

Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* L) Sebagai Koagulan Alami Dalam Proses Koagulasi- Flokulasi Untuk Pengolahan Limbah Cair Tahu

Nopri Wahyudi^{1*}, Akbar Ismi Aziz Pramito¹, Erika Dwi Oktaviani¹

¹Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Kota Palembang, 30128, Indonesia

Informasi Artikel

Kata kunci:
Kulit pisang kepok
Koagulan alami
Limbah cair tahu
Reduksi COD

Abstrak

Limbah cair industri tahu merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan yang mengandung bahan organik dan padatan tersuspensi tinggi sehingga berpotensi menurunkan kualitas perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi waktu maserasi dan dosis koagulan alami berbahan kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) terhadap kinerja proses koagulasi–flokulasi dalam pengolahan limbah cair industri tahu. Koagulan alami disiapkan melalui proses maserasi menggunakan pelarut etanol 70% dengan variasi waktu 60, 72, dan 84 jam. Proses koagulasi–flokulasi dilakukan dengan variasi dosis koagulan sebesar 3, 4, 5, dan 6 mL pada volume limbah 250 mL. Parameter yang dianalisis meliputi pH, kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) pada kondisi pasca perlakuan, serta kandungan tanin sebagai indikator senyawa aktif koagulan alami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu maserasi meningkatkan kandungan tanin dari 6,456 mg/L pada 60 jam menjadi 8,557 mg/L pada 84 jam. Kondisi optimum diperoleh pada waktu maserasi 84 jam dengan dosis koagulan 6 mL, yang mampu menurunkan COD sebesar 87,87% hingga mencapai 250 mg/L, TSS sebesar 45,00% menjadi 165 mg/L, serta kekeruhan hingga 17,4 NTU. Nilai pH limbah setelah pengolahan meningkat menjadi 6,23 dan telah memenuhi baku mutu lingkungan. Hasil ini menunjukkan bahwa kulit pisang kepok berpotensi sebagai koagulan alami yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair industri tahu.

Article Information

Keywords:
Banana peel
Natural Coagulant
Tofu wastewater
COD Removall

Abstract

*Tofu industry wastewater is one of the environmental pollution sources containing high levels of organic matter and suspended solids, which can potentially degrade water quality. This study aimed to evaluate the effect of maceration time and dosage of a natural coagulant derived from kepok banana peel (*Musa paradisiaca* L.) on the performance of the coagulation–floculation process in treating tofu industry wastewater. The natural coagulant was prepared through maceration using 70% ethanol as a solvent with variations of 60, 72, and 84 hours. The coagulation–floculation process was conducted with coagulant dosages of 3, 4, 5, and 6 mL for 250 mL of wastewater. The analyzed parameters included pH, turbidity, *Chemical Oxygen Demand* (COD), and *Total Suspended Solids* (TSS) after treatment, as well as tannin content as an indicator of the active compounds in the natural coagulant. The results showed that increasing maceration time enhanced tannin content from 6.456 mg/L at 60 hours to 8.557 mg/L at 84 hours. The optimum condition was obtained at a maceration time of 84 hours with a coagulant dosage of 6 mL, which reduced COD by 87.87% to 250 mg/L, TSS by 45.00% to 165 mg/L, and turbidity to 17.4 NTU. The pH value after treatment increased to 6.23 and met the environmental quality standards. These findings indicate that kepok banana peel has potential as an effective and environmentally friendly natural coagulant for tofu industry wastewater treatment.*

1. Pendahuluan

Industri tahu merupakan salah satu sektor industri pangan yang berkembang pesat di Indonesia, khususnya pada skala kecil dan menengah. Proses produksi tahu memerlukan air dalam jumlah besar pada tahapan perendaman, pencucian,

penggilingan, dan pemasakan kedelai, sehingga menghasilkan limbah cair dengan volume yang relatif tinggi (Putri et al., 2021). Peningkatan jumlah industri tahu berbanding lurus dengan meningkatnya potensi pencemaran lingkungan apabila limbah cair yang dihasilkan tidak dikelola dengan baik.

*Afiliasi penulis korespondensi: Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Kota Palembang, 30128, Indonesia
Email: Wahyudinopri59@gmail.com (Nopri Wahyudi)
<https://doi.org/10. ...>

Submisi 21 Februari 2026; Revisi 24 Maret 2026; Diterima 1 April 2026

Publish online 15 April 2026

Penulis 2026, di bawah persyaratan lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Limbah cair industri tahu umumnya mengandung konsentrasi bahan organik yang tinggi, yang ditunjukkan oleh nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan kekeruhan yang melebihi baku mutu air limbah. Kandungan bahan organik tersebut berasal dari sisa protein, karbohidrat, serta senyawa organik lain hasil pengolahan kedelai (Abidin et al., 2022). Apabila limbah cair ini dibuang tanpa pengolahan yang memadai, maka berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan perairan.

Pembuangan limbah cair industri tahu secara langsung ke badan air dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut akibat proses dekomposisi bahan organik. Kondisi ini berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik serta menurunkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat di sekitar lokasi industri (Choy et al., 2022). Ketahui bahwa kualitas limbah masih belum memenuhi baku mutu lingkungan, dengan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 2061,28 mg/L, *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 300 mg/L, tingkat kekeruhan mencapai 296 NTU, serta pH sebesar 5,02 (Robiah, 2025). Kondisi tersebut menunjukkan tingginya beban pencemar organik dan padatan tersuspensi dalam limbah cair tahu, sehingga diperlukan proses pengolahan yang efektif sebelum limbah dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair industri tahu menjadi kebutuhan yang mendesak agar kualitas efluen memenuhi baku mutu air limbah sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016.

Salah satu metode yang banyak diterapkan dalam pengolahan limbah cair adalah proses koagulasi–flokulasi, yang bekerja melalui mekanisme destabilisasi partikel koloid sehingga terbentuk flok berukuran lebih besar dan mudah dipisahkan dari fase cair (Ningsih et al., 2023). Metode koagulasi–flokulasi memiliki beberapa keunggulan, antara lain mampu menurunkan parameter pencemar seperti kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) secara efektif, memiliki waktu proses yang relatif singkat, serta memerlukan peralatan yang sederhana sehingga mudah diterapkan pada berbagai skala pengolahan limbah cair (Rahmawati et al., 2023). Namun, penggunaan koagulan kimia potensi menghasilkan yang dapat berdampak pada lingkungan sehingga diperlukan alternatif yang lebih ramah lingkungan, aman, dan berkelanjutan dalam pengolahan limbah cair.

Koagulan alami berbasis bahan hayati telah banyak dikaji karena bersifat *biodegradable* dan berasal dari sumber daya terbarukan. Senyawa aktif seperti tanin diketahui memiliki kemampuan untuk menetralkan muatan partikel koloid dan mengikat partikel tersuspensi dalam air limbah, sehingga efektif digunakan dalam proses koagulasi–flokulasi (Kurniawati et al., 2024).

Kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) merupakan salah satu limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai koagulan alami karena mengandung senyawa tanin dalam jumlah yang cukup signifikan. Selain mudah diperoleh dan

tersedia dalam jumlah melimpah, pemanfaatan kulit pisang juga dapat membantu mengurangi limbah organik dari aktivitas rumah tangga maupun industri pangan. Beberapa penelitian melaporkan bahwa kandungan tanin pada kulit pisang berkisar antara 5–10%, bergantung pada jenis pisang dan metode ekstraksi yang digunakan. Tanin tersebut dapat diperoleh melalui metode maserasi, yaitu teknik ekstraksi tanpa pemanasan tinggi yang bertujuan menjaga kestabilan senyawa aktif. Variasi waktu maserasi diketahui memengaruhi jumlah tanin yang ter-ekstraksi, sehingga kajian mengenai kondisi ekstraksi yang tepat diperlukan untuk mengoptimalkan pemanfaatan kulit pisang kepok sebagai koagulan alami dalam pengolahan limbah cair industri tahu (Putri et al., 2021).

Selain proses ekstraksi, dosis koagulan alami juga berperan penting dalam menentukan efektivitas proses koagulasi–flokulasi. Penambahan koagulan pada dosis optimum dapat meningkatkan efisiensi penurunan parameter kualitas limbah seperti pH, kekeruhan, COD, dan TSS. Sebaliknya, dosis yang berlebihan berpotensi menyebabkan restabilisasi partikel sehingga menurunkan efisiensi pengolahan limbah cair (Abidin et al., 2022).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai pembuatan koagulan alami dari kulit pisang kepok melalui proses maserasi dalam pengolahan limbah cair industri tahu perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dosis koagulan alami sebesar 3, 4, 5, dan 6 mL terhadap persen reduksi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solids* (TSS), serta mengkaji pengaruh variasi waktu maserasi selama 60, 72, dan 84 jam terhadap efektivitas penurunan COD dan TSS. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi perubahan nilai kekeruhan dan pH limbah cair industri tahu setelah proses koagulasi menggunakan koagulan alami kulit pisang kepok, tanpa perhitungan persen reduksi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam peningkatan kualitas limbah cair industri tahu sehingga memenuhi standar baku mutu air limbah sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.

2. Metode

2.1. Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi blender, gelas kimia 500 ml, erlenmeyer 250 ml, spatula, batang pengaduk, bla karet, hot plate dengan magnetic stirrer, pH meter, neraca analitik, pipet ukur 25 ml, ayakan 100 mesh, oven, kertas saring, botol sampel kaca, seperangkat alat destilasi sederhana, serta turbidimeter. Bahan utama yang digunakan adalah kulit pisang kepok sebagai sumber koagulan alami dan limbah cair tahu sebagai sampel uji. Etanol 70% digunakan sebagai pelarut pada proses maserasi, sedangkan akuades digunakan sebagai bahan pencucian dan pembilasan peralatan.

2.2. Preparasi Kulit Pisang Kepok

Kulit pisang kepok dibersihkan menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran yang menempel, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 95 °C untuk mengurangi kadar air dalam bahan hingga diperoleh kondisi kering. Pengeringan dilakukan sampai sampel memiliki tekstur kering dan rapuh sehingga mudah dihaluskan. Sampel yang telah kering kemudian dihaluskan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam. Serbuk kulit pisang kepok yang dihasilkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan koagulan alami.

2.3. Pembuatan Koagulan Alami dengan Metode Maserasi

Sebanyak 100 g serbuk kulit pisang kepok dimasukkan ke dalam wadah tertutup, kemudian ditambahkan 400 mL etanol 70% hingga seluruh sampel terendam sempurna. Proses maserasi dilakukan pada suhu ruang dengan variasi waktu 60, 72, dan 84 jam dalam kondisi terlindung dari cahaya. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring untuk memisahkan filtrat dan residu padat. Filtrat yang diperoleh selanjutnya diekstraksi menggunakan alat destilasi sederhana untuk menghilangkan pelarut etanol, sehingga diperoleh ekstrak koagulan alami yang siap digunakan pada tahap koagulasi.

2.4. Proses Koagulasi-Flokulasi Limbah Cair Tahu

Sebanyak 250 mL limbah cair industri tahu dimasukkan ke dalam gelas kimia, kemudian ditambahkan koagulan alami hasil maserasi dengan variasi dosis 3, 4, 5, dan 6 mL. Campuran selanjutnya diaduk menggunakan *hot plate-magnetic stirrer* pada kecepatan 150 rpm selama 5 menit untuk proses koagulasi, sehingga koagulan terdispersi secara merata dan terbentuk mikrofluk.

Setelah proses koagulasi, kecepatan pengadukan diturunkan menjadi 40 rpm selama 15 menit untuk proses flokulasi, dengan tujuan memperbesar ukuran flok agar mudah mengendap. Selanjutnya, campuran didiamkan selama 60 menit untuk proses pengendapan. Setelah pengendapan selesai, campuran disaring untuk memisahkan filtrat dan endapan. Filtrat hasil perlakuan kemudian digunakan untuk analisis kualitas limbah cair sesuai dengan parameter yang ditentukan.

2.5. Pengujian Kualitas Limbah Cair Setelah Perlakuan

Filtrat hasil proses koagulasi dianalisis untuk mengetahui perubahan kualitas limbah cair tahu setelah perlakuan. Parameter yang diuji meliputi pH, kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solid* (TSS). Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi efektivitas kulit pisang kepok sebagai koagulan alami.

2.6. Pengujian Kadar Tanin

Pengujian kadar tanin dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis dengan pereaksi Folin-Ciocalteu. Larutan standar disiapkan dengan melarutkan 0,01 g asam galat ke dalam akuades hingga volume 100 mL. Larutan natrium karbonat (Na_2CO_3) dibuat dengan melarutkan 15 g Na_2CO_3

dalam akuades hingga volume 100 mL. Sampel ekstrak koagulan alami hasil maserasi ditimbang masing-masing sebanyak 0,05 g. Reagen Folin-Ciocalteu ditambahkan ke dalam larutan standar dengan konsentrasi 1–7 ppm, kemudian ditambahkan 2 mL larutan Na_2CO_3 dan akuades hingga volume total 10 mL. Larutan diinkubasi selama 90 menit dalam kondisi gelap, kemudian diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 765 nm. Hubungan antara absorbansi dan konsentrasi dinyatakan menggunakan [Persamaan \(1\)](#).

$$y = ax + b \quad (1)$$

Dengan y adalah nilai absorbansi, x adalah konsentrasi standar, a adalah kemiringan garis (*slope*), dan b adalah intersep ([Noviyanty et al., 2020](#)).

2.7. Pengujian Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran derajat keasaman (pH) dilakukan menggunakan pH meter digital. Sebelum digunakan, alat dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan larutan buffer standar pH 4, pH 7, dan pH 10. Elektroda pH meter dibilas dengan akuades untuk menghindari kontaminasi, kemudian dicelupkan ke dalam sampel limbah cair hingga pembacaan nilai pH pada layar alat stabil. Nilai pH yang ditampilkan selanjutnya dicatat sebagai hasil pengukuran. Metode pengukuran pH ini dilakukan secara elektrometri menggunakan pH meter sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater metode 4500-H⁺* ([APHA et al., 2017](#)).

2.8. Pengujian Kekeruhan

Pengujian kekeruhan dilakukan menggunakan turbidimeter yang telah dikalibrasi dengan larutan standar kekeruhan. Sampel limbah cair dimasukkan ke dalam kuvet hingga batas volume yang ditentukan, kemudian dimasukkan ke dalam alat turbidimeter. Nilai kekeruhan yang terbaca pada layar alat dicatat sebagai hasil pengukuran dengan satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Metode pengukuran kekeruhan ini mengacu pada *Nephelometric Method dalam Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater metode 2130 B* ([APHA et al., 2017](#)).

2.9. Pengujian Chemical Oxygen Demand (COD)

Sebanyak 2,5 mL sampel limbah cair hasil perlakuan dipipet ke dalam tabung khusus COD, kemudian ditambahkan reagen $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan larutan H_2SO_4 sebanyak 3,5 mL. Tabung ditutup rapat dan didiamkan beberapa menit, kemudian diinkubasi menggunakan *WTW CR 2200 Thermoreactor* selama 2 jam. Setelah inkubasi, larutan dipindahkan ke dalam erlenmeyer 50 mL dan dititrasikan menggunakan larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) hingga terjadi perubahan warna. volume titran yang digunakan dicatat, dan nilai COD dihitung menggunakan [Persamaan \(2\)](#).

$$COD = \frac{Vb - Vc \times N \text{ FAS} \times 8000}{V_s} \quad (2)$$

Dengan V_b adalah volume FAS untuk blanko (mL), V_c adalah volume FAS untuk sampel (mL), V_s adalah volume sampel (mL), dan N_{FAS} adalah normalitas FAS. Metode analisis COD ini mengacu pada *Closed Reflux Titrimetric Method dalam Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater metode 5220 C* (APHA et al., 2017).

2.10. Pengujian Total Suspended Solid (TSS)

Sebanyak 100 mL sampel limbah cair disaring menggunakan kertas saring yang telah dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C dan diketahui bobot awalnya. Kertas saring berisi padatan kemudian dikeringkan kembali dalam oven pada suhu 105 °C selama ±1 jam, lalu didinginkan dalam desikator. Kertas saring ditimbang hingga diperoleh bobot akhir. Nilai TSS dihitung menggunakan *Persamaan (3)*.

$$TSS = \frac{(W_2 - W_1) \times 1000}{V} \quad (3)$$

Dengan W_1 adalah berat kertas saring kosong (g), W_2 adalah berat kertas saring setelah penyaringan (g), dan V adalah volume sampel (mL). Metode analisis TSS ini mengacu pada Total Suspended Solids Dried at 103–105°C dalam *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater metode 2540 D* (APHA et al., 2017).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data hasil pengamatan tersebut disajikan pada *Tabel 1, 2, dan 3* berikut.

Tabel 1. Hasil pengukuran kandungan tanin menggunakan Spektrofotometri uv - vis

Pemeriksaan	Hasil(mg/L)
Kulit Pisang Kepok 60 Jam	6,456
Kulit Pisang Kepok 72 Jam	7,588
Kulit Pisang Kepok 84 Jam	8,557

Tabel 2. Hasil nilai COD, TSS, Kekeruhan, dan pH

Waktu Maserasi (Jam)	Jumlah Koagulan (mL)	COD (ml/L)	TSS (ml/L)	Kekeruhan (NTU)	pH
60	3	342	240	77,4	5,18
	4	325	216	42,9	5,42
	5	308	214	33,6	5,6
	6	289	198	28,4	5,51
72	3	323	220	42,2	5,45
	4	308	218	34,1	6,66
	5	291	196	28,9	6,05
	6	280	186	22,7	5,72
84	3	302	17,2	28,9	5,86
	4	286	33,8	24,3	5,93
	5	264	41,6	18,5	5,6
	6	250	49,8	17,4	6,23

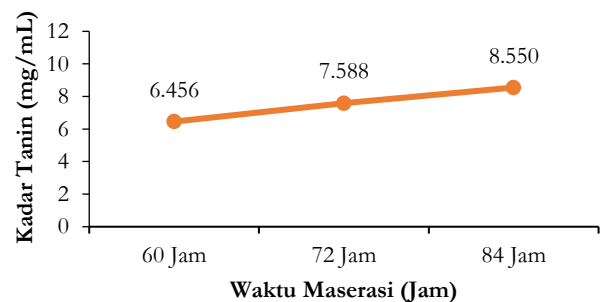
Tabel 3. Hasil % Reduksi COD dan TSS

Waktu maserasi (Jam)	Jumlah koagulan (ml)	Reduksi COD (%)	Reduksi TSS (%)
60	3	83,41	20,00
	4	84,23	28,00
	5	85,05	28,67
	6	85,98	34,00
72	3	84,33	26,67
	4	85,05	27,33
	5	85,88	34,67
	6	86,42	38,00
84	3	85,35	34,67
	4	86,11	38,33
	5	87,17	43,33
	6	87,87	45,00

3.2. Pembahasan

3.2.1. Hasil kandungan tanin

Kandungan tanin meningkat seiring bertambahnya waktu maserasi. Pada maserasi 60 jam, kandungan tanin terukur 6,456 mg/L, meningkat menjadi 7,502 mg/L pada 72 jam, dan mencapai nilai tertinggi 8,557 mg/L pada 84 jam (*Gambar 1*). Peningkatan ini menunjukkan bahwa waktu kontak yang lebih lama memungkinkan pelepasan senyawa fenolik lebih maksimal, sehingga mendukung kemampuan koagulan menurunkan parameter pencemar seperti COD, TSS, dan kekeruhan (*Hidayah & Susanti, 2020*).



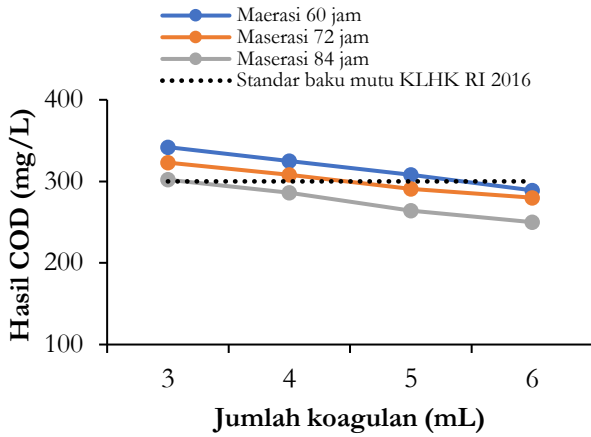
Gambar 1. Diagram kandungan tanin terhadap waktu maserasi

Rentang kandungan tanin yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu 6,456–8,557 mg/L atau setara dengan sekitar 8%, yang masih berada dalam kisaran wajar untuk bahan koagulan alami. Nilai tersebut sejalan dengan beberapa penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa kandungan tanin pada kulit pisang berada pada rentang 5–10%, tergantung pada jenis pisang dan metode ekstraksi yang digunakan (*Pratiwi dan Santoso, 2021*). Hal ini menunjukkan bahwa kulit pisang kepok memiliki potensi yang cukup baik sebagai bahan koagulan alami. Perbedaan jumlah tanin yang ter-ekstraksi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti karakteristik limbah awal, kondisi suhu selama proses ekstraksi, serta metode ekstraksi yang digunakan. Selain itu, efektivitas koagulan alami dalam proses pengolahan limbah juga dipengaruhi oleh jenis bahan, konsentrasi senyawa aktif, dan kondisi awal limbah yang diolah (*Okoromi dkk., 2025*).

3.2.2. Hasil Analisis Chemical Oxygen Demand (COD)

Penurunan COD tertinggi diperoleh pada perlakuan waktu maserasi 84 jam dengan jumlah koagulan 6 mL, dengan persen

reduksi sebesar 87,87%, sehingga nilai COD akhir turun menjadi 250 mg/L (Gambar 2). Penurunan ini menunjukkan bahwa koagulan alami berbasis tanin mampu mengadsorpsi dan mengendapkan senyawa organik secara efektif. Mekanisme ini sejalan dengan teori bahwa senyawa polifenol dapat membentuk ikatan kompleks dengan bahan organik terlarut (Metcalf dan Eddy, 2014).



Gambar 2. Pengaruh jumlah koagulan terhadap hasil COD

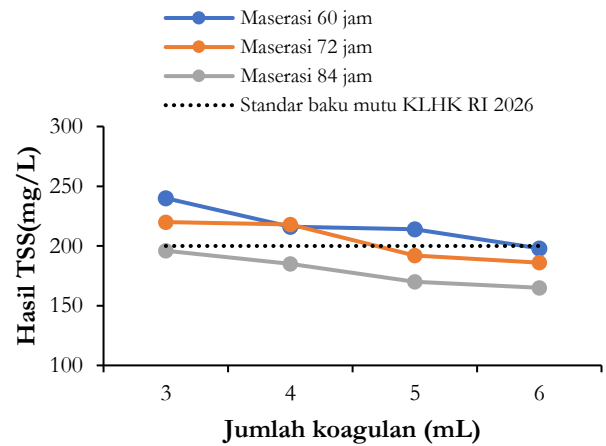
Sebaliknya, penurunan COD terendah terjadi pada waktu maserasi 60 jam dan jumlah koagulan 3 mL, dengan persen reduksi 20%, sehingga nilai COD 342 ml/L masih jauh di atas baku mutu. Rendahnya efisiensi ini disebabkan oleh jumlah senyawa aktif yang belum mencukupi untuk mengikat senyawa organik secara optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Ba'adilla dkk. (2025) menyatakan bahwa penurunan COD sebesar 72–80%, yang menunjukkan bahwa perbedaan hasil dipengaruhi oleh jenis dan kombinasi biokoagulan serta kondisi proses pengolahan.

Perbedaan hasil COD antara kedua penelitian dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, jenis bahan koagulan berbeda, dimana kombinasi kulit pisang dan biji kelor menghasilkan spektrum senyawa aktif lebih luas sehingga proses adsorpsi lebih efektif (Djide & Sartini, 2018). Kedua, dosis koagulan memengaruhi jumlah flok yang terbentuk dan kapasitas pengikatan senyawa organik. Ketiga, karakteristik limbah awal, termasuk konsentrasi senyawa organik dan pH, memengaruhi respons limbah terhadap koagulan (Rachmawati dkk., 2021).

3.2.3. Hasil Analisis Total Suspended Solids (TSS)

Penurunan TSS tertinggi terjadi pada limbah yang diberi koagulan hasil maserasi selama 84 jam dengan volume 6 mL, yaitu sebesar 165 mg/L dengan persentase reduksi mencapai 45,00%. Sebaliknya, penurunan terendah diperoleh pada perlakuan maserasi selama 60 jam dengan volume 3 mL (Gambar 3). Perbedaan nilai penurunan tersebut diduga berkaitan dengan kandungan tanin yang dihasilkan selama proses maserasi, di mana waktu maserasi yang lebih lama memungkinkan ekstraksi senyawa aktif yang lebih optimal. Senyawa tanin berperan dalam proses koagulasi dengan menetralkan muatan partikel tersuspensi sehingga memicu

pembentukan flok berukuran lebih besar yang mudah mengendap (Utami & Lestari, 2020).

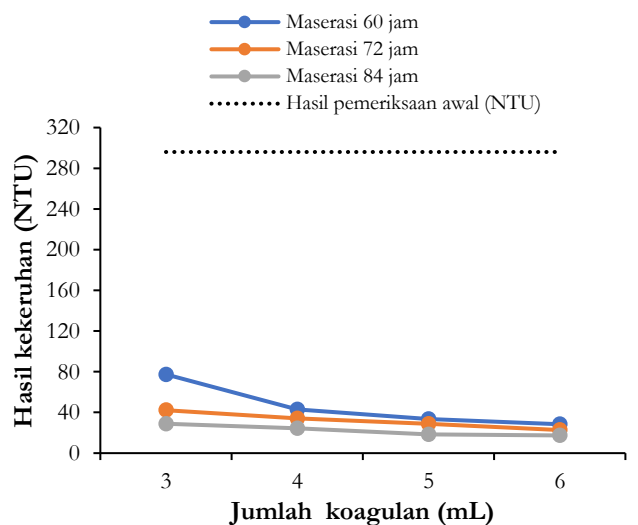


Gambar 3. Pengaruh jumlah koagulan terhadap hasil TSS

Penelitian yang dilakukan oleh Ba'adilla dkk. (2025) menunjukkan penurunan TSS hingga 98,02% pada limbah yang diberi kombinasi kulit pisang dan biji kelor maserasi 84 jam dengan total volume koagulan 6 mL, jauh lebih tinggi dibanding penelitian ini. Hal ini menegaskan bahwa koagulan ganda meningkatkan kemampuan menangkap partikel tersuspensi dan efisiensi flokulasi lebih baik (Ba'adilla dkk., 2025).

3.2.4 Hasil Analisis Kekeruhan

Nilai kekeruhan mengalami penurunan pada seluruh variasi perlakuan. Nilai kekeruhan terendah diperoleh pada waktu maserasi 84 jam dengan volume koagulan 6 mL sebesar 17,4 NTU (Gambar 4). Penurunan ini menunjukkan bahwa koagulan alami mampu menggumpalkan partikel koloid secara efektif, meskipun parameter kekeruhan tidak ditetapkan secara spesifik dalam baku mutu limbah cair (Yin, 2010).



Gambar 4. Pengaruh jumlah koagulan terhadap hasil COD

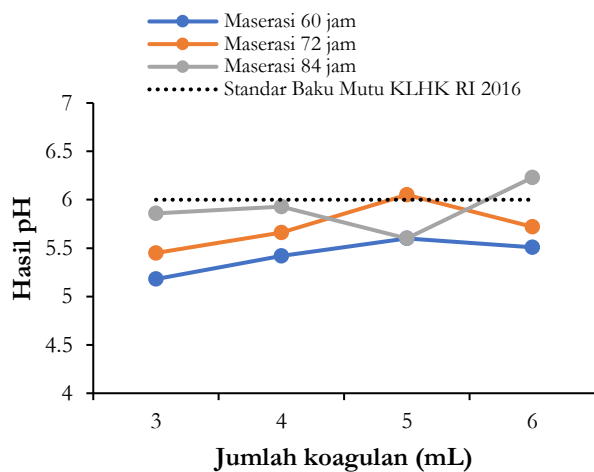
Penelitian yang dilakukan oleh Ba'adilla dkk. (2025), menyatakan bahwa penurunan kekeruhan hingga 90,67% pada limbah yang diberi kombinasi kulit pisang dan biji kelor, lebih tinggi dibanding penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa

kombinasi bahan koagulan menghasilkan lebih banyak senyawa aktif yang mengikat partikel halus sehingga flok terbentuk lebih cepat dan stabil (Ba'adilla dkk., 2025).

Perbedaan hasil kekeruhan disebabkan oleh jenis bahan koagulan, karakteristik partikel limbah, dan metode ekstraksi. Koagulan ganda menyediakan jumlah senyawa aktif lebih banyak sehingga partikel koloid lebih mudah digabungkan dan mengendap, sementara ukuran dan konsentrasi partikel awal juga memengaruhi efisiensi flokulasi (Hidayah & Susanti, 2020).

3.2.5. Hasil Analisis pH

Nilai pH terbaik diperoleh pada waktu maserasi 84 jam dengan jumlah koagulan 6 mL, yaitu sebesar $\pm 6,23$, sehingga telah memenuhi baku mutu. Peningkatan pH ini menunjukkan adanya perbaikan kualitas limbah, meskipun masih berada pada batas bawah kondisi netral (Gambar 5). Perubahan pH yang relatif kecil ini sesuai dengan karakter koagulan alami yang tidak menyebabkan fluktuasi pH ekstrem (Effendi, 2016).



Gambar 5. Pengaruh jumlah koagulan terhadap hasil pH

Sebaliknya, pada waktu maserasi 60 jam dan jumlah koagulan 3 mL, nilai pH hanya meningkat menjadi 5,18 dan belum memenuhi baku mutu. Nilai pH yang tetap asam disebabkan oleh dominasi asam organik dalam limbah cair tahu serta sifat tanin sebagai asam lemah. Penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Ba'adilla dkk. (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan biokoagulan alami cenderung mempertahankan pH pada kondisi asam hingga mendekati netral.

Perubahan pH yang terjadi dipengaruhi oleh karakteristik tanin yang bersifat asam lemah. Pada waktu maserasi 84 jam, kandungan tanin yang lebih tinggi menyebabkan nilai pH cenderung lebih rendah dibandingkan variasi lainnya. Namun demikian, perubahan pH yang relatif kecil menunjukkan bahwa penggunaan koagulan alami kulit pisang kepok tidak menyebabkan fluktuasi pH yang ekstrem, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan koagulan kimia yang umumnya memerlukan penyesuaian pH lanjutan (Hapsari dkk., 2018).

Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu maserasi memengaruhi kandungan tanin pada koagulan kulit pisang kepok, dengan nilai tertinggi pada 84 jam sebesar 8,557 mg/L. Pada kondisi tersebut, penambahan koagulan 6 mL mampu menurunkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) hingga 250 mg/L dengan efisiensi 87,87%, *Total Suspended Solids* (TSS) hingga 165 mg/L dengan efisiensi 45,00%, menurunkan kekeruhan menjadi 17,4 NTU, serta meningkatkan pH menjadi 6,23. Hasil ini menunjukkan potensi kulit pisang kepok sebagai koagulan alami untuk pengolahan limbah cair industri tahu. Penelitian selanjutnya perlu mengkaji faktor lain seperti konsentrasi koagulan, pH awal, dan karakteristik limbah untuk memperoleh kondisi pengolahan yang lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya atas dukungan fasilitas dan lingkungan akademik yang diberikan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing serta seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan dukungan selama proses penelitian dan penulisan artikel ini.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Nopri Wahyudi sebagai penulis utama bertanggung jawab atas perancangan penelitian, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan dan analisis data, serta penyusunan dan penulisan artikel secara keseluruhan. Akbar Ismi Aziz Pramito dan Erika Dwi Oktaviani berperan sebagai dosen pembimbing yang memberikan arahan dan masukan ilmiah selama pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

- Abidin, Z., Nurhayati, I., & Wibowo, A. (2022). Penggunaan koagulan alami berbasis tanaman untuk pengolahan limbah cair industri pangan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 28(2), 115–123. <https://doi.org/10.5614/jtl.2022.28.2.4>
- APHA, AWWA, & WEF. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). *American Public Health Association*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>
- Ba'adilla, R., Prasetyo, D. J., & Lestari, A. P. (2025). Pemanfaatan biokoagulan kulit pisang dalam pengolahan limbah cair tahu. *Jurnal Teknik Kimia*, 30(1), 55–63. <https://doi.org/10.32734/jtk.v30i1.10542>
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., & Raghunandan, M. E. (2022). Performance of natural coagulants in treating agro-industrial wastewater: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102423. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102423>

- Djide, M. N., & Sartini. (2018). Senyawa tanin dan peranannya dalam proses koagulasi–flokulasi. *Jurnal Farmasi Galenika*, 4(2),120–128.
<https://doi.org/10.22487/j24428744.2018.v4.i2.12042>
- Effendi, H. (2016). Telaah kualitas air: Bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Kanisius.
- Hapsari, D., Siregar, Y. I., & Nugroho, A. (2018). Pengaruh koagulasi alami terhadap stabilitas pH pada pengolahan air limbah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 101–109.
<https://doi.org/10.5614/jtl.2018.24.2.3>
- Hidayah, N., & Susanti, E. (2020). Pengaruh waktu ekstraksi terhadap kandungan senyawa fenolik total. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(3), 185–192.
<https://doi.org/10.15294/ijcs.v9i3.30145>
- Kurniawati, L., & Siregar, R. M. (2024). Pemanfaatan koagulan alami dari limbah pertanian untuk pengolahan limbah cair industri kecil. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 45–55.
<https://doi.org/10.14710/jil.22.1.45-55>
- Metcalf & Eddy, Inc. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ningsih, E., & Prasetyo, D. J. (2023). Studi mekanisme koagulasi senyawa tanin pada pengolahan limbah cair. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(3), 210–218.
<https://doi.org/10.15294/ijcs.v12i3.62134>
- Noviyanty, Y., Hepiyansori, & Agustian, Y. (2020). Identifikasi dan penetapan kadar senyawa tanin pada ekstrak daun biduri (*Calotropis gigantea*) metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 6(1), 57–64.
<https://doi.org/10.51352/jim.v6i1.307>
- Okoromi, E., Ambrose-Agabi, E. E., Enodiana, O., & Udogwu, G. (2025). Wastewater treatment using banana peels as a natural coagulant. *NIPES – Journal of Energy Technology and Environment*, 7(4), 270–278.
<https://doi.org/10.37933/jete/7.4.2025.2037>
- Pratiwi, D., & Santoso, A. B. (2021). Kandungan tanin pada kulit pisang sebagai bahan koagulan alami. *Jurnal Kimia dan Lingkungan*, 5(2), 87–95.
<https://doi.org/10.20961/jkl.v5i2.54678>
- Putri, R. A., & Hadiyanto. (2021). Koagulasi–flokulasi limbah cair tahu menggunakan koagulan alami: Karakteristik dan kinerjanya. *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(2), 90–99.
<https://doi.org/10.22146/jrekpros.68421>
- Rahmawati, D., Kurniawan, S. B., & Abdullah, S. R. S. (2023). Recent advances in natural coagulants for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 53, 103789.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103789>
- Robiah, R., Pramito, A. I. A., & Junaidi, R. (2026). Pembuatan koagulan alami dengan proses maserasi untuk pengolahan limbah cair industri tahu. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*.
<https://journal.atim.ac.id/index.php/jtkm/article/view/1345>
- Utami, R., & Lestari, S. (2020). Pemanfaatan senyawa tanin sebagai koagulan alami dalam pengolahan limbah cair. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21(2), 134–142.
<https://doi.org/10.29122/jtl.v21i2.4075>
- Yin, C. Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 1437–1444.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>

