

**PENGARUH BIOKOAGULAN DARI KULIT PISANG KEPOK DAN BIJI KELOR  
TERHADAP KUALITAS LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU**

*The Effect of Bio-Coagulants from Kepok Banana Peel and Moringa Seeds on  
the Quality of Liquid Waste from the Tofu Industry*

**Syukma Ba'adilla<sup>1)</sup>, Aditya Wahyu Nugraha<sup>1\*)</sup>, Untung Trimo Laksono<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri, Institut  
Teknologi Sumatera, Way Hui, Jati Agung, Lampung  
\*Email korespondensi : aditya.wahyu28@gmail.com

Diajukan: 15/2/2025 Diperbaiki: 1/3/2025 Diterima: 17/3/2025

**ABSTRAK**

Limbah cair tahu mengandung senyawa organik yang tinggi seperti protein, lemak dan karbohidrat. Tanpa penanganan yang baik, limbah cair industri dapat menyebabkan dampak negatif seperti terganggunya ekosistem air tanah, bau tidak sedap bahkan dapat menjadi sumber penyakit di sekitar lingkungan pembuangan limbah. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengolahan limbah cair tahu adalah metode koagulasi-flokulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat efektivitas kulit pisang kepok dan biji kelor dalam pengolahan limbah cair tahu. Penelitian ini menguji berbagai dosis biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor yaitu 2, 3, 4, 5, dan 6 g/L, dengan waktu pengendapan selama 24 jam. Penggunaan dosis 4 g/L biokoagulan dari biji kelor mampu menaikkan pH menjadi 4,48, menurunkan turbiditas sebanyak 90,67 %, penurunan COD sebesar 75%, dan penurunan TSS sebesar 98,02%.

**Kata kunci: Biokoagulan; Limbah Cair Tahu; Kulit Pisang Kepok; Biji Kelor**

**ABSTRACT**

*Tofu wastewater contains highly organic compounds such as proteins, fats, and carbohydrates. Without proper treatment, it can cause negative environmental impacts such as groundwater ecosystem disruption, unpleasant odors, and a source of disease. Coagulation-flocculation was one of the methods that could reduce pollutants in wastewater. This study aims to determine the effectiveness of kepok banana peel and moringa seeds as bio-coagulants in tofu wastewater treatment. The research tested various doses of the bio-coagulants from kepok banana peel and moringa seeds, specifically 2, 3, 4, 5, and 6 g/L, with a sedimentation time of 24 hours. Bio-coagulant (moringa seed) usage in a dose of 4 g/L has the highest impact on tofu wastewater. Moringa seeds bio-coagulant increased pH to 4.48, turbidity reduction was 90.67%, COD reduction was 75%, and the TSS reduction was 98.02%.*

**Keywords: Biocoagulant; Tofu Wastewater; Kepok Banana Peel; Moringa Seed**

## **PENDAHULUAN**

Limbah cair tahu mengandung senyawa organik yang tinggi seperti protein, lemak dan karbohidrat (Putra et al., 2022). Nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) TSS (*Total Suspended Solids*) dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), pada limbah cair tahu berturut-turut sebesar 6.520 mg/liter, 1.500 mg/liter dan 3.250 mg/liter (Indriyati & Susanto, 2016). Nilai tersebut tidak memenuhi baku mutu limbah cair industri tahu yang ditentukan dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 (KLHK, 2014). Tanpa penanganan yang baik, limbah cair industri dapat menyebabkan dampak negatif seperti terganggunya ekosistem air tanah, bau tidak sedap bahkan dapat menjadi sumber penyakit di sekitar lingkungan pembuangan limbah (Kurniawansyah et al., 2022). Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan limbah cair tahu sebelum dibuang ke lingkungan agar tidak mencemari lingkungan.

Metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengolahan limbah cair tahu adalah metode koagulasi-flokulasi (Ulyani et al., 2020). Konsep kerja metode tersebut adalah dengan memisahkan sejumlah partikel-partikel kecil seperti padatan tersuspensi dan koloid dari air limbah tahu sehingga menghasilkan air yang jernih dan terbebas dari partikel-partikel solid maupun suspensi (Kusuma, 2022). Proses koagulasi pada pengolahan air limbah melibatkan destabilisasi partikel koloid atau proses pemisahan padatan tersuspensi, sementara flokulasi merupakan tahapan berikutnya dimana partikel yang telah terdestabilisasi akan bergabung menjadi partikel yang lebih besar atau disebut dengan flok (Martina et al., 2018). Metode koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis koagulan (zat yang membantu proses pengendapan partikel limbah), dosis koagulan, kecepatan pengadukan dan pH air limbah yang akan diolah (Martina et al., 2018).

Koagulan dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni koagulan kimia dan koagulan alami atau biokoagulan (Aras & Asriani, 2021). Penggunaan koagulan kimia dianggap kurang ramah lingkungan karena dapat memicu masalah kesehatan bagi manusia maupun lingkungan tempat pembuangan limbah (Pratiwi et al., 2019). Oleh sebab itu, digunakan koagulan berbahan alami atau biokoagulan yang berasal dari protein nabati yang mudah ditemukan dan lebih potensial bila digunakan sebagai bahan biokoagulan. Bahan alami yang dapat digunakan sebagai biokoagulan adalah kulit pisang kepok dan biji kelor.

Menurut Hanifah et al. (2020), kulit pisang kepok kulit pisang kepok dapat digunakan sebagai koagulan pada limbah cair farmasi. Penelitian tersebut menggunakan dosis 5 g/L dan menghasilkan penurunan turbiditas sebesar 94,9%, TDS 51,3% dan TSS 83,2%. Selain itu, Nursyarah et al. (2021) menyatakan bahwa koagulan kulit pisang kepok dapat menyisihkan kadar Fe dan warna pada air gambut sebesar 54,23% pada dosis koagulan 20 g/L. Pada jenis limbah cair yang lain, seperti limbah cair rumah makan, koagulan kulit pisang kepok dengan dosis sebesar 0.8 g/L dapat menurunkan konsentrasi TSS dan COD secara sebesar 92% dan 73% pada limbah cair rumah makan. Sementara itu, Biji kelor sebagai biokoagulan juga potensial untuk digunakan. Menurut Putra et al. (2013), biokoagulan biji kelor dapat menurunkan turbiditas sebesar 89,42%, TSS 98,73% dan COD 69,58% dengan dosis 3 g/L.

Menurut Hanifah et al. (2020), adanya kandungan protein pada biokoagulan berperan penting dalam proses koagulasi. Kulit pisang kepok dan biji kelor mengandung sejumlah protein yang potensial berperan dalam proses koagulasi limbah cair. Kandungan protein pada biji kelor dan kulit pisang kepok mencapai 38% dan 9,86% (Irmayana et al., 2017; Purnama et al., 2019). Protein ini bersifat polielektrolit kationik yang dapat dimanfaatkan untuk menjernihkan air (Irmayana et al., 2017).

Protein pada kulit pisang kepok dan biji kelor dapat mengkoagulasi limbah cair tahu melalui interaksi interpartikel dan denaturasi protein atau perubahan struktur protein. Faktor lingkungan seperti panas dan kelembaban dapat memicu denaturasi protein pada kulit pisang kepok dan biji kelor. Protein bertindak sebagai jembatan yang menghubungkan partikel koloid dan membentuk gumpalan besar yang mengendap pada interaksi interpartikel (Nisa, 2022). Protein pada kulit pisang kepok dan biji kelor akan mengalami perubahan struktur dan menjadi lebih hidrofobik, sehingga cenderung beragregasi dan menghasilkan gumpalan yang mengendap pada proses denaturasi protein (Widiantara & Cahyadi, 2017). Adanya kandungan gugus karboksil dan amina pada protein mendukung terjadinya proses koagulasi, dimana pH lingkungan akan bermain penting dalam sifat protein. Pada pH asam, protein akan protonasi sehingga banyak bermuatan kation yang akan berikatan dengan anion pada limbah cair tahu. (Jasman & Yosep, 2021). Mekanisme koagulasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH air limbah, konsentrasi protein, jenis dan ukuran partikel koloid, dan suhu air limbah (Syahputra et al., 2022). Oleh karena itu, perlu dilakukan

penelitian koagulasi pada limbah cair tahu menggunakan kulit pisang kepok dan biji kelor sebagai biokoagulan.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan**

Kulit pisang kepok, biji kelor dan air aquades sesuai kebutuhan. 30 liter limbah cair tahu dari seluruh proses produksi pada industri tahu X yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini

### **Alat**

Gelas beaker 1000 mL, spatula, corong gelas, *stopwatch*, aluminium foil, pH meter, turbidimeter, gelas ukur 100 mL, pipet tetes 10 mL, pisau, neraca analitik, oven, ayakan dengan ukuran 100 dan 70 mesh, cawan petri, labu elenmeyer berukuran 1000 mL, desikator, blender, kertas saring, dan cawan gooch 25 mL.

### **Tahap penelitian**

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yakni karakterisasi awal limbah cair tahu, pembuatan biokoagulan, dan koagulasi-flokulasi. Limbah cair tahu dianalisis pH, turbiditas, COD dan TSS. Selanjutnya dilakukan pembuatan biokoagulan dari bahan baku yang telah dipersiapkan, seperti kulit pisang kepok dan biji kelor. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan menambahkan biokoagulan ke dalam limbah cair tahu, diikuti oleh pengadukan untuk memfasilitasi reaksi kimia antara koagulan dan partikel-partikel terlarut dalam limbah. Setelah proses tersebut dilakukan pengujian parameter limbah cair tahu seperti pH, turbiditas, COD dan TSS.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) 2 faktorial. Faktor pertama yaitu jenis koagulan dan faktor kedua yaitu dosis koagulan. Pada penelitian ini digunakan 2 jenis koagulan yaitu kulit pisang kepok dan biji kelor. Selain dosis yang digunakan dosis koagulan sebanyak 2, 3, 4, 5, dan 6 g/L sampel limbah, dengan 3 kali pengulangan pada masing-masing dosis dan jenis koagulan. Pengulangan bertujuan agar mendapatkan hasil perbandingan yang akurat. Analisis data hasil percobaan dilakukan menggunakan metode uji perbandingan berganda Duncan atau *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) menggunakan taraf 5%.

### **Pembuatan Biokoagulan Kulit Pisang Kepok (Nursyarah et al., 2021)**

Kulit pisang kepok yang digunakan merupakan kulit pisang kepok yang matang yaitu berwarna kuning. Proses pengolahan kulit pisang kepok dimulai dengan membersihkan kulit pisang terlebih dahulu menggunakan air untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Kemudian, kulit pisang dipotong menjadi potongan kecil dengan ukuran  $\pm 1$  cm. Selanjutnya adalah menjemur kulit pisang kepok selama 2 hari agar menjadi kering. Setelah kering, kulit pisang dipanggang dalam oven pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam 20 menit. Setelah di oven, kulit pisang kepok dihaluskan menjadi serbuk menggunakan blender dan disaring dengan mesh nomor 70. Serbuk kulit pisang kepok yang dihasilkan disimpan dalam wadah tertutup dan kering untuk digunakan pada proses selanjutnya.

### **Pembuatan Koagulan Biji Kelor (Aras & Asriani, 2021)**

Biji Kelor yang digunakan merupakan biji kelor yang sudah tua yaitu berwarna coklat. Proses pengolahan biji kelor dimulai dengan pemilihan biji yang sudah tua dari pohon dan dilakukan pengupasan untuk menghilangkan kulitnya. Setelah dikupas, biji kelor dihaluskan menggunakan blender. Langkah berikutnya adalah mengeringkannya di dalam oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  selama 2 jam untuk mengurangi kandungan kadar air di dalam biji kelor. Setelah proses pengeringan, serbuk biji kelor diayak menggunakan ayakan mesh nomor 100 untuk mendapatkan serbuk yang halus. Serbuk tersebut kemudian disimpan di dalam wadah pada suhu ruangan untuk menjaga kualitasnya.

### **Proses Koagulasi-Flokulasi Limbah Cair Tahu**

Proses koagulasi-flokulasi dimulai dengan menyiapkan lima gelas beaker berukuran 1000 mL disiapkan dan diisi dengan limbah cair tahu dalam volume yang telah ditentukan yakni sebanyak 1000 mL. Lima gelas beaker kemudian diisi dengan limbah cair tahu dan koagulan kulit pisang kepok masing-masing dengan variasi dosis sebanyak 2, 3, 4, 5 dan 6 g/L. Sementara itu, lima gelas beaker lainnya diisi dengan limbah cair tahu dan koagulan biji kelor dengan dosis yang sama. Proses koagulasi dilakukan dengan mengaduk campuran menggunakan alat jar tes dengan kecepatan 100 rpm selama 3 menit, diikuti oleh proses flokulasi dengan kecepatan 40 rpm selama 15 menit. Setelah tahap koagulasi-flokulasi selesai, sampel diendapkan selama 24 jam. Setelah proses pengendapan selesai, sampel limbah cair tahu diambil

menggunakan pipet dan dipindahkan ke dalam gelas beaker yang bersih. Selanjutnya, dilakukan pengukuran parameter seperti pH, turbiditas, COD dan TSS pada sampel limbah cair untuk melihat efek dari proses koagulasi-flokulasi terhadap kualitas limbah cair tersebut.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Karakteristik Awal Limbah Cair Tahu**

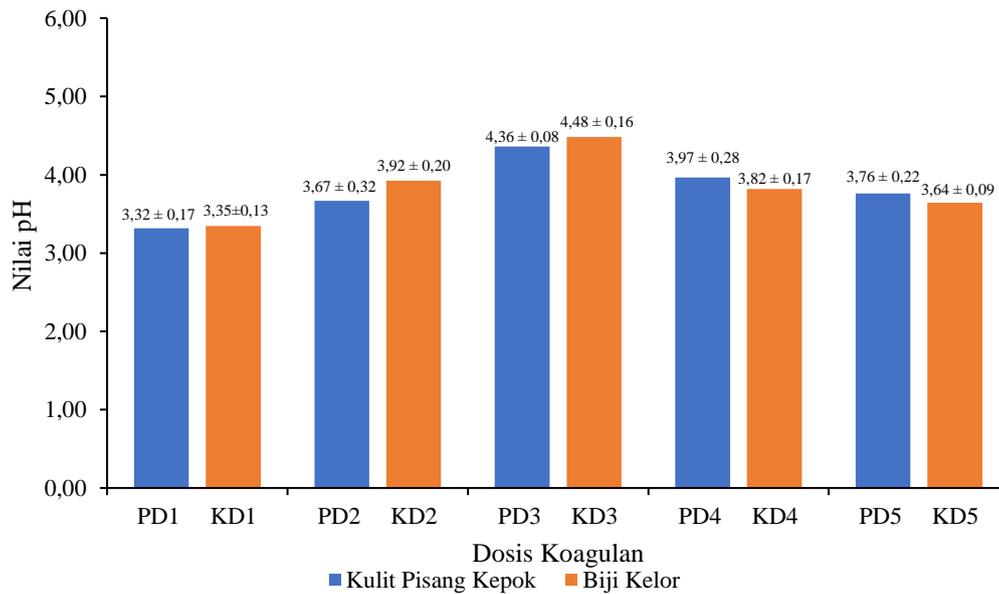
Limbah cair tahu dari hasil produksi tahu di salah satu industri tahu di desa Margodadi, kecamatan Jati Agung, kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung dihasilkan dari proses pencucian, perendaman, perebusan dan penyaringan. Limbah cair tahu memiliki warna krem kekuningan, beraroma khas kedelai disertai aroma keasaman. Limbah cair tahu memiliki kandungan bahan organik diantaranya karbohidrat, lemak, protein, mineral dan lemak yang berpotensi tinggi pada pencemaran lingkungan (Prayitno et al., 2020). Hasil pengujian limbah cair tahu berdasarkan parameter pH, turbiditas, COD dan TSS sebelum dilakukan koagulasi dan flokulasi menunjukkan nilai yang melebihi standar baku mutu lingkungan yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Sampel Awal Limbah Cair Tahu

Parameter	Satuan	Hasil Pengukuran	Baku Mutu
pH	-	3,11	6-9
Turbiditas	NTU	669	-
COD	mg/L	1.132	300
TSS	mg/L	1.052,2	200

### **pH Setelah Proses Koagulasi-Flokulasi**

Penggunaan biokoagulan pada limbah cair tahu salah satunya bertujuan untuk meningkatkan nilai derajat keasaman (pH) limbah cair tahu agar dapat memenuhi standar baku mutu lingkungan. Limbah cari tahu dengan pH rendah (asam) akan merusak organisme air karena dapat memicu penurunan pH air. Hasil uji ANOVA menunjukkan adanya pengaruh nyata dari dosis biokoagulan yang digunakan, akan tetapi jenis biokoagulan dan interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh nyata pada hasil penelitian. Hasil pengujian pH berdasarkan penggunaan jenis biokoagulan dan dosis biokoagulan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Uji pH Limbah Cair Tahu dengan Biokoagulan

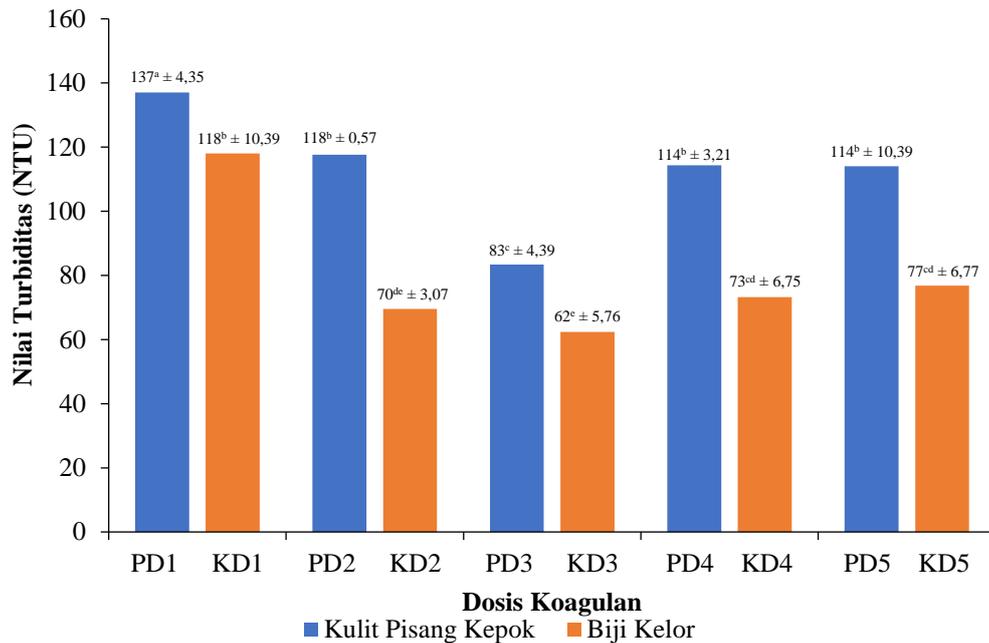
Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan kulit pisang kepok dan biji kelor mengalami kenaikan nilai pH, sebelum dilakukan proses koagulasi-flokulasi yaitu sebesar 3,11. Nilai pH tertinggi pada biokoagulan kulit pisang kepok terdapat pada dosis 4 g/L sebesar 4,36 dan nilai pH tertinggi pada biokoagulan biji kelor terdapat pada dosis 4 g/L sebesar 4,48 serta terjadi peningkatan dikeduanya dari nilai pH awal. Nilai ini belum memenuhi standar baku mutu limbah cair tahu yaitu sebesar 6-9. Peningkatan pH terjadi karena koloid yang bersifat asam juga ikut yang diendapkan sehingga mengurangi keasaman limbah. Hal tersebut serupa dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Aras dan Asriani. (2021) dengan nilai kenaikan pH tertinggi sebesar 4,42 dan penelitian Putra et al. (2013) dengan kenaikan pH air limbah sebesar 4,0. Proses koagulasi-flokulasi menggunakan kulit pisang kepok dan biji kelor berpengaruh yang tidak signifikan terhadap derajat keasamaan karena kulit pisang kepok dan biji kelor memiliki sifat asam sehingga biokoagulan ini memiliki pengaruh yang kecil (Aras & Asriani, 2021).

Proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan kulit pisang kepok dan biji kelor memberikan peningkatan kecil terhadap peningkatan pH limbah cair tahu agar menjadi netral dan memenuhi standar baku mutu. Perlu dilakukan proses lanjutan untuk dapat menaikkan nilai pH menjadi pH netral. Salah satu metode yang dapat

digunakan untuk menaikkan pH air limbah tahu adalah dengan menambahkan kapur tohor (CaO). Kapur tohor memiliki sifat basa yang efektif dalam menetralkan limbah tahu yang umumnya bersifat asam. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prisitama et al. (2023) penambahan kapur tohor mampu meningkatkan pH air limbah dari 3,25 menjadi 7,32. Hal tersebut menjadikan pH air limbah lebih aman bagi lingkungan sebelum dibuang. Secara kimiawi kapur tohor bereaksi dengan air dan membentuk kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) yang menghasilkan ion hidroksida (OH<sup>-</sup>) dalam larutan. Keberadaan ion ini berperan dalam meningkatkan pH dengan cara menetralkan keasaman limbah (Noveriady et al., 2022).

### **Turbiditas Setelah Proses Koagulasi-Flokulasi**

Turbiditas digunakan untuk mengetahui tingkat kekeruhan limbah cair tahu. Kekeruhan pada air limbah disebabkan oleh adanya partikel tersuspensi yang terdiri dari bahan organik dan anorganik. Partikel-partikel ini dapat mengurangi kejernihan air dan berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan pembuangan limbah (Suhendar et al., 2020). Salah satu cara efektif untuk mengatasi kekeruhan adalah dengan menggunakan biokoagulan, yang berfungsi membantu pengendapan partikel sehingga air menjadi lebih jernih. Hasil uji ANOVA pada parameter turbiditas menunjukkan bahwa jenis biokoagulan dan dosis biokoagulan memberikan pengaruh nyata pada penurunan nilai turbiditas limbah cair tahu. Hasil uji lanjut menunjukkan perlakuan PD1 berpengaruh nyata terhadap semua perlakuan. Perlakuan PD2 berpengaruh nyata terhadap perlakuan PD1, PD3 dan KD2. Perlakuan PD3 berpengaruh nyata terhadap perlakuan PD1, PD2 dan KD2. Perlakuan KD2 tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan KD3, KD4 dan KD5. Perlakuan KD3 tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan KD2. Hasil pengujian turbiditas dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Uji Turbiditas Limbah Cair Tahu dengan Biokoagulan

Hasil penelitian menunjukkan proses koagulasi-flokulasi pada limbah cair tahu dengan menggunakan biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor mampu menurunkan nilai turbiditas dari 669 NTU menjadi 137 NTU hingga 62 NTU. Setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi nilai terendah pada biokoagulan kulit pisang kepok terdapat perlakuan PD3 sebesar 83 NTU dan nilai turbiditas terendah pada biokoagulan biji kelor terdapat pada perlakuan KD3 yaitu sebesar 62 NTU. Persentase penurunan turbiditas terbesar dari biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor terdapat pada perlakuan PD3 dan KD3 sebesar 87,54% dan 90,67%. Hasil ini sesuai dengan penelitian Putra et al. (2013) yang menyatakan bahwa pemanfaatan biji kelor sebagai biokoagulan efektif untuk menurunkan nilai turbiditas limbah cair tahu secara optimum hingga sebesar 89,42%. Hasil penelitian Hanifah et al. (2020) juga menunjukkan pemanfaatan kulit pisang kepok mampu menurunkan turbiditas limbah cair farmasi hingga 94,9%.

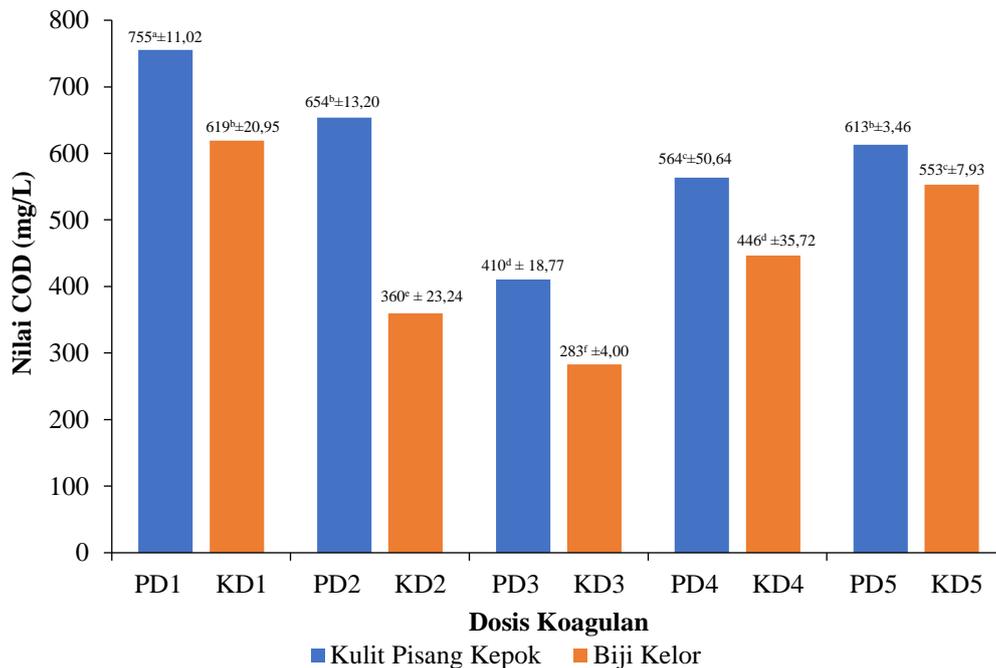
Dosis 4 g (D3) terjadi penurunan turbiditas paling tinggi dari masing-masing biokoagulan karena pada dosis ini jumlah biokoagulan sesuai untuk mengikat sebagian besar partikel tersuspensi dalam limbah cair, pada dosis yang lebih rendah seperti 2 g (D1) dan 3 g (D2) jumlah biokoagulan tidak cukup untuk melakukan proses

koagulasi secara optimal. Protein dan gugus fungsional seperti asam karboksil dan gugus asam amino dalam biokoagulan belum mampu mengikat seluruh partikel pengotor yang menyebabkan turbiditas sehingga hanya sebagian kecil partikel tersuspensi yang dapat diendapkan. Sebaliknya, pada dosis 5 g (D4) dan 6 g (D5) jumlah biokoagulan terlalu banyak yang justru menyebabkan proses pengendapan partikel menjadi tidak efektif. Penambahan biokoagulan lebih dari 4 g tidak meningkatkan efisiensi pengendapan (Aras & Asriani, 2021).

Pemanfaatan kulit pisang dan biji kelor pada proses koagulasi-flokulasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan nilai turbiditas pada limbah cair tahu. Nilai kekeruhan yang menurun menunjukkan adanya aktivitas penyerapan oleh biokoagulan secara efektif dan memangkas turbiditas hingga lebih dari 50% (Aras & Asriani, 2021). Hal ini disebabkan oleh kandungan zat aktif (*active agent*) pada kulit pisang kepok dan biji kelor berperan sebagai protein kationik atau protein yang bermuatan positif (Harahap et al., 2023). Protein akan bermuatan positif apabila dilarutkan pada pH asam dan menarik partikel tersuspensi yang bermuatan negatif pada air limbah sehingga membentuk flok-flok yang mudah mengendap (Jasman & Yosep, 2021). Flok-flok yang terbentuk akan membentuk makroflok yang akhirnya mengendap sehingga nilai turbiditas menjadi berkurang (Putri et al., 2022).

### **COD Setelah Proses Koagulasi-Flokulasi**

COD merupakan kebutuhan oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi kandungan organik limbah cair secara kimiawi. Tingginya nilai COD akan menyebabkan rendahnya kandungan oksigen di perairan sehingga mengancam kehidupan biota perairan (Ramadani et al., 2021). Pengujian COD setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi bertujuan untuk mengetahui pengaruh biokoagulan pada penurunan nilai COD limbah cair tahu. Hasil uji ANOVA pada parameter COD menunjukkan bahwa jenis biokoagulan dan dosis biokoagulan memberikan pengaruh nyata pada penurunan nilai COD limbah cair tahu. Hasil uji lanjut menunjukkan perlakuan PD1, KD2 dan KD3 berpengaruh nyata terhadap perlakuan. Perlakuan PD2 tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan PD5 dan KD1. Perlakuan PD3 tidak berpengaruh nyata pada KD4. Perlakuan PD4 tidak berpengaruh nyata pada KD5. Hasil pengujian COD limbah cair tahu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Uji COD Limbah Cair Tahu dengan Biokoagulan

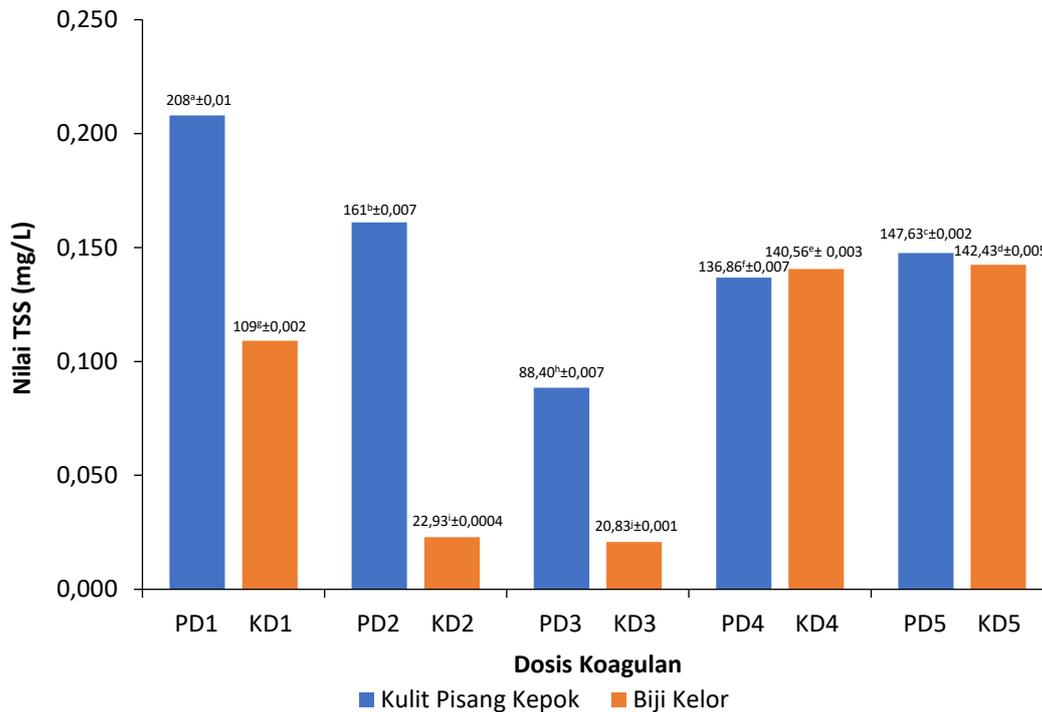
Hasil penelitian menunjukkan proses koagulasi-flokulasi pada limbah cair tahu dengan menggunakan biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor dapat menurunkan nilai COD dari 1.132 mg/L menjadi 755 mg/L hingga 283 mg/L. Nilai COD terendah pada biokoagulan kulit pisang kepok terdapat perlakuan PD3 yaitu sebesar 410 mg/L dan nilai COD terendah menggunakan biokoagulan biji kelor terdapat pada perlakuan KD3 yaitu sebesar 283 mg/L. Persentase penurunan COD terbesar dari biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor terdapat pada perlakuan PD3 dan KD3 sebesar 63,75% dan 75%. Nilai pada perlakuan KD3 ini sudah memenuhi standar baku mutu limbah cair tahu yaitu sebesar  $\leq 300$  mg/L. Menurut penelitian Putra et al. (2013) penurunan nilai COD limbah cair tahu dengan proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan biokoagulan biji kelor adalah sebesar 69,58 %. Selanjutnya penelitian Putri et al. (2022) menjelaskan pemanfaatan kulit pisang kepok pada pengolahan air limbah laundry mampu menurunkan nilai COD sebesar 78,78%. Pada dosis yang lebih rendah seperti 2 g (D1) dan 3 g (D2), proses koagulasi-flokulasi tidak optimal karena jumlah biokoagulan yang tersedia tidak cukup untuk mengikat semua bahan organik yang terlarut dalam limbah cair. Akibatnya, hanya sebagian dari bahan organik yang berhasil diendapkan, dan kadar COD tidak menurun secara signifikan. Dosis yang mampu menurunkan nilai COD terbaik terdapat pada 4 g (D3) yang

mampu mengikat partikel koloid pada limbah cair tahu secara optimal. Namun pada dosis yang lebih tinggi yaitu 5 g (D4) dan 6 g (D5) biokoagulan mengalami titik jenuh. Penambahan lebih banyak biokoagulan tidak lagi efektif. Pada kondisi ini, partikel-partikel biokoagulan yang terlalu banyak justru mempersempit ruang gerak partikel koloid yang berpotensi menyebabkan tumbukan antar partikel (Aras & Asriani, 2021).

Penurunan yang terjadi pada perlakuan KD3 secara optimal sudah mencapai hasil yang memenuhi standar baku mutu lingkungan. Penurunan COD setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi memberikan hasil akhir signifikan. Penurunan parameter COD terjadi saat biokoagulan yang digunakan bermuatan positif mampu mengikat partikel koloid dan tersuspensi pada limbah cair yang memiliki muatan negatif (Nafis, 2019). Reaksi antara partikel biokoagulan yang berbeda muatan dengan koloid menyebabkan gaya tarik menarik dan pada akhirnya membentuk mikroflok (Setyawati et al., 2018). Partikel koloid yang saling berikatan membentuk flok-flok menjadi flok dengan ukuran yang lebih besar sehingga terjadi pengendapan dengan cepat (Rahayu & Khabibi, 2016). Penurunan partikel koloid dan bahan organik yang terjadi menyebabkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam limbah berkurang sehingga parameter COD mengalami penurunan (Aras & Asriani, 2021).

### **TSS Setelah Proses Koagulasi-Flokulasi**

Pengujian TSS setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi bertujuan untuk mengetahui pengaruh biokoagulan pada penurunan nilai TSS limbah cair tahu. Nilai TSS akan mempengaruhi kekeruhan limbah cair tahu, semakin tinggi nilai TSS maka nilai kekeruhan akan semakin tinggi juga. Hasil uji ANOVA pada parameter TSS menunjukkan bahwa jenis biokoagulan dan dosis biokoagulan memberikan pengaruh nyata pada penurunan nilai TSS limbah cair tahu. Hasil uji lanjut menunjukkan perlakuan PD1, PD2, PD3 dan KD1 berpengaruh nyata terhadap semua perlakuan. Perlakuan PD4 tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan PD5, KD4 dan KD5. Perlakuan KD2 tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan KD3. Hasil pengujian TSS limbah cair tahu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Uji TSS Limbah Cair Tahu dengan Biokoagulan

Hasil penelitian menunjukkan proses koagulasi-flokulasi pada limbah cair tahu dengan menggunakan biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor dapat menurunkan nilai TSS dari 1.052,2 mg/L menjadi 208 mg/L hingga 20,83 mg/L. Penelitian ini menunjukkan nilai TSS terendah setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan kulit pisang kepok terdapat pada perlakuan PD3 yaitu sebesar 88,40 mg/L dan nilai TSS terendah menggunakan biokoagulan biji kelor terdapat pada perlakuan KD3 yaitu sebesar 20,83 mg/L. Nilai ini telah memenuhi standar baku mutu limbah cair tahu yaitu sebesar  $\leq 200$  mg/L. Persentase penurunan TSS terbesar dari biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor terdapat pada PD3 dan KD3 sebesar 91,60% dan 98,02%. Pada proses koagulasi-flokulasi terjadi penurunan kadar TSS limbah cair tahu menggunakan dosis biokoagulan 2 g (D1), 3 g (D2) dan 4 g (D3) mengalami penurunan yang signifikan dengan penurunan tertinggi pada dosis 4 g (D3). Selanjutnya kadar TSS mengalami kenaikan kembali pada dosis 5 g (D4) dan 6 g (D5) dikarenakan penambahan biokoagulan kulit pisang kepok dan biji kelor dalam jumlah berlebih dapat menyebabkan munculnya residu atau sisa bahan koagulan dalam limbah. Residu ini dapat bertindak sebagai pengotor yang justru memperburuk kualitas limbah cair, seperti meningkatkan kekeruhan (Sari, 2017).

Menurut penelitian Putra et al. (2013) proses koagulasi-flokulasi menggunakan biji kelor mampu menurunkan TSS sebesar 98,73 %, Selanjutnya pada penelitian Poniman. (2022) menyebutkan pengaruh kulit pisang kepok pada penurunan nilai TSS air Sungai dapat memberikan hasil yang signifikan yaitu sebesar 99,9%. Penurunan TSS disebabkan kandungan protein yang terkandung didalam biokoagulan. Protein ini memiliki kemampuan membentuk ion positif dari gugus amino ketika dilarutkan dalam air (Jasman & Yosep, 2021). Sifat ini bereaksi sebagai biokoagulan polimer alamiah bermuatan positif yang berinteraksi dengan partikel-partikel bermuatan negatif pada limbah yang penyebab kekeruhan. Selanjutnya dari proses tersebut partikel-partikel koloid limbah membentuk flok-flok (Aras & Asriani, 2021).

### **Penentuan Perlakuan Terbaik**

Penentuan perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan nilai pH, turbiditas, COD dan TSS yang paling optimal setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi. Berdasarkan perbandingan nilai disetiap parameter dapat diketahui jenis dan dosis biokoagulan terbaik yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair tahu secara optimal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlakuan yang diberikan pada jenis dan dosis biokoagulan memberikan hasil yang fluktuatif. Nilai dari jenis dan dosis biokoagulan tersebut dapat dilihat pada rekapitulasi hasil perlakuan disetiap parameter pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai Setiap Parameter

Dosis (g/L)	Biokoagulan	pH (6-9)	Turbiditas (NTU)	COD ( $\leq 300\text{mg/L}$ )	TSS ( $\leq 200\text{mg/L}$ )
2	Kulit Pisang Kepok	3,32 $\pm$ 0,17	137 <sup>a</sup> $\pm$ 4,35	755 <sup>a</sup> $\pm$ 11,05	208,03 <sup>a</sup> $\pm$ 0,015
	Biji Kelor	3,35 $\pm$ 0,13	118 <sup>b</sup> $\pm$ 10,39	619 <sup>b</sup> $\pm$ 20,95	109,07 <sup>d</sup> $\pm$ 0,002
3	Kulit Pisang Kepok	3,67 $\pm$ 0,32	118 <sup>b</sup> $\pm$ 0,57	654 <sup>b</sup> $\pm$ 13,20	161,00 <sup>b</sup> $\pm$ 0,007
	Biji Kelor	3,92 $\pm$ 0,20	70 <sup>de</sup> $\pm$ 3,07	360 <sup>e</sup> $\pm$ 23,24	22,93 <sup>f</sup> $\pm$ 0,0004
4	Kulit Pisang Kepok	4,36 $\pm$ 0,08	83 <sup>c</sup> $\pm$ 4,93	410 <sup>d</sup> $\pm$ 18,77	88,40 <sup>e</sup> $\pm$ 0,007
	<b>Biji Kelor</b>	<b>4,48<math>\pm</math>0,16</b>	<b>62<sup>e</sup><math>\pm</math>5,78</b>	<b>283<sup>f</sup><math>\pm</math>4,00</b>	<b>20,83<sup>f</sup><math>\pm</math>0,001</b>
5	Kulit Pisang Kepok	3,97 $\pm$ 0,28	114 <sup>b</sup> $\pm$ 3,21	564 <sup>e</sup> $\pm$ 50,64	136,87 <sup>c</sup> $\pm$ 0,007
	Biji Kelor	3,82 $\pm$ 0,17	73 <sup>cd</sup> $\pm$ 6,75	446 <sup>d</sup> $\pm$ 35,72	140,57 <sup>c</sup> $\pm$ 0,003
6	Kulit Pisang Kepok	3,76 $\pm$ 0,22	114 <sup>b</sup> $\pm$ 11,26	613 <sup>b</sup> $\pm$ 3,46	147,63 <sup>c</sup> $\pm$ 0,002
	Biji Kelor	3,64 $\pm$ 0,09	77 <sup>cd</sup> $\pm$ 6,77	553 <sup>c</sup> $\pm$ 7,93	142,43 <sup>c</sup> $\pm$ 0,005

Berdasarkan Tabel diatas, perlakuan terbaik pada penelitian ini adalah penggunaan jenis biokoagulan biji kelor dengan dosis 4 g/L (KD3) dengan nilai terbaik

disetiap parameter. Perlakuan ini menghasilkan kenaikan nilai pH dari pH awal 3,11 menjadi 4,38, turbiditas 62 NTU dari turbiditas awal 669 NTU, COD 283 mg/L dari COD awal 1.132 mg/L dan TSS 20,83 mg/L dari TSS awal 1.052,2 mg/L.

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa jenis biokoagulan dan dosis yang digunakan berpengaruh terhadap karakteristik limbah cair tahu. Perlakuan menggunakan biji kelor dengan dosis 4 g/L merupakan perlakuan terbaik yang dapat memenuhi baku mutu limbah cair tahu pada parameter COD dan TSS. Perlakuan biji kelor dengan dosis 4 g/L meningkatkan pH menjadi 4,48, menurunkan nilai turbiditas dengan persentase 90,67%, menurunkan nilai COD dengan persentase 75% dan persentase penurunan TSS sebesar 98,02%. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan biji kelor sebagai biokoagulan yang dapat memenuhi baku mutu limbah cair tahu dengan mengkombinasikan koagulan jenis lain.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Aras, N. R., & Asriani, A. (2021). Efektifitas Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.) sebagai Biokoagulan dalam Menurunkan Cemaran Limbah Cair Industri Minuman Ringan. *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 10(1), 42–52. <https://doi.org/10.35580/sainsmat101261692021>
- Harahap, L. A., Sirait, R., & Yusuf Lubis, R. (2023). Efektifitas Biji Kelor pada Proses Koagulasi untuk Penurunan Kekeruhan, Logam (Fe), DAN Zat Organik (KMnO<sub>4</sub>) pada Air. *Journal Online of Physics*, 8(2), 66–69. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i2.20970>
- Indriyati, I., & Susanto, J. P. (2016). Unjuk Kerja Pengolahan Limbah Cair Tahu Secara Biologi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 13(2), 159. <https://doi.org/10.29122/jtl.v13i2.1415>
- KLHK. (2014). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia NOMOR 5 TAHUN 2014 tentang Taku Mutu Air Limbah*.
- Kurniawansyah, E., Fauzan, A., & Mustari, M. (2022). Dampak Sosial dan Lingkungan Terhadap Pencemaran Limbah Pabrik. *CIVICUS: Pendidikan-Penelitian-Pengabdian Pendidikan Pancasila Dan Kewarganegaraan*, 10(1), 14.

<https://doi.org/10.31764/civicus.v10i1.9658>

- Kusuma, D. P. A. (2022). Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi (Studi Kasus Desa Soropadan, Kecamatan Pringsurat, Kabupaten Temanggung). *G-Smart*, 5(2), 99–103. <https://doi.org/10.24167/gsmart.v5i2.3084>
- Martina, A., Effendy, D. S., & Soetedjo, J. N. M. (2018). Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada Berbagai Variasi Operasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(2), 98–103. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.38948>
- Noveriady, Putrawiyanta, I. P., Ferdinandus, Novalisae, & Fidayanti, N. (2022). Kebutuhan Kalsium Hidroksida Untuk Meningkatkan pH Pada Settling Pond PT. TCM. *Jurnal Teknik Pertambangan*, 22, 58–62.
- Poniman, L. (2022). Analisis Adsorben Pengolahan Air Sungai Muara Lebung Menggunakan Karbon Aktif Sekam Padi Dan Kulit Pisang Kepok. *Jurnal Redoks*, 7(2), 1–7. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i2.8989>
- Pratiwi, N. P. R. K., Sibaran, J., & Puspawati, N. M. (2019). Aplikasi Koagulan Alami Ekstrak Air Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dalam Pengolahan Limbah Zat Warna Malachite Green, Remazol Blue, dan Indigosol Violet. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7(2), 75–83.
- Prayitno, Rulianah, S., & Nurmahdi, H. (2020). Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Bakteri Indigeneous. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 4(2), 90–95.
- Prisitama, J. E., Magdalena, H., Devy, S. D., Winarno, A., & Hasan, H. (2023). Efektivitas Kapur Tohor Terhadap Peningkatan Ph Dan Penurunan Kadar Logam Fe Dan Mn Di Settling Pond 11 PT. Alam Jaya Pratama Site Bara Kumala Sakti Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. *Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XVIII, November*, 915–924.
- Purnama, R. C., Winahyu, D. A., & Sari, D. S. (2019). Analysis of protein levels in kepok banana skin flour (*Musa acuminata balbisiana colla*) with the Kjeldahl method. *Jurnal Analis Farmasi*, 4, 77–83.

- Putra, C. A., Rachmadi, D., Widodo, R. A. R., & Devanty, S. A. (2022). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menjadi Pupuk Organik Cair. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 195–202. <http://bitly.ws/yxa9>
- Putri, D. P., Wahida, S. A., & Marlinda, M. (2022). Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca* L.) Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Kadar COD (Chemical Oxygen Demand) Pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Informasi, Sains Dan Teknologi*, 5(02), 71–77. <https://doi.org/10.55606/isaintek.v5i02.66>
- Ramadani, R., Samsunar, S., & Utami, M. (2021). Analisis Suhu, Derajat Keasaman (pH), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biologycal Oxygen Demand (BOD) dalam Air Limbah Domestik di Dinas Lingkungan Hidup Sukoharjo. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 12–22. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art2>
- Sari, M. (2017). Optimalisasi Daya Koagulasi Serbuk Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) Pada Limbah Cair Industri Tahu. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 4(2), 25–37. <https://doi.org/10.37676/agritepa.v4i2.674>
- Suhendar, D. T., Sachoemar, I. S., & Zaidy, A. B. (2020). Hubungan Kekeruhan Terhadap Materi Partikulat Tersuspensi (MPT) Dan Kekeruhan Terhadap Klorofil Dalam Tambak Udang. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(3), 332–338. <http://jfmr.ub.ac.id>
- Ulyani, S., Daud, S., & Asmura, J. (2020). *Penyisihan COD, BOD dan TSS Pada Limbah Cair Tahu Secara Koagulasi-Flokulasi dengan Variasi Dosis Biokoagulan Lidah Buaya dan Kecepatan Pengadukan*. 7, 1–6.