

Kitosan sebagai Bioadsorben Logam Besi (Fe) pada Jaringan Lunak Kerang Hijau (*Perna viridis*)

Fransisca Ria Pramastuti, Endang Supriyantini†, Rini Pramesti*, Sri Sedjati, Ali Ridlo

*Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: rinipramesti63@gmail.com*

Abstrak

Logam besi (Fe) merupakan logam berat esensial yang dibutuhkan oleh makhluk hidup termasuk manusia dalam jumlah sedikit. Jika jumlahnya melebihi batas ambang dapat menimbulkan efek racun karena bersifat karsinogenik. Salah satu upaya mengurangi kadar logam Fe pada daging kerang tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan kitosan atau turunan kitosan yaitu karboksimetil kitosan (KMK) sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi konsentrasi KMK dan kitosan terhadap kapasitas dan daya adsorpsi, serta konsentrasi terbaik dalam menurunkan kandungan logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau. Metode penelitian secara eksperimental laboratoris. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 faktor. Faktor pertama yaitu sumber kitosan yang digunakan yaitu kitosan dan karboksimetil kitosan (KMK) dan faktor kedua yaitu variasi konsentrasi yaitu kontrol (0%); 0,5%; 1%; 1,5% dan masing-masing perlakuan dengan 3 ulangan. Konsentrasi logam berat Fe awal pada kerang hijau sebesar 13,17 mg/kg. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh variasi konsentrasi kitosan dan KMK terhadap kapasitas dan daya adsorpsi logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau. Konsentrasi terbaik pada kitosan 1,5% dapat menurunkan logam berat Fe menjadi 2,43 mg/kg dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,72 mg/g dan daya serap 81,56%, sedangkan KMK 1,5% dapat menurunkan logam berat Fe menjadi 3,68 mg/kg dengan kapasitas adsorpsi 0,63 mg/g dan daya serap sebesar 72,04%.

Kata kunci: Kitosan, Karboksimetil Kitosan, Adsorpsi, Kerang hijau

Abstract

Application of Chitosan as Iron Bioadsorbent in Green Mussel (*Perna viridis*)

Fe is an essential heavy metal needed by humans in small amounts, if the amount exceeds the threshold, it can cause toxic effects because it is carcinogenic. To reduce the metal content of Fe in mussel meat, it can be done by utilizing chitosan or chitosan derivatives, namely carboxymethyl chitosan (KMK) as an adsorbent. This study aims to determine the effect of variations in the concentration of KMK and chitosan on the adsorption capacity and power as well as the best concentration in reducing the heavy metal content of Fe in the soft tissue of green mussels. The research method is experimental laboratory. The research design used a completely randomized design (CRD) with 2 factors. The first factor is the source of chitosan used, namely chitosan and carboxymethyl chitosan (KMK) and the second factor is the variation in concentration used, namely control (0%), 0.5%, 1%, and 1.5% and each treatment 3 repetition. The initial heavy metal concentration of Fe in green mussels was 13.17 mg/kg. The results showed that there was an effect of variations in the concentration of chitosan and KMK on the capacity and adsorption ability of heavy metal Fe in green mussel meat. The best concentration of 1.5% chitosan can reduce heavy metal Fe to 2.43 mg/kg with adsorption capacity of 0.72 mg/g and absorption ability of 81.56%. Meanwhile, KMK 1.5% can reduce heavy metal Fe to 3.68 mg/kg with adsorption capacity of 0.63 mg/g and absorption ability of 72.04%.

Keywords: Chitosan, Carboxymethyl, Adsorption, Green mussels

PENDAHULUAN

Tambak Lorok merupakan daerah pesisir yang terletak di dekat Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Kawasan ini merupakan kawasan yang dihuni oleh masyarakat nelayan dan pembudidaya kerang serta dikelilingi oleh pemukiman warga, kegiatan industri, dan PLTU PT. Indonesia Power. Kegiatan tersebut berpotensi menurunkan kualitas perairan karena limbah yang dihasilkan (Astari *et al.*, 2021).

Berdasarkan hasil pantauan Perairan Tambak Lorok mengandung konsentrasi logam berat Fe sebesar 0,03-0,37 mg/L di air; 19,68-27,94 mg/kg di sedimen dan 161,43-203,59 mg/kg di kerang hijau (Supriyantini & Endrawati, 2015). Dilaporkan pula oleh Triantoro *et al.* (2017), konsentrasi logam Fe di air pada lokasi yang sama sebesar < 0,001-0,06 mg/L; di sedimen sebesar 5049,50-5561,30 mg/kg; dan di jaringan lunak kerang hijau sebesar 102,52-129,72 mg/kg.

Logam Fe merupakan logam berat esensial yang dibutuhkan makhluk hidup dalam jumlah sedikit (Nugraha *et al.*, 2014). Logam Fe dibutuhkan untuk pembentukan haemoglobin dalam darah. Logam ini memiliki kesempatan terakumulasi dalam tubuh organisme dalam jangka waktu yang lama, apabila jumlahnya melebihi ambang batas dapat menimbulkan efek racun karena bersifat karsinogenik (Darmono, 1995). Batas aman kandungan logam Fe pada tubuh organisme termasuk manusia menurut SNI 7387 (2009) tidak lebih dari 1 mg/kg. Logam berat Fe dapat mengakibatkan gangguan kerja enzim, keracunan, dan kematian (Iriana *et al.*, 2018).

Kerang hijau (*Perna viridis*) merupakan organisme yang dapat menjadi indikator pencemaran logam berat Fe di perairan. Hal tersebut dikarenakan organisme ini tidak aktif bergerak, organisme *filter feeder* mendapatkan makanan dengan cara menyaring makanan dari sedimen dan air, memiliki toleransi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan (Wulandari *et al.*, 2012; Purba *et al.*, 2014; Wardani *et al.*, 2018). Kerang hijau merupakan salah satu komoditas perikanan non ikan yang sudah lama dikenal dan bahkan sudah banyak dibudidayakan untuk dikonsumsi. Hasil pantauan di lapangan sebelum dilakukan perlakuan kandungan logam Fe pada daging kerang hijau sebesar 13,17 mg/kg. Kandungan logam berat Fe tersebut sudah cukup membahayakan bagi yang mengkonsumsinya, karena logam Fe yang terakumulasi sudah melebihi ambang batas yang ditentukan.

Salah satu upaya untuk menurunkan kadar logam berat Fe pada daging kerang yaitu dengan memanfaatkan kitosan atau turunan kitosan (karboksimetil kitosan, KMK) yang dapat difungsikan sebagai adsorben (Boamah *et al.*, 2015). Kitosan merupakan adsorben yang umum digunakan dalam mengurangi logam berat (Wang *et al.*, 2019). Kitosan merupakan produk turunan kitin yang ramah lingkungan yang berasal dari cangkang krustasea seperti kepiting dan udang yang diperoleh dari proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi kitin (Darmawan *et al.*, 2019). Kitosan terdiri atas gugus fungsi hidroksil dan amina yang membuat kitosan dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Kelebihan dari kitosan yaitu diperoleh dengan mudah, biaya rendah, tidak beracun, dan mudah terurai secara alami. Karboksimetil kitosan (KMK) merupakan hasil modifikasi kitosan yang bersifat mudah larut dalam air dan kelarutan yang lebih tinggi dari kitosan serta bersifat *biodegradable*, *biocompatible*, tidak beracun, hidrofilik dan mampu menjadi adsorben untuk logam berat (Murtini *et al.*, 2008; Boamah *et al.*, 2015).

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kemampuan adsorpsi dari dua sumber kitosan yang berbeda terhadap logam Fe pada daging kerang hijau dan menentukan konsentrasi yang terbaik dalam menurunkan kandungan logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau dengan variasi konsentrasi yang berbeda.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian ini adalah kitosan, KMK, dan daging kerang hijau yang diambil dari Perairan Tambak Lorok Semarang pada Desember 2020 dan Januari 2021. Kitosan yang digunakan berasal dari cangkang udang windu yang dibuat oleh CV. Biochitosan Indonesia. KMK yang digunakan berasal dari cangkang kepiting dan diproduksi oleh CV. ChiMultiguna. Metode yang digunakan yaitu eksperimental laboratorium dengan rancangan acak lengkap (RAL) 2 faktor. Faktor pertama adalah sumber kitosan KMK (A1) dan kitosan (A2) dan faktor kedua yaitu konsentrasi yang berbeda (B). Konsentrasi yang digunakan pada kedua sumber kitosan adalah 0% (kontrol) (B0), 0,5% (B1), 1% (B2), dan 1,5% (B3). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali, sehingga total perlakuan ada 24.

Pengambilan sampel dilakukan pada 3 titik *sampling* di muara sungai Banjir Kanal Timur Semarang. Sampel dari 3 titik tersebut kemudian

dikompositkan menjadi 1 sampel untuk mewakili kondisi pencemaran pada suatu stasiun. Sampel selanjutnya dibersihkan dengan air mengalir dan dilakukan penyortiran sesuai ukuran panjang cangkangnya $\pm 5-6$ cm. Ukuran tersebut dipilih karena kerang berada pada fase dewasa dan ukuran yang siap panen (Firdaus dan Aunurohim, 2019). Kerang yang sudah terpilih tersebut diambil dagingnya untuk dilakukan pengujian selanjutnya. Sebelum perlakuan, daging kerang hijau terlebih dahulu dianalisis kandungan logam Fe dengan menggunakan metoda AAS dan hasil yang diperoleh daging kerang hijau sebelum perlakuan sebesar 13,17 mg/kg.

Larutan kitosan dibuat dengan melarutkan kitosan (0,5; 1; dan 1,5) gram ke dalam beker glass yang berisi 20 ml asam asetat 2% dan 80 ml akuades (Iriana *et al.*, 2018; Sukma *et al.*, 2018). Larutan KMK dibuat dengan melarutkan karboksimetil kitosan (0,5; 1; dan 1,5) gram ke dalam beker glass yang berisi 100 ml akuades. Seluruh jaringan lunak yang telah dipisahkan dari cangkangnya ditimbang sebanyak 10gram untuk masing-masing perlakuan. Sampel jaringan lunak (daging) kerang hijau selanjutnya direndam dalam larutan kitosan dan KMK dengan konsentrasi 0% (kontrol), 0,5%, 1%, dan 1,5% selama 120 menit (Sukma *et al.*, 2018; Firdaus dan Aunurohim, 2019). Selanjutnya sampel hasil perendaman dianalisis kandungan logam Fe dengan metoda AAS.

Perendaman sampel daging dengan kitosan dan KMK pada masing-masing konsentrasi dilakukan 3 ulangan. Rincian perlakuan secara jelas disajikan sebagai berikut: A1B0 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam KMK 0 %, selama 120 menit; A1B1 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam KMK 0,5 %, selama 120 menit; A1B2 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam KMK 1 %, selama 120 menit; A1B3 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam KMK 1,5 %, selama 120 menit; A2B0 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam Kitosan 0 %, selama 120 menit; A2B1 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam Kitosan 0,5 %, selama 120 menit; A2B2 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam Kitosan 1 %, selama 120 menit; dan A2B3 = 10 g sampel daging kerang direndam dalam Kitosan 1,5 %, selama 120 menit.

Perhitungan kapasitas adsorpsi logam Fe oleh KMK dan kitosan menurut Iriana *et al.* (2018) adalah sebagai berikut:

$$q_e = (C_o - C_e) \times V / m$$

Keterangan: q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g); C_o = Konsentrasi awal logam Fe pada jaringan lunak kerang (mg/L); C_e = Konsentrasi akhir logam Fe pada jaringan lunak kerang (mg/L); V = Volume total (L); m = Massa Adsorben yang digunakan (g)

Perhitungan daya adsorpsi KMK dan kitosan terhadap logam Fe menurut Iriana *et al.* (2018) dihitung dengan persamaan:

$$\text{Daya Adsorpsi} = \frac{[Fe\ awal - Fe\ akhir]}{[Fe\ awal]} \times 100\%$$

Data yang diperoleh dilakukan uji normalitas dan homogenitas menggunakan perangkat lunak SPSS. Hasil pengujian selanjutnya dilakukan analisis ANOVA dua arah dengan selang kepercayaan 95% untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan. Pengujian dilanjutkan jika terdapat perbedaan dengan Uji Tukey *Post Hoc* untuk mengetahui letak perbedaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau sebelum perlakuan memiliki nilai rata-rata $13,17 \pm 7,11$ mg/kg. Setelah perlakuan kandungan logam berat Fe berkurang menjadi 5,99 mg/kg, hasil ini tertinggi untuk perlakuan KMK 0.5% dan kandungan logam berat Fe terendah pada perendaman sampel dalam kitosan dan KMK konsentrasi 1,5% yaitu masing-masing sebesar 2,43 mg/kg dan 3,68 mg/kg (Gambar 1). Hal ini menunjukkan nilai kandungan logam berat Fe dalam daging kerang menurun seiring bertambahnya konsentrasi KMK dan kitosan yang digunakan. Hal tersebut diduga terjadi kesetimbangan antara konsentrasi logam berat Fe yang diserap dengan konsentrasi yang tersisa dalam jaringan lunak kerang hijau. Kesetimbangan adsorpsi yang telah dicapai oleh perlakuan tersebut terjadi diduga terpenuhinya gugus aktif pada permukaan adsorben. Hal tersebut sesuai Firdaus dan Aunurohim (2019), gugus aktif yang sudah penuh membuat peluang terjadinya ikatan antara gugus aktif dengan logam berat Fe menjadi lebih kecil.

Perlakuan dengan kitosan 1% mempunyai kandungan logam berat Fe lebih tinggi dibandingkan konsentrasi lainnya. Keadaan tersebut diduga belum terjadi kesetimbangan antara adsorbat yang diserap oleh adsorben kitosan

dalam jaringan lunak kerang., Hal ini sesuai dengan Firdaus dan Aunurohim (2019), bahwa konsentrasi logam akan memiliki nilai lebih tinggi ketika belum terjadi kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat.

Perlakuan dengan kitosan 1,5% merupakan perlakuan paling efektif untuk mengurangi kandungan logam berat pada jaringan lunak kerang hijau dibandingkan variasi perlakuan lainnya. Hasil tersebut didukung oleh penelitian Murtini *et al.* (2004) yang menyatakan konsentrasi optimum dalam menurunkan logam berat adalah kitosan 1,5%.

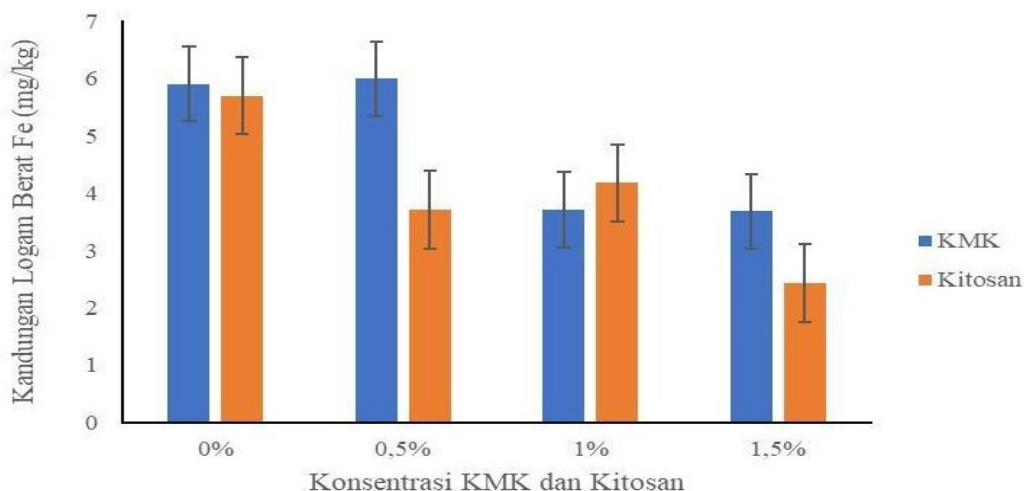
Perlakuan kontrol dapat menurunkan kandungan logam berat Fe pada sampel. Kondisi tersebut diduga terjadi proses *leaching*. Proses ini merupakan peristiwa ion logam terlepas dari struktur protein kerang hijau dan larut keluar dari jaringan lunak (Murtini *et al.*, 2008). Peristiwa tersebut terjadi bertujuan untuk menyeimbangkan konsentrasi di dalam jaringan lunak kerang.

Perlakuan sampel menggunakan larutan kitosan memiliki kandungan logam berat Fe yang lebih kecil daripada larutan KMK. Hal tersebut diduga dipengaruhi pH dalam larutan. Larutan kitosan memiliki pH rendah ($pH < 7$) karena mengandung asam asetat sebagai pelarut kitosan, sedangkan KMK memiliki pH netral karena pelarutnya berupa aquades (Firdaus & Aunurohim, 2019). Hal ini sesuai dengan Fahrudin *et al.* (2020) bahwa nilai pH mempengaruhi kelarutan suatu logam berat. Logam berat seperti Fe akan larut pada larutan dengan nilai $pH < 7$ seperti pada

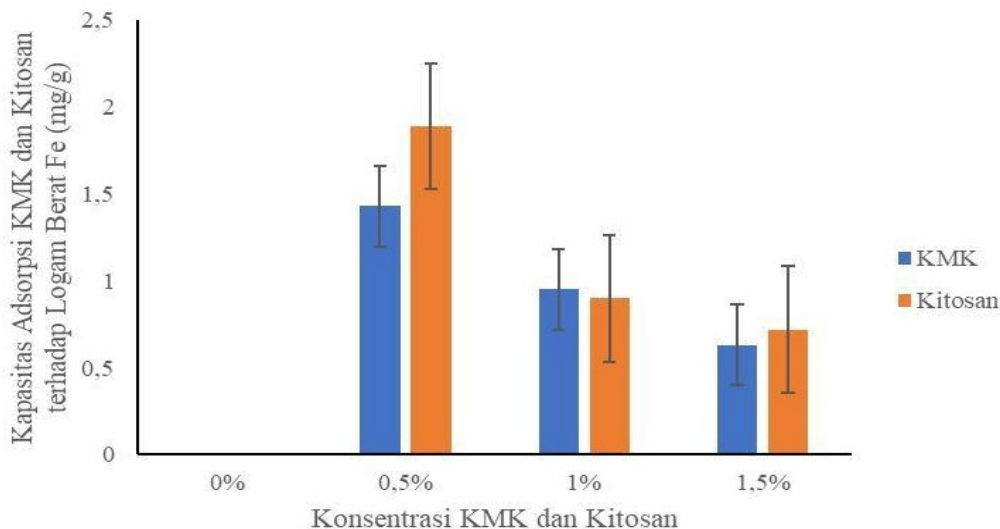
larutan kitosan. Kondisi ini membuat kandungan logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau menurun.

Perlakuan variasi konsentrasi KMK dan kitosan berpengaruh nyata terhadap penyerapan logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau ($p < 0,05$). Kapasitas adsorpsi terbesar dimiliki oleh perendaman sampel dalam larutan kitosan 0,5% sebesar 1,90 mg/g. Perendaman sampel dalam larutan KMK 1,5% menghasilkan kapasitas adsorpsi terendah sebesar 0,63 mg/g (Gambar 2).

Hasil penelitian menunjukkan penurunan nilai kapasitas adsorpsi pada konsentrasi kitosan dan KMK 0,5% hingga 1,5%. Hal tersebut diduga semakin banyak massa adsorben yang digunakan. Hal ini didukung Afif *et al.* (2018), adsorben dengan massa yang tinggi akan membentuk ikatan hidrogen intermolekul adsorben (KMK dan kitosan) yang membuat interaksi dengan ion logam berkurang. Kapasitas adsorpsi semakin menurun dengan bertambahnya konsentrasi yang digunakan. Hal ini diduga permukaan adsorben telah jenuh oleh ion-ion logam. Adsorben yang berada dalam keadaan jenuh dapat menghasilkan viskositas (kekentalan) yang tinggi. Hal ini sesuai Siregar *et al.* (2016), bahwa viskositas yang tinggi akan membuat larutan menjadi kental sehingga kitosan sukar untuk masuk ke jaringan lunak kerang. Keadaan tersebut menyebabkan potensial larutan kitosan dan KMK menurun dalam menyerap logam berat, sehingga gugus amina tidak dapat berikatan dengan logam berat. Kondisi yang jenuh juga membuat situs aktif pada KMK dan kitosan menjadi



Gambar 1. Histogram Kandungan Logam Berat Fe pada Jaringan Lunak Kerang Hijau Setelah Perlakuan dengan KMK dan Kitosan



Gambar 2. Histogram Kapasitas Adsorpsi KMK dan Kitosan terhadap Logam Berat Fe pada Jaringan Lunak Kerang Hijau

lemah dalam mengikat ion logam. Kondisi ini sesuai dengan yang dilaporkan Haji *et al.* (2020), semakin tinggi konsentrasi jarak antarmolekul adsorben menjadi dekat atau rapat, sehingga ion logam terhalang untuk berikatan dengan situs aktif adsorben.

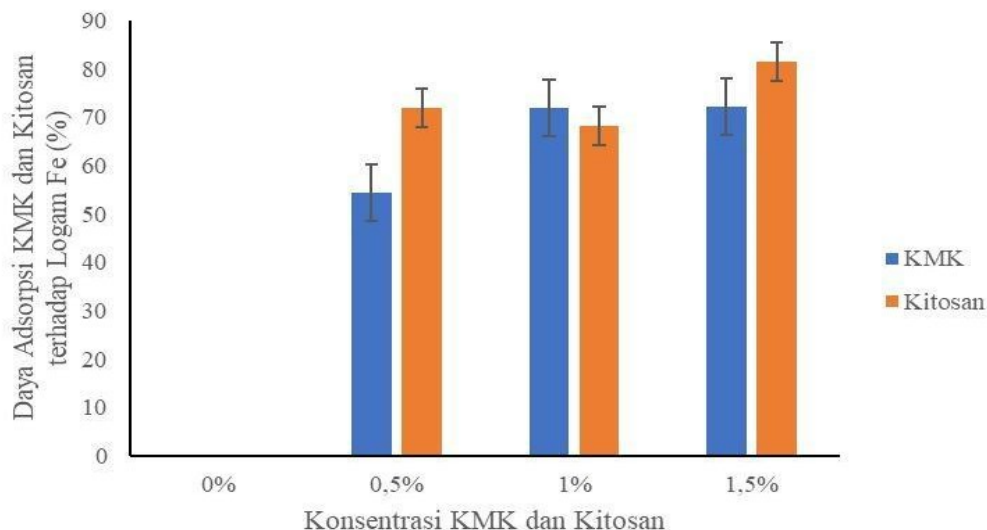
Kapasitas adsorpsi pada kitosan secara menyeluruh memiliki nilai yang lebih tinggi daripada KMK. Kondisi tersebut diduga pada gugus amina kitosan mempunyai pasangan elektron bebas yang bersifat nukleofilik. Hal tersebut didukung pendapat Berghuis dan Wahid (2021), bahwa sifat nukleofilik pada gugus amina membuat kitosan dapat membentuk ikatan dengan senyawa lain. Sifat tersebut juga menyebabkan kitosan mampu mengadsorpsi ion logam berat melalui pembentukan senyawa kompleks (kelat) dengan membentuk ikatan kovalen koordinasi. Hal ini sesuai dengan Rahayu dan Khabibi (2016), bahwa pembentukan senyawa kelat terjadi melalui reaksi asam-basa Lewis, asam Lewis adalah penerima elektron dan basa Lewis merupakan pendonor elektron. Gugus amina (NH_2) pada kitosan berperan sebagai pendonor pasangan elektron bebas sedangkan ion logam berat Fe sebagai penerima elektron. Nilai kapasitas adsorpsi yang rendah pada KMK diduga adanya rintangan sterik akibat keberadaan gugus karboksil (Redjeki *et al.*, 2011). Gugus karboksil pada KMK menyebabkan proses pembentukan kelat menjadi lebih sulit.

Daya Adsorpsi KMK dan Kitosan terhadap Logam Fe pada Jaringan Lunak Kerang Hijau

Perlakuan variasi KMK dan kitosan berpengaruh nyata terhadap daya adsorpsi logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau ($p < 0,05$). Penyerapan logam berat Fe paling tinggi pada perlakuan kitosan 1,5% (Gambar 3). Hal tersebut diduga akibat dari tingginya kandungan massa kitosan yang digunakan. Kondisi ini sesuai dengan pendapat Dewi *et al.* (2020) bahwa semakin banyak kitosan yang digunakan maka daya serap akan ion logam semakin besar. Hal tersebut tampak pada perlakuan sampel dengan larutan KMK 0,5% hingga 1,5% yang mengalami peningkatan daya adsorpsi. Penambahan adsorben membuat gugus aktif yang tersedia meningkat sehingga banyak ion logam yang dapat diserap dari sampel.

Perlakuan pada larutan kitosan 1% mengalami penurunan daya adsorpsi logam berat Fe. Kondisi tersebut diduga terjadi proses desorpsi pada larutan kitosan. Hal tersebut sesuai Firdaus dan Aunurohim (2019) bahwa proses desorpsi menyebabkan ikatan antara ion logam dengan gugus amina menjadi lemah. Hal tersebut menyebabkan ion yang telah berikatan dengan gugus aktif menjadi lepas sehingga daya adsorpsimenurun.

Adsorben kitosan dan turunannya yaitu karboksimetil kitosan dapat menyerap logam berat Fe pada sampel karena memiliki gugus amina dan karboksil yang mampu berikatan dengan ion logam Fe. Menurut Rosema *et al.* (2021), gugus amina



Gambar 3. Histogram Daya Adsorpsi KMK dan Kitosan terhadap Logam Berat Fe pada Jaringan Lunak Kerang Hijau

memiliki kemampuan sebagai *chelating agent* dalam menyerap logam berat. Gugus amina dalam kitosan dan KMK berperan sebagai donor elektron pada logam berat. Interaksi antara gugus amina dan ion logam berat akan membuat elektron dari atom N (Nitrogen) pada gugus amina diberikan pada logam Fe dan membentuk ikatan koordinasi. Hasil ikatan koordinasi tersebut membuat logam berat yang bersifat stabil dan beracun dalam jaringan lunak kerang menjadi berkurang. Logam berat yang telah berikatan dengan gugus aktif pada kitosan dan KMK akan membuat kandungan logam berat dalam jaringan lunak kerang menurun.

KESIMPULAN

Variasi konsentrasi KMK dan kitosan berpengaruh nyata terhadap kapasitas dan daya serap logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau. Konsentrasi terbaik untuk menurunkan kandungan logam berat Fe pada jaringan lunak kerang hijau yaitu kitosan 1,5% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,72 mg/g dan daya serap 81,56% dapat menurunkan logam berat Fe dari 13,17 mg/kg menjadi 2,43 mg/kg. Perlakuan KMK 1,5% dapat menurunkan logam berat Fe dari 13,17 mg/kg menjadi 3,68 mg/kg dengan kapasitas adsorpsi 0,63 mg/g dan daya serap sebesar 72,04%.

DAFTAR PUSTAKA

Afif, M., Wijayati, N. & Mursiti, S. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alupukat-Kitosan dengan Plasticizer

Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2): 102-109. doi: 10.15294/ijcs.v7 i2.20810.

Astari, F.D., Batu, D.T.F.L. & Setyobudiandi, I. 2021. Akumulasi Besi (Fe) Pada Kerang Hijau Di Perairan Tanjung Mas, Semarang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(1): 120-127. doi: 10.18343/jipi.26.1.120.

Berghuis, N.T. & Wahid, M.A. 2021. Sintesis Kitosan-Lignin Dengan Reaksi Mannich Dan Karakteristiknya. *Jurnal Kartika Kimia*, 4(1): 33-37. doi: 10.26874/jkk.v4i1.77.

Boamah, P.O., Huang, Y., Hua, M., Zhang, Q., Wu, J., Onumah, J. & Sam-Amoah, L.K. 2015. Sorption Of Heavy Metal Ions Onto Carboxylate Chitosan Derivatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 116: 113-120. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.01.012.

Darmawan, F.R.P., Nurentama, F. & Susilowati, T. 2019. Adsorpsi Logam Berat Tembaga (Cu) Dengan Kitosan Dari Limbah Cangkang Kupang Putih. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(1): 16-21. doi: 10.33005/jurnal_tekkim.v14i1.1650.

Darmono. 1995. Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI Press. Jakarta.

Dewi, D.K.I.C., Effendi, A.A.P., Saputro, E.A. & Sumada, K. 2020. Adsorpsi Fe^{3+} Dari Larutan $Fe_2(SO_4)_3$ Dengan Kitosan Cangkang Kupang Putih. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2): 58-62. doi: 10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2028.

- Fahrudin, F., Haedar, N., Abdullah, A., Wahab, A. & Rifaat, R. 2020. Deteksi Unsur Logam Dengan XRF Dan Analisis Mikroba Pada Limbah Air Asam Tambang Dari Pertambangan Di Lamuru-Kabupaten Bone. *Jurnal Geocelebes*, 4(1): 7-13. doi: 10.20956/geocelebes.v4i1.7831.
- Firdaus, A. & Anurohim. 2019. Pengaruh Pemberian Karboksimetil Kitosan (KMK) Dalam Upaya Penurunan Kadar Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis* Linn.) Dari Perairan Teluk Lamong Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2):24-30. doi: 10.12962/j23373520.v8i2.48606.
- Haji, A.T.S., Sulianto, A.A. & Miranda, F. 2020. Uji Kemampuan Membran Komposit Kitosan-Selulosa Terhadap Penurunan Kadar Kromium Pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(1): 18-27. doi: 10.21776/ub.jsal.2020.007.01.3.
- Iriana, D.D., Sedjati, S. & Yulianto, B. 2018. Kemampuan Adsorpsi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Logam Timbal. *Journal of Marine Research*, 7(4): 303-309. doi: 10.14710/jmr.v7i4.25929.
- Murtini, J.T., Januar, I.H. & Sugiyono. 2004. Upaya Pengurangan Cemar Logam Berat Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Dengan Larutan Kitosan. *Jurnal Perikanan Penelitian Indonesia*, 10(3): 3–10. doi: 15578/jppi.10.3.2004.7-10.
- Murtini, J.T., Kurniawan, A.D. & Dewi, E.N. 2008. Pengaruh Waktu Perendaman Dan Konsentrasi Karboksimetil Kitosan Untuk Menurunkan Kandungan Logam Berat Hg, Cd, Dan Pb Pada Kerang Hijau (*Perna Viridis* Linn.). *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 3(1): 37-43. doi: 10.15578/jpbkp.v3i1.8.
- Nugraha, W.C., C. Elishian, & R. Ketrin. 2014. Penentuan Logam Besi Dan Seng Total Dalam Produk Perikanan Menggunakan Flame Atomic Absorption Spectrometry Dan Pengukuran Nilai Ketidakpastiannya. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 16(2): 62-67. doi: 10.14203/jkti.v16i2.9.
- Purba, C., Ridlo, A. & Suprijanto, J. 2014. Kandungan Logam Berat Cd Pada Air, Sedimen, Dan Daging Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Mas Semarang Utara. *Journal of Marine Research*, 3(3): 285-293. doi: 10.14710/jmr.v3i3.6000.
- Rahayu, P. & Khabibi. 2016. Adsorpsi Ion Logam Nikel (II) Oleh Kitosan Termodifikasi Tripolifosfat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 19(1): 21-26. doi: 10.14710/jksa.19.1.21-26.
- Redjeki, T., Nugroho, A. & Sari, L.R. 2011. Membran Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM) Sebagai Adsorben Ion Cu (II). *Proceeding Biology Education Conference*, 16 Juli 2011. 8(1): 445-450.
- Rosema, R., Supriyantini, E. & Sedjati, S. 2021. Pemanfaatan Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam Pb Pada Perairan Yang Tercemar Minyak Bumi. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1): 61-66. doi: 10.14710/buloma.v10i1.31051.
- Siregar, E., Suryati & Hakim, L. 2016. Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Kitosan Dari Tulang Sotong (*Sepia officinalis*). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 5(2): 37-44. doi: 10.29103/jtku.v5i2.88.
- Sukma, D.H., Riani, E. & Pakpahan, E.N. 2018. Pemanfaatan Kitosan Sebagai Adsorben Sianida Pada Limbah Pengolahan Bijih Emas. *Jurnal pengolahan dan hasil perikanan Indonesia*, 21(3): 460-470. doi: 10.17844/jphpi.v21i3.24718.
- Supriyantini, E. & H. Endrawati. 2015. Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1): 38-45. doi: 10.14710/jkt.v18i1.512.
- Triantoro, D.D., Suprpto, D. & Rudiyaniti, S. 2017. Kadar Logam Berat Besi (Fe), Seng (Zn) Pada Sedimen Dan Jaringan Lunak Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Tambak Lorok Semarang. *Journal of Maquares*, 6(3): 173-180. doi: 10.14710/marj.v6i3.20573.
- Wardani, I., Ridlo, A. & Supriyantini, E. 2018. Kandungan Kadmium (Cd) Dalam Air, Sedimen, Dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Trimulyo Semarang. *Journal of Marine Research*, 7(2): 151-158. doi: 10.14710/jmr.v7i2.25904.
- Wulandari, S.Y., Yulianto, B., Santosa, G.W. & Suwartimah, K. 2012. Kandungan Logam Berat Hg Dan Cd Dalam Air, Sedimen Dan Kerang Darah (*Anadara granossa*) Dengan Menggunakan Metode Analisis Pengaktifan Neutron (APN). *Journal of Marine Sciences*, 14(3): 170-175. doi: 10.14710/ik.ijms.14.3.170-175.