

Perbedaan Efektifitas Cangkang Udang Jerbung (*Fenneropenaeus merguensis* de man) dan Cangkang Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan COD Pada Limbah Cair Agroindustri Tapioka

Alfi Lailia¹, Hardoyo², Sulastri³, *

¹ Universitas Malahayati 1; alfilailia00@gmail.com

² Universitas Malahayati 2; hardoyo.malahayati@gmail.com

² Universitas Malahayati 2; sulastri.1208@gmail.com

*Alfi Lailia

Abstract: *Shrimp is one of the leading fisheries commodities that generates a large amount of shell waste during processing, which has not been optimally utilized. Shrimp shells are known to contain 15–20% chitin, as well as proteins and calcium carbonate, which can be processed into chitosan through deproteinization, demineralization, and deacetylation stages. Chitosan possesses a positive charge, enabling it to interact effectively with suspended particles and negatively charged organic compounds in water, making it an environmentally friendly natural biocoagulant. This study aimed to compare the effectiveness of chitosan derived from banana shrimp shells (*Fenneropenaeus merguensis* de Man) and white shrimp shells (*Litopenaeus vannamei*) in reducing the Chemical Oxygen Demand (COD) of tapioca agro-industrial wastewater. The research was conducted experimentally using a batch system with a jar test method. Variations in chitosan dosage of 10 mL, 30 mL, and 50 mL were applied. The main parameter analyzed was COD reduction after the coagulation–flocculation process. The results showed that both types of chitosan were able to significantly reduce the COD concentration of tapioca wastewater. However, chitosan derived from banana shrimp shells at a dosage of 10 mL achieved the highest COD removal efficiency of 57% and was more effective than chitosan derived from white shrimp shells. Fourier Transform Infrared (FTIR) analysis indicated that chitosan from banana shrimp shells contained a greater number of active functional groups, which enhanced its coagulation performance. Based on these findings, chitosan derived from banana shrimp shells is recommended as an effective and sustainable natural biocoagulant for tapioca industrial wastewater treatment.*

Keywords: chitosan; shrimp shells; natural biocoagulant; Chemical Oxygen Demand (COD); tapioca wastewater; coagulation–flocculation; FTIR

Diterima: February 04, 2026
Direvisi: February 22, 2026
Diterima: March 24, 2026
Diterbitkan: March 28, 2026
Versi sekarang: March 28, 2026



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan lisensi Creative Commons Attribution (CC BY SA) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Abstrak: Udang merupakan salah satu komoditas perikanan unggulan yang dalam proses pengolahannya menghasilkan limbah cangkang dalam jumlah besar dan belum dimanfaatkan secara optimal. Cangkang udang diketahui mengandung kitin sebesar 15–20%, protein, serta kalsium karbonat yang berpotensi diolah menjadi kitosan melalui tahapan deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi. Kitosan memiliki sifat bermuatan positif sehingga mampu berinteraksi dengan partikel tersuspensi dan senyawa organik bermuatan negatif dalam air, menjadikannya sebagai biokoagulan alami yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas kitosan yang dihasilkan dari cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis* de Man) dan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dalam menurunkan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) pada limbah cair agroindustri tapioka. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan sistem batch dengan uji jar test. Variasi dosis kitosan yang digunakan adalah 10 ml, 30 ml, dan 50 ml.

Parameter utama yang dianalisis adalah penurunan COD setelah proses koagulasi-flokulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua jenis kitosan mampu menurunkan konsentrasi COD limbah cair tapioka secara signifikan. Namun demikian, kitosan yang berasal dari cangkang udang jerbung pada dosis 10 ml memberikan efisiensi penurunan COD tertinggi, yaitu sebesar 57%, dan lebih efektif dibandingkan kitosan dari cangkang udang vaname. Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) menunjukkan bahwa kitosan dari udang jerbung memiliki lebih banyak dan lebih aktif gugus fungsi yang berperan dalam proses koagulasi. Berdasarkan hasil tersebut, kitosan dari cangkang udang jerbung direkomendasikan sebagai sumber biokoagulan alami yang efektif dan berkelanjutan untuk pengolahan limbah cair industri tapioka.

Kata kunci: kitosan; cangkang udang; biokoagulan alami; Chemical Oxygen Demand (COD); limbah cair tapioka; koagulasi-flokulasi; FTIR

1. Pendahuluan

Limbah cair industri tapioka merupakan salah satu sumber pencemar lingkungan yang memiliki kandungan bahan organik tinggi, terutama Chemical Oxygen Demand (COD), sehingga berpotensi menurunkan kualitas badan air dan mengganggu kehidupan akuatik apabila dibuang tanpa pengolahan yang memadai. Oleh karena itu, diperlukan metode pengolahan limbah yang efektif dan berkelanjutan untuk menurunkan beban pencemar sebelum limbah dilepas ke lingkungan. Metode koagulasi-flokulasi merupakan salah satu teknik yang umum digunakan dalam pengolahan limbah cair, baik dengan koagulan kimia maupun koagulan alami. Koagulan kimia diketahui efektif dalam menurunkan kadar polutan, namun penggunaannya berpotensi menimbulkan residu berbahaya serta berdampak negatif terhadap lingkungan. Sebagai alternatif, biokoagulan yang berasal dari biomassa mulai banyak dikembangkan karena bersifat ramah lingkungan, ekonomis, dan berasal dari sumber daya terbarukan. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa biomassa seperti cangkang keong, bekicot, kacang babi, dan cangkang udang mampu menurunkan COD limbah cair, meskipun efektivitasnya masih bervariasi tergantung jenis bahan dan kondisi operasional.

Kulit udang merupakan limbah industri perikanan yang jumlahnya cukup besar dan mengandung kitin yang dapat diolah menjadi kitosan. Kitosan memiliki gugus amina bermuatan positif yang berperan dalam mengikat partikel tersuspensi dan bahan organik, sehingga efektif digunakan sebagai koagulan alami. Meskipun demikian, karakteristik kitosan sangat dipengaruhi oleh jenis udang, habitat hidup, serta pola makan, yang berpotensi memengaruhi kemampuan koagulasi dan efisiensi penurunan COD. Permasalahan penelitian ini terletak pada masih terbatasnya kajian yang membandingkan efektivitas biokoagulan kitosan dari jenis udang yang memiliki perbedaan habitat dan sumber pakan terhadap pengolahan limbah cair industri tapioka. Perbedaan tersebut diduga mempengaruhi komposisi kimia udang dan kitosan sebagai biokoagulan.

Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan penggunaan kitosan yang berasal dari kulit udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis*) dan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sebagai biokoagulan alami melalui proses koagulasi-flokulasi untuk menurunkan COD limbah cair industri tapioka. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan alternatif pengolahan limbah yang lebih ramah lingkungan dibandingkan koagulan kimia konvensional. Kontribusi penelitian ini meliputi pemanfaatan limbah kulit udang sebagai bahan baku biokoagulan, analisis perbandingan efektivitas kitosan dari dua jenis udang dengan karakteristik biologis berbeda, serta penyediaan informasi ilmiah terkait penerapan biokoagulan berbasis kitosan dalam pengolahan limbah cair agroindustri.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian sungguhan, yakni mengetahui hubungan antara variabel didalamnya. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de Man*) dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) yang digunakan sebagai bahan baku biokoagulan terhadap penurunan konsentrasi COD pada limbah cair agroindustri tapioka. Diharapkan bahwa uji efektivitas ini akan menentukan jenis cangkang udang yang paling efektif sebagai bahan baku biokoagulan dalam menurunkan kadar COD limbah cair tapioka.

2.1 Pengumpulan Data

1. Data primer

Data primer didapat dari hasil penelitian secara langsung, dalam penelitian ini data yang di dapat berasal dari pengujian awal sampai pengujian akhir.

2. Data sekunder

Data sekunder diperoleh dari studi literatur dan studi Pustaka.

2.2 Analisa Data

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de Man*) dan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) terhadap limbah cair agroindustri tapioka. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran maka didapatkan dari penurunan kadar COD. Selanjut akan dilakukan analisis deskriptif kualitatif untuk mengetahui berbagai kondisi, situasi hasil pengamatan dari penelitian yang dilakukan. Untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar COD.

2.3 Variabel – variabel Penelitian

Penentuan variabel penelitian :

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de Man*) dan kitosan dari cangkang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sebagai bahan baku biokoagulan.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah konsentrasi COD.

3. Variabel Kontrol

Pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, lalu dikurangi pengadukan lambat menjadi 40 rpm selama 15 menit dengan sistem *batch*.

2.4 Perumusan Hipotesa

Perumusan Hipotesa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ho : “ Tidak ada perbedaan efektivitas antara cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de Man*) dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sebagai bahan baku biokoagulan dalam menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair agroindustri tapioka “
2. Ha : “ Ada perbedaan efektivitas antara cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de Man*) dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) sebagai bahan baku biokoagulan dalam menurunkan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair agroindustri tapioka “

2.5 Prosedur Penelitian

Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

- a. Jart test
- b. Sendok makan
- c. Magnetik stirrer
- d. Timbangan
- e. Ayakan 100 mesh

- f. Indikator universal
- g. Sarung tangan
- h. Botol ukuran 1000 ml
- i. Batang pengaduk
- j. Masker pelindung
- k. Gelas kimia
- l. Corong
- m. Oven
- n. Labu ukur 500 ml
- o. Jerigen 10 L
- p. Blender

Bahan yang digunakan dalam penelitian :

- a. Cangkang udang jerbung
- b. Cangkang udang vaname
- c. NaOH
- d. Aquades
- e. Sampel air limbah
- f. HCL

2.6 Proses penelitian

Adapun tahapan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Preparasi biokoagulan
2. Pembuatan biokoagulan
 - Proses deproteinasi
 - Proses demineralisasi
 - Proses deasetilasi
 - Pembuatan larutan kitosan
3. Pengambilan sampel limbah
4. Prosedur jar test
 - a. Sebelum dilakukan jar test terlebih dahulu dilakukan pengukuran awal kadar COD. Proses jar test diawali dengan menyiapkan 1000 ml air limbah sebanyak 4 gelas kimia.
 - b. Dosis biokoagulan yang digunakan adalah 10 ml, 30 ml, dan 50 ml untuk setiap 1000 ml air limbah pada 3 gelas kimia yang berbeda dan gelas kimia yang lain dibiarkan tanpa penambahan biokoagulan
 - c. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan Jar test selama 1 menit dengan kecepatan 100 rpm, lalu dikurangi kecepatannya menjadi 40 rpm selama 15 menit.
 - d. Selanjutnya masuk ketahap sedimentasi dengan mendinginkan sampel air limbah tersebut selama 30 menit.
 - e. Setelah sedimentasi selanjutnya air limbah dipisahkan dengan flok- flok yang telah mengendap dengan memasukan air limbah ke wadah yang telah disiapkan.
 - f. Percobaan dilakukan dua kali pengulangan
 - g. Lalu dilakukan pengujian kadar COD pada sampel yang telah melewati proses koagulasi-flokulasi dilaboratorium.
 - h. Kemudian dilakukan analisis deskriptif kualitatif pada penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik sampel

Nilai pengujian awal parameter COD pada limbah cair tapioka dapat dilihat pada tabel. Berikut hasil pengujian awal parameter COD pada limbah cair tapioka.

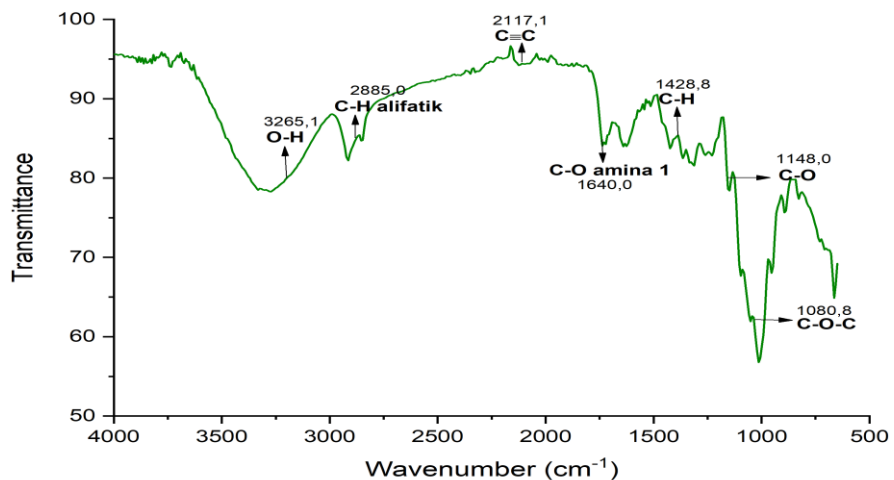
Tabel 1. Hasil pengujian kadar awal COD limbah tapioka

No	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu
1	COD	Mg/l	8228,06	300

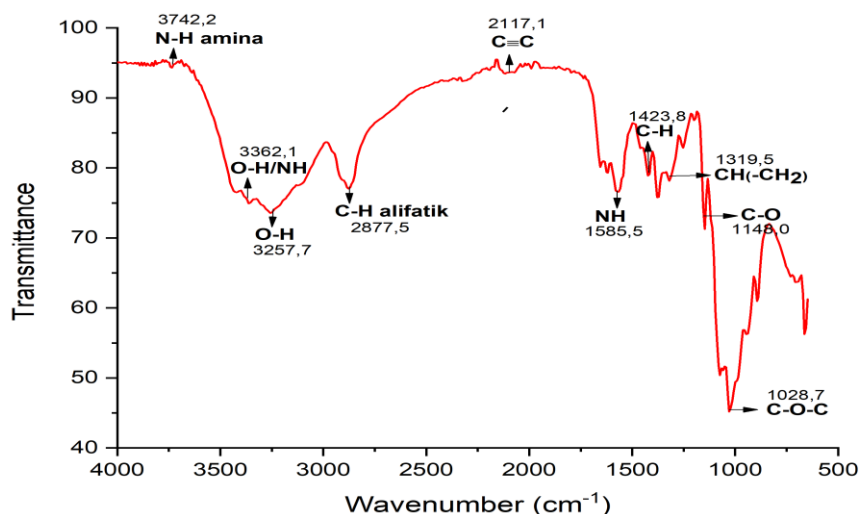
Berdasarkan hasil analisis pengukuran dan analisis laboratorium yang telah dilakukan terhadap kualitas air limbah cair tapioka, maka didapat bahwasanya parameter COD melebihi baku mutu yang diatur dalam peraturan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Tapioka dengan nilai baku mutu yang diperbolehkan yaitu nilai COD 300 mg/l.

3.2 Analisa menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Pada metode FTIR (*Fourier Transform Infrared*) akan muncul “peak” atau puncak-puncak pada panjang gelombang (cm^{-1}). Gugus O-H akan muncul pada bilangan gelombang sekitar $3265,1 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus C-H alifatik muncul pada gelombang sekitar $2885,0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus $\text{C}\equiv\text{C}$ muncul pada gelombang sekitar C-H $1428,8 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus C-O amina sekunder muncul pada bilangan gelombang sekitar $1640,0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus C-O muncul pada bilangan gelombang sekitar $1148,0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus C-O-C muncul pada gelombang sekitar $1080,0 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus N-H amina muncul pada bilangan gelombang sekitar $3742,2 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus O-H tumpang tindih NH muncul pada bilangan gelombang sekitar $3362,1 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, gugus NH muncul pada bilangan gelombang sekitar $1585,5 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, dan gugus CH(-CH₂) muncul pada bilangan gelombang sekitar $1319,5 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$. Hasil dari FTIR bahan koagulan digambarkan pada **Gambar** berikut ini.



Gambar 1. Spektrum FTIR Udang Jerbung



Gambar 2. spektrum FTIR Udang vaname

3.3 Analisa parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

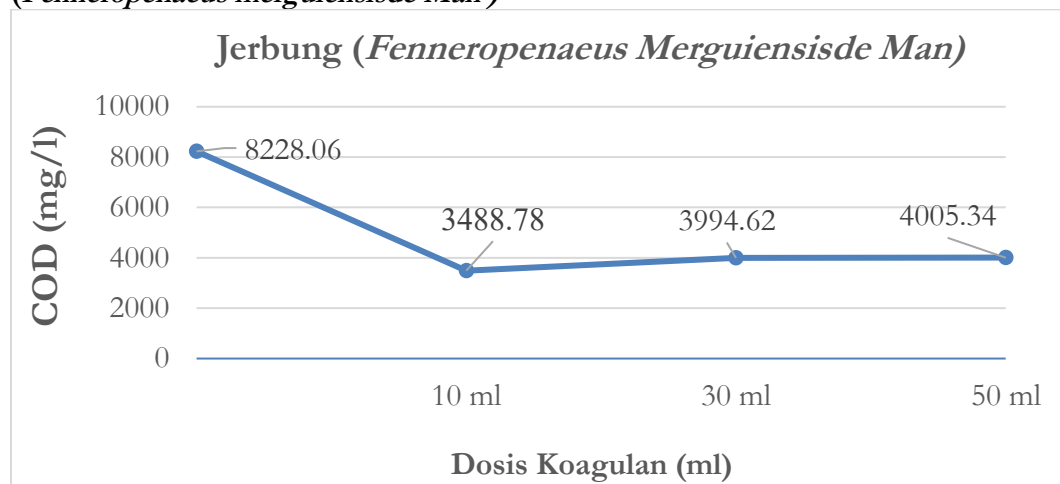
Tabel 2. Nilai pengujian COD pada cangkang udang jerbung

No	Dosis (ml)	Biokoagulan	Kadar Awal (mg/l)	Rata-rata (mg/l)	Selisih	Presentase penurunan COD
1	10		8228,06	3488,78	4739,28	57%
2	30		8228,06	3994,62	4233,44	51%
3	50		8228,06	4005,34	4222,71	51%

Tabel 3. Nilai pengujian COD pada cangkang udang vaname

No	Dosis (ml)	Biokoagulan	Kadar Awal (mg/l)	Rata-rata (mg/l)	Selisih	Presentase penurunan COD
1	10		8228,06	3680,74	4547,32	55%
2	30		8228,06	3635,98	4592,08	55%
3	50		8228,06	4880,9	3347,16	40%

3.4 Penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*)



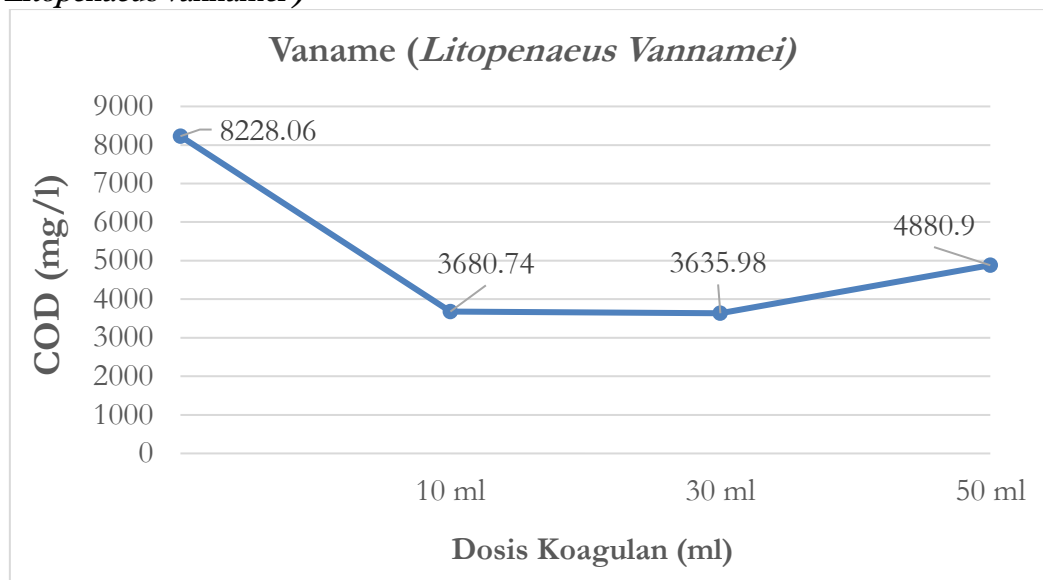
Gambar 3. Penurunan COD cangkang udang jerbung

Berdasarkan **Gambar Grafik** terlihat bahwa koagulan dari cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*) terdapat tiga variasi dosis koagulan yaitu 10 ml, 30 ml, dan 50 ml. Dengan kosesntrasi awal kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) limbah cair tapioka yaitu sebesar 8228,06 mg/l. Dimana pada perlakuan koagulan Cangkang Udang Jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*) dengan rentang dosis 10 ml menghasilkan penurunan sebesar 3488,78 mg/l dengan efisiensi penurunan 57%, dosis 30 ml sebesar 3994,62 mg/l dengan efisiensi penurunan 51%, dan dosis 50 ml sebesar 4005,34 mg/l dengan efisiensi penurunan 51%, yang dimana pada dosis 30 ml dan 50 ml mengalami peningkatan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*).

Hal tersebut` disebabkan oleh batas maksimum kemampuan koagulan mengalami penurunan dalam mengikat partikel dalam air limbah, partikel yang sudah membentuk flok akan terpecah kembali yang kemudian menyebabkan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) kembali meningkat (Suryanti, T., dkk. 2019).

Hasil konsentrasi COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang mengalami kenaikan dapat disebabkan karena terlalu besarnya dosis yang ditambahkan maka akan mengakibatkan tidak dapat menangkap partikel koloid sehingga menurunkan efisiensi mekanisme *sweep floc* dan bahan organik yang terlarut di air limbah tidak terdestabilisasi (Oktiawan dkk., 2020). Kenaikan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) saat dosis koagulan yang ditambahkan pada air limbah berlebih, dapat menyebabkan kelebihan kation pada suspensi yang dapat menyebabkan restabilisasi muatan partikel koloid (Christianty dkk., 2017).

3.5 Penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*)

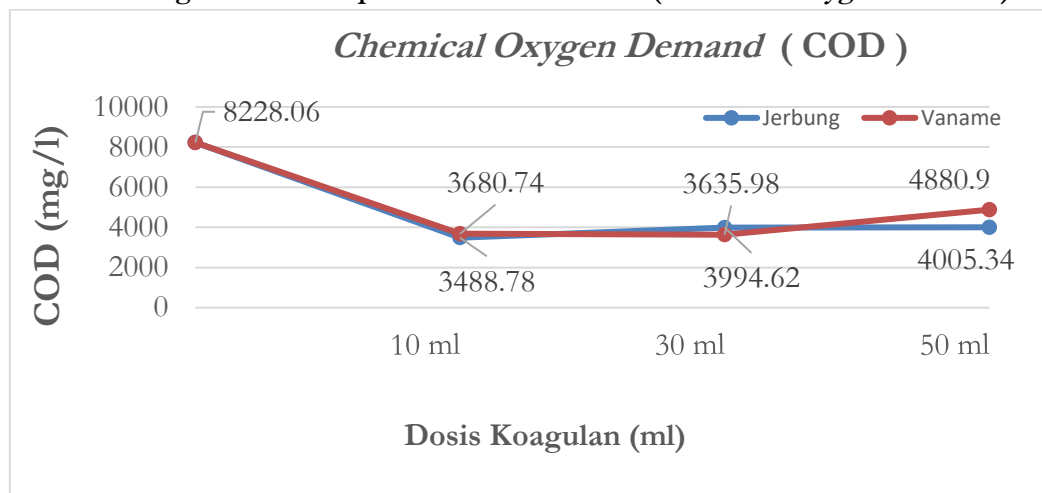


Gambar 4. Penurunan COD cangkang udang vaname

Berdasarkan **Gambar Grafik** terlihat bahwa koagulan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) mengalami penurunan yang dimana pada rentang tiga dosis koagulan yaitu 10 ml, 30 ml dan 50 ml. Dengan konsentrasi awal kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) limbah cair tapioka yaitu sebesar 8228,06 mg/l. Pada dosis 10 ml mengalami penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) sebesar 3680,74 mg/l dengan efisiensi penurunan 55%, dosis 30 ml sebesar 3635,98 mg/l dengan efisiensi penurunan 55%, dan dosis 50 ml sebesar 4880,9 mg/l dengan efisiensi penurunan 40%. Yang dimana penurunan terjadi pada dosis 10 ml dan dosis 30 ml. Lalu mengalami kenaikan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada dosis 50 ml dengan efisiensi penurunan 40%.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan dosis tidak efektif karena menyebabkan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair tapioka mengalami kenaikan. Besarnya dosis yang ditambahkan maka akan mengakibatkan tidak dapat menangkap partikel koloid sehingga menurunkan efisiensi mekanisme *sweep floc* dan bahan organik yang terlarut di air limbah tidak terdestabilisasi (Oktiawan dkk., 2020). Kenaikan nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) saat dosis koagulan yang ditambahkan pada air limbah berlebih, dapat menyebabkan kelebihan kation pada suspensi yang dapat menyebabkan restabilisasi muatan partikel koloid (Christianty dkk., 2017).

3.6 Perbandingan efektifitas penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*)



Gambar 5. Penurunan kadar COD (mg/l)

Berdasarkan penjelasan **Gambar Grafik** diatas dapat di simpulkan bahwa koagulan dari cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*) dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dapat menurunkan kadar COD pada limbah cair tapioka. Penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) tertinggi pada dosis 10 ml dari koagulan cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*), hal tersebut dapat dilihat dari banyaknya gugus-gugus fungsi kitosan yang muncul pada puncak gelombang dengan perhitungan kuantitas koagulan cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*). Hasil perhitungan kuantitas koagulan cangkang udang jerbung menghasilkan gugus O-H (hidroksil) sebanyak 0,25 mm², gugus C-H alifatik sebanyak 0,21 mm², gugus C-H sebanyak 0,04 mm², gugus C-O sebanyak 0,1 mm², gugus C-O-C sebanyak 0,04 mm², dan gugus C-O amina 1 sebanyak 0,04 mm². Gugus amina dan hidroksil merupakan gugus aktif dan mudah bereaksi dengan zat-zat organik lain (Abdul Wafi, dkk 2020). Keberadaan gugus hidroksil dan amino sepanjang rantai polimer mengakibatkan kitosan sangat efektif mengikat kation ion logam berat maupun kation dari zat-zat organik (protein dan lemak). Interaksi kation logam dengan kitosan terjadi melalui pembentukan kelat koordinasi oleh atom N gugus amino dan O gugus hidroksil (Taolee et al., 2001).

Penurunan parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*) terjadi saat biokoagulan 4.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 (*Chemical Oxygen Demand*) mengalami penurunan (Aras & Asriani, 2021)

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*) dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dapat digunakan sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada pengolahan limbah cair tapioka. Cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensisde Man*) dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) tidak menghasilkan efektifitas yang jauh berbeda.

2. Cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis* de Man) dengan konsentrasi dosis 10 ml menghasilkan dengan persentase sebesar 57% dan cangkang udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) menghasilkan dosis optimum pada dengan konsentrasi dosis 10 ml menghasilkan dengan persentase sebesar 55%.
3. Kitosan cangkang udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis* de Man) menghasilkan penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) tertinggi pada limbah cair tapioka.

Referensi

- [1] Ajeng Selfiyana, (2024). "Perbedaan Efektivitas Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) dan Cangkang Bekicot (*Achatina fulica*) Sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan COD dan TSS Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan". Universitas Malahayati.1-71
- [2] Agustina, Sry, I. Made Dira Swantara, and I. Nyoman Suartha. dalam (Taolee et al., 2001) "Isolasi kitin, karakterisasi, dan sintesis kitosan dari kulit udang." *Jurnal Kimia* 9.2 (2015): 271-278.
- [3] Ba'adilla, S., Nugraha, A. W., & Laksono, U. T. (2025). dalam (Aras & Asriani, 2021) "Pengaruh Biokoagulan dari Kulit Pisang Kepok dan Biji Kelor Terhadap Kualitas Limbah Cair Industri Tabu". *Jurnal Agroindustri Pangan*, 4(1), 1-17.
- [4] Cahyono, E. (2018). (Taolee et al., 2001) Karakteristik kitosan dari limbah cangkang udang windu (*Panaeus monodon*). *Akuatika Indonesia*, 3(2), 96-102.
- [5] Dewi, T. C., & Juliardi, N. R. (2023). "Perbandingan Efisiensi Penurunan COD dan TSS Limbah Laundry Menggunakan Cangkang Udang dan Kacang Babi (*Vicia Faba*) sebagai Biokoagulan". *Enviroins*, 3(2)
- [6] Dewi Sriwahyuni1, T. Muhammad Ashari, Muhammad Ridwan Harahap. (Pandia, 2005) dan menurut Utami (2011) "Pemanfaatan Cangkang Keong Sawah (*Pila Ampullacea*) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Limbah Domestik (Grey Water)", 1-6
- [7] Edward J. Dompeipen (standar kitosan) "Isolasi dan Identifikasi Kitin dan Kitosan dari Kulit Udang Windu (*penaeus monodon*) dengan Spektroskopi Inframerah".
- [8] Hilda, Rahma Maulidha. (Amri & Kanna, 2008) "Pengaruh Koagulan Cangkang Udang Vaname Terhadap Kualitas Air Sumur Di Desa Alue Oen Kecamatan Kaway XVI Aceh Barat." PhD diss., UIN Ar-Raniry, 2022.
- [9] Irmanto dan Suyata (2010) "Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD dan TSS Air Limbah Cair Tapioka Menggunakan Arang Aktif Dari Ampas Kopi"
- [10] Kanani Nofriadi, R. K. (2021). dalam (Ihsani & Widyastuti, 2014), *Pemanfaatan Limbah Cangkang Udang Sebagai Biokoagulan Dalam Pengolahan Air Terproduksi* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- [11] Nufus, et al. Ekstraksi Kitosan Berbasis Cangkang Keong Mas (*Pomacea canaliculata*) Menggunakan Gelombang Ultrasonikasi. *JURNAL INTEGRASI PROSES*, 2023, 12.2: 73-80.
- [12] Mulyono, R. A., Sapta, W. A., & Putri, N. I. (2022). dalam (Rahmawati, Kumala Putri, and Ekayani 2018; Mulyani, et al., 2018); "Teknologi Elektroflokulasi Bertingkat Kombinasi Media Pasir-Arang Aktif sebagai Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka". *Jurnal Kesehatan*, 13(1), 140-149.
- [13] SNI 6989.59 thn 2008 Tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. 1-19
- [14] Nahravi, Muhammad, Ratni Dewi, and Harunsyah Harunsyah. "Kombinasi proses koagulasi dan aerasi menggunakan biji asam jawa (*tamarindus indica*) sebagai biokoagulan pada limbah cair industri tempe." *Jurnal Teknologi* 24, no. 1 (2024): 1-8.
- [15] Nofriadi, R. K. (2021). dalam (Ihsani & Widyastuti, 2014), *Pemanfaatan Limbah Cangkang Udang Sebagai Biokoagulan Dalam Pengolahan Air Terproduksi* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- [16] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.1-85.
- [17] Pala'langan, T. A., & Iryani, A. S. Studi Karakterisasi Kitosan dari Cangkang Kepiting Bakau (*Scylla olivacea*) sebagai Penjernih pada Air Sumur.
- [18] Pratama, A., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2016). *Penggunaan Cangkang Udang Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan Kadar Tss, Kekeruhan Dan Fosfat pada Air Limbah USAha Laundry* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- [19] Rahman, I. (2022). "Pemanfaatan Biji Alpukat (*Persea Americana* Mill) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Limbah Cair Domestik (Grey Water) Di Gampong Ateuk Pahlaman Kota Banda Aceh" (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry).
- [20] Ridho Kodrat Nofriadi, (2021). dalam (Aditya pratama, Irawan Wisnu Wardana, 2016), "Pemanfaatan Limbah Cangkang Udang Sebagai Biokoagulan Dalam Pengolahan Air Tereproduksi". 1-43
- [21] Shifa Qorib Nasrulloh, S., Endah Rita Sulisty Dewi, E. R., & M Anas Dzakiy, A. (2021). Kutipan (Farihin et al, 2015). *Kombinasi Kitosan Cangkang Keong Sawah (*Pila apullacea*) dan Kerang Darah (*Anadara granosa*) Sebagai Biokoagulan dalam Menurunkan Kadar COD, TSS Pada Limbah Cair Batik*.
- [22] Sriwahyuni, D. (2020). (Suharto, 2010), (Sperling, 2007), (Tchobanoglous, 1993) ,Gambar koagulasi-flokulasi "Penggunaan Cangkang Keong Sawah (*Pila Ampullacea*) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Limbah Domestik (Grey Water)" (Doctoral dissertation, UIN Ar-Raniry Banda Aceh).

- [23] Suptijah, P., Jacob, A. M., & Deviyanti, N. (2012). Komposisi cangkang udang *vaname* “Karakterisasi dan bioavailabilitas nanokalsium cangkang udang *vannamei* (*Litopenaeus vannamei*)”. *Jurnal Akuatika Indonesia*, 3(1), 244312.
- [24] Sari Rahmawati, Komposisi cangkang udang jerbung “ Potensi udang jerbung (*Fenneropenaeus merguensis de man*) sebagai bahan dasar pembuatan gelatin menggunakan pelarut asam sulfat “. 1-76
- [25] Talu'mu, M. D. (2016). Sintesis Kitosan Nanopartikel dengan Metode Sonokimia, Gelasi Ionotropik, dan Kompleks Polielektrolit. *Jurnal Progres Kimia Sains*, 1(2), 210562.
- [26] Ulimi, Alfa. (Bija dkk., 2020), (Airun, 2020), (Suryanti, T., dkk. 2019)"Pemanfaatan Kulit Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) Sebagai Biokoagulan Terhadap Penurunan Parameter COD dan TSS Dalam Air Limbah Industri Pengolahan Ikan." PhD diss., UIN Ar-Raniry Banda Aceh, 2024.
- [27] Zahara, Sofia. (Naryono et al 2017), (Susanti et al., 2003) "Pemanfaatan kitosan dari cangkang *susuh keura* (*Sulcospira testudinaria*) sebagai biokoagulan pada limbah cair tahu." PhD diss., Fakultas Sains dan teknologi, 2024.