- Ba'adilla, S. N. (2025). Pengaruh Biokoagulan dari Kulit Pisang Kepok dan Biji Kelor terhadap Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Argoindustri Pangan*, 4(1), 1-17.
- Bangun, A. A. (2013). Pengaruh Kadar Air, Dosis dan Lama Pengendapan Koagulan Serbuk Biji Kelor Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknik Kimia USU 2* (1).
- Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, A. (2024). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7781-7787.
- Fatma, I. B. (2022). Penentuan Dosis Optimum Koagulan Aluminium Sulfat Unit Dissolved Air Flotation Waste Water Treatment Plant PT Kawasan Industri Intiland. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 169-175.
- Hajijah, I. &. (2024). Efektivitas Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Sebagai Koagulan Alami pada Limbah Cair Industri Tahu. *Biomaras Journal of Life Science and Technology*, 2(1), 42-48.
- Hidayati, S. &. (2022). Reduction of Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solids (TSS) from Wastewater of Tapioca Plant Using Aluminium Sulfate and Poly Aluminium Chloride (PAC) as a Coagulant. *RICE: Research in Chemical Engineering*, 1(1), 14-21.
- Hidayatullah, A. M. (2023). Efektivitas Koagulan Lidah Buaya (*Aloe vera*) dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dalam Menurunkan Kadar Pencemar pada Limbah Cair Batik. *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam. JURNALIS*, 6 (1), 61-75.
- Idris, J. S. (2013). Dragon fruit foliage plant-based coagulant for treatment of concentrated latex effluent: Comparison of treatment with ferric sulfate. *Journal of Chemistry*, 1-7.
- Larasati, A. D. (2017). Efektivitas Ferri Klorida ( $FeCl_3$ ) dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Limbah Cair Laundry. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 5 (5), 484-491.
- Mursitaningrum, A. P., Fricillia, D. K., & Adhani, L. (2024). Efektivitas Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat dengan Kombinasi Flokulan pada Limbah Cair Pabrik Sepeda Motor. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*, 7(2), 90-95.
- Nanda, M. F., Maulanah, S., Hidayah, T. N., Taufiqurrahman, A. M., & Radianto, D. O. (2024). Analisis Pentingnya Pengelolaan Limbah Terhadap Kehidupan Sosial Bermasyarakat. *Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik. Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 97-107.
- Puspitasari, D. S. (2018). Penggunaan Lidah Buaya sebagai Biokoagulan di Industri Minyak Dara. Conference Proceeding on Waste Treatment Technology. *Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah – Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, 141-143.
- Rahmadi, A., Sari, N. M., & Indriyani, E. (2022). *Buku Ajar Pemanfaatan Limbah Industri*. Banjarbaru: CV. Banyubening Cipta Sejahtera.
- Ramadani, T. S. (2025). Biokoagulan berbasis Kulit Pisang Kepok untuk Mereduksi TSS dan COD. *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, 21(1), 29-38.
- Zakaria, A. S. (2021). Efisiensi Penurunan Kadar COD, TS, TSS, Kekeruhan, dan TDS pada Air Limbah Industri Pangan menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chloride dengan metode Jar Test. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* 9(2), 60-68.