

PEMANFAATAN KITOSAN DARI KULIT UDANG UNTUK MENURUNKAN KADAR PENCEMAR ORGANIK LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT

Michelle Clara Sinabariba^{1*}, Didi Jaya Santri², Susy Amizera SB³
Universitas Sriwijaya, Indralaya¹²³
michelleclarasinabariba@gmail.com¹, dj_santri@unsri.ac.id²

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana efektivitas formulasi kitosan terhadap penurunan kadar pencemar organik limbah cair kelapa sawit dan jumlah dosis efektif kitosan untuk menurunkan kadar pencemar organik limbah cair. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2024 sampai Juli 2025 di Laboratorium Pendidikan Biologi Universitas Sriwijaya. Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif eksperimen menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 5 ulangan dengan waktu dedah selama 5 hari. Data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan uji homogenitas, uji normalitas, uji sidik ragam (ANOVA) dan uji *Duncan Multiple Range Test* (Duncan) dengan parameter yang diamati yaitu pH, DO, TDS, TSS, dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian 1 gram kitosan kulit udang mampu menaikkan pH sebesar 59,74% dengan rata-rata pH sebesar 7,38. Pemberian 0,5 gram kitosan kulit udang mampu menurunkan kadar TDS sebesar 72,5% menjadi 605 mg/l. Pemberian kitosan sebanyak 2 gram mampu memperbaiki parameter-parameter kualitas air limbah dengan rata-rata perubahan TSS 98,82% menjadi 3000 mg/l, COD sebesar 94,44% menjadi 124,67 mg/l, nilai DO mengalami penurunan sebesar 10% menjadi 0,72 mg/l.

Kata Kunci: *Kelapa Sawit, Kitosan Kulit Udang, Limbah Cair, Pencemar Organik*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan perkebunan kelapa sawit terluas di dunia. Berdasarkan (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2020), luas lahan kelapa sawit terus mengalami peningkatan selama beberapa tahun terakhir. Kelapa sawit menghasilkan produk olahan yang mempunyai banyak manfaat (Lubis *et al.*, 2019). Tingginya produksi minyak sawit sebanding dengan tingginya limbah yang dihasilkan sehingga dapat mencemari lingkungan (Djunu *et al.*, 2021). Pengolahan tandan buah segar (TBS) yang dilakukan pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan produk sampingan dalam bentuk limbah padat yang berupa serabut, janjang kosong (JJK), dan cangkang serta limbah cair yang biasanya dikenal dengan POME (*Palm oil mill effluent*) (Susilawati

& Supijatno, 2015). Dalam pengolahan minyak kelapa sawit umum, produksi 1 ton minyak kelapa sawit mentah membutuhkan sekitar 5–7,5 ton air, dan hampir 50% dari air yang digunakan menghasilkan POME. Rata-rata, 0,9–1,5 m³ POME dihasilkan untuk setiap ton minyak kelapa sawit mentah yang diproduksi (Said *et al.*, 2017).

Palm oil mill effluent (POME) merupakan salah satu jenis limbah organik yang berupa air, minyak dan padatan organik yang berasal dari hasil samping proses pengolahan tandan buah segar untuk menghasilkan *crude palm oil* (CPO) (Raja *et al.*, 2021). Limbah ini dapat menyebabkan pencemaran air karena mengandung bahan pencemar yang sangat tinggi (Putra & Putra, 2014). Limbah tersebut tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan, karena membutuhkan waktu

yang lama untuk terurai, terjadi endapan, menimbulkan kekeruhan dan bau tajam, serta merusak ekosistem (Ilmannafian *et al.*, 2020).

Limbah cair mengandung padatan tersuspensi dan minyak dengan kadar yang tinggi. Padatan tersebut bila masuk ke perairan umum akan mengendap, terurai secara perlahan, mengkonsumsi oksigen yang ada dalam air, mengeluarkan bau yang tidak enak dan merusak tempat pembiakan ikan. Selain itu padatan dan minyak tersebut mengapung di permukaan air sehingga menahan aerasi, menghambat suplai oksigen dan mempengaruhi kehidupan air. Oleh karena masalah ekologi, maka limbah tersebut harus dikelola atau dikendalikan (Ngatirah, 2017). Berbagai metode konvensional telah banyak dipelajari untuk mengatasi POME, termasuk perlakuan biologis, filtrasi dan fitoremediasi (Ilmannafian *et al.*, 2020), teknologi membran, koagulasi dan flokulasi, serta elektrokoagulasi (Martini *et al.*, 2020).

Dampak negatif limbah yang dihasilkan dari suatu industri mengharuskan pabrik untuk dapat mengolah limbah dengan cara terpadu. Salah satu cara untuk mengatasi pencemaran tersebut adalah dengan menggunakan koagulan alami kitosan yang memiliki daya serap tinggi sehingga memungkinkan digunakan sebagai membran dalam filtrasi POME. Metode yang digunakan dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit salah satunya yaitu koagulasi flokulasi. Koagulasi merupakan proses berubahnya partikel koloid yang akan jadi flok dengan ukuran lebih besar dan menyerap bahan organik yang larut pada flok sampai pengotor pada sampel dipisahkan dengan proses padat dan cair. Flokulasi merupakan proses lanjutan dimana mikro flok dari koagulasi terjadi penggumpalan partikel koloid membentuk flok yang berukuran lebih besar dan bisa diendapkan serta proses itu dilakukan dengan adukan secara lambat (Febrianti *et al.*, 2023).

Salah satu upaya untuk mengurangi kadar pencemar limbah cair kelapa sawit adalah dengan menggunakan koagulan alami kitosan kulit udang. Kitosan merupakan suatu amina polisakarida hasil proses deasetilasi kitin. Kitin dan kitosan mempunyai dua gugus pada rantai polimernya yaitu gugus asetamido dan gugus amido. Kitosan merupakan suatu polimer yang bersifat polikationik. 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) (Agustina *et al.*, 2015).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Meicahayanti *et al.*, (2018) diperoleh hasil bahwa kitosan kulit udang mampu menurunkan kadar TSS mencapai 89,55% atau 555 mg/l. Menurut penelitian Mustafiah *et al.*, (2018) diperoleh hasil bahwa kitosan dapat digunakan sebagai koagulan dan menurunkan kekeruhan sebesar 98,63%. Berdasarkan data hasil penelitian sebelumnya, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul Pemanfaatan Kitosan Kulit Udang untuk Menurunkan Kadar Pencemar Organik Limbah Cair Kelapa Sawit

METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai untuk penelitian ini yaitu metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif dan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Perlakuan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah hasil dari kombinasi antar faktor dari seluruh taraf perlakuan dan didapatkan 5 kombinasi perlakuan dengan 5 kali pengulangan sehingga total sampel penelitian yang didapatkan sebanyak 25 sampel. Perlakuan terdiri dari lima konsentrasi kitosan (0 g, 0,5 g, 1 g, 1,5 g, dan 2 g per 100 ml limbah), masing-masing diulang sebanyak lima kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan pengamatan selama 5 hari berturut-turut

dengan tujuan mengetahui bagaimana efektivitas formulasi kitosan dan jumlah dosis efektif untuk menurunkan kadar pencemar organik limbah cair kelapa sawit.

Berdasarkan penelitian dan pengukuran awal parameter yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa limbah cair

kelapa sawit tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah yaitu pada parameter DO, COD, pH, TSS, dan TDS. Namun, setelah diberikan perlakuan kitosan telah terjadi perubahan pada nilai parameter.

Tabel 1 Perubahan Parameter Selama Proses Koagulasi dan Flokulasi

Parameter	Perlakuan Hari ke-										Baku Mutu (Permen LH, 2014), PP Nomor 22 Tahun 2021
	P0		P1		P2		P3		P4		
	H0	H5	H0	H5	H0	H5	H0	H5	H0	H5	
pH	4,62	5,90	4,62	6,39	4,62	7,38	4,62	7,32	4,62	7,15	6-9
DO (mg/l)	0,8	0,32	0,8	0,28	0,8	0,38	0,8	0,6	0,8	0,72	6 mg/l
TDS (mg/l)	2.200	1.654	2.200	605	2.200	1.005,8	2.200	1.188	2.200	894	2.000 mg/l
TSS (mg/l)	254.000	15.300	254.000	7.600	254.000	3.500	254.000	4.000	254.000	3.000	250 mg/l
COD (mg/l)	1.647	208,67	1.647	161,33	1.647	156,67	1.647	136,44	1.647	124,67	350 mg/l

Keterangan :

pH	: <i>Potensial of Hydrogen</i>	H0	: Hari awal pengamatan parameter penelitian
DO	: <i>Dissolved Oxygen</i>	H5	: Hari terakhir pengamatan parameter penelitian
TDS	: <i>Total Dissolved Solid</i>	P0	: Kontrol
TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>	P1	: 0,5 gram kitosan
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>	P2	: 1 gram kitosan
		P3	: 1,5 gram kitosan
		P4	: 2 gram kitosan

Manfaat Kitosan terhadap Parameter Pencemaran

Kitosan merupakan turunan kitin yang paling bermanfaat. Ini disebabkan karena berat molekul yang tinggi, sifat polielektrolit, keberadaan gugus fungsional, kemampuan untuk membentuk gel, dan kemampuan mengadsorpsi. Selanjutnya kitosan dapat dimodifikasi secara kimia dan enzimatis dan bersifat biodegradable dan biokompatibel dengan sel dan jaringan manusia (Hambali *et al.*, 2017). Kitosan banyak digunakan dalam berbagai industri antara lain industri farmasi, kesehatan, biokimia, bioteknologi, pangan, pengolahan limbah, kosmetik, agroindustri, industri tekstil, industri perikanan, dan industri kertas. Selain itu, kitosan juga bermanfaat seperti sebagai

bahan pengawet makanan, anti mikroba, penyerap logam dan penjernihan air. Manfaat lain yang dimiliki oleh kitosan yaitu sebagai koagulan dalam proses penjernihan air dengan metode koagulasi. Keunggulan kitosan sebagai koagulan adalah sifatnya tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi, tidak mencemari lingkungan, dan mudah bereaksi dengan zat-zat organik lainnya seperti protein (Hatma *et al.*, 2021).

Oleh karena itu, diharapkan bahwa koagulan yang dihasilkan dari limbah kulit udang dapat menjadi bahan alternatif yang ramah lingkungan serta memiliki nilai ekonomis tinggi. Proses koagulasi sendiri merupakan tahap awal dalam pengolahan air atau limbah, di mana partikel-partikel halus saling bergabung membentuk flok

yang kemudian menggumpal dan ditambahkan zat koagulan untuk mempercepat proses pembentukan flok. Koagulan tersebut umumnya berupa senyawa multivalen bermuatan positif, yang dapat berinteraksi dengan partikel-partikel koloid dalam air limbah yang umumnya bermuatan negatif. Interaksi muatan inilah yang memungkinkan terjadinya netralisasi dan penggumpalan partikel, sehingga mempermudah proses pengendapan dan pemisahan zat pencemar dari cairan (Mustafiah *et al.*, 2018).

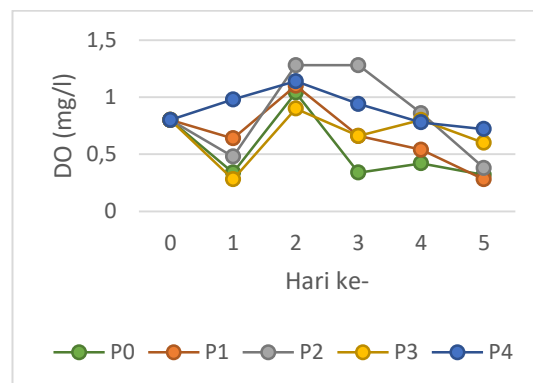
Potensial Hydrogen (pH)

Perubahan nilai pH limbah cair kelapa sawit yang paling efektif terdapat pada pemberian kitosan kulit udang sebanyak 1 gram atau menghasilkan perubahan pH yang paling mendekati dengan baku mutu yakni senilai 7,38. Kenaikan nilai pH paling tinggi terjadi pada pemberian kitosan sebanyak 1,5 gram di hari keempat yaitu naik menjadi 6,93. Hasil akhir perubahan nilai pH yang paling efektif yaitu pada P2 dengan hasil akhir nilai pH menjadi 7,38 yang menggunakan komposisi kitosan sebanyak 1 gram. Peningkatan pH ini disebabkan oleh sifat dasar kitosan sebagai

mengendap. Dalam tahap ini, biasanya polimer alami yang memiliki gugus amino ($-NH_2$) yang bersifat basa. Dalam larutan asam, gugus ini mampu menyerap ion hidrogen (H^+) dari larutan limbah, yang menyebabkan berkurangnya keasaman dan naiknya nilai pH (Rinaudo, 2006). Kitosan dalam pengolahan limbah cair kelapa sawit mampu menetralkan pH dari kondisi asam menjadi mendekati netral, sehingga limbah menjadi aman untuk dibuang ke badan air atau bahkan dapat digunakan kembali setelah proses lanjutan. Perubahan pH limbah cair kelapa sawit setelah diberi perlakuan kitosan menunjukkan peningkatan yang signifikan. pH awal limbah berada pada kisaran 4,62 yang menunjukkan sifat asam, jauh di bawah ambang baku mutu yang ditetapkan yaitu pH 6–9 sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014.

Dissolved Oxygen (DO)

Diketahui kadar DO air limbah sebelum diberikan perlakuan (P0) sebesar 0,8. Pada P1 yang menggunakan 0,5 gram kitosan menunjukkan penurunan nilai DO menjadi 0,28. Pada P2 yang menggunakan



Gambar 2 Grafik Perubahan Nilai DO Limbah

1 gram kitosan menunjukkan penurunan nilai DO menjadi 0,38. Pada P3 yang menggunakan 1,5 gram kitosan menunjukkan penurunan nilai DO menjadi 0,6. Pada P4 yang menggunakan 2 gram kitosan menunjukkan penurunan nilai DO

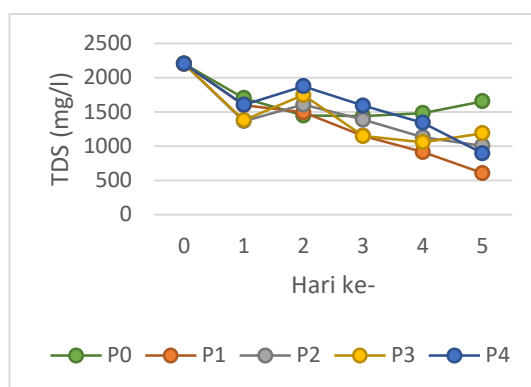
menjadi 0,72. penurunan DO yang terjadi pada seluruh perlakuan, kemungkinan disebabkan oleh interaksi kimia antara kitosan dan senyawa dalam limbah, yang dapat mengonsumsi oksigen terlarut atau

menghambat difusi oksigen ke dalam air. Selain itu, dosis kitosan, kemurnian kitosan, dan juga beban organik awal limbah cair kelapa sawit juga sangat mempengaruhi cara kerja kitosan yang membuat kitosan hanya mampu mengurangi apa yang memakan oksigen namun tidak menambahkan oksigen. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan fenomena konsumsi oksigen selama proses flokulasi yang intensif, seperti dijelaskan oleh Renault *et al.* (2008). Diperlukan adanya tahapan pengolahan lanjutan, seperti aerasi atau

biofiltrasi sehingga mampu mengatasi fluktuasi pada nilai DO limbah cair kelapa sawit.

Total Dissolved Solid (TDS)

Nilai TDS air limbah kelapa sawit sebelum diberikan perlakuan (P0) adalah sebesar 2.200 mg/l. Setelah diberikan perlakuan, penurunan nilai TDS yang paling efektif dengan pemberian sebanyak 0,5 gram (P1). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semua



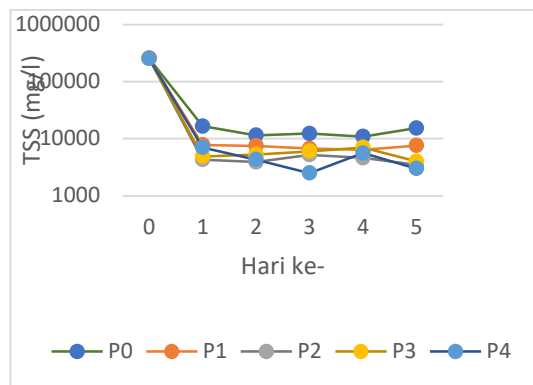
Gambar 3 Grafik Perubahan Nilai TDS Limbah

perlakuan kitosan mampu menurunkan nilai TDS dari yang awal sebesar 2.200 mg/l, dan sudah mencapai baku mutu yang ditetapkan yaitu 2.000 mg/l. Perlakuan P1 dengan pemberian kitosan sebanyak 0,5 gram memberikan hasil yang terbaik dengan penurunan TDS menjadi 606 mg/L. Kitosan bekerja dengan cara mengikat partikel terlarut melalui interaksi elektrostatik antara gugus amina bermuatan positif pada kitosan dengan partikel bermuatan negatif di dalam limbah, seperti asam lemak, protein terlarut, dan sisa senyawa organik lainnya. Mekanisme ini memungkinkan partikel kecil yang terlarut (koloid) untuk menggumpal menjadi partikel yang lebih besar dan akhirnya mengendap (Rinaudo, 2006). Meskipun

penurunan belum mencapai baku mutu, hal ini menunjukkan potensi besar dari kitosan sebagai bahan koagulan alami dalam pengolahan air limbah. Perlu dipertimbangkan pengoptimalan jumlah kitosan, waktu dedah, dan penggabungan teknologi lain seperti filtrasi atau adsorpsi lanjutan untuk meningkatkan efisiensi hingga mencapai standar kualitas air.

Total Suspended Solid (TSS)

Penurunan nilai TSS (*Total Suspended Solid*) yang diamati dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kitosan kulit udang berfungsi secara efektif sebagai koagulan-flokulan alami dalam menjernihkan limbah cair kelapa sawit. Pada awal



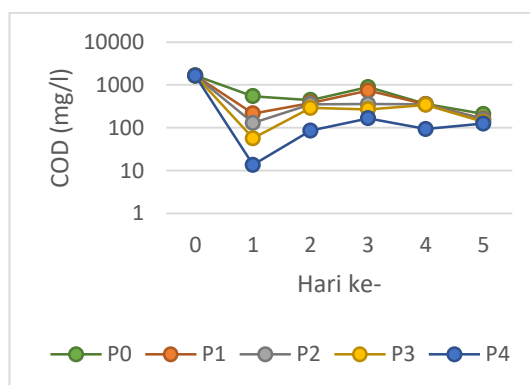
Gambar 4 Grafik Perubahan Nilai TSS Limbah

perlakuan, nilai TSS tercatat sebesar 254.000 mg/l dan setelah proses koagulasi-flokulasi selama 5 hari, kadar TSS menurun secara signifikan pada semua perlakuan dengan nilai terendah terdapat pada perlakuan kedua dengan pemberian 2 gram kitosan, yaitu sebesar 3.000 mg/l. Sifat polikationik kitosan mendorong terjadinya proses adsorpsi dan absorpsi pada membran sehingga polutan tidak hanya tertahan di permukaan membran, polutan yang lolos dari permukaan membran dan masuk ke dalam membran akan mengalami proses penyerapan kembali (absorpsi) oleh membran bagian dalam, sehingga polutan tetap tertahan di dalam membran (Wahyuni 2017). Kemampuan kitosan dalam

menurunkan kadar TSS berkaitan dengan karakteristik polimerik dan sifat kationiknya. Kitosan mampu menetralkan muatan negatif pada partikel tersuspensi, menyebabkan terbentuknya flok besar yang lebih mudah mengendap. Hal ini sesuai dengan teori koagulasi-flokulasi di mana partikel tersuspensi yang bermuatan negatif akan menggumpal ketika bertemu dengan muatan positif dari koagulan alami seperti kitosan (Rinaudo, 2006).

Chemical Oxygen Demand (COD)

Diketahui kadar COD air limbah kelapa sawit sebelum diberikan perlakuan (P0) adalah sebesar 1.647 mg/l. Setelah diberi perlakuan dengan kitosan



Gambar 5 Grafik Perubahan Nilai COD Limbah

menggunakan 2 gram kitosan kulit udang menghasilkan penurunan nilai COD menjadi sebesar 124,7 mg/l. Mekanisme

kerja kitosan dalam menurunkan COD melibatkan dua proses utama, yaitu koagulasi atau pengumpulan partikel halus

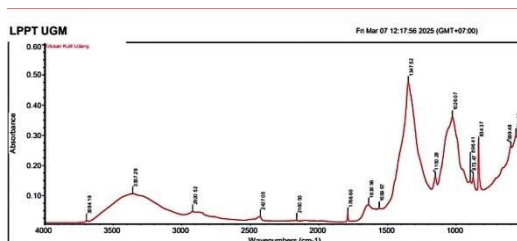
menjadi flok dan adsorpsi atau penyerapan senyawa terlarut oleh permukaan kitosan. Struktur kitosan yang memiliki gugus amino ($-NH_2$) bersifat kationik dapat berinteraksi dengan senyawa organik bermuatan negatif dalam limbah, sehingga terbentuk endapan flok yang mudah dipisahkan dari air (Rinaudo, 2006). Sesuai dengan hasil pengujian FTIR kitosan bahwa kitosan kulit udang yang digunakan ini mengandung gugus amino. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Ahmad *et al.* (2015), yang menyatakan bahwa kitosan dapat menurunkan kadar COD dalam limbah industri makanan hingga 85% melalui mekanisme yang serupa. Dengan demikian,

dapat disimpulkan bahwa kitosan kulit udang efektif sebagai koagulan alami dalam menurunkan COD limbah cair kelapa sawit, dan dapat menjadi alternatif pengolahan limbah yang berkelanjutan dan berbasis pemanfaatan limbah organik dari hasil perikanan.

Hasil Uji FTIR Kitosan Kulit Udang

Berdasarkan hasil penyajian grafik uji FTIR di atas, dapat diketahui bahwa :

- 3357.29 cm^{-1} : Puncak yang lebar dan kuat ini biasanya dikaitkan dengan vibrasi regangan O-H (hidroksil) dan N-H (amina) yang terlibat dalam ikatan hidrogen
- 2920.52 cm^{-1} : Puncak ini



Gambar 6 Hasil uji FTIR kitosan

umumnya dikaitkan dengan vibrasi regangan CH dari gugus alkil (metil dan metilen)

- 1636.96 cm^{-1} : Puncak ini sering dikaitkan dengan vibrasi regangan $C=O$ dari gugus amida I (dari unit N-asetil yang belum terdeasetilasi sempurna)
- 1559.57 cm^{-1} : Puncak ini terkait dengan vibrasi tekukan N-H dari gugus amida II (dari unit N-asetil)
- 1347.52 cm^{-1} : Puncak ini dapat dikaitkan dengan vibrasi tekuk C-H
- 1150.28 cm^{-1} : Puncak ini menunjukkan vibrasi regangan C-O-C pada struktur polisakarida
- 1026.07 cm^{-1} : Puncak yang kuat ini dikaitkan dengan vibrasi regangan C-O dari gugus alkohol primer

Berdasarkan puncak yang tersedia dalam data grafik uji FTIR, maka hasil derajat deasetilasi kitosan kulit udang ini adalah 89.53%. Nilai DD kitosan

menunjukkan bahwa konversi kitin ke kitosan sudah maksimal karena sesuai standar SNI kitosan yang baik digunakan sebagai adsorben memiliki DD > 75%. Grafik hasil uji FTIR kitosan kulit udang menyajikan karakteristik kitosan kulit udang yang dilakukan dengan mengetahui derajat deasetilasi dari analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Hasil pengujian derajat deasetilasi kitosan menunjukkan hasil sebesar 89,25% yang mana sudah termasuk standar minimal derajat deasetilasi untuk diaplikasikan pada limbah. Semakin besar derajat deasetilasi kitosan, maka kualitas kitosan tersebut akan semakin bagus. Besarnya derajat deasetilasi pada kitosan tergantung dari proses deasetilasi yang dijalankan (Suhardi, 1992). Derajat deasetilasi menunjukkan kandungan gugus amino bebas dalam polisakarida. Proses deasetilasi akan menyebabkan

penghilangan gugus asetil dari molekul dengan derajat kereaktifan kimia dari gugus amino yang tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kitosan kulit udang efektif digunakan sebagai koagulan alami untuk menurunkan kadar pencemar organik dalam limbah cair kelapa sawit. Hasil menunjukkan bahwa kitosan dapat menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah yang ramah lingkungan, ekonomis, dan potensial untuk diaplikasikan pada skala industri, khususnya industri pengolahan kelapa sawit. Konsentrasi optimal kitosan adalah sebesar 2 gram per 100 ml limbah, di mana penurunan paling signifikan terjadi pada nilai COD dari 1.647 mg/l menjadi 124,67 mg/l, dan TSS dari 254.000 mg/l menjadi 3.000 mg/l, serta pH yang meningkat mendekati netral dari 4,62 menjadi 7,38.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Didi Jaya Santri., M.Si atas bimbingan dan arahnya selama ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dosen Penguji saya, yaitu Ibu Susy Amizera SB., M.Si atas saran dan masukan yang berharga untuk memperbaiki jurnal ini. Selain itu, terima kasih juga kepada kedua orang tua penulis serta semua teman yang mendukung dan selalu bersama dengan penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S., Swantara, M. D., dan Suartha, I. N. (2015). Isolasi Kitin, Karakterisasi, dan Sintesis Kitosan Dari Kulit Udang. *Jurnal Kimia*, 9(2), 271–278.
- Ahmad. M., Ahmed, S., Swami. B. L., & Ikram. S. (2015). Adsorption of heavy metal ions: role of chitosan and cellulose for water treatment. *International Journal of Pharmacognosy*. 2(6): 280-289.
- kitin sehingga menghasilkan kitosan Direktorat Jenderal Perkebunan. (2020). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021* (D. Gartina & L. Sukriya, Eds.). Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Djunu, S. S., Saleh, E. J., & Srisukmawati Zainudin, dan. (2021). Kompos Berbahan Dasar Lumpur Sawit menggunakan Microbakter Alfaafa (M-11) Bagi Masyarakat. *Jambura Journal of Husbandry and Agriculture Community Serve (JJHCS)*, 1(1), 8.
- Febrianti, M., Pramitasari, N., & Kartini, A. M. (2023). Dosis Koagulan Optimum pada Proses Koagulasi Flokulasi Menggunakan Koagulan Serbuk Biji Hanjeli dalam Menurunkan Kekeruhan. *Dampak : Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas*, 20(1), 1.
- Hambali, M., Wijaya, E., & Reski, A. (2017). Pembuatan Kitosan dan Pemanfaatannya Sebagai Agen Koagulasi-Flokulasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(2), 104–113.
- Hatma, S., Yani, S., & Suryanto, A. (2021). Optimalisasi Penggunaan Kitosan Limbah Kulit Udang Vannamei Sebagai Koagulan dalam Perbaikan Kualitas Air Danau. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 2(2), 300–310.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Filtrasi dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21, 244–253.
- Lubis, Y. H., Panggabean, E. L., & Azhari, A. (2019). Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang dan Mikoriza terhadap Pertumbuhan Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) di Pembibitan Pre-Nursery. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 3(2), 86.

- Martini, S., Yuliwati, E., & Kharismadewi, D. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. *Distilasi*, 5(2), 26–33
- Meicahayanti, I., Marwah, M., & Setiawan, Y. (2018). Efektifitas Kitosan Limbah Kulit Udang dan Alum Sebagai Koagulan dalam Penurunan Tss Limbah Cair Tekstil. *Jurnal Chemurgy*, 02(1), 2–4.
- Mustafiah, Darnengsih, D., Sabara, Z., & Majid, R. A. (2018). Pemanfaatan Kitosan dari Limbah Kulit Udang Sebagai Koagulan Penjernihan Air. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 03(01), 27–31.
- Ngatirah, N. (2017). *Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit* (1st Ed.). Instiper Yogyakarta.
- Purwatiningsih, T., Achmad, Dwi, 2009, Kitosan: Sumber Biomaterial Masa Depan, IPB Press, Bogor.
- Putra, D. S., & Putra, A. (2014). Analisis Pencemaran Limbah Cair Kelapa Sawit Berdasarkan Kandungan Logam, Konduktivitas, TDS dan. *Jurnal Fisika Unand*, 3(2), 100.
- Renault, F., Sancey, B., Badot, P. M., & Crini, G. (2008). Chitosan for Coagulation/Flocculation Processes- An Eco-Friendly Approach. *European Polymer Journal*. 45:1337-1348.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and Chitosan : Properties and Applications. *Progress in Polymer Science*. 31:603-632.
- Said, M., Ba-Abbad, M. M., Abdullah, R. S. S., & Mohammad, A. W. (2017). Application of Response Surface Method in Reverse Osmosis Membrane to Optimize BOD, COD and Colour Removal from Palm Oil Mill Effluent. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 7(5), 1871–1872.
- Suhardi. 1992. Khitin dan Khitosan. Buku Monograf Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi: Yogyakarta.
- Susilawati, S., & Supijatno, S. (2015). Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Perkebunan Kelapa Sawit, Riau. *Bul. Agrohorti*, 3(2), 203–212.
- Wahyuni, S., Siswanto, S., & Putra, S. (2017). Formulasi Komposisi Membran Kitosan dan Optimasi Pengadukan dalam Penurunan Kandungan Padatan Limbah Cair Kelapa Sawit. *Widyariset*, 3(1):35-46.