



Ekstraksi *Crude* Tanin dari Biji Pepaya (*Carica papaya* L.) sebagai Koagulan Alami untuk Pengolahan Limbah Cair Tahu

Mawar Amanda, Linda Ekawati, Muhammad Yerizam

Jurusan Teknik Kimia, Program Studi D4 Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya

mawaramanda24@gmail.com

Abstrak

Limbah cair dari industri tahu memiliki kandungan zat organik yang tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan jika dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk mengekstraksi tanin dari biji pepaya (*Carica papaya* L.) melalui metode maserasi menggunakan pelarut etanol 70%, serta menguji efektivitasnya sebagai koagulan alami dalam pengolahan limbah cair tahu. Variasi waktu maserasi yang digunakan adalah 48, 60, 72, 84, dan 96 jam, sementara dosis koagulan yang diterapkan berkisar antara 3, 4, 5, 6, dan 7 mL untuk setiap 250 mL limbah. Parameter yang dianalisis meliputi kadar tanin (menggunakan spektrofotometri UV-Vis), pH, kekeruhan, TSS, dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar tanin tertinggi dicapai pada waktu maserasi 96 jam dengan nilai 6,10 mgTAE/g. Kondisi optimum diperoleh pada dosis koagulan 6 mL dengan waktu maserasi 96 jam, yang berhasil menurunkan TSS dari 680 mg/L menjadi 145 mg/L dan COD dari 1.120 mg/L menjadi 183 mg/L. Kedua parameter tersebut telah memenuhi baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Meskipun demikian, pH akhir (4,33) masih berada di bawah batas standar (6,0–9,0), sehingga diperlukan tahap netralisasi tambahan sebelum limbah dibuang. Penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak biji pepaya berpotensi dikembangkan sebagai koagulan alami yang efektif dan ramah lingkungan. Pendekatan ekstraksi cair ini juga menawarkan keunggulan berupa kebutuhan dosis yang lebih rendah serta kadar tanin yang lebih terukur dibandingkan penggunaan bubuk biji secara langsung.

Kata kunci: Biji Pepaya, Tanin, Koagulan Alami, Maserasi, Limbah Tahu.

Abstract

Tofu industry wastewater contains high concentrations of organic matter and may cause environmental pollution if discharged without adequate treatment. This study aims to extract tannins from papaya seeds (*Carica papaya* L.) through maceration using 70% ethanol and evaluate their effectiveness as natural coagulants in tofu wastewater treatment. Maceration durations were varied at 48, 60, 72, 84, and 96 hours, while coagulant dosages ranged from 3 to 7 mL per 250 mL of wastewater. The analyzed parameters included tannin concentration, determined using UV-Vis spectrophotometry, pH, turbidity, total suspended solids (TSS), and chemical oxygen demand (COD). The results revealed that the highest tannin concentration, 6.10 mgTAE/g, was obtained after 96 hours of maceration. Optimum treatment conditions were achieved using 6 mL of coagulant extracted through 96-hour maceration, reducing TSS from 680 to 145 mg/L and COD from 1,120 to 183 mg/L. Both parameters complied with the wastewater quality standards established by Indonesian Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014. However, the final pH of 4.33 remained below the permissible range of 6.0–9.0, indicating that additional neutralization is required before discharge. These findings demonstrate that papaya seed extract represents a promising, effective, and environmentally friendly natural coagulant. Furthermore, liquid extraction offers advantages over direct seed powder application, including lower dosage requirements and more accurately measurable tannin concentrations.

Keywords: Papaya Seeds; Tannins; Natural Coagulant; Maceration; Tofu Wastewater

1. Pendahuluan

Industri tahu di Indonesia berkembang pesat dan mencakup berbagai skala usaha mulai dari skala rumah tangga hingga industri kecil di seluruh penjuru negeri. Proses produksi tahu membutuhkan volume air yang besar sekitar 75–150 liter per kilogram kedelai yang diolah dan sebagian besar air tersebut dibuang sebagai limbah cair yang mengandung sisa protein, lemak, dan karbohidrat (Dewi dkk., 2025); (Ariefianti dkk., 2024). Limbah ini biasanya mengandung jumlah COD, TSS, dan tingkat kekeruhan yang sangat tinggi, serta memiliki pH yang rendah, yang mana bisa berisiko bagi ekosistem perairan jika dibuang tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu (Robiah dkk., 2026). Pemerintah Indonesia telah menetapkan baku mutu limbah cair bagi industri tahu melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, yang menetapkan

batas maksimum 300 mg/L untuk COD, 200 mg/L untuk TSS, serta rentang pH 6,0–9,0 (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 2014). Namun, air limbah yang dihasilkan oleh usaha berskala kecil sering kali melampaui batas-batas tersebut; sebagai contoh, kadar COD dapat mencapai 1.132 mg/L dan TSS sebesar 1.052 mg/L (Ba'adilla dkk., 2025). Kondisi ini menegaskan perlunya teknologi pengolahan yang efisien, terjangkau, dan ramah lingkungan.

Metode koagulasi-flokulasi banyak digunakan dalam pengolahan air limbah. Meskipun koagulan sintesis, seperti tawas dan PAC menawarkan efisiensi tinggi, penggunaannya meninggalkan residu logam berat yang dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia dan ekosistem. Sebagai solusinya, koagulan alami semakin menarik perhatian karena sifatnya yang dapat terurai secara hayati, tidak beracun, dan aman (Robiah dkk., 2026).

Biji pepaya (*Carica papaya* L.) mengandung tanin senyawa polifenol yang mampu mengikat protein dan partikel koloid melalui gugus hidroksil fenolik yang dimilikinya. Selain tanin, biji ini kaya akan flavonoid, saponin, dan protein yang juga berperan dalam proses koagulasi (Surbakti dkk., 2023; Wilorianza dkk., 2023). Meskipun berbagai penelitian telah memanfaatkan biji pepaya sebagai koagulan, sebagian besar masih mengandalkan penggunaan langsung bubuk biji; metode ini memiliki kekurangan, seperti kebutuhan dosis yang tinggi dan kesulitan dalam mengukur kadar tanin secara akurat. Penggunaan ekstrak tanin cair menawarkan beberapa keuntungan, antara lain kebutuhan dosis yang lebih rendah, kadar tanin yang dapat diukur, serta tidak adanya penambahan padatan terlarut (Robiah dkk., 2026).

Penelitian ini bertujuan untuk mengekstrak tanin dari biji pepaya dengan metode maserasi menggunakan etanol 70%, serta menguji efektivitas ekstrak tersebut sebagai koagulan alami dalam menurunkan parameter pencemar (pH, kekeruhan, TSS, dan COD) limbah cair tahu. Pengaruh waktu maserasi (48–96 jam) dan dosis koagulan (3–7 mL per 250 mL limbah) dievaluasi untuk menentukan kondisi optimum. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan solusi yang ramah lingkungan untuk pengolahan limbah tahu dan memanfaatkan limbah biji pepaya yang melimpah.

2. Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi oven, blender, ayakan 80 mesh, timbangan analitik, *hotplate*, magnetik *stirrer*, seperangkat alat destilasi sederhana, spektrofotometer UV-Vis, pH meter, turbidimeter, serta peralatan refluks untuk uji COD. Bahan utama yang digunakan adalah biji pepaya (*Carica papaya* L.) dari buah telah matang dan limbah cair tahu yang diperoleh dari produsen lokal. Bahan kimia yang digunakan meliputi etanol 70%, asam galat, reagen Folin-Ciocalteu, Na₂CO₃ 15%, FeCl₃ 1%, larutan buffer pH 4, 7, dan 10, serta reagen COD (K₂Cr₂O₇, H₂SO₄, Ag₂SO₄, HgSO₄).

Penelitian diawali dengan persiapan sampel biji pepaya. Biji yang telah dikumpulkan dibersihkan dari sisa daging buah dan lapisan lendir (sarkotesta) dengan pencucian menggunakan air mengalir. Biji tersebut kemudian dibiarkan mengering di bawah sinar matahari selama 3–4 hari hingga kadar airnya rendah. Biji yang telah kering kemudian digiling dan diayak menggunakan saringan ukuran 80 mesh untuk menghasilkan bubuk yang seragam. Ekstraksi tanin dilakukan dengan metode maserasi, di mana 100 g bubuk biji pepaya dimasukkan ke dalam botol gelap dan direndam dalam 400 mL etanol 70% (rasio 1:4) pada suhu ruang.

Waktu maserasi divariasikan selama 48, 60, 72, 84, dan 96 jam, dengan pengadukan dilakukan setiap 24 jam selama 5–10 menit. Setelah proses maserasi selesai, campuran disaring untuk membedakan filtrat dari sisa. Filtrat yang diperoleh berupa ekstrak *crude* tanin, kemudian didestilasi sederhana untuk mengurangi volume pelarut dan meningkatkan konsentrasi tanin. Sebelum analisis kuantitatif, keberadaan tanin dalam ekstrak diuji secara kualitatif dengan menambahkan 3 tetes FeCl₃ 1% ke dalam 1 mL ekstrak, perubahan warna menjadi hitam kehijauan mengindikasikan adanya tanin terkondensasi. Kadar total tanin diukur secara kuantitatif dengan metode Folin-Ciocalteu dengan spektrofotometer

UV-Vis pada panjang gelombang 744,8 nm. Kurva kalibrasi dengan larutan asam galat yang biasa digunakan dengan rentang konsentrasi 0 hingga 100 ppm. Sebanyak 0,5 mL larutan standar dicampurkan 2,5 mL reagen Folin-Ciocalteu (1:10) dan 2 mL Na₂CO₃ 15%, lalu diinkubasi di tempat gelap. Absorbansi diukur, dan kadar tanin ditentukan menggunakan persamaan regresi dari kurva kalibrasi.

Pemberian koagulan dengan mengambil sampel sebanyak 250 mL dan menambahkan ekstrak tanin dengan dosis 3, 4, 5, 6, atau 7 mL. Proses koagulasi-flokulasi melibatkan Pengadukan intensif pada kecepatan 300 rpm selama 5 menit, dilanjutkan dengan pengadukan perlahan pada kecepatan 100 rpm selama 25 menit, serta proses pengendapan selama 60 menit. Supernatan jernih diambil untuk dianalisis. Parameter diukur meliputi pH (SNI 06-6989.11-2004) (Badan Standarisasi Nasional, 2004), kekeruhan (SNI 06-6989.25-2005) (Badan Standarisasi Nasional, 2005), TSS metode gravimetri (SNI 6989.3-2019) (Badan Standarisasi Nasional, 2019b), dan COD (SNI 6989.2:2009) (Badan Standarisasi Nasional, 2019a).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Analisis Kualitas Limbah

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi waktu maserasi terhadap kadar tanin yang diekstrak serta mengevaluasi efektivitas ekstrak tanin tersebut sebagai koagulan dalam mengurangi tingkatan polutan pada air limbah tahu.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kadar Tanin Ekstrak Biji Pepaya dengan Spektrofotometri UV-Vis

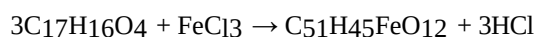
Waktu Maserasi (jam)	Kadar Tanin (mgTAE/g)
48	5.18
60	5.43
72	5.70
84	5.90
96	6.10

Tabel 2. Karakterisasi Awal Limbah Tahu

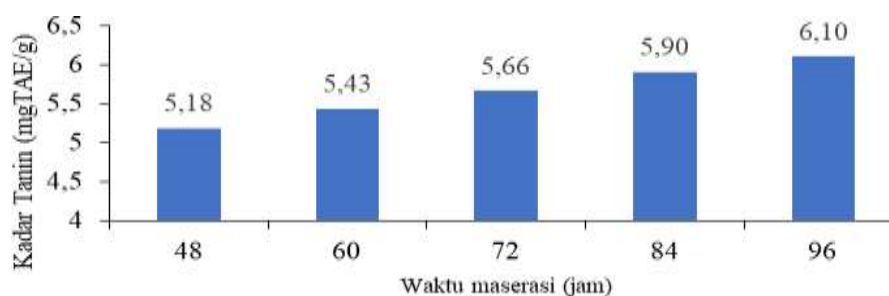
No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa
1	<i>Total Suspended Solids (TSS)</i>	mg/L	200	680
2	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	mg/L	300	1120
3	Kekeruhan (NTU)	NTU	-	259
4	pH	-	6,0-9,0	3,26

3.2 Kadar Tanin Hasil Ekstraksi Biji Pepaya

Ekstraksi tanin dari biji pepaya dilakukan dengan metode maserasi etanol 70% sebagai pelarut selama variasi waktu 48, 60, 72, 84, dan 96 jam. Sebelum dilakukan pengukuran kadar, terlebih dahulu dilakukan identifikasi awal untuk memastikan bahwa senyawa yang diekstrak adalah golongan tanin. Identifikasi ini dilakukan melalui uji fitokimia dengan mereaksikan ekstrak dengan larutan FeCl_3 1%. Adanya gugus hidroksil fenolik dalam struktur tanin menyebabkan terjadinya ikatan kompleks dengan ion Fe^{3+} yang membentuk senyawa kompleks berwarna gelap (Hariyanti dkk., 2024). Pada pengujian yang dilakukan, sampel ekstrak biji pepaya menunjukkan perubahan warna menjadi hijau kehitaman, yang secara spesifik menandakan bahwa tanin yang terkandung di dalamnya termasuk dalam kelompok tanin terkondensasi (Taminggu & Tahril, 2022). Reaksi yang mendasari perubahan warna ini dapat dituliskan sebagai berikut:



Setelah keberadaan tanin terkonfirmasi secara kualitatif, dilakukan analisis kuantitatif untuk menentukan kadarnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan pereaksi Folin-Ciocalteu. Metode ini memanfaatkan reaksi redoks di mana gugus fenolik (ROH) dalam tanin teroksidasi menjadi bentuk quinoid ($R=O$), sementara reagen Folin-Ciocalteu yang mengandung asam fosfotungstat dan asam fosmolibdat tereduksi membentuk senyawa kompleks molybdenum-tungsten berwarna biru (Rauf dkk., 2021). Intensitas pembentukan warna biru berkorelasi langsung dengan konsentrasi tanin dalam sampel, sehingga dapat diukur secara kuantitatif menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengukuran absorbansi dalam penelitian ini dilakukan di panjang gelombang 744,8 nm, yang merupakan panjang gelombang maksimum hasil scanning larutan kompleks tanin-Folin-Ciocalteu dan (Ibrahim dkk., 2021) masih berada dalam rentang panjang gelombang yang umum digunakan untuk analisis tanin, yaitu antara 740-765 nm. Hasil pengukuran kadar tanin ditunjukkan pada Gambar 1.

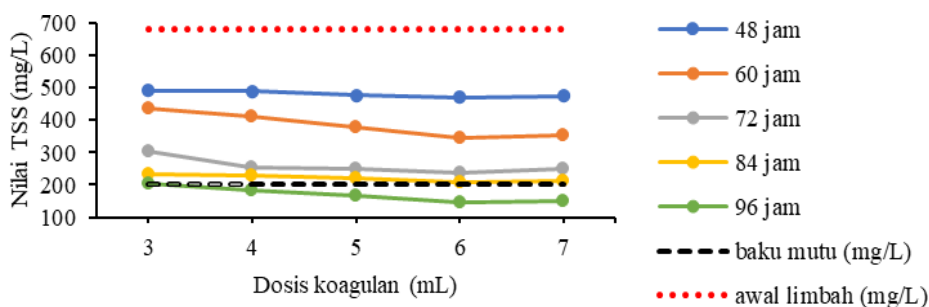


Gambar 1. Kadar Tanin terhadap Waktu Maserasi

Terlihat pada Gambar 1 bahwa peningkatan terjadi karena semakin lama waktu kontak antara serbuk biji dengan pelarut, semakin banyak senyawa fenolik yang berhasil berdifusi keluar menuju fase cair sehingga mencapai kondisi jenuh [4]. Pola grafik yang terus meningkat mengindikasikan bahwa pada rentang waktu maserasi 48-96 jam, proses ekstraksi masih berada pada fase peningkatan dan belum mencapai titik jenuh. Hasil ini selaras dengan penelitian (Wilorianza dkk., 2023) yang menunjukkan kadar tanin biji pepaya sebesar $4,31 \pm 0,65$ mg GAE/g, serta penelitian Robiah dkk. (2026) pada biji alpukat yang memperoleh kadar tanin tertinggi 6,373 mg/L pada waktu maserasi 84 jam.

3.3 Pengaruh Waktu Maserasi dan Dosis Koagulan Terhadap Total Suspended Solid

Pengaruh dosis koagulan terhadap penurunan TSS disajikan pada Gambar 2.



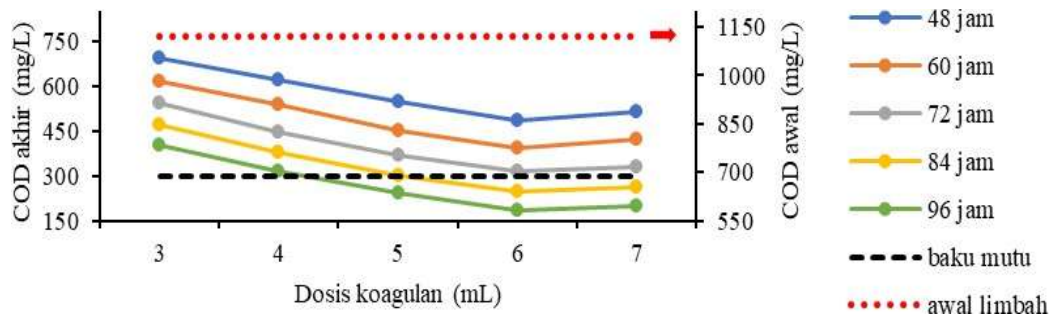
Gambar 2. Pengaruh Dosis Koagulan terhadap Nilai TSS pada Waktu Maserasi

Berdasarkan Gambar 2, penambahan koagulan ekstrak biji pepaya menurunkan TSS secara signifikan pada semua variasi waktu maserasi. Pada waktu maserasi 48 jam, TSS turun dari 492 mg/L (dosis 3 mL) menjadi 470 mg/L (dosis 6 mL), menjadi 145 mg/L pada dosis yang sama. Penurunan terjadi karena tanin dan protein dalam ekstrak berperan sebagai polielektrolit yang menetralkan muatan negatif partikel koloid, sehingga membentuk flok yang mudah mengendap (Surbakti dkk., 2023). Waktu maserasi yang lebih lama meningkatkan kadar tanin yang terekstrak, sehingga efektivitas pengikatan padatan tersuspensi semakin optimal.

Namun, pada dosis 7 mL terjadi sedikit peningkatan TSS (152 mg/L pada waktu maserasi 96 jam) yang mengindikasikan kondisi overdosis (restabilisasi muatan) di mana partikel koloid yang telah menggumpal pecah kembali menjadi partikel halus yang tidak sempat mengendap. Kondisi optimum diperoleh pada kombinasi waktu maserasi 96 jam dan dosis 6 mL, dengan nilai 145 mg/L yang telah memenuhi baku mutu 200 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

3.4 Pengaruh Waktu Maserasi dan Dosis Koagulan Terhadap Chemical Oxygen Demand

Pengaruh dosis koagulan terhadap penurunan COD disajikan pada Gambar 3.



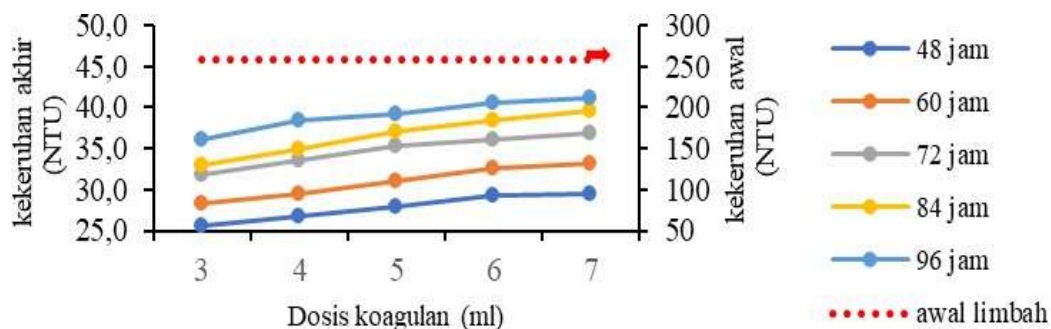
Gambar 3. Pengaruh Dosis Koagulan terhadap Nilai COD pada Waktu Maserasi

Berdasarkan Gambar 3, penambahan koagulan menurunkan COD secara signifikan pada semua variasi waktu maserasi. Nilai COD awal limbah tahu sebesar 1.120 mg/L, jauh melampaui baku mutu 300 mg/L. Pada waktu maserasi 48 jam, COD turun dari 694 mg/L (dosis 3 mL) menjadi 486 mg/L (dosis 6 mL), sedangkan pada waktu maserasi 96 jam, penurunan lebih tajam dari 205 mg/L menjadi 183 mg/L pada dosis yang sama. Penurunan ini terjadi karena tanin mengikat bahan organik terlarut melalui mekanisme jembatan polimer dan netralisasi muatan, sehingga senyawa organik terkoagulasi dan mengendap (Taminggu & Tahril, 2022).

Pada dosis 7 mL terjadi sedikit peningkatan COD (200 mg/L) yang mengindikasikan kondisi overdosis, serupa dengan pola pada parameter TSS. Kondisi optimum diperoleh pada waktu maserasi 96 jam dan dosis 6 mL, dengan nilai 183 mg/L yang telah memenuhi baku mutu 300 mg/L berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

3.5 Pengaruh Waktu Maserasi dan Dosis Koagulan Terhadap Kekeruhan (Turbidity)

Pengaruh dosis koagulan terhadap kekeruhan disajikan pada Gambar 4.



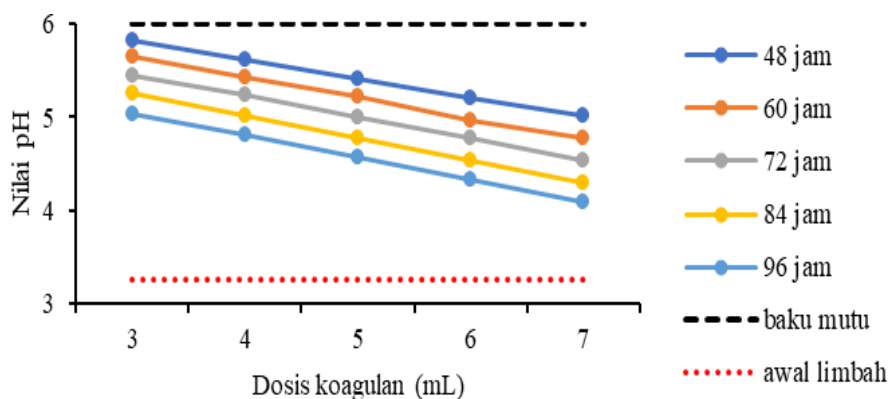
Gambar 4. Pengaruh Dosis Koagulan terhadap Kekeruhan pada Waktu Maserasi

Berdasarkan Gambar 4, nilai kekeruhan cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya dosis koagulan dari 3 mL hingga 7 mL pada semua variasi waktu maserasi. Pada waktu maserasi 48 jam, kekeruhan naik dari 25,6 NTU (dosis 3 mL) menjadi 29,5 NTU (dosis 7 mL), sedangkan pada waktu maserasi 96 jam, kenaikan dari 36,0 NTU menjadi 41,2 NTU. Kenaikan ini disebabkan oleh terbentuknya mikro-flok berukuran sangat kecil pada kondisi overdosis yang tidak cukup berat untuk mengendap, tetapi efektif menghamburkan cahaya sehingga pembacaan turbidimeter meningkat (Veazar dkk., 2024). Hubungan yang berlawanan antara TSS dan kekeruhan ini terjadi karena TSS mengukur massa padatan yang mengendap, sedangkan kekeruhan mengukur hamburan cahaya oleh partikel halus tersuspensi.

Meskipun terjadi peningkatan NTU seiring penambahan dosis, seluruh nilai akhir kekeruhan (25,6–41,2 NTU) masih jauh di bawah nilai awal limbah (259 NTU), yang menegaskan bahwa proses koagulasi tetap efektif dalam menjernihkan limbah secara keseluruhan. Parameter kekeruhan memang tidak diatur dalam baku mutu, namun pola peningkatan NTU ini tetap penting diperhatikan sebagai indikator bahwa dosis koagulan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan efek samping berupa peningkatan kekeruhan akibat mikro-flok yang tidak mengendap.

3.6 Pengaruh Waktu Maserasi dan Dosis Koagulan Terhadap pH

Pengaruh dosis koagulan terhadap pH disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Dosis Koagulan terhadap pH pada Waktu Maserasi

Berdasarkan Gambar 5, nilai pH cenderung menurun seiring dengan peningkatan dosis koagulan dari 3 mL menjadi 7 mL pada semua variasi waktu maserasi. Kondisi awal air limbah tahu menunjukkan pH sebesar 3,26, yang tergolong asam dan jauh di baku mutu 6,0–9,0. Pada waktu maserasi 48 jam, pH turun dari 5,82 (dosis 3 mL) menjadi 5,02 (dosis 7 mL), sedangkan pada waktu maserasi 96 jam, penurunan dari 5,04 menjadi 4,09. Penurunan terjadi karena ekstrak biji pepaya mengandung tanin yang bersifat asam, di mana gugus hidroksil fenolik melepaskan ion H^+ ke dalam larutan sehingga pH menurun. Durasi maserasi yang lebih panjang memperkuat pengaruh karena semakin banyak senyawa organik asam yang terekstraksi.

Seluruh nilai pH akhir (4,09–5,82) masih berada di bawah baku mutu minimum 6,0, sehingga meskipun parameter TSS dan COD telah memenuhi baku mutu, parameter pH masih menjadi kendala utama. Dengan demikian, diperlukan tahap netralisasi lanjutan menggunakan kapur atau NaOH agar pH limbah dapat dinaikkan ke rentang yang aman sebelum dibuang ke lingkungan.

4. Kesimpulan

Kandungan tanin yang diekstrak dari biji pepaya menggunakan pelarut etanol 70% meningkat seiring dengan bertambahnya waktu maserasi, mencapai nilai maksimum 6,10 mgTAE/g pada waktu 96 jam dan nilai minimum 5,18 mgTAE/g pada waktu 48 jam. Peningkatan dosis koagulan menjadi 6 mL per 250 mL air limbah menurunkan kadar TSS dari 680 mg/L menjadi 145 mg/L dan kadar COD dari 1.120 mg/L menjadi 183 mg/L, kedua parameter tersebut memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Sebaliknya, tingkat kekeruhan cenderung meningkat dan pH cenderung menurun seiring dengan peningkatan dosis koagulan. Kombinasi optimal antara waktu maserasi dan dosis koagulan masing-masing adalah 96 jam dan 6 mL per 250 mL air limbah. Namun, nilai pH akhir pada kondisi optimal tersebut (4,33) masih berada di bawah rentang

standar (6,0–9,0), yang menunjukkan bahwa air limbah tetap bersifat asam dan memerlukan tahap netralisasi sebelum dibuang ke lingkungan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menyertakan tahap netralisasi pH menggunakan kapur atau NaOH, serta menguji metode ekstraksi alternatif dan memperluas cakupan parameter pengujian guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif.

Reference

- [1] 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>
- [2] Ba'adilla, S., Aditya, W. N., & Laksono, U. T. (2025). Pengaruh Biokoagulan dari Kulit Pisang Kepok dan Biji Kelor Terhadap Kualitas Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Agroindustri Pangan*, 4(1), 1–17.
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.11-2004 Air dan air limbah - Bagian 11: Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/6816-sni06-698911-2004>
- [4] Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 06-6989.25-2005. Air dan air limbah - Bagian 25: Cara uji kekeruhan dengan nefelometer. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/6998-sni06-698925-2005>
- [5] Badan Standarisasi Nasional. (2019a). SNI 6989.2:2009 Air dan air limbah-Bagian 2: Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/7861-sni698922009>
- [6] Badan Standarisasi Nasional. (2019b). SNI 6989.3-2019 Tentang Air dan air limbah – Bagian 3: Cara uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solids/TSS) secara gravimetri. <https://pesta.bsn.go.id/produk/detail/12245-sni698932019>
- [7] Dewi, A. B., Wulandari, C. D., & Setyobudiarso, H. (2025). Pemanfaatan Biji Pepaya Sebagai Koagulan Alami untuk Menurunkan Kadar Pencemar pada Limbah Cair Batik. *Jurnal Enviro*.
- [8] Hariyanti, W., Masriani, M., Sasri, R., Sapar, A., Erlina, E., & Ersando, E. (2024). Determination of Total Tannin Content from Methanol Extracts of Various Species of Ferns (Pteridophyta). *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 12(2), 348. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i2.11597>
- [9] Ibrahim, A., Yaser, A. Z., & Lamaming, J. (2021). Synthesising tannin-based coagulants for water and wastewater application: A review. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 9, Number 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105007>
- [10] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2014). Lampiran XVIII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- [11] Rauf, S. H., Isa, I., & Musa, W. J. A. (2021). Ekstraksi Senyawa Fenolik dari Biji Pepaya (*Carica Papaya* Linn). *Jurnal Normalita*, 9(3), 553–561.
- [12] Robiah, Pramito, A. I. A., & Junaidi, R. (2026). Pembuatan Koagulan Alami dengan Proses Maserasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1–7.
- [13] Surbakti, C. I., Tarigan, Modesta, & Ginting, G. A. (2023). Evaluasi Pengujian mutu biji pepaya (*Carica papaya* L.) yang di ekstraksi secara maserasi dengan pelarut etanol 70%. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 6, 1303–1312.
- [14] Taminggu, E. R., & Tahril, T. (2022). Identifikasi Senyawa Metabolit Sekunder Pada Batang dan Daun Lamun (Seagrass) di Teluk Palu. *Media Eksakta*, 18(1), 6–11. <https://doi.org/10.22487/me.v18i1.1016>
- [15] Vezar, S. A. N., Belinda, Z. T., Agustina, T. E., Nasir, S., Hanum, L., & Andarin, D. (2024). The Use of Carica papaya seeds as Bio Coagulant for Laundry Wastewater Treatment. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s44147-024-00438-2>
- [16] Wilorianza, R., Emelda, E., Munir, M. A., & Fatmawati, A. (2023). The Effect of Solvent Concentration Against Specific and Non Specific Parameters of Standardization: Ethanolic Extract of Papaya Seed (*Carica papaya* Linn.). *Journal of Tropical Pharmacy and Chemistry*, 7(2), 105–113. <https://doi.org/10.25026/jtpc.v7i2.577>. <https://doi.org/10.26594/register.v5i1.1382>