

PEMANFAATAN SERBUK BIJI KELOR SEBAGAI BIOKOAGULAN UNTUK MENURUNKAN KADAR COD, BOD, DAN TSS AIR LIMBAH TAHU

MUHAMMAD IQBAL PUTERA KURNIADIN



**TEKNIK DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir dengan judul “Pemanfaatan Serbuk Biji Kelor Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD dan TSS Air Limbah Tahu” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir laporan akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Oktober 2025

Muhammad Iqbal Putera Kurniadin
J0313201109

ABSTRAK

MUHAMMAD IQBAL PUTERA KURNIADIN Pemanfaatan Serbuk Biji Kelor Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, dan TSS Air Limbah Tahu. Dibimbing oleh WONNY AHMAD RIDWAN.

Air limbah tahu merupakan salah satu jenis air limbah industri rumah tangga yang memiliki kandungan bahan organik tinggi seperti protein, lemak dan karbohidrat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas serbuk biji kelor sebagai biokoagulan alami dalam menurunkan kadar pencemar air limbah tahu melalui proses koagulasi-flokulasi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode ini dilakukan dengan melakukan uji efektivitas biokoagulan dari serbuk biji kelor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh dosis biokoagulan mampu menurunkan kadar pencemar meskipun belum memenuhi baku mutu air limbah tahu. Penurunan COD tertinggi sebesar 15,12% dan BOD sebesar 57,09% diperoleh pada dosis 5 gram, sedangkan penurunan TSS tertinggi sebesar 65,54% terjadi pada dosis 3 gram. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa serbuk biji kelor memiliki potensi sebagai biokoagulan alami yang ramah lingkungan untuk mengurangi pencemar dalam air limbah tahu. Namun, diperlukan pengolahan lanjutan kembali agar hasil pengolahan lebih optimal dan memenuhi standar baku mutu air limbah tahu.

Kata Kunci : air limbah tahu, biji kelor, biokoagulan

ABSTRACT

MUHAMMAD IQBAL PUTERA KURNIADIN Utilization of Moringa Seed Powder as a Biocoagulant to Reduce COD, BOD and TSS Levels in Tofu Waste Water. Supervised by WONNY AHMAD RIDWAN.

Tofu wastewater is a type of household industrial wastewater which has a high content of organic materials such as protein, fat and carbohydrates. This research aims to analyze the effectiveness of Moringa seed powder as a natural biocoagulant in reducing pollutant levels in tofu wastewater through the coagulation-flocculation process. The research method used is a quantitative method. This method is carried out by testing the effectiveness of biocoagulants from Moringa seed powder. The research results showed that all doses of biocoagulants were able to reduce pollutant levels even though they did not meet the quality standards for tofu wastewater. The highest reduction in COD of 15.12% and BOD of 57.09% was obtained at a dose of 5 grams, while the highest reduction in TSS of 65.54% occurred at a dose of 3 grams. Based on the research results, it can be concluded that Moringa seed powder has the potential as an environmentally friendly natural biocoagulant to reduce pollutants in tofu wastewater. However, further processing is needed so that the processing results are more optimal and meet the quality standards for tofu waste water.

Keywords : biocoagulant, moringa seeds, tofu waste water

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PEMANFAATAN SERBUK BIJI KELOR SEBAGAI BIOKOAGULAN UNTUK MENURUNKAN KADAR COD, BOD, DAN TSS AIR LIMBAH TAHU

MUHAMMAD IQBAL PUTERA KURNIADIN

Laporan Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Teknik dan Manajemen Lingkungan

**TEKNIK DAN MANAJEMEN LINGKUNGAN
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji pada ujian Laporan Akhir: Dr. Ir. Beata Ratnawati. S.T., M.Si.

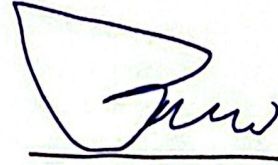


Judul Laporan : Pemanfaatan Serbuk Biji Kelor Sebagai Biokoagulan Untuk
Menurunkan Kadar COD,BOD, dan TSS Air Limbah Tahu

Nama : Muhammad Iqbal Putera Kurniadin
NIM : J0313201109

Disetujui oleh

Pembimbing :
Dr. Wonny Ahmad Ridwan, S.E., M.M.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Beata Ratnawati S.T., M.Si.
NPI. 201811198806252001

Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP. 196607171992031003



Tanggal Ujian:
19 Oktober 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2024 sampai bulan Agustus 2025, dengan judul “Pemanfaatan Serbuk Biji Kelor Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan Kadar COD, BOD, dan TSS Air Limbah tahu”. Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membimbing, mendukung dan banyak memberi masukan untuk menyelesaikan proyek akhir ini :

1. Kedua orang tua, Bapak Oang Kurniadin dan Ibu Nina Tresnawati yang telah memberikan dukungan, kasih sayang, mencurahkan tenaga, pikiran, dan memberi nasihat serta selalu memberikan doa untuk penulis di setiap waktu sehingga proyek akhir ini dapat diselesaikan dengan dukungan dan doa serta usaha kerja keras dari kedua orang tua.
2. Kepada pembimbing, Dr. Wonny Ahmad Ridwan, SE., M.M yang telah membimbing dan banyak memberi saran dan masukan untuk penelitian yang telah penulis lakukan.
3. Kepada bapak/ibu dosen Teknik dan Manajemen Lingkungan yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama penulis duduk dibangku perkuliahan.

Bogor, Oktober 2025

Muhammad Iqbal Putera Kurniadin

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Air Limbah Tahu	3
2.2 Biji Kelor (<i>Moringa Oleifera</i>)	3
2.3 COD (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)	4
2.4 BOD (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>)	5
2.5 TSS (<i>Total Suspended Solid</i>)	5
2.6 Koagulasi dan Flokulasi	5
2.7 Derajat Keasaman (pH)	6
III METODE	7
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	7
3.2 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data	7
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Diagram Alir Penelitian	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	11
4.1 Pembuatan Biokoagulan Dari Serbuk Biji Kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	11
4.2 Analisis Efektivitas Biokoagulan Serbuk Biji Kelor Untuk Air Limbah Tahu	13
4.3 Perhitungan HPP (Harga Pokok Produksi)	18
V SIMPULAN DAN SARAN	20
5.1 Simpulan	20
5.2 Saran	20
DAFTAR PUSTAKA	21
LAMPIRAN	23
RIWAYAT HIDUP	28



DAFTAR TABEL

1	Baku Mutu Air Limbah Tahu PERMENLHK No 5 Tahun 2014	3
2	Kriteria Efektivitas	8
3	Variasi Sampel	9
4	Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter pH	13
5	Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter COD	15
6	Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter BOD	16
7	Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter TSS	17
8	Perhitungan Harga Pokok Produksi	18

DAFTAR GAMBAR

1	Biji Kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	4
2	Diagram Alir Penelitian	10
3	Pembuatan Serbuk Biji Kelor	11
4	Proses Pengeringan	12
5	Pembuatan Larutan	13

DAFTAR LAMPIRAN

1	Penimbangan Variasi Dosis Serbuk Biji Kelor	24
2	Pengukuran pH	25
3	Hasil Uji Lab Nilai COD, BOD, dan TSS	26



I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah tahu mengandung berbagai senyawa organik yang bisa berpotensi mencemari lingkungan, salah satunya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solids* (TSS). Ketiga parameter tersebut menjadi indikator utama tingkat pencemaran organik dalam air yang dapat menurunkan kualitas perairan dan bisa mengganggu keseimbangan ekosistem. Air limbah tahu juga mengandung bahan organik, seperti protein dan asam amino, yang berkontribusi terhadap tingginya kadar COD, BOD, dan TSS (Haslinah 2020). Oleh sebab itu, pengolahan air limbah tahu diperlukan untuk menurunkan kadar parameter tersebut untuk menjaga keberlanjutan lingkungan.

Pengolahan air limbah tahu dapat dilakukan melalui proses koagulasi dan flokulasi. Pada tahap koagulasi, partikel koloid dalam air limbah didestabilisasi dengan penambahan biokoagulan, sehingga terbentuk endapan awal. Selanjutnya, pada tahap flokulasi, mikroflok yang terbentuk akan digabungkan menjadi flok berukuran lebih besar dengan bantuan pengadukan lambat, sehingga mudah untuk mengendap. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi kadar pencemar pada air limbah tahu, salah satunya dengan pemanfaatan biokoagulan alami. Salah satu bahan yang berpotensi digunakan sebagai biokoagulan ramah lingkungan adalah serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*).

Biji kelor (*Moringa oleifera*) itu sendiri merupakan sumber biokoagulan alami yang efisien yang dapat digunakan untuk membersihkan air limbah dari kotoran. Biji kelor mengandung senyawa bioaktif misalnya seperti protein kationik yang memiliki muatan positif, polisakarida, dan senyawa fenolik. Ketika biji kelor diolah menjadi larutan, senyawa-senyawa tersebut bisa berinteraksi dengan partikel-partikel tersuspensi dan zat-zat terlarut dalam air limbah tahu sehingga bisa terjadinya penurunan terhadap kandungan pada kadar COD, BOD dan TSS air limbah tahu. Protein kationik pada biji kelor akan berinteraksi elektrostatik dengan partikel-partikel bermuatan negatif dalam limbah, membentuk flok-flok besar yang dapat menggumpal dan mengendap secara efisien. Selain itu, senyawa polisakarida dan fenolik dalam biji kelor juga berperan dalam membantu mengikat partikel-partikel ke dalam flok yang lebih besar melalui mekanisme adsorpsi dan jembatan hydrogen (Hajijah *et al.* 2024).

Pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai koagulan tidak hanya menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dan hemat biaya, tetapi juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia sintesis yang sering kali berbahaya bagi kesehatan dan ekosistem. Ekstrak biji kelor terbukti dapat mengikat dan menggumpalkan partikel-partikel kecil dan koloid dalam limbah cair, sehingga mengurangi kekeruhan dan meningkatkan kualitas air. Biji kelor ini dapat membantu menghilangkan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor kandungan yang berlebih dari limbah tahu yang bisa menyebabkan pencemaran pada air jika air limbah tahu itu dibuang begitu saja. Dengan semua keuntungan ini, biji kelor menjadi pilihan yang sangat baik sebagai biokoagulan dalam pengolahan air limbah tahu, membantu meningkatkan kualitas air dan mendukung pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, maka dapat ditarik beberapa rumusan masalah, yaitu :

1. Bagaimana pembuatan biokoagulan dari serbuk biji kelor?
2. Bagaimana efektivitas biokoagulan dari serbuk biji kelor dalam menurunkan kadar pada air limbah tahu?
3. Bagaimana menghitung biaya harga pokok produksi penjualan (HPP) biokoagulan serbuk biji kelor?

3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ditemukan, tujuan dari penelitian ini antara Lain, yaitu :

1. Membuat biokoagulan dari serbuk biji kelor.
2. Menganalisis efektivitas biokoagulan dari serbuk biji kelor dalam menurunkan kadar pada air limbah tahu.
3. Menghitung biaya harga pokok produksi penjualan (HPP) biokoagulan serbuk biji kelor.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Tahu

Air Limbah tahu bisa digolongkan sebagai bahaya pencemaran pada lingkungan. Karakteristik dan jumlah air limbah dari industri tahu tersebut sangat beragam tergantung pada jenis industrinya. Salah satu contohnya dapat ditemukan pada industri tahu. Industri tahu menghasilkan air limbah dengan limbah organik dalam kadar yang tinggi, protein dan asam amino menjadi kandungan utama pada limbah tahu. Kandungan bahan organik tersebut bisa menyebabkan air limbah tahu memiliki nilai COD, BOD, dan TSS yang tinggi (Haslinah 2020). Industri tahu saat ini sudah sangat dikembangkan menjadi bentuk industri rumah tangga yang sudah tersebar luas. Pembuangan air limbah tahu sebagian besar langsung dibuang begitu saja dan dialirkan langsung ke saluran pembuangan, hal tersebut bisa menyebabkan atau menimbulkan permasalahan lingkungan bagi area sekitar yang terkena dampak dari pembuangan air limbah tahu.

Limbah yang berbentuk padatan yang dihasilkan oleh produksi industri tahu, dikenal sebagai ampas tahu, merupakan sisa dari perasan bubur kedelai yang masih mengandung nutrisi tinggi. Limbah dari industri tahu memiliki dua jenis karakteristik, yaitu kimia dan fisika. Karakteristik fisika mencakup total padatan, padatan yang tersuspensi, warna, suhu, dan bau, sedangkan karakteristik kimia meliputi kandungan bahan organik, bahan anorganik, dan gas (Aris *et al.* 2021). Limbah industri tahu menghasilkan air limbah yang dapat menurunkan kualitas air, karena tingginya kandungan bahan organik, yang pada akhirnya bisa dapat mengganggu keseimbangan kehidupan biotik di lingkungan perairan.

Baku mutu air limbah tahu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014. Parameter pencemaran bahan organik dinyatakan dengan nilai BOD, COD, TSS, TDS dan pH (Tabel 1).

Tabel 1 Baku Mutu Air Limbah Tahu

Parameter	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemar Paling Banyak (kg/ton)
BOD	150	3
COD	300	6
TSS	200	4
TDS	2000	40
Suhu	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ terhadap suhu udara	
pH	6.0 – 9.0	

Sumber : PERMENLHK No 5 Tahun 2014

2.2 Biji Kelor (*Moringa Oleifera*)

Biji kelor (Gambar 1) biasa dikenal (*Moringa oleifera*) adalah jenis tumbuhan yang memiliki jenis batang setinggi 7 – 11 meter. Daunnya yang berbentuk bulat, hasil analisis nutrisi yang telah dilakukan terhadap daun kelor bahwa daun kelor ini mengandung berbagai nutrisi esensial yang sangat tinggi. Biji kelor ini dapat dimanfaatkan dalam proses pengolahan air dan sangat bisa efektif dalam pembuatan salah satu biokoagulan yang tersedia organik secara lokal. Biji kelor yang

digunakan merupakan biji yang telah matang atau tua sehingga dapat diolah menjadi serbuk dengan kadar air dibawah 10% (Ariyatun 2018).

Biji kelor mengandung senyawa aktif yang berperan dalam mengurangi gaya tolak-menolak antar partikel koloid didalam air (Sari 2017). Senyawa aktif tersebut mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi partikel-partikel pada air limbah, dan seiring dengan pengecilan ukuran biji kelor, luas permukaannya meningkat, sehingga jumlah zat aktif yang bekerja juga bertambah. Penggunaan biji kelor sebagai biokoagulan alami dinilai lebih ekonomis jika dibandingkan dengan koagulan (Haslinah 2016).

Biji kelor (*Moringa oleifera*) memiliki kemampuan untuk bisa menurunkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air limbah tahu, meskipun hasilnya belum sepenuhnya memenuhi baku mutu air limbah tahu yang ditetapkan. Kandungan protein bermuatan positif (kationik) dalam biji kelor mampu menetralkan muatan negatif pada partikel koloid serta senyawa organik terlarut dalam air limbah. Senyawa organik tersebut merupakan penyumbang utama kebutuhan oksigen kimia dan biologi (COD dan BOD). Melalui interaksi antara protein kationik dan partikel bermuatan negatif, terbentuklah gumpalan (flok) yang lebih besar dan padat. Flok-flok ini kemudian akan mengendap ke dasar wadah akibat pengaruh gaya gravitasi. Selain efektif sebagai koagulan alami, biji kelor juga ramah lingkungan karena tidak mengandung zat beracun (Thabrani 2024).



Gambar 1 Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

2.3 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan ukuran konsentrasi oksigen yang ekuivalen yang bereaksi dengan bahan terlarut maupun tersuspensi ketika sampel air atau lumpur diuji menggunakan oksidator tertentu dalam kondisi terkontrol. Metode pengukuran COD pertama kali diterbitkan sekitar 150 tahun yang lalu, dengan cara mengamati adanya perubahan pada warna larutan setelah dicampurkan dengan air sampel. Parameter COD mencerminkan tingkat pencemaran organik dalam air limbah tahu, di mana nilai COD yang tinggi menunjukkan kadar bahan pencemar yang besar sehingga diperlukan pengolahan yang optimal sebelum pembuangan ke lingkungan. Secara umum, COD menggambarkan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam proses oksidasi kimia terhadap bahan organik yang terdapat dalam sampel (Khaer 2017), serta berfungsi

sebagai ukuran kesetaraan oksigen dari kandungan bahan organik yang dioksidasi oleh oksidator kuat.

2.4 BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme, terutama bakteri, untuk menguraikan bahan organik secara aerobik. Dalam proses ini, mikroorganisme menghasilkan energi melalui oksidasi sambil mengonsumsi bahan organik yang terdapat di dalam perairan. Peningkatan kadar bahan organik yang melebihi baku mutu atau adanya zat beracun dapat menyebabkan pencemaran air, yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, ekonomi, dan sosial. Kondisi tersebut juga dapat mengubah keseimbangan kimia air serta menurunkan kadar oksigen terlarut hingga mencapai tingkat kritis. Dengan demikian, BOD berfungsi sebagai indikator kuantitatif untuk mengukur kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme dalam proses oksidasi bahan organik secara aerob (Thabrani 2024).

Nilai kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada perairan berguna untuk memperoleh informasi mengenai besarnya beban pencemaran yang disebabkan oleh limbah domestik maupun industri, serta sebagai dasar dalam perancangan sistem pengolahan biologis pada perairan yang tercemar. Nilai BOD yang tinggi menunjukkan kadar oksigen di dalam air yang terlarut rendah. Keadaan ini dapat menghasilkan kematian organisme akuatik, seperti ikan, akibat kekurangan oksigen. Dengan melakukan analisis BOD, jumlah zat beracun di perairan dapat dikendalikan karena nilai tersebut menjadi acuan dalam proses pengolahan biologis yang tepat.

2.5 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) atau padatan tersuspensi total adalah parameter penting dalam penilaian kualitas limbah cair, termasuk limbah cair dari industri tahu. TSS ini juga yaitu semua zat padat yang tidak larut dan mengendap dalam air limbah tahu, seperti sisa kedelai yang tidak berbentuk seperti tahu, potongan tahu hancur, dan partikel organik atau anorganik yang menyebabkan air limbah bisa menjadi lebih keruh. TSS juga merupakan sisa atau padatan yang tertinggal dari total padatan yang tidak dapat melewati saringan dengan ukuran partikelmaksimum 2 μm , atau dari partikel koloid yang berukuran lebih besar. Kandungan padatan tersuspensi ini berkaitan erat dengan kekeruhan pada air limbah. Pengujian TSS ini juga melibatkan proses-proses penyaringan limbah tahu menggunakan kertas saring yang sudah dibasahi dengan aquades (Hajijah 2024).

2.6 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi adalah suatu proses dimana ion dimanfaatkan dengan muatan yang berlawanan pada muatan koloid yang terdapat dalam air limbah untuk menurunkan kestabilan partikel tersebut. Prinsip dasar dari proses ini adalah adanya interaksi gaya tarik antara ion bermuatan positif dan ion bermuatan negatif. Partikel bermuatan negatif umumnya berasal dari senyawa organik seperti partikel koloid, mikroorganisme, dan bakteri. Efisiensi proses koagulasi dipengaruhi oleh sejumlah faktor, salah satunya adalah konsentrasi atau dosis koagulan yang digunakan. Kebutuhan dosis koagulan dalam proses ini bergantung pada jenis serta karakteristik air limbah yang akan diolah (Haslinah 2016).

Flokulasi merupakan tahap lanjutan dari koagulasi, di mana mikroflok yang terbentuk pada proses sebelumnya akan bergabung membentuk flok berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap dengan bantuan pengadukan lambat (Setyawati 2018). Proses koagulasi dan flokulasi tidak dapat dipisahkan dalam pengolahan air limbah karena keduanya dilakukan secara berurutan dan saling melengkapi. Mekanisme pembentukan flok terdiri atas tiga tahap utama, yaitu destabilisasi partikel koloid, pembentukan mikroflok, dan pembentukan makroflok. Dua tahap pertama berlangsung pada proses koagulasi, sedangkan tahap terakhir terjadi pada proses flokulasi ketika partikel koloid saling bertumbukan dan membentuk makroflok yang lebih besar.

2.7 Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) air limbah tahu dijadikan parameter penting dalam penilaian kualitas dalam perairan, karena tingkat keasaman atau kebasaan yang dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dan proses degradasi bahan organik (Herlambang 2020). Air limbah tahu diketahui memiliki pH yang asam, dalam kondisi tersebut zat-zat yang mudah menguap akan dilepaskan. Keadaan ini yang mengakibatkan adanya bau busuk yang dikeluarkan oleh air limbah tahu. Derajat keasaman (pH) berpengaruh dalam proses pengolahan air limbah, baku mutu pH air limbah tahu ditetapkan pada nilai pH 6-9. Jika pH berada pada kondisi yang terlalu rendah atau asam, maka penurunan oksigen terlarut akan terjadi (Sayow *et al.* 2020).



III METODE

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan secara mandiri di Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor dan Laboratorium Jasa Pengujian dan Sertifikasi, Kota Bogor, Jawa Barat. Penelitian ini dilakukan selama bulan Maret 2025 sampai bulan Agustus 2025.

3.2 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

3.2.1 Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini terdapat dua data yang diperlukan dalam penelitian kali ini, yaitu data primer dan data sekunder sebagai berikut :

- Data primer pada penelitian ini diperoleh dari hasil pengukuran pH, COD, BOD dan TSS pada sampel air limbah tahu selama proses pengujian yang akan dilakukan pengujian di laboratorium.
- Data sekunder pada penelitian ini didapatkan melalui hasil studi literatur penelitian sebelumnya, jurnal, buku dan referensi terkait penelitian yang memperkuat penelitian ini.

3.2.2 Analisis data

Data yang sudah diperoleh pada penelitian ini akan dilakukan analisis data dengan menggunakan metode kuantitatif. Analisis data ini dilakukan dengan melakukan uji efektivitas biokoagulan dari serbuk biji kelor untuk menurunkan kadar pada air limbah tahu terlebih dahulu untuk membuktikan seberapa efektif penggunaan serbuk biji kelor dijadikan biokoagulan dan uji analisis data yang lainnya seperti pH, COD, BOD dan TSS pada air limbah tahu yang akan di uji di laboratorium. Analisis data hasil dari uji yang digunakan dalam penelitian ini nantinya akan dibandingkan dengan baku mutu air limbah tahu dalam Permen LHK No 5 Tahun 2014. Data yang digunakan meliputi data sebelum dan sesudah pemberian biokoagulan pada air limbah tahu, setelah itu dilihat seberapa efektif penurunan dari setiap parameter menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efektivitas Penurunan} = \frac{\text{Parameter Awal} - \text{Parameter Akhir}}{\text{Parameter Awal}} \times 100\%$$

Keterangan :

Efektivitas (E) : Persentase penurunan (%)

Parameter Awal : Parameter air limbah sebelum perlakuan

Parameter Akhir : Parameter air limbah sesudah perlakuan

Hasil perhitungan efektivitas tersebut bisa dibandingkan dengan tabel kriteria efektivitas (Tabel 2).

Tabel 2 Kriteria Efektivitas

No	Kriteria efektivitas	Keterangan
1	$X > 80\%$	Sangat efektif
2	$60\% < X \leq 80\%$	Efektif
3	$40\% < X \leq 60\%$	Cukup efektif
4	$20\% < X \leq 40\%$	Kurang Efektif
5	$X \leq 20\%$ Tidak Efektif	Tidak efektif

Sumber : Soeparman dan Suparmin (2001).

Jika hasil perhitungan efektivitas menunjukkan penurunan yang signifikan pada pH, COD, BOD dan TSS ini sesuai dengan standar baku mutu air limbah tahu dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Hasil ini menunjukkan kandungan bahan organik yang tinggi pada air limbah tahu dapat diturunkan menggunakan serbuk biji kelor dengan efektif.

3.3 Prosedur Kerja

Pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar COD, BOD, dan TSS air limbah tahu dilakukan dengan beberapa langkah- langkah prosedur kerja yang dapat dilakukan dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut :

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah oven, ayakan 120 mesh, blender, alat *jar test*, pH meter, turbidimeter, kertas saring, laboratorium untuk pengukuran pH, COD, BOD dan TSS, timbangan analitik, gelas beaker dan wadah pengaduk. Adapun bahan yang digunakan, yaitu biji kelor (*Moringa oleifera*), sampel air limbah tahu, NaOH, dan aquades.

3.3.2 Pengambilan Sampel Air Limbah

Sampel air limbah tahu diambil pada salah satu pabrik industri tahu yang berlokasi di Kota Bogor. Sampel air limbah yang akan diambil adalah sebanyak 22 Liter (1 galon) dari pabrik industri tahu tersebut dengan pengambilan sampel air limbah dilakukan dengan metode random sampling tanpa menerapkan kriteria khusus. Sampel air limbah digunakan untuk pengujian parameter dan dilanjutkan untuk proses koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan dari serbuk biji kelor.

3.3.3 Pembuatan Serbuk Biji Kelor

Penelitian diawali dengan proses pembuatan serbuk biji kelor. ahap pertama dilakukan dengan menyiapkan biji kelor yang telah matang (berwarna coklat) kemudian dikupas. Setelah dikupas dan dibersihkan, biji kelor diblender hingga menjadi halus, lalu disaring menggunakan ayakan berukuran 120 mesh. Serbuk halus yang dihasilkan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 30 menit hingga kadar airnya stabil dan kurang dari 10% (Wibawarto 2017).

3.3.4 Variasi Sampel

Larutan yang telah dibuat kemudian dilakukan dengan adanya 3 kali pengulangan dan variasi dosis (3 gram, 4 gram, dan 5 gram) untuk melihat dosis mana yang efektif sebagai biokoagulan alami (Tabel 3).

Tabel 3 Variasi Sampel

Sampel	Kecepatan (rpm)	Dosis (gram)
1	100	3
2	100	4
3	100	5
4	100	3
5	100	4
6	100	5
7	100	3
8	100	4
9	100	5

3.3.5 Pengujian Sampel Air Limbah Tahu

Pengujian sampel air limbah tahu dilakukan dengan metode *jar test*. Pengujian sampel air limbah tahu ini dilakukan dengan memasukkan sampel air limbah ke dalam masing-masing gelas beaker dengan volume air limbah tahu nya sama sebanyak 1000 ml, dengan dilakukan pengukuran pH, COD, BOD, dan TSS sebelum proses dilakukan. Lalu ditambahkan dengan biokoagulan serbuk biji kelor yang sudah dibuat dengan variasi (3 gram, 4 gram dan 5 gram) ke dalam masing-masing gelas *beaker* yang sudah ada sampel air limbah tahu, kemudian metode *jar test* dilakukan dengan pengadukan cepat (100 rpm) selama 3 menit dan diikuti dengan pengadukan lambat (40 rpm) selama 12 menit, kemudian yang terakhir sampel diendapkan selama 45 menit. Setelah proses pengendapan hasilnya diambil dan dilakukan pengukuran akhir untuk mengetahui efektivitas biokoagulan untuk menurunkan parameter pH, COD, BOD dan TSS.

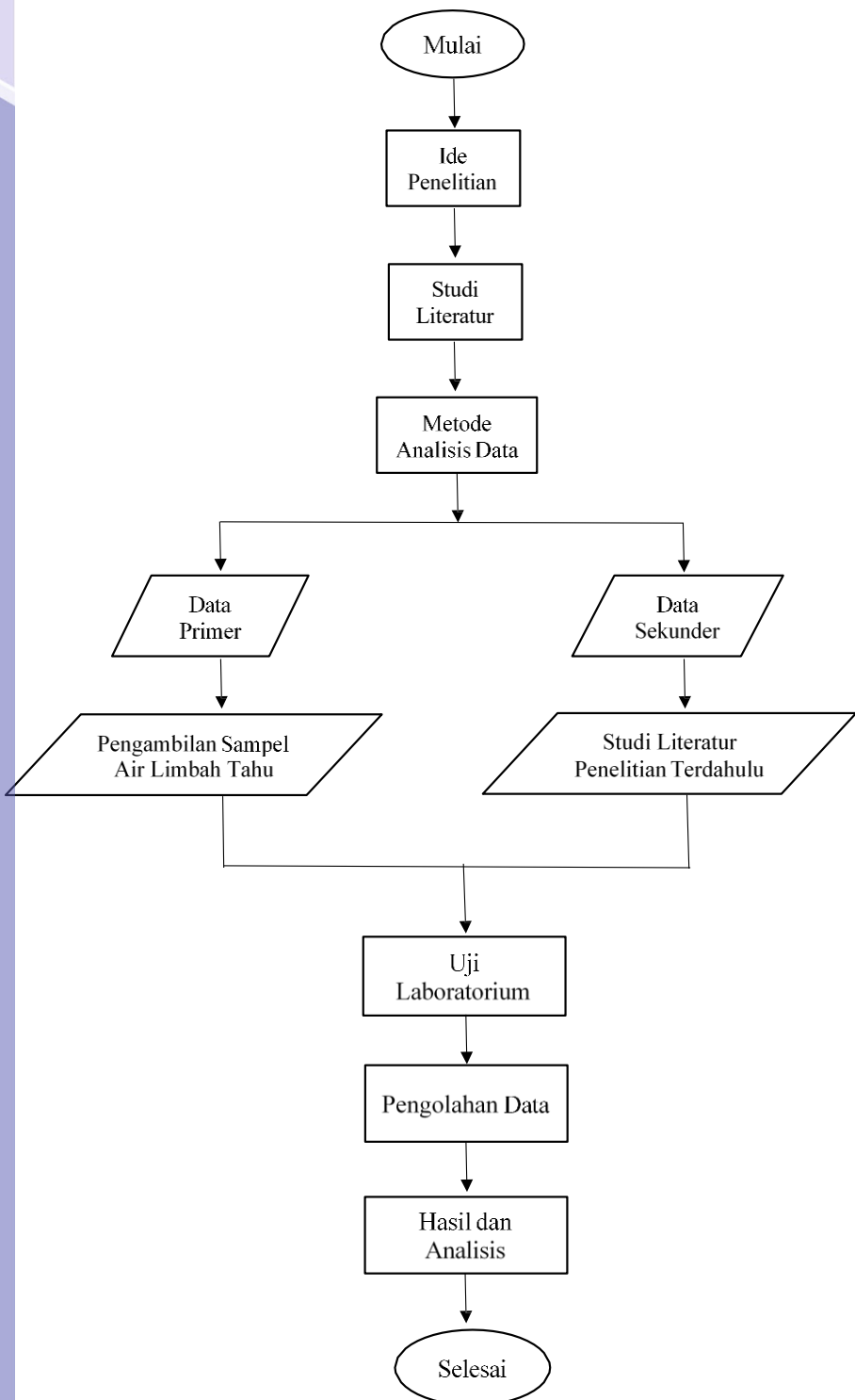
3.3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan sesuai dengan bagian analisis data yaitu dengan menggunakan metode kuantitatif. Data yang sudah didapat berupa pH, COD, BOD dan TSS akan diolah dengan analisis data dan dibandingkan dengan baku mutu air limbah tahu dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Pengolahan data ini untuk mengetahui efektivitas pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar COD, BOD dan TSS air limbah tahu.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Secara umum, diagram alir penelitian yang akan dilakukan untuk menggambarkan rencana tahapan penelitian dimulai dengan ide penelitian, studi literatur, metode analisis data, pengambilan sampel, uji laboratorium, pengolahan data, dan analisis data (Gambar 2).

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Biokoagulan Dari Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

4.1.1 Pembuatan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

Pembuatan serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) dibuat melalui beberapa proses yang dilakukan secara bertahap untuk bisa menjadi bahan dasar dari biokoagulan alami dalam proses koagulasi-flokulasi pada air limbah tahu. Pembuatan serbuk biji kelor ini diawali dengan memilih biji kelor yang sudah matang dengan kulit berwarna kecoklatan (Manora 2024). Biji kelor yang sudah matang di kupas dan dibersihkan terlebih dahulu untuk mencegah adanya kontaminasi yang merubah kandungan yang ada pada biji kelor tersebut, lalu biji kelor tersebut di haluskan menggunakan blender hingga menjadi serbuk (Gambar 3), kemudian serbuk yang sudah dihaluskan selanjutnya diayak menggunakan ayakan 120 mesh untuk bisa mendapatkan ukuran partikel yang konsisten. Ukuran partikel yang sudah lebih halus akan meningkatkan luas permukaan serbuk untuk bisa membentuk partikel koloid dalam air limbah tahu menjadi lebih efektif. Serbuk yang sudah didapatkan disimpan dalam wadah yang tertutup dan kering untuk mencegah terjadinya perubahan pada serbuk tersebut karena adanya kelembapan atau mikroorganisme, karena kondisi penyimpanan yang baik dan benar sangat penting untuk mencegah penurunan kandungan dari serbuk biji kelor ini dijadikan sebagai biokoagulan alami.



Gambar 3 Pembuatan Serbuk Biji Kelor, (a) serbuk biji kelor, (b) proses ayakan

4.1.2 Proses Pengeringan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

Biji kelor yang sudah diayak menjadi halus kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 30 menit untuk menurunkan kadar air hingga menjadi konstan kurang 10% (Wibawarto 2017). Proses pengeringan ini dilakukan untuk bisa mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan mempertahankan zat aktif yang berperan dalam proses koagulasi. Metode pengeringan menggunakan oven ini mampu memberikan suhu yang konsisten dan bisa lebih mudah dikontrol dibandingkan dengan metode pengeringan alami.

Suhu pengeringan yang terlalu tinggi juga bisa merusak struktur protein aktif, sedangkan suhu yang terlalu rendah bisa menyebabkan pengeringan yang tidak sempurna, suhu dan waktu pengeringan telah disesuaikan untuk bisa menjaga kestabilan senyawa bioaktif. Serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) setelah proses pengeringan di oven (Gambar 4) dan diperoleh kemudian harus disimpan dalam wadah yang ditutup rapat (Hak 2018) untuk menghindari kontaminasi dan menjaga kestabilan bahan aktif yang ada terkandung di dalam biji kelor.



Gambar 4 Proses Pengeringan, (a) pengovenan,
(b) hasil oven

4.1.3 Pembuatan Larutan Biokoagulan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

Biji kelor yang sudah menjadi serbuk akan dibuat menjadi larutan biokoagulan alami, serbuk biji kelor tersebut ditambahkan dengan aquadest 1 gram dalam 20 mL aquadest (Haslinah 2020) pada variasi dosis serbuk biji kelor (3 gram, 4 gram, dan 5 gram). Senyawa protein bermuatan positif yang larut dalam air akan membentuk larutan asam, maka dari itu larutan biokoagulan biji kelor secara alami memiliki nilai pH yang sedikit asam, bahkan sebelum ditambahkan ke dalam air limbah (Sari 2018). Setelah proses pencampuran dengan aquadest, pH larutan diukur menggunakan pH meter, pH dari larutan serbuk biji kelor yang bisa efektif untuk proses koagulasi-flokulasi bernilai netral sedikit basa (7-8), larutan biokoagulan dari serbuk biji kelor (Gambar 5). Larutan biokoagulan setelah ditambahkan aquadest bernilai pH asam atau kurang dari 7. Untuk bisa menyesuaikan atau mengoptimalkan pH larutan, maka larutan disesuaikan dengan adanya penambahan larutan NaOH untuk mengatur pH limbah (Herawati *et al.* 2017). Penyesuaian pH ini untuk bisa menstabilkan aktivitas protein dan senyawa aktif yang berperan sebagai biokoagulan dari serbuk biji kelor.

Penambahan larutan NaOH ini untuk bisa membantu menyesuaikan pH air limbah tahu dengan baku mutu air limbah tahu. Larutan yang pH nya telah disesuaikan, kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk bisa memisahkan sisa padatan yang tidak larut untuk dapat dipisahkan. Setelah proses penyaringan larutan biokoagulan sudah bisa digunakan untuk dilakukan proses berikutnya, yaitu pada proses koagulasi-flokulasi terhadap sampel air limbah tahu. Proses pembuatan larutan biokoagulan ini dilakukan dalam kondisi yang

higenis untuk bisa menghindari kontaminasi yang dapat mempengaruhi efektivitas proses koagulasi-flokulasi.



Gambar 5 Pembuatan Larutan, (a) larutan biokoagulan, (b) penyaringan larutan

4.2 Analisis Efektivitas Biokoagulan Serbuk Biji Kelor Untuk Air Limbah Tahu

4.2.1 Parameter pH

Parameter pH air limbah tahu sebelum perlakuan proses koagulasi-flokulasi, pH air limbah tahu bernilai 3,45 yang menunjukkan sifat asam. Nilai pH air limbah tahu asam bisa terjadi karena proses pembuatan tahu melibatkan fermentasi dan adanya penggunaan bahan-bahan yang menghasilkan senyawa asam. Nilai pH air limbah tahu yang bersifat asam bisa merusak organisme air, karena bisa menyebabkan penurunan pH air (Baadilla *et al.* 2025). Nilai pH air limbah tahu merupakan parameter yang penting dan harus bernilai pH yang netral (6-9) untuk disesuaikan dengan baku mutu air limbah tahu (Tabel 4).

Tabel 4 Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter pH

Sampel	pH Awal	pH Akhir	Baku Mutu pH Air Limbah Tahu
3 gram U1	3,45	4,5	6-9
3 gram U2		4,7	
3 gram U3		4,5	
4 gram U1		4,8	
4 gram U2		4,5	
4 gram U3		4,6	
5 gram U1		4,3	
5 gram U2		4,2	
5 gram U3		4,2	

Air limbah tahu biasanya mempunyai nilai pH asam (Ariani 2024), sesuai dengan pengukuran pH air limbah tahu sebelum dilakukan proses koagulasi-

flokulasi yang menunjukkan bahwa pH air limbah tahu bersifat asam. Setelah perlakuan pada proses koagulasi-flokulasi terjadi peningkatan nilai pH pada seluruh sampel. Pada perlakuan 3 gram pH akhir menunjukkan adanya peningkatan nilai dengan pH 4,5 hingga 4,7. Perlakuan 4 gram menunjukkan adanya peningkatan pH akhir tertinggi dengan nilai 4,8, sedangkan pada perlakuan 5 gram menunjukkan adanya sedikit penurunan dibanding dengan perlakuan yang lainnya, yaitu bernilai pH 4,2, hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan dosis tidak selalu sebanding dengan peningkatan pH, yang dapat disebabkan oleh kelebihan koagulan yang menurunkan efektivitas netralisasi (Setyowati *et al.* 2020).

Peningkatan nilai pH yang tertinggi pada variasi sampel 4 gram (U1) menunjukkan bahwa pada variasi sampel ini biokoagulan bekerja lebih efektif dibandingkan dengan dosis yang lainnya. Efektivitas ini bisa disebabkan oleh kesesuaian antara jumlah biokoagulan dengan konsentrasi ion asam yang terdapat dalam air limbah tahu, hal tersebut yang menyebabkan proses netralisasi berlangsung lebih optimal. Pada proses koagulasi-flokulasi, ion-ion positif dari biokoagulan akan bereaksi dengan muatan negatif yang ada pada partikel koloid serta senyawa yang bersifat asam pada air limbah tahu. Reaksi ini menghasilkan pengendapan partikel dan penurunan keasaman yang bisa menyebabkan pH meningkat.

Penurunan pH yang terjadi pada variasi sampel 5 gram disebabkan karena adanya kelebihan biokoagulan, hal tersebut dapat menyebabkan terbentuknya senyawa baru yang bersifat asam lemah. Selain itu, keseimbangan ionik dalam larutan juga dapat terganggu yang dapat menurunkan kembali pH (Widiastuti 2018). Semua variasi sampel yang telah dilakukan dalam proses koagulasi-flokulasi berhasil menaikkan semua nilai pH air limbah tahu, tetapi masih belum mencapai standar baku mutu pH air limbah tahu.

4.2.2 Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Parameter COD (*Chemical oxygen demand*) pada air limbah tahu sebelum adanya perlakuan proses koagulasi-flokulasi bernilai tinggi (Tabel 5), yaitu 7982 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa beban bahan organik dalam air limbah tahu tersebut belum mengalami penguraian yang signifikan. Kondisi air limbah tahu dengan nilai COD yang tinggi akan berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak adanya pengolahan lanjutan. Kandungan COD yang tinggi pada air limbah tahu bisa disebabkan dari sisa protein, lemak, dan karbohidrat yang tidak terdegradasi selama proses produksi tahu (Haslinah 2016).

Tabel 5 Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter COD

Sampel	Nilai COD Awal	Nilai COD Akhir	Baku Mutu COD	Efektivitas	Penilaian
3 gram U1	7982	8810	300	-10,37%	Tidak Efektif
3 gram U2		7862		1,50%	Tidak Efektif
3 gram U3		8535		-6,92%	Tidak Efektif
4 gram U1		7800		2,28%	Tidak Efektif
4 gram U2		7679		3,79%	Tidak Efektif
4 gram U3		6959		12,81%	Tidak Efektif
5 gram U1		7112		10,89%	Tidak Efektif
5 gram U2		7357		7,83%	Tidak Efektif
5 gram U3		6775		15,12%	Tidak Efektif

Air limbah tahu memiliki nilai COD yang sangat tinggi sebelum dilakukan proses koagulasi-flokulasi. Setelah adanya perlakuan pada proses koagulasi-flokulasi menunjukkan bahwa adanya penurunan dan peningkatan terhadap nilai COD air limbah tahu. Penurunan terbesar terjadi pada sampel 5 gram U3 dengan nilai efektivitas 15,12% dan peningkatan terjadi pada 2 sampel, yaitu pada sampel 3 gram U1 dan 3 gram U3. Peningkatan nilai COD terbesar terjadi pada sampel 3 gram U1 dengan nilai kenaikan 10,37%. Peningkatan yang terjadi pada nilai COD disebabkan terhadap dosis biokoagulan yang terlalu rendah yang bisa menyebabkan pengaruh dari biokoagulan tersebut tidak akan efektif untuk menurunkan COD (Sinardi *et al.* 2024).

Penurunan terbesar yang terjadi pada sampel 5 gram U3 terjadi saat biokoagulan dari serbuk biji kelor teraktivasi bermuatan positif yang bertujuan untuk menetralkan partikel koloid dan tersuspensi pada air limbah yang memiliki muatan negatif dengan berat molekul yang rendah (Fitri *et al.* 2021). Reaksi ini dihasilkan oleh kandungan biji kelor yang bermuatan positif (kationik) dan senyawa ramnosiloksi benzil isothiosianat. Reaksi ini juga dihasilkan dengan terjadinya gaya tarik menarik antar partikel koloid, kemudian membentuk mikroflok. Partikel-partikel koloid akan saling berikatan yang akan membentuk flok berukuran lebih besar sehingga proses pengendapan dapat terjadi dengan cepat. Penurunan yang terjadi pada partikel koloid dan bahan organik ini dihasilkan melalui proses pengadukan cepat dan lambat pada proses koagulasi-flokulasi yang sudah dilakukan. Proses tersebut yang menyebabkan berkurangnya jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik pada air limbah yang menyebabkan terjadinya penurunan pada parameter COD.

Adanya penurunan parameter COD air limbah tahu pada semua sampel masih belum efektif, hal ini juga bisa disebabkan dengan nilai COD awal air limbah tahu sangat tinggi, yaitu bernilai 7982 mg/L yang telah melebihi kapasitas penyerapan dari biokoagulan dari serbuk biji kelor. Kemampuan biokoagulan dari serbuk biji kelor berdasarkan mekanisme adsorpsi dan netralisasi muatan oleh protein yang bermuatan positif untuk bisa efektif menangkap partikel tersuspensi dan zat organik masi belum bisa menurunkan parameter COD, karena jumlah senyawa organik terlarut terlalu tinggi yang menyebabkan kemampuan dari biokoagulan dari serbuk biji kelor menjadi terbatas. Nilai penurunan efektivitas yang terbesar pada sampel 5 gram U3 ini masi belum bisa memenuhi baku mutu sesuai Permen LHK No.5 Tahun 2014 sebesar 300 mg/L.

4.2.3 Parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air limbah tahu sebelum adanya perlakuan proses koagulasi-flokulasi bernilai 3412 mg/L yang tinggi melebihi baku mutu air limbah tahu sesuai Permen LHK No.5 Tahun 2014 sebesar 150 (Tabel 6). Nilai BOD yang tinggi ini bisa disebabkan adanya kandungan bahan organik padat dan terlarut dalam jumlah yang besar dan juga bisa disebabkan oleh tingginya protein yang merupakan zat organik yang terkandung dalam air limbah tahu sehingga membutuhkan oksigen terlarut untuk dekomposisi (Harwani *et al.* 2021).

Tabel 6 Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter BOD

Sampel	Nilai BOD Awal	Nilai BOD Akhir	Baku Mutu BOD	Efektivitas	Penilaian
3 gram U1	3412	2667	150	21,83%	Kurang Efektif
3 gram U2		2657		22,18%	Kurang Efektif
3 gram U3		3237		5,12%	Tidak efektif
4 gram U1		2511		26,40%	Kurang Efektif
4 gram U2		1521		55,42%	Cukup Efektif
4 gram U3		2273		33,38%	Kurang Efektif
5 gram U1		1574		53,86%	Cukup Efektif
5 gram U2		1751		48,68%	Cukup Efektif
5 gram U3		1464		57,09%	Cukup Efektif

Hasil setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi, menunjukkan nilai BOD awal sebelum perlakuan sebesar 3412 mg/L. Setelah adanya perlakuan proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan serbuk biji kelor adanya penurunan yang terjadi pada nilai BOD akhir setelah perlakuan. Penurunan terbesar terjadi pada sampel dan ulangan di dosis 5 gram yang tergolong cukup efektif, hal tersebut dengan adanya penambahan dosis yang paling tinggi ini mampu mencapai kestabilan yang lebih baik dibanding dengan dosis yang lebih rendah. Penurunan terendah terjadi pada sampel 3 gram U3 sebesar 05,12% yang tergolong masih belum efektif untuk menurunkan nilai BOD awal yang tinggi pada air limbah tahu.

Variasi dosis pada sampel 3 gram efektivitas penurunan nilai BOD bernilai 5,12% sampai 22,18% pada semua ulangan yang masih tergolong belum efektif. Hal ini menjelaskan dengan variasi dosis yang rendah masih belum bisa menghasilkan gumpalan partikel organik yang cukup besar sehingga terjadinya pengendapan yang signifikan. Variasi dosis pada sampel 4 gram efektivitas penurunan nilai BOD bernilai 26,40% sampai 55,42% yang sudah tergolong cukup efektif, hal tersebut menunjukkan dengan adanya penambahan dosis pada biokoagulan serbuk biji kelor mulai memberikan hasil yang lebih baik dari dosis yang lebih rendah, tetapi hasil pada ketiga ulangan masih belum terlihat konsisten.

Penurunan efektivitas terbesar berada di variasi dosis pada sampel 5 gram U3 dengan nilai efektivitas 57,09%. Keberhasilan penurunan BOD pada variasi dosis yang lebih tinggi ini bisa dihasilkan melalui protein kationik dan polisakarida bermuatan positif yang ada didalam kandungan biji kelor yang dapat membantu mengikat dan mengendapkan bahan organik terlarut, sehingga konsentrasi zat yang dapat didegradasi oleh mikroorganisme berkurang. Biji kelor mengandung kandungan zat aktif yang bermuatan positif, sehingga mampu mendestabilisasikan koloid yang bermuatan negatif pada air limbah (Rustiah 2018). Protein kationik biji kelor menyebar dan berinteraksi dengan partikel bermuatan negatif, sehingga mengurangi gaya tolak menolak antar partikel, hal

tersebut menyebabkan partikel koloid terdestabilisasi dan membentuk flok mikro melalui adsorpsi. Pada tahap flokulasi dengan pengadukan lambat, flok mikro akan saling bertabrakan yang akan membentuk flok yang lebih besar sehingga akan mudah mengendap (Haslinah 2016). Berdasarkan hasil ini bahwa proses koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan biji kelor masih belum mampu menurunkan nilai BOD dibawah baku mutu air limbah tahu, untuk bisa mencapai nilai BOD yang lebih maksimal diperlukan adanya pengolahan lanjutan dengan penggunaan biofilter anaerob (Sinaga *et al.* 2025).

4.2.4 Parameter TSS (*Total Suspended Solids*)

Nilai TSS (*Total Suspended Solids*) sebelum adanya perlakuan pada proses koagulasi-flokulasi bernilai tinggi melebihi baku mutu air limbah tahu sebesar 830 mg/L (Tabel 7). Air limbah yang dihasilkan dari proses produksi tahu mengandung konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) yang sangat tinggi. Kandungan zat ini yang mengakibatkan air menjadi kotor atau keruh. Banyaknya zat pencemar pada air limbah akan membuat kadar oksigen menurun (Pradana 2018). Hal ini bisa menyebabkan kehidupan dalam perairan akan terganggu dan pengendapan zat tersuspensi yang merugikan, jika air limbah tahu langsung dibuang begitu saja ke badan air.

Tabel 7 Hasil Setelah Perlakuan Pada Parameter TSS

Sampel	Nilai TSS Awal	Nilai TSS Akhir	Baku Mutu TSS	Efektivitas	Penilaian
3 gram U1	830	420	200	49,39%	Cukup Efektif
3 gram U2		446		46,26%	Cukup Efektif
3 gram U3		286		65,54%	Efektif
4 gram U1		756		8,91%	Tidak Efektif
4 gram U2		728		12,28%	Tidak Efektif
4 gram U3		732		11,80%	Tidak Efektif
5 gram U1		446		46,26%	Cukup Efektif
5 gram U2		406		51,08%	Cukup Efektif
5 gram U3		368		55,66%	Cukup Efektif

Hasil setelah perlakuan dengan proses koagulasi-flokulasi, menunjukkan dengan adanya penambahan biokoagulan dari serbuk biji kelor mengalami penurunan pada semua sampel dan semua ulangan dengan nilai TSS awal 830 mg/L. Nilai penurunan terbesar terjadi pada sampel 3 gram U3 dengan nilai TSS akhir 286 mg/L dan nilai efektivitas 65,54% yang tergolong efektif, sedangkan nilai penurunan terendah terjadi pada sampel 4 gram U1 dengan nilai efektivitas 8,91% yang tergolong tidak efektif. Pada dosis 4 gram di semua ulangan menunjukkan bahwa di dosis tersebut tergolong tidak efektif untuk menurunkan nilai TSS air limbah tahu yang sangat tinggi. Penurunan yang tidak efektif pada dosis 4 gram ini bisa disebabkan dengan adanya gangguan keseimbangan muatan biokoagulan terhadap partikel tersuspensi, sehingga flok yang sudah terbentuk untuk menangkap partikel tersuspensi akan menjadi rendah, sehingga penurunan nilai TSS tidak efektif (Thabrani 2024).

Penurunan yang paling efektif pada sampel 3 gram U3 ini membuktikan banyaknya muatan negatif yang sudah terkoagulasi. Biokoagulan pada dosis 3 gram U3 ini mampu mengikat partikel-partikel yang bisa menyebabkan terbentuknya flok pada pengadukan cepat (koagulasi). Pada tahap kedua proses pengadukan diperlambat (flokulasi) untuk bisa membentuk ukuran flok yang lebih besar, ukuran flok ini yang akan mempengaruhi kekeruhan pada air limbah tahu.

Adanya pengadukan cepat ini juga untuk bisa memperbesar luas kontak antara partikel tersuspensi dengan ion biokoagulan, sehingga proses pencampuran bisa terjadi dengan sempurna dan pengadukan lambat dilakukan untuk bisa mengikat flok-flok yang membesar dan bisa lebih mudah diendapkan (Ariefianti *et al.* 2024). Penurunan yang paling efektif yang terjadi pada dosis 3 gram U3 ini masih belum mampu mencapai baku mutu air limbah tahu sebesar 200 mg/L.

4.3 Perhitungan HPP (Harga Pokok Produksi)

Perhitungan harga pokok produksi (HPP) pada biokoagulan serbuk biji kelor dihitung berdasarkan komponen biaya bahan baku dan biaya overhead (Tabel 8).

Tabel 8 Perhitungan Harga Pokok Produksi

No	Uraian	Satuan	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
1	Biaya Bahan Baku				
	Biji Kelor	Gram	250	Rp. 28.500	Rp 8.600.
	Air Limbah Tahu	Liter	15	Rp. 5.000	Rp. 5.000
	Aquades	Liter	1	Rp. 5.000	Rp. 5.000
	NaOH	ml	200	Rp. 7.500	Rp. 15.000
2	Biaya Overhead				
	Oven	unit	1	Rp. 150.000	Rp. 150.000
	Timbangan digital	unit	1	Rp. 25.000	Rp. 25.000
	Botol sampel	unit	10	Rp. 2.000	Rp. 20.000
	pH meter	unit	1	Rp. 50.000	Rp. 50.000
	Ayakan 120 Mesh	unit	1	Rp. 100.000	Rp. 100.000
	Kertas Saring	pack	1	Rp. 10.000	Rp. 10.000
	Gelas Beaker	unit	3	Rp. 30.000	Rp. 90.000
	Blender	unit	1	Rp. 65.000	Rp. 65.000
	Over Head Stirrer	unit	1	Rp. 425.000	Rp. 425.000
	Jumlah produksi (Gram)				75
	Total biaya				Rp. 968.600
	HPP per gram				Rp. 12.915
Harga jual					Rp. 12.915,-/ 1 gram

Perhitungan harga pokok produksi biokoagulan dari serbuk biji kelor ini telah ditentukan berdasarkan perhitungan biaya bahan baku dan biaya overhead. Pada perhitungan ini total biaya produksi sebesar Rp. 968.600 yang telah dikeluarkan untuk menghasilkan jumlah produk sebanyak 75 gram. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, HPP per gram biokoagulan telah ditetapkan dengan harga Rp. 12.915. Jumlah produksi 75 gram dipilih karena dosis biokoagulan yang paling efektif berdasarkan hasil dari penelitian adalah 5 gram/ liter dan debit air limbah yang harus diolah adalah 15 L/hari.

Biaya produksi harian untuk mengolah 15 L air limbah dengan dosis 5 g/L adalah Rp 968.600. Nilai HPP yang diperoleh relatif tinggi karena dalam perhitungan ini seluruh biaya overhead peralatan dibebankan penuh selama percobaan. Untuk aplikasi skala lebih besar, overhead dapat diaplikasikan melalui depresiasi sehingga HPP per gram menurun secara signifikan. Nilai HPP tersebut

tergolong tinggi karena seluruh biaya overhead laboratorium (peralatan dan bahan pendukung) dibebankan penuh pada satu kali proses produksi skala kecil. Namun, hal ini wajar untuk tahap penelitian laboratorium. Jika produksi dilakukan dalam skala lebih besar, biaya peralatan dapat dialokasikan (melalui depresiasi) sehingga HPP per gram akan menurun secara signifikan. Secara teknis dan ekonomi, hasil ini menunjukkan bahwa biji kelor berpotensi sebagai biokoagulan alami yang efektif dan ramah lingkungan, meskipun pada skala kecil biaya produksinya masih relatif tinggi dibanding koagulan kimia. Dengan peningkatan kapasitas produksi dan optimasi proses, biokoagulan biji kelor berpeluang menjadi alternatif ekonomis dan berkelanjutan dalam pengolahan air limbah tahu.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Kesimpulan hasil dari penelitian pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar COD, BOD, dan TSS, yaitu sebagai berikut

1. Proses pembuatan serbuk biji kelor berhasil dibuat melalui proses penghalusan, pengeringan, dan pengayakan untuk bisa diperoleh serbuk dengan kadar air kurang dari 10% yang dijadikan sebagai larutan biokoagulan.
2. Efektivitas biokoagulan dari serbuk biji kelor untuk menurunkan parameter kualitas air limbah tahu mampu memberikan penurunan pada nilai pH, COD, BOD, dan TSS. Dosis yang paling efektif untuk menurunkan parameter kualitas air limbah tahu berada pada dosis yang paling tinggi (5 gram). Dengan penurunan terhadap nilai COD sebesar 15,12%, BOD sebesar 57,9% dan TSS sebesar 65,54%.
3. Harga pokok produksi pada (HPP) biokoagulan dari serbuk biji kelor bernilai sebesar Rp. 12.915,-/ gram dengan jumlah produksi yaitu 75 gram. Jumlah produksi tersebut dipilih karena dosis biokoagulan paling efektif adalah 5 gram per liter, sedangkan debit air limbah tahu yang diolah sebanyak 15 liter per hari.

5.2 Saran

Saran dari hasil penelitian pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar COD, BOD dan TSS, yaitu perlu adanya variasi dosis biokoagulan dan waktu lama pengendapan untuk mendapatkan hasil yang lebih efektif.

@ak.cipta milik IPB University

DAFTAR PUSTAKA

- [Permen] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Tahu.2014.
- Setyawati H, Salamia ST, Sari SA. 2018. Penerapan penggunaan serbuk biji kelor sebagai koagulan pada proses koagulasi flokulasi limbah cair pabrik tahu di sentra industri tahu Kota Malang. *J Teknik Industri*. 8(1), 21-31.
- Wibawarto DK, Syafrudin, Nugraha WD. 2017. Study penurunan turbidity, TSS, COD menggunakan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai nanobiokoagulan dalam pengolahan air limbah domestik (*grey water*). *J Teknik Lingkungan*. 6 (1) : 1-6.
- Ariyatun P, Ningrum, Musyarofah, Inayah N. 2018. Analisis efektivitas biji daun kelor (*Moringa oleifera*) Untuk Penjernihan Air. Walisongo *J. Chem*. Vol. 1.
- Thabrani MR, Permadi DA. 2024. Uji efektivitas pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai alternatif koagulan dalam menurunkan COD, BOD dan TSS pada air limbah laundry. *J Serambi Engineering*. 9 (4) : 10540-10549.
- Haslinah A. 2020. Ukuran partikel dan konsentrasi koagulan serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) terhadap penurunan persentase COD dalam limbah cair industri tahu. *J Tek*. 15 (1) : 50-53.
- Hajijah I, Suharli L. 2024. Efektivitas biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai koagulan alami pada limbah cair industri tahu. *J Life Sci Tec*. 2 (1) : 42-48
- Aris BS, Rudi, Lasarido. 2021. Pengelolaan limbah industri tahu menggunakan berbagai jenis tanaman dengan metode fitoremediasi. *J Agrifor*. 20 (2) : 257-264.
- Haslinah A. 2016. Optimalisasi serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai koagulan untuk menurunkan turbiditas dalam limbah cair industri tahu. *J Iltek*. 11 (2) : 1629-1633.
- Khaer A, Nursyafitri E. 2017. Kemampuan metode kombinasi filtrasi fitoremediasi tanaman teratai dan eceng gondok dalam menurunkan kadar BOD dan COD air limbah industri tahu. *J Sulolipu*. 17 (2) : 11-18.
- Setyawati H, Sinaga EJ, Wulandari SL, Sandy F. 2018. Efektifitasi biji kelor dan tawas sebagai koagulan pada peningkatan mutu limbah cair industri tahu. *J Teknik Kimia*. 12 (2) : 47-51.
- Hak A, Kurniasih Y, Hatimah H. 2018. Efektivitas penggunaan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai koagulan untuk menurunkan kadar TDS dan TSS dalam limbah laundry. *J Kependidikan Kimia*. 6 (2) : 100-113.
- Manora A, Astono W, Aphirta S. 2024. Efektivitas biokoagulan biji kelor pada pengolahan limbah cair tempe (studi kasus : industri tempe semanan , jakarta). *J Bhuwana*. 4 (1) : 43-53.
- Sari M, 2017. Optimalisasi daya koagulasi serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) pada limbah cair industri tahu. *J Agritepa*. 4 (1) : 25-37.
- Ariani IK, Hidayarizka R, Yorika R, Any ROL. 2024. Utilization of moringa seed powder (*Moringa oleifera*) as a natural coagulant for reducing pollution

parameters in tofu wastewater. *J Frontier Advances Applied Sci Eng.* 2 (1) : 1-8.

Setyowati R, Wijayanti E, Pramono Y. 2020. Pengaruh dosis koagulan terhadap pH dan warna limbah cair industri. *J Teknik Lingkungan*, 18 (2) : 120–128.

Baadila S, Nugraha AW, Laksono UT. 2025. Pengaruh biokoagulan dari kulit pisang kapok dan biji kelor terhadap kualitas limbah cair industri tahu. *J Agroindustri Pangan.* 4 (1) : 1-17.

Widiastuti L, Yuliani R. 2018. Pengaruh konsentrasi koagulan terhadap penurunan pH dan TSS pada limbah cair tahu. *J Ilmiah Teknik Lingkungan.* 7 (1) : 33-40.

Sinardi ST, Ica HT, Iryani S. 2024. Analisis parameter kimia kinerja koagulan biji kelor (*moringa oleifera*) dalam pengolahan limbah cair. *J Chemical Process Engineering.* 9 (2) : 176-182.

Fitri NS, Amir R, Willem I, Hengky HK. 2021. Pengaruh kadar air, dosis dan lama pengendapan koagulan serbuk biji kelor sebagai alternatif pengolahan limbah cair industri tahu. *J Ilmiah.* 4 (2) : 95-102.

Harwani NP, Rahman SF, Diapati SM. 2021. Kualitas limbah cair industri tahu berdasarkan parameter BOD, pH, COD dan TSS dikelurahan bara-baraya timur kota makassar. *J Health Science Technology.* 2 (2) : 89-95.

Rustiah W, Andriani Y. 2018. Analisis serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) dalam menurunkan kadar COD dan BOD pada air limbah jasa laundry. *J Indo J Chem Res.* 5 (2) : 96-100.

Sinaga RS, Adzillah WN, Mentari ODN. 2025. Analisis kelayakan ekonomi koagulan biji kelor dalam menurunkan konsentrasi parameter limbah cair tahu. *J Teknologi Lingkungan Lahan Basah.* 13 (2) : 222-232.

Pradana TD, Suharno, Apriansyah. 2018. Pengolahan limbah cair tahu untuk menurunkan kadar TSS dan BOD. *J Vokasi Kesehatan.* 4 (2) : 56-62.

Herawati A, Asti R, Ismuyanto B, Juliananda, Saptati ASD, Hidayati N. 2017. Pengaruh pH dan dosis koagulan ekstrak biji kelor dalam koagulasi terhadap pengurangan kekeruhan limbah cair. *J Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan.* 1 (1) : 25-28.

Ariefianti AR, Rexita MKH, Budiono A. 2024. Studi literatur pengaruh berbagai koagulan terhadap pengolahan limbah cair tahu. *J Teknologi Separasi.* 10 (4) : 889-901.

Herlambang A, Fitriana N. 2020. Analisis kualitas air limbah industri rumah tangga tahu terhadap parameter fisika, kimia dan biologi. *J Ilmu Lingkungan.* 18 (2) : 145-154.

Sayow F, Polii BVJ, Tilaar W, Augustine KD. 2020. Analisa kandungan limbah industry tahu dan tempe rahayu dikelurahan uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *J Nasional Sinta.* 16 (2) : 245-252.