

Pembuatan Koagulan Alami dengan Proses Maserasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu

Robiah^{1*}, Akbar Ismi Aziz Pramito¹, Robert Junaidi¹

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

Informasi Artikel

Kata kunci:
Biji alpukat
Koagulan alami
Tanin
Limbah cair tahu

Abstrak

Limbah cair industri tahu mengandung bahan organik tinggi yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Proses koagulasi–flokulasi merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam pengolahan limbah cair, namun penggunaan koagulan kimia berpotensi menimbulkan dampak lingkungan. Oleh karena itu, biji alpukat yang mengandung senyawa tanin diteliti sebagai alternatif koagulan alami yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu maserasi terhadap kandungan tanin biji alpukat serta mengkaji pengaruh jumlah koagulan alami terhadap perubahan pH, kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) pada limbah cair industri tahu. Proses ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi menggunakan etanol 70% selama 60, 72, dan 84 jam, kemudian diaplikasikan sebagai koagulan dengan variasi volume 3–6 mL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar tanin tertinggi diperoleh pada waktu maserasi 84 jam sebesar 6,373 mg/L. Penambahan koagulan alami berpengaruh terhadap penurunan nilai COD dan TSS, dengan kondisi optimum diperoleh pada penambahan koagulan 6 mL yang mampu menurunkan COD dan TSS masing-masing menjadi 221 mg/L dan 166 mg/L. Penurunan kekeruhan paling efektif diperoleh pada penambahan koagulan 3 mL dengan nilai kekeruhan sebesar 17,2 NTU, yang menunjukkan efektivitas koagulan alami biji alpukat dalam menurunkan kekeruhan limbah cair tahu dibandingkan kondisi awal. Nilai pH limbah mengalami peningkatan setelah proses koagulasi, namun belum memenuhi rentang baku mutu yang ditetapkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biji alpukat berpotensi digunakan sebagai koagulan alami dalam pengolahan limbah cair industri tahu.

Article Information

Keywords:
Avocado seed
Natural coagulant
Tannin
Maceration
Tofu waste water

Abstract

The wastewater from tofu industries contains a high amount of organic substances that can potentially pollute the environment if not properly treated. The coagulation–flocculation process is commonly used in wastewater treatment; however, chemical coagulants may cause environmental impacts. Therefore, avocado seeds containing tannins were investigated as an eco-friendly natural coagulant alternative. This study aimed to evaluate the effect of maceration time on the tannin content of avocado seeds and to examine the influence of natural coagulant dosage on pH, turbidity, Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solids (TSS) in tofu industry wastewater. The extraction was conducted via maceration using 70% ethanol for 60, 72, and 84 hours, followed by application as a coagulant with volumes ranging from 3 to 6 mL. The results showed that the highest tannin content was obtained at 84 hours of maceration, reaching 6.373 mg/L. The addition of the natural coagulant effectively reduced COD and TSS, with the optimum condition achieved at 6 mL coagulant, lowering COD and TSS to 221 mg/L and 166 mg/L, respectively. Turbidity reduction was most effective at 3 mL coagulant, resulting in 17.2 NTU, demonstrating the efficacy of avocado seed extract in decreasing wastewater turbidity compared to the initial condition. The pH of the wastewater increased after the coagulation–flocculation process, but it did not reach the standard regulatory range. Overall, avocado seed extract shows potential as an eco-friendly natural coagulant for treating tofu industry wastewater.

1. Pendahuluan

Industri tahu merupakan salah satu sektor industri pangan yang berkembang pesat di Indonesia. Dalam proses

produksinya, industri ini menggunakan air dalam jumlah besar, yaitu sekitar 75-150 liter/kilogram kedelai yang diolah (Dewi et al., 2025). Sebagian besar air yang digunakan akan dibuang sebagai limbah cair yang mengandung kandungan organik

*Afiliasi penulis korespondensi: Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar, Kota Palembang, 30128, Indonesia
Email: rrobiahtun@gmail.com (Robiah)
<https://doi.org/10.61844/jtkm.v5i1.1345>

Submisi 28 November 2025; Revisi 22 Desember 2025; Diterima 5 Januari 2026

Publish online 10 Januari 2026

Penulis 2025, di bawah persyaratan lisensi [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

tinggi, seperti protein, lemak, dan karbohidrat yang tidak larut (Ariefianty et al., 2024). Jika tidak diolah dengan baik, limbah tersebut dapat mencemari lingkungan, terutama sumber air di sekitar lokasi produksi. Limbah cair dari industri tahu umumnya memiliki kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) yang cukup tinggi, sehingga dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah, nilai ambang batas maksimum untuk parameter COD adalah 300 mg/L, BOD sebesar 150 mg/L, dan TSS sebesar 200 mg/L, serta pH pada rentang 6-9 (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, 2016).

Selain itu, kandungan bahan organik dalam limbah tersebut berpotensi mengalami fermentasi, yang dapat menghasilkan bau tidak sedap dan mencemari udara di sekitarnya (Romli & Suprihatin, 2009). Jika tidak dikelola dengan baik, limbah cair industri tahu dapat mencemari air tanah, menurunkan kualitas lingkungan, serta berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan dan kualitas hidup masyarakat akibat perubahan warna dan bau air yang tercemar (Khalista, 2016).

Salah satu metode yang umum digunakan dalam pengolahan limbah cair adalah koagulasi-flokulasi. Metode ini bekerja dengan cara menambahkan bahan koagulan ke dalam air limbah, sehingga partikel-partikel yang tersuspensi dapat menggumpal dan mengendap, sehingga lebih mudah dipisahkan dari air (Rizquallah et al., 2025). Selama ini, proses koagulasi-flokulasi umumnya menggunakan bahan koagulan berbasis konvensional, seperti aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) dan feri klorida ($FeCl_3$), karena efektivitasnya dalam menurunkan kekeruhan serta kandungan polutan dalam limbah cair (Hutabarat et al., 2023). Namun, penggunaan koagulan berbasis bahan kimia dapat menghasilkan residu logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia serta mencemari lingkungan dalam jangka panjang (Krupińska, 2020). Oleh sebab itu, diperlukan alternatif koagulan alami yang lebih aman, ramah lingkungan, dan mudah diperoleh.

Biji alpukat mengandung senyawa aktif berupa tanin, yaitu sekitar 11,2 – 41,33 mg/kg. Penelitian serupa juga menunjukkan bahwa kandungan tanin dalam biji alpukat yaitu 11,29 gram/100 gram (Malangngi et al., 2012). Koagulan yang berasal dari tumbuhan atau hewan mengandung senyawa aktif berupa tanin, polisakarida, dan protein. Ketiga senyawa tersebut memiliki fungsi -OH, -COOH, -NH₂ yang berperan dalam mekanisme destabilisasi koloid pada proses koagulasi. Tanin dapat berinteraksi dengan protein dan memiliki tiga jenis ikatan diantaranya, ikatan ion, ikatan hidrogen, dan ikatan kovalen (Koul et al., 2022).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ekstrak biji alpukat sebagai koagulan mampu menurunkan kadar TSS hingga 82,52% pada kecepatan pengadukan koagulasi sebesar 100 rpm, yang menjadi kondisi optimum untuk parameter

tersebut. Untuk parameter kekeruhan dan TDS, penurunan tertinggi masing-masing sebesar 93,62% dan 89,24% diperoleh pada kecepatan pengadukan 160 rpm. Sementara itu, penurunan COD tertinggi sebesar 7,62% dicapai pada kecepatan 190 rpm (Risnawati, 2024). Ekstraksi tanin dari suatu senyawa dapat dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi, salah satunya adalah metode maserasi. Metode maserasi merupakan teknik ekstraksi yang dilakukan dengan merendam bahan baku dalam pelarut yang sesuai, dengan tujuan melarutkan senyawa aktif tanpa atau dengan pemanasan minimal (Sulaiman et al., 2011). Pelarut yang digunakan adalah etanol 70%, karena pelarut ini bersifat semi-polar dan mampu melarutkan senyawa fenolik dan tanin secara efektif (Makkar, 2003).

Berdasarkan uraian tersebut, limbah cair industri tahu dengan kandungan bahan organik tinggi memerlukan teknologi pengolahan yang efektif dan ramah lingkungan. Meskipun proses koagulasi-flokulasi telah banyak diterapkan, penggunaan koagulan kimia masih menimbulkan potensi dampak lingkungan. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan koagulan alami dari bahan nabati, namun kajian mengenai pengaruh waktu maserasi terhadap kandungan tanin biji alpukat serta hubungannya dengan efektivitas penurunan parameter pencemar limbah cair tahu masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pembuatan koagulan alami dari biji alpukat melalui proses maserasi untuk pengolahan limbah cair industri tahu. Permasalahan penelitian dirumuskan untuk menganalisis jumlah kandungan tanin yang dihasilkan pada berbagai waktu maserasi serta mengetahui pengaruh variasi jumlah koagulan terhadap parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), pH, dan kekeruhan limbah cair tahu. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam upaya peningkatan kualitas limbah cair industri tahu agar memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah.

2. Metode

2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi gelas kimia, erlenmeyer, spatula, batang pengaduk, pH meter, bola karet, *hot plate*, magnetik *stirrer*, pipet, oven, ayakan 100 mesh, neraca analitik, kertas saring, blender, baskom, botol sampel, turbidimeter, serta seperangkat alat destilasi sederhana.

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas biji alpukat sebanyak 1 kg, limbah cair industri tahu sebanyak 3 liter, akuades sebanyak 5 liter, dan etanol 70% sebanyak 2 liter. Biji alpukat terlebih dahulu dibersihkan dari sisa daging buah, dicuci menggunakan air mengalir, kemudian dikeringkan menggunakan oven hingga kadar air berkurang. Setelah proses pengeringan, biji alpukat digiling dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam sebelum digunakan dalam proses maserasi.

2.3. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan variabel bebas berupa waktu maserasi biji alpukat selama 60, 72, dan 84 jam serta jumlah koagulan alami yang ditambahkan ke dalam limbah cair tahu sebesar 3, 4, 5, dan 6 mL. Variabel tetap dalam penelitian ini meliputi jenis pelarut etanol 70%, volume sampel limbah cair tahu sebesar 250 mL, serta waktu dan kecepatan pengadukan pada proses koagulasi, yaitu 5 menit pada 150 rpm.

2.4. Prosedur Kerja

2.4.1. Preparasi Limbah Cair Industri Tahu

Limbah cair industri tahu diambil langsung dari saluran pembuangan proses produksi sebanyak 3 liter dan disimpan dalam wadah tertutup. Limbah cair tersebut terlebih dahulu disaring menggunakan kain saring untuk menghilangkan kotoran kasar dan partikel berukuran besar. Selanjutnya, limbah cair dianalisis karakteristik awalnya meliputi parameter pH, kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS) sebagai data awal sebelum perlakuan.

2.4.2. Preparasi Biji Alpukat

Biji alpukat segar sebanyak 1 kg dipisahkan dari daging buah, kemudian dicuci menggunakan air mengalir hingga bersih untuk menghilangkan sisa daging buah dan kotoran yang menempel. Biji alpukat kemudian dipotong menjadi ukuran lebih kecil untuk mempercepat proses pengeringan. Selanjutnya, biji alpukat dikeringkan menggunakan oven pada suhu ± 80 °C hingga kadar air berkurang dan diperoleh biji alpukat kering. Biji alpukat kering kemudian digiling menggunakan blender hingga menjadi serbuk dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

2.4.3. Proses Ekstraksi Tanin Biji Alpukat

Sebanyak 100 gram serbuk biji alpukat dimasukkan ke dalam wadah tertutup, kemudian ditambahkan 400 mL pelarut etanol 70%. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan metode maserasi tanpa pemanasan pada suhu ruang dengan variasi waktu maserasi selama 60, 72, dan 84 jam. Selama proses maserasi, campuran diaduk secara berkala untuk meningkatkan kontak antara pelarut dan bahan.

Setelah waktu maserasi tercapai, campuran disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan filtrat dan ampas. Filtrat hasil maserasi kemudian didistilasi untuk menghilangkan pelarut etanol sehingga diperoleh ekstrak biji alpukat yang mengandung senyawa tanin.

2.4.4. Analisis Kandungan Tanin

Analisis kandungan tanin dilakukan dalam dua tahap, yaitu sebagai berikut.

- Analisis kualitatif, menggunakan uji fitokimia untuk mengidentifikasi keberadaan senyawa tanin dalam ekstrak biji alpukat.
- Analisis kuantitatif, menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis untuk menentukan kadar tanin berdasarkan

absorbansi larutan ekstrak pada panjang gelombang tertentu.

2.4.5. Proses Koagulasi-Flokulasi

Proses koagulasi dilakukan dengan menambahkan ekstrak biji alpukat ke dalam 250 mL limbah cair industri tahu dengan variasi volume koagulan sebesar 3, 4, 5, dan 6 mL. Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 150 rpm selama 5 menit untuk proses koagulasi, kemudian dibiarkan selama 60 menit untuk proses pengendapan flok. Setelah proses pengendapan, campuran disaring untuk memisahkan flok yang terbentuk dari filtrat.

2.4.6. Teknik Analisis Parameter Limbah

Filtrat hasil penyaringan dianalisis kembali untuk mengetahui efektivitas koagulan alami dari biji alpukat terhadap kualitas limbah cair industri tahu. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut.

- pH, diukur menggunakan pH meter.
- Kekeruhan, diukur menggunakan turbidimeter.
- *Chemical Oxygen Demand* (COD), dianalisis menggunakan metode standar.
- *Total Suspended Solids* (TSS), dianalisis menggunakan metode gravimetri.

Hasil analisis setelah perlakuan kemudian dibandingkan dengan karakteristik awal limbah cair serta baku mutu air limbah industri tahu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016.

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)
Sampel Biji Alpukat 60 Jam	4,996
Sampel Biji Alpukat 72 Jam	5,589
Sampel Biji Alpukat 84 Jam	6,373

Tabel 2. Hasil pengukuran awal limbah tahu

Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan
Kekeruhan	296,000 NTU
pH	5,02
TSS	300,000 mg/L
COD	2061,282 mg/L

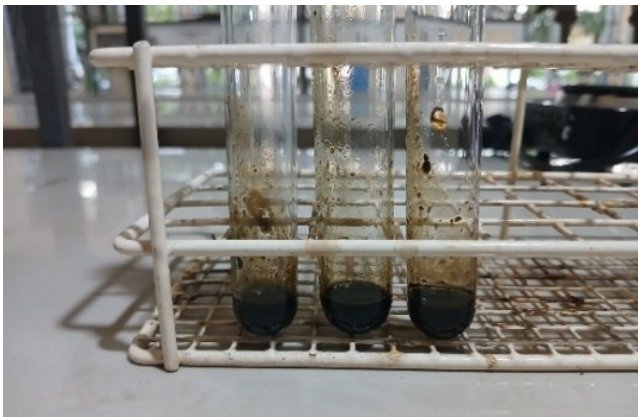
Tabel 3. Hasil Nilai TSS, Kekeruhan, dan pH

Waktu Maserasi (Jam)	Jumlah Koagulan (mL)	TSS (mg/L)	Kekeruhan (NTU)	pH	COD (mg/L)
60	3	237	28,6	4,4	350
	4	234	37,8	4,46	346
	5	210	41,4	4,55	335
	6	194	55,3	5,17	227
72	3	210	25,6	4,9	325
	4	217	30,5	5,08	303
	5	181	50,6	5,12	279
	6	180	77,4	5,26	250
84	3	198	17,2	4,9	303
	4	190	33,8	4,81	285
	5	187	41,6	4,99	249
	6	166	49,8	5,44	221

3.2. Pembahasan

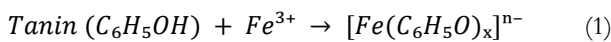
3.2.1. Kandungan tanin

Hasil uji fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak biji alpukat mengandung senyawa tanin, yang ditandai dengan terbentuknya warna hitam kehijauan setelah penambahan larutan $FeCl_3$ 1%. Perubahan warna tersebut terjadi akibat pembentukan kompleks antara ion Fe^{3+} dan gugus fenolik pada senyawa tanin, sehingga mengindikasikan keberadaan tanin dalam ekstrak biji alpukat (Mulyani et al., 2025).

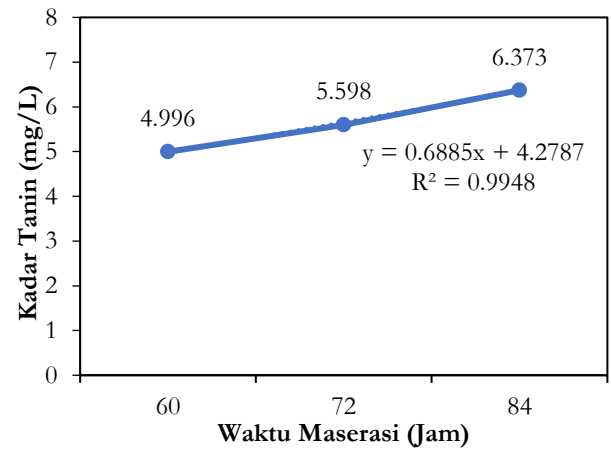


Gambar 1. Hasil uji fitokimia terhadap senyawa tanin

Gambar 1 yang menunjukkan perubahan warna ekstrak dalam tabung reaksi setelah diberi pereaksi $FeCl_3$. Warna ini terbentuk sebagai hasil dari reaksi kompleksasi antara senyawa tanin dan ion ferri (Fe^{3+}), secara umum dapat direpresentasikan sesuai dengan Persamaan (1).



Perubahan warna menjadi gelap tersebut juga dapat dijadikan indikator visual dalam mendeteksi kandungan tanin dalam bahan alam (Harborne, 1973). Sebagai kelanjutan dari identifikasi kualitatif tersebut, dilakukan analisis kuantitatif untuk mengetahui kadar tanin menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Hasil pengukuran kadar tanin menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya waktu maserasi, sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.

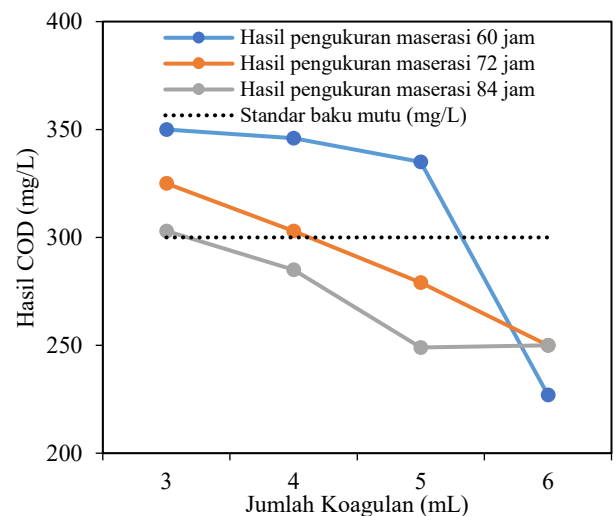


Gambar 2. Diagram Kadar Tanin Terhadap Waktu Maserasi

Hubungan antara waktu maserasi dan kadar tanin menunjukkan korelasi yang sangat kuat, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,9948$ dianalisis menggunakan regresi linier, dengan persamaan $y = 0,6885x + 4,2787$. Hal ini selaras dengan teori difusi senyawa aktif dalam proses ekstraksi, yaitu semakin lama waktu maserasi maka semakin besar peluang senyawa fenolik, termasuk tanin, untuk berdifusi keluar dari sel tumbuhan ke dalam pelarut (Cai et al., 2004).

3.2.2. Hasil Analisis Chemical Oxygen Demand

Gambar 3 menunjukkan kecenderungan penurunan nilai Chemical Oxygen Demand (COD), seiring dengan peningkatan jumlah koagulan pada seluruh variasi waktu maserasi. Pada waktu maserasi 60 jam, nilai COD menurun dari 350 mg/L penambahan koagulan 3 mL menjadi 227 mg/L pada 6 mL. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah koagulan meningkatkan kemampuan pengikatan senyawa organik terlarut melalui mekanisme destabilisasi koloid dan pembentukan flok (Rizqullah et al., 2025).



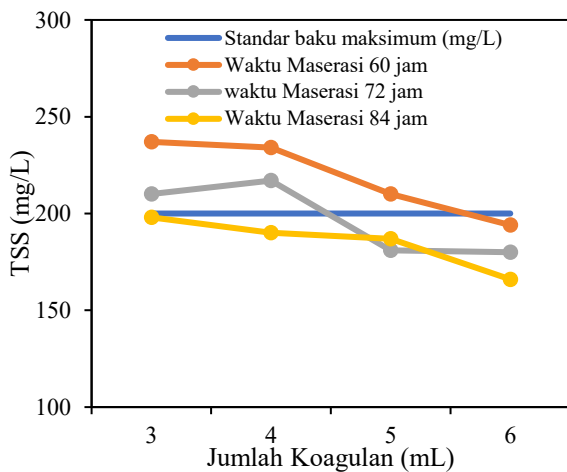
Gambar 3. Pengaruh Jumlah koagulan terhadap hasil COD

Pada maserasi 72 jam, nilai COD menurun hingga 279 mg/L penambahan koagulan 5 mL, kemudian sedikit meningkat menjadi 250 mg/L pada 6 mL. Kondisi ini

mengindikasikan terjadinya kelebihan koagulan yang menyebabkan penurunan kestabilan flok dan berkurangnya efisiensi pengendapan. Pada waktu maserasi 84 jam, nilai COD mengalami penurunan secara konsisten hingga mencapai 221 mg/L. Nilai ini telah memenuhi baku mutu COD berdasarkan Peraturan Menteri lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016, yang menetapkan batas maksimum COD sebesar 300 mg/L.

3.2.3. Hasil Analisis Total Suspended Solids

Gambar 4 menunjukkan pengaruh jumlah koagulan alami dari biji alpukat terhadap nilai TSS pada limbah cair tahu dengan variasi waktu maserasi 60, 72, dan 84 jam. Secara umum, nilai TSS mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jumlah koagulan yang ditambahkan, meskipun tidak seluruh perlakuan menunjukkan penurunan yang konsisten.



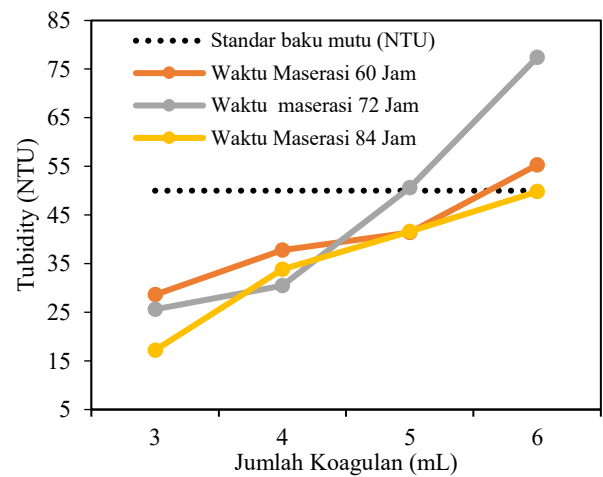
Gambar 4. Pengaruh Jumlah koagulan terhadap hasil TSS

Pada maserasi 60 jam, nilai TSS mengalami penurunan dari 237 mg/L pada penambahan 3 mL menjadi 194 mg/L pada 6 mL. Namun, hanya perlakuan dengan jumlah koagulan 6 mL yang mampu memenuhi baku mutu TSS sebesar 200 mg/L sesuai dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016. Pada maserasi 72 jam, nilai TSS mengalami kenaikan dari 210 mg/L menjadi 217 mg/L pada penambahan koagulan 4 mL, kemudian kembali menurun hingga 180 mg/L pada penambahan 6 mL. Kenaikan sementara tersebut kemungkinan terjadi karena jumlah koagulan belum mencapai kondisi optimum, sehingga flok yang terbentuk belum stabil dan sebagian partikel tersuspensi terdispersi kembali (Chung et al., 2018). Pada maserasi 84 jam, nilai TSS turun konsisten dari 198 mg/L penambahan koagulan 3 mL menjadi 166 mg/L pada 6 mL, dan seluruh perlakuan pada waktu maserasi ini telah memenuhi baku mutu.

3.2.4. Hasil Analisis Kekeruhan

Gambar 5 menunjukkan pengaruh jumlah koagulan alami biji alpukat terhadap nilai kekeruhan limbah cair industri tahu pada waktu maserasi 60, 72, dan 84 jam. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia

Nomor 68 Tahun 2016, parameter kekeruhan tidak ditetapkan sebagai baku mutu air limbah. Oleh karena itu, evaluasi kekeruhan dilakukan dengan membandingkan nilai sebelum dan sesudah perlakuan koagulasi–flokulasi.



Gambar 5. Pengaruh Jumlah koagulan terhadap nilai Kekeruhan

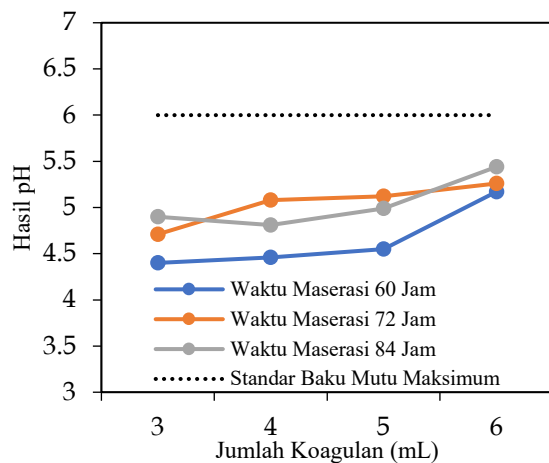
Nilai kekeruhan awal limbah sebesar 296 NTU mengalami penurunan pada seluruh perlakuan, yang menunjukkan bahwa ekstrak biji alpukat efektif dalam mendestabilisasi partikel koloid dan membentuk flok yang mudah mengendap. Waktu maserasi 84 jam menghasilkan nilai kekeruhan terendah, yang mengindikasikan kandungan senyawa aktif, khususnya tanin, berada pada kondisi yang lebih optimal.

Penambahan koagulan sebesar 3–5 mL menunjukkan penurunan kekeruhan yang lebih efektif dibandingkan penambahan 6 mL. Peningkatan nilai kekeruhan pada dosis 6 mL menunjukkan terjadinya overdosis koagulan yang menyebabkan reflokulasi, yaitu pecahnya flok yang telah terbentuk sehingga partikel tersuspensi kembali terdispersi dalam larutan (Anifah et al., 2024).

Secara keseluruhan, meskipun tidak terdapat baku mutu kekeruhan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016, penurunan nilai kekeruhan dibandingkan kondisi awal menunjukkan bahwa koagulan alami biji alpukat efektif dalam memperbaiki kualitas fisik limbah cair industri tahu.

3.2.5. Hasil Analisis pH

Gambar 6 menunjukkan perubahan nilai pH limbah cair tahu setelah penambahan koagulan alami dari biji alpukat dengan variasi waktu maserasi. Nilai pH awal limbah sebesar 5,2 mengalami perubahan setelah proses koagulasi. Pada waktu maserasi 60 jam, nilai pH mengalami penurunan paling signifikan dengan rata-rata mencapai 4,69.



Gambar 6. Pengaruh jumlah Koagulan terhadap nilai pH

Penurunan nilai pH ini menunjukkan bahwa senyawa tanin dalam ekstrak masih bersifat aktif. Tanin merupakan senyawa polifenol dengan gugus hidroksil aromatik yang memiliki kecenderungan melepaskan ion H^+ dalam larutan, sehingga menyebabkan penurunan pH secara langsung (Angebot, 1990). Sebaliknya, pada waktu maserasi 72 dan 84 jam, nilai pH mengalami peningkatan rata-rata menjadi 5,09 dan 5,03. Peningkatan ini diduga disebabkan oleh terjadinya oksidasi dan perubahan struktur kimia tanin selama proses maserasi yang lebih lama, sehingga menurunkan aktivasi ioniknya. Selain itu, kemungkinan terestrasinya senyawa lain seperti flavonoid atau alkaloid yang bersifat netral hingga sedikit basa juga dapat memenuhi keseimbangan pH larutan (Chen et al., 2017). Meskipun terjadi fluktuasi, nilai pH hasil limbah cair tahu mengalami peningkatan setelah perlakuan koagulasi, namun masih berada di bawah batas minimum baku mutu pH (6-9) sehingga diperlukan perlakuan lanjutan untuk penyesuaian pH.

Kesimpulan

Berdasarkan kondisi penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa maserasi biji alpukat menghasilkan senyawa tanin, dengan kadar tertinggi diperoleh pada waktu maserasi 84 jam sebesar 6,373 mg/L. Penambahan koagulan alami dari ekstrak biji alpukat berpengaruh terhadap penurunan nilai COD, TSS, dan kekeruhan limbah cair tahu, dengan penurunan COD dan TSS terbaik pada koagulan 6 mL (COD 221 mg/L, TSS 166 mg/L) dan penurunan kekeruhan paling efektif pada koagulan 3 mL (17,2 NTU). Nilai pH meningkat setelah koagulasi, namun belum memenuhi batas minimum baku mutu. Hasil ini menunjukkan ekstrak biji alpukat berpotensi sebagai koagulan alami untuk pengolahan limbah cair tahu. Keterbatasan penelitian meliputi pH yang belum memenuhi baku mutu dan terbatasnya parameter yang dianalisis, sehingga penelitian selanjutnya disarankan mengombinasikan metode lain dan menambah parameter analisis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing atas bimbingan dan arahan yang diberikan, kepada orang tua dan keluarga atas dukungan dan doa yang selalu menyertai, serta kepada Politeknik Negeri Sriwijaya atas fasilitas

yang diberikan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan dipublikasikan dengan baik.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Robiah: Perencanaan penelitian, Pengambilan data, Penulisan draf asli. Akbar Ismi Aziz Pramito: Konseptualisasi penelitian, supervisi, penelaahan, penyuntingan naskah. Robert Junaidi: Konseptualisasi penelitian, supervisi, penelaahan dan penyuntingan naskah.

Daftar Pustaka

- Angebot, L. (1990). Plant polyphenols: Vegetable tannins revisited. *Biochemical Systematics and Ecology*, 18(5), 390. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(90\)90019-C](https://doi.org/10.1016/0305-1978(90)90019-C)
- Anifah, E. M., Sholikah, U., Ariani, I. K., Yorika, R., & Raharti, H. W. (2024). Coagulation-Flocculation of Tofu Wastewater using Natural Coagulant of Chempedak (*Artocarpus integer*) Seed. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(2), 281–288.
- Ariefianti, A. R., Rexita, M. K. H., & Budiono, A. (2024). Studi Literatur Pengaruh Berbagai Koagulan Terhadap Pengolahan Limbah Cair Tahu. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(4), 889–901. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i4.6325>
- Cai, Y., Luo, Q., Sun, M., & Corke, H. (2004). Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer. *Life Sciences*, 74(17), 2157–2184. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2003.09.047>
- Chen, D.-Z., Jiang, N.-X., Ye, J.-X., Cheng, Z.-W., Zhang, S.-H., & Chen, J.-M. (2017). Comparative investigation on a hexane-degrading strain with different cell surface hydrophobicities mediated by starch and chitosan. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(9), 3829–3837. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8100-4>
- Chung, C. Y., Selvarajoo, A., Sethu, V., Koyande, A. K., Arputhan, A., & Lim, Z. C. (2018). Treatment of palm oil mill effluent (POME) by coagulation flocculation process using peanut-okra and wheat germ-okra. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(9), 1951–1970. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1619-y>
- Dewi, A. B., Wulandari, C. D., & Setyobudiarso, H. (2025). Pemanfaatan Biji Pepaya Sebagai Koagulan Alami Untuk Menurunkan Kadar Pencemar Pada Limbah Cair Batik. *Jurnal Mahasiswa " ENVIRO"*, 4(2), 7.
- Harborne, J. B. (1973). *Phytochemical methods* London Chapman and Hall. Ltd.

- Hutabarat, D. M., Witasari, W. S., & Baskoro, R. (2023). Pengaruh Jenis Koagulan Dan Variasi pH Terhadap Kualitas Limbah Cair Di Instalasi Pengolahan Air Limbah PT Kawasan Industri Intiland. *Distilat J. Teknol. Separasi*, 8(3), 588–594.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2016).
- Khalista, N. N. (2016). Analisis kadar BOD, COD, NH₃-N, dan TSS pada limbah cair industri tahu serta dampaknya terhadap lingkungan. Universitas Jember.
- Koul, B., Bhat, N., Abubakar, M., Mishra, M., Arukha, A. P., & Yadav, D. (2022). Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals. *Water*, 14(22), 3751. <https://doi.org/10.3390/w14223751>
- Krupińska, I. (2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*, 25(3), 641. <https://doi.org/10.3390/molecules25030641>
- Makkar, H. P. S. (2003). Tannin Bioassay. In *Quantification of Tannins in Tree and Shrub Foliage* (pp. 75–81). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0273-7_11
- Malangngi, L., Sangi, M., & Paendong, J. (2012). Penentuan Kandungan Tanin dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Biji Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.). *Jurnal MIPA*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.35799/jm.1.1.2012.423>
- Muliyani, P., Budiarti, Y., & Fauzi, M. (2025). Studi Fitokimia: Identifikasi Senyawa Metabolit Sekunder Dari Ekstrak Daun Mengkrengan (*Polygonum barbatum* L.) di KALIMANTAN. *Jurnal Farmasi IKIFA*, 4(1), 87–94.
- Risnawati, J. (2024). Pemanfaatan ekstrak biji alpukat (*Persea americana* Mill) sebagai biokoagulan pada pengolahan air limbah industri tahu . PNUP.
- Rizqullah, T. A., Budiono, A., & Yulianto, E. (2025). Penentuan Dosis Optimal Koagulan Dan Flokulan Dengan Mengontrol Ph Pada Unit Waste Water Treatmen Plant Pt Paiton Operation & Maintenance Indonesia. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi: Politeknik Negeri Malang*, 11(1), 201–207.
- Romli, M., & Suprihatin, S. (2009). Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Tahu dan Analisis Alternatif Strategi Pengelolaannya. *Jurnal Purifikasi*, 10(2), 141–154.
- Sulaiman, S. F., Sajak, A. A. B., Ooi, K. L., Supriatno, & Seow, E. M. (2011). Effect of solvents in extracting polyphenols and antioxidants of selected raw vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4–5), 506–515. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.020>