

**SINTESIS DAN APLIKASI MEMBRAN
KARAGENAN-KITOSAN SEBAGAI ADSORBEN ION Hg(II)**

**SYNTHESIS AND APPLICATION OF CARRAGENAN-CHITOSAN
MEMBRANES AS Hg(II) ION ADSORBENT**

Rohdianti Rukmana*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*email: rohdiantirukmana@yahoo.com

Abstrak: Ion Hg(II) merupakan salah satu zat pencemar yang paling berbahaya. Metode yang dapat digunakan untuk menangani limbah logam berat adalah adsorpsi menggunakan adsorben yang terbuat dari polimer alam karagenan dan kitosan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas serta kinetika dan isoterm adsorpsi ion Hg(II) menggunakan membran karagenan-kitosan. Metode penelitian ini meliputi sintesis dan karakterisasi membran karagenan-kitosan, penentuan kondisi optimum adsorpsi diantaranya optimasi pH, massa dan waktu kontak, penentuan efektivitas adsorpsi serta penentuan kinetika dan isoterm adsorpsi terhadap ion Hg(II). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum adsorpsi pada pH 4, massa 0,13 g dan waktu kontak 90 menit. Efektivitas adsorpsi sebesar 82%. Model kinetika adsorpsi mengikuti model pseudo orde dua dengan nilai R^2 sebesar 0,868, sedangkan isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Freundlich dengan nilai R^2 sebesar 0,999.

Kata kunci : Ion Hg(II), adsorpsi, karagenan-kitosan dan membran.

Abstract: The ion Hg(II) is one of the most dangerous pollutants. The method that can be to treat heavy metal waste is adsorption using an adsorbent made from natural polymers of carrageenan and chitosan. This study aims to determine the effectivity and kinetics and isotherm of ion adsorption Hg(II) using a carrageenan-chitosan membrane. This research method includes synthesis and characterization of carrageenan-chitosan membranes, determination of optimum adsorption conditions including optimization of pH, mass and contact time, determination of adsorption effectivity and determination of adsorption kinetics and isotherms for ions Hg(II). The results showed that the optimum conditions for adsorption were pH 4, mass 0.13 g and contact time of 90 minutes. The adsorption effectivity is 82%. The adsorption kinetics model followed the pseudo-second order model with an R^2 value of 0.868, while the adsorption isotherm followed the Freundlich isotherm model with an R^2 value of 0.999.

Keywords: Ion Hg(II), adsorption, carrageenan-chitosan and membrane.

PENDAHULUAN

Logam berat adalah salah satu zat pencemar yang paling berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Logam berat adalah unsur kimia dengan berat atom tinggi dan cenderung beracun. Diantara berbagai macam logam berat, merkuri (Hg) digolongkan sebagai pencemar paling berbahaya walaupun dalam kadar yang sedikit (Kehrig *et al.*, 2002). Merkuri (Hg) merupakan cairan yang berwarna putih keperakan dengan titik beku $-38,87^{\circ}\text{C}$ dan titik didih $356,90^{\circ}\text{C}$ serta berat jenis $13,55\text{ gr/cm}^3$ dan berat atom 200,6. Merkuri (Hg) merupakan salah satu *trace element* yang mempunyai sifat cair pada temperatur ruang dengan *specific gravity* dan daya hantar listrik yang tinggi, dan merupakan unsur toksik yang menjadi perhatian global karena menimbulkan bahaya yang signifikan terhadap manusia, satwa dan ekosistem (Mirdat *et al.*, 2013).

Beberapa metode yang digunakan untuk menghilangkan logam berat, diantaranya yaitu dengan metode pengendapan kimia, proses adsorpsi, pertukaran ion, koagulasi-fluktuasi dan flotasi (Renu *et al.*, 2017). Dari semua metode ini, adsorpsi lebih banyak dipilih sebagai metode penghilangan logam pada limbah industri karena adsorpsi merupakan cara yang lebih efisien dan ekonomis dibandingkan dengan metode lainnya. Kitosan dipilih sebagai material dasar adsorben karena biaya produksinya rendah, tidak menghasilkan limbah baru, hidrofobik dan efektif terhadap konsentrasi rendah serta memiliki selektivitas dan kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap logam berat (Lin *et al.*, 2011).

Kitosan adalah salah satu polimer rantai panjang dengan rumus molekul $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4)_n$ dihasilkan dari kitin melalui proses deasetilasi sempurna maupun sebagian dengan cara menghilangkan gugus asetil (CH_3CO) dengan atom hidrogen (H) menjadi gugus amina (NH_2). Kemampuan kitosan mengadsorpsi ion logam berat dikarenakan adanya gugus amino (NH_2) dan gugus hidroksil (OH) yang terdapat dalam kitosan. Atom nitrogen yang terdapat pada gugus amino berperan sebagai donor elektron yang dapat bereaksi secara kompleks dengan ion logam, sehingga

gugus amino dan hidroksil yang terdapat pada kitosan berperan aktif dalam mengadsorpsi ion logam (Iriana *et al.*, 2018).

Salah satu aplikasi kitosan yang saat ini sedang berkembang dalam proses adsorpsi adalah pembuatan adsorben kitosan dalam bentuk membran. Penggunaan membran kitosan dalam pengolahan limbah dapat dilakukan karena sifat kitosan yang mirip dengan selulosa sehingga dapat dibentuk menjadi film atau membran (Ornum, 1992). Namun membran yang dihasilkan mempunyai sifat mekanik yang kurang bagus sehingga pada penelitian ini dilakukan penambahan polimer lain yang mempunyai sifat mekanik lebih baik seperti karagenan membentuk membran karagenan-kitosan (Ibrahim *et al.*, 2020).

MATERI DAN METODE

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah batang pengaduk, gelas kimia, erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, pipet tetes, gelas piala, *magnetic stirrer*, pipet volume, *shaker*, cetakan akrilik, cawan petri, timbangan analitik, *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan Spektrofotometri UV-Vis. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aquades, Asam klorida (HCl), larutan Hg(II) standar 1000 ppm, larutan Rhodamin B, kitosan (DDA) 95% (300-400 kDa), *kappa*-karagenan (12-40 kDa), Natrium hidroksida (NaOH), Asam asetat (CH₃COOH) glasial, dan kertas saring Whatman No. 41.

Prosedur Penelitian

Sintesis Membran Karagenan-Kitosan

Membran karagenan-kitosan disintesis dengan mencampurkan karagenan-kitosan pada massa rasio 1:1. Karagenan sebanyak 1 g dilarutkan dalam 25 mL aquades, kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Kitosan sebanyak 1 g dilarutkan dalam 25 mL aquades dan 5 mL asam asetat glasial. Kedua larutan didiamkan selama satu malam. Larutan yang telah dicampur diaduk hingga homogen dan diatur pH menjadi 5. Selanjutnya dituang ke dalam cetakan akrilik dan dikeringkan pada suhu ruang selama 72 jam hingga diperoleh membran karagenan-

kitosan kering. Membran kemudian dicuci dan dikeringkan pada suhu kamar (Ismillayli *et al.*, 2020).

Karakterisasi membran karagenan-kitosan

Gugus fungsi membran karagenan-kitosan dianalisis menggunakan FTIR. Sampel dicampurkan dengan KBr dan dibuat dalam bentuk *pellet*, diletakkan pada tempat sampel dan kemudian dicatat. Sinar inframerah yang ditembakkan pada membran akan direkam sebagai panjang gelombang dengan spektrum antara 500-4000 cm^{-1} . Perlakuan yang sama juga dilakukan pada membran setelah adsorpsi ion logam Hg(II).

Sifat mekanik membran diuji menggunakan alat digital *Tensilon*. Membran digunting sesuai ukuran yang akan dianalisis dengan lebar 50 mm dan panjang 65 mm, kemudian diukur. Potongan membran dipasang kepegangan alat, 1 pegangan tetap dan 1 pegangan bergerak. Pegangan digerakkan ke atas secara perlahan sampai membran sobek. Nilai gaya maksimum untuk merobek membran yang diukur terlihat pada *display* alat.

Analisis ion Hg(II) menggunakan spektrofotometer UV-Vis

1. Pembuatan larutan induk ion Hg(II) 1000 ppm

HgCl₂ sebanyak 0,1354 g dilarutkan dalam 75 mL aquades dan 1 ml HNO₃ pekat, kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas.

2. Pembuatan larutan standar ion Hg(II) 100 ppm

Larutan induk merkuri 1000 ppm sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, kemudian ditambahkan aquades sampai tanda batas.

3. Pembuatan larutan standar ion Hg(II) 10 ppm

Larutan standar 100 ppm sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan aquades sampai tanda batas.

4. Pembuatan kurva kalibrasi merkuri

Larutan standar Hg 10 ppm diambil masing-masing 5, 15, 25, 35, dan 50 mL, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL dan ditambahkan aquades sampai tanda batas sehingga diperoleh konsentrasi merkuri 1, 3, 5, 7, dan 10 ppm.

Sampel kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Penentuan pH, massa dan waktu kontak optimum

1. Penentuan pH optimum

Membran karagenan-kitosan sebanyak 0,03 g dimasukkan ke dalam masing-masing 10 mL larutan ion Hg(II) 5 ppm dengan waktu 60 menit dan diaduk menggunakan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. pH larutan dibuat bervariasi pada pH 1, 2, 3, 4 dan 5. Selanjutnya larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

2. Penentuan massa adsorben optimum

Larutan ion Hg(II) 5 ppm sebanyak 10 mL pada pH optimum dimasukkan masing-masing 0,03; 0,13; 0,24; 0,36 dan 0,47 g membran dan diaduk menggunakan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. Selanjutnya larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

3. Penentuan waktu kontak optimum

Membran karagenan-kitosan sebanyak 0,03 g dimasukkan ke dalam masing-masing 10 mL larutan ion Hg(II) 5 ppm pada pH optimum dan diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. Waktu dibuat bervariasi pada waktu 30, 60, 90, dan 120 menit. Selanjutnya larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Efisiensi adsorpsi ion logam Hg(II) menggunakan membran karagenan-kitosan pada kondisi optimum

Larutan ion Hg(II) 10 ppm sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam labu ukur 25 mL. pH, massa dan waktu diatur pada kondisi optimum kemudian diaduk menggunakan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. Selanjutnya larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum.

Penentuan model kinetika adsorpsi

Untuk mempelajari kinetika adsorpsi membran karagenan-kitosan sebanyak 0,03 g dimasukkan ke dalam masing-masing 10 mL larutan ion Hg(II) 5 ppm pada pH optimum dan diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan dengan memplotkan persamaan pada Tabel 2.1. Nilai linieritas yang mendekati 1 merupakan model kinetika yang paling sesuai.

Tabel 2.1 Persamaan model kinetika adsorpsi

Model	Persamaan	Persamaan Linear
Orde 1	$-\frac{d[C]}{dt} = k_1[C]$	$\ln[C_t] = \ln[C_o] - kt$
Orde 2	$-\frac{d[C]}{dt} = k_2[C]^2$	$\frac{1}{[C_t]} = k_2t + \frac{1}{[C_o]}$
Pseudo Orde 1	$-\frac{dQ_t}{dt} = k(Q_e - Q_t)$	$\log(Q_e - Q_t) = \log Q_e - \frac{k}{2.303}t$
Pseudo Orde 2	$-\frac{dQ_t}{dt} = k(Q_e - Q_t)^2$	$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{kQ_e^2} + \frac{t}{Q_e}$

Keterangan:

C_o = Konsentrasi awal larutan (ppm)

C_t = Konsentrasi saat kesetimbangan (ppm)

Q_e = kapasitas adsorpsi pada waktu setimbang (mg/g)

Q_t = kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g)

t = waktu (menit)

k = konstanta laju reaksi

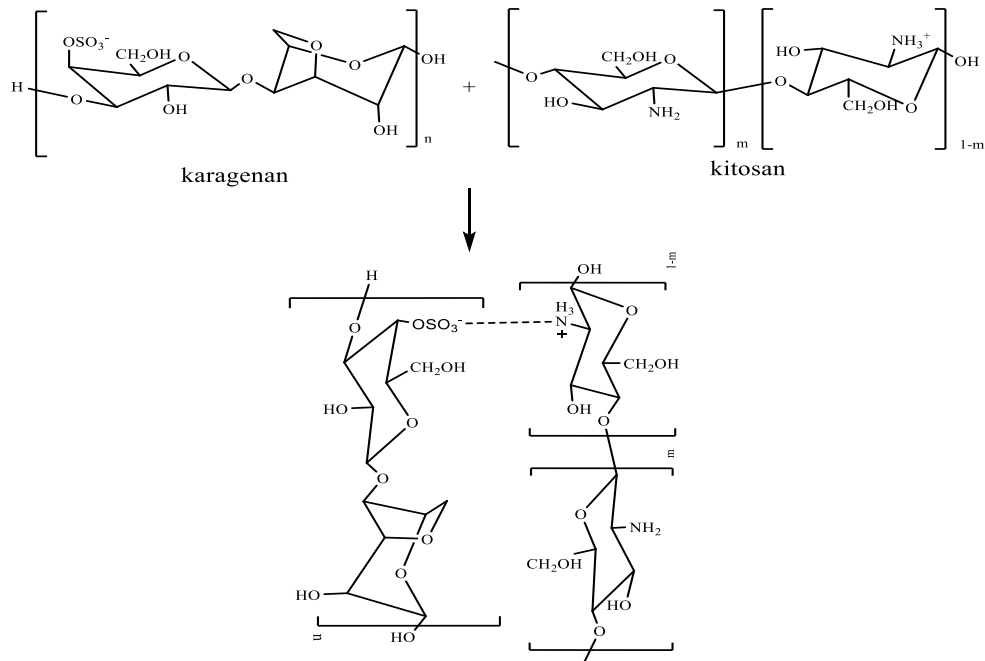
Penentuan model isoterm adsorpsi

Membran karagenan-kitosan sebanyak 0,13 g dimasukkan ke dalam 10 mL larutan ion Hg(II) 2 ppm pada pH dan waktu optimum dan diaduk dengan *shaker* pada kecepatan 150 rpm. Selanjutnya larutan disaring dan filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Percobaan ini diulangi untuk konsentrasi 4, 6, 8 dan 10 ppm.

HASIL DAN DISKUSI

Membran karagenan-kitosan

Tahap awal sintesis membran dilakukan dengan melarutkan kitosan ke dalam larutan asam asetat 2%, dan karagenan ke dalam aquades. Selama pembentukan membran karagenan-kitosan, pH membran diatur menjadi pH 5 karena merupakan pH optimal untuk pembentukan membran karagenan-kitosan (Ismilailly *et al.*, 2020). Mekanisme pembentukan membran karagenan-kitosan ditunjukkan pada Gambar 4.1



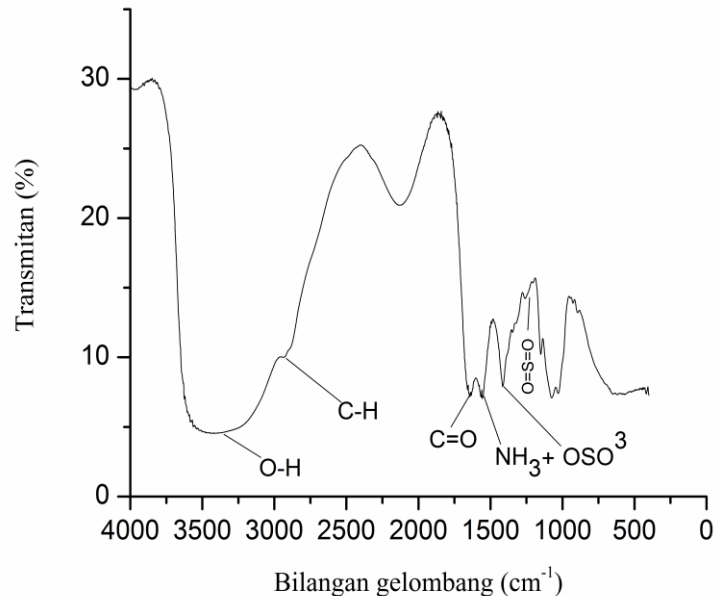
Gambar 1. Mekanisme pembentukan karagenan-kitosan

Gambar 1. menunjukkan bahwa pada perbandingan massa 1:1 stoikiometri karagenan-kitosan mengakibatkan satu gugus amino dari kitosan akan berikatan dengan satu gugus sulfat dari karagenan. Kitosan akan membentuk polikation dalam suasana asam, sehingga gugus amino pada kitosan terprotonasi menjadi NH_3^+ dan berinteraksi dengan gugus OSO_3^- pada karagenan (Ismilailly *et al.*, 2020). Interaksi yang terjadi adalah interaksi elektrostatik karena adanya muatan yang berlawanan pada kedua polielektrolit tersebut. Muatan negatif dari karagenan akan menetralkan muatan positif dari kitosan, sehingga interaksi muatan yang berlawanan akan menghilangkan tolakan elektrostatik (Long *et al.*, 2015).

Karakterisasi membran karagenan-kitosan

Karakterisasi gugus fungsi

Analisis menggunakan FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada membran karagenan-kitosan.



Gambar 2. Spektrum FTIR membran karagenan-kitosan

Gambar 2. menunjukkan adanya serapan baru pada bilangan gelombang 1556,81 cm⁻¹ dan 1415,86 cm⁻¹ yang menandakan adanya interaksi elektrostatis antara gugus amino pada kitosan dengan gugus sulfat pada karagenan (Rabelo *et al.*, 2020). Adanya ionisasi dalam pembentukan karagenan-kitosan dibuktikan dengan puncak serapan khas kitosan pada bilangan gelombang 1658,26 cm⁻¹ yang menunjukkan gugus fungsi amida I. Bilangan gelombang 1259,62 cm⁻¹ merupakan gugus fungsi ester sulfat pada karagenan. Bilangan gelombang 1150,41 cm⁻¹ menunjukkan ikatan glikosidik C-O-C (Ibrahim, 2020). Pada bilangan gelombang 1658,26 cm⁻¹ dan 1633,56 cm⁻¹ yang merupakan gugus C=O, dan pada bilangan gelombang 1571,05 cm⁻¹ merupakan gugus N-H dari kitosan. Gugus NH₂ teridentifikasi karena tidak semua gugus ini terprotonasi untuk berinteraksi dengan karagenan (Grenha *et al.*, 2009).

Kuat tarik

Hasil pengujian didapatkan nilai kuat tarik membran karagenan-kitosan sebesar 42 MPa dengan modulus young yang cukup besar yaitu 38 N/mm^2 . Hal ini menunjukkan bahwa membran pada penelitian ini cukup elastis dan tidak mudah putus. Penelitian Ismilailly *et al.*, (2020) menunjukkan kuat tarik yang dihasilkan membran karagenan-kitosan sebesar 30 MPa. Selain itu, penelitian Ibrahim *et al.*, (2020) menunjukkan nilai kuat tarik membran karagenan-kitosan sebesar 8 MPa. Interaksi elektrostatik meningkatkan kuat tarik dan perpanjangan membran karena adanya efek plastisasi membran (Ismillayli, *et al.*, 2021).

Penentuan panjang gelombang maksimum ion Hg(II)

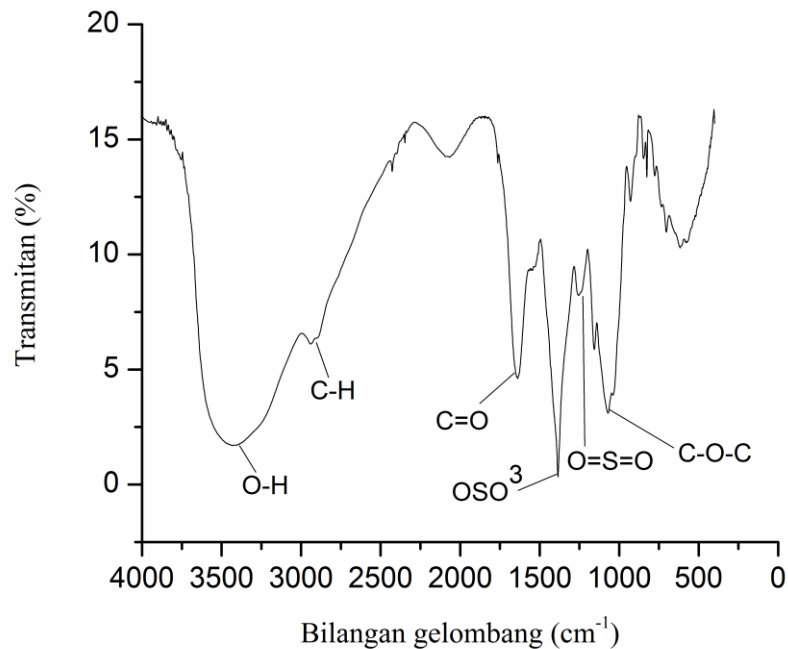
Ion logam yang digunakan pada penelitian ini adalah ion Hg(II). Pengukuran suatu ion Hg(II) menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang tertentu yang menghasilkan absorbansi paling besar disebut panjang gelombang maksimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa absorbansi maksimum larutan Hg(II) adalah pada panjang gelombang 586 nm dengan nilai absorbansi 0,107.

Efisiensi adsorpsi ion Hg(II) oleh membran karagenan-kitosan

Dari pengujian variasi pH, massa dan waktu, diambil 3 kondisi dengan kapasitas adsorpsi tertinggi yakni pada pH 4, massa 0,13 g dan waktu selama 90 menit, menunjukkan bahwa membran karagenan-kitosan efektif dalam menurunkan kadar ion Hg(II) hingga 82%.

Karakterisasi membran karagenan-kitosan setelah adsorpsi

Interaksi antara membran karagenan-kitosan dengan ion logam Hg(II) dapat dilihat pada perubahan spektrum IR. Spektrum IR setelah adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum FTIR membran karagenan-kitosan setelah adsorpsi

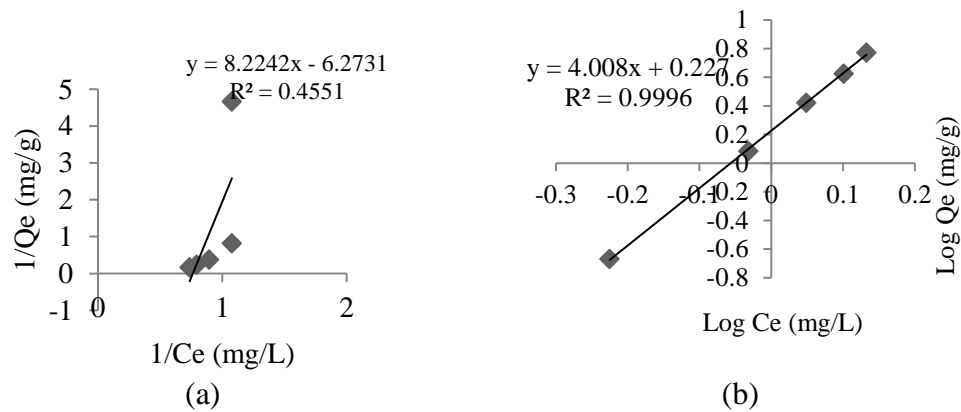
Gambar 3. menunjukkan adanya pergeseran-pergeseran bilangan gelombang. Gugus fungsi yang mengalami pergeseran bilangan gelombang tersebut diasumsikan sebagai gugus fungsi yang berperan dalam proses adsorpsi. Hasil spektra adsorben setelah adsorpsi menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang pada 3624,89 cm^{-1} yang merupakan gugus OH. Hilangnya puncak 1571,05 cm^{-1} yang merupakan gugus N-H pada kitosan. Selain itu, terjadinya pergeseran pada bilangan gelombang 1415,86 cm^{-1} menjadi 1384,68 cm^{-1} pada gugus SO_3^- . Sehingga dapat disimpulkan bahwa gugus yang berperan dalam proses adsorpsi adalah gugus O-H, N-H dan gugus SO_3^- .

Penentuan kinetika adsorpsi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam Hg(II) oleh membran karagenan-kitosan mengikuti model pseudo orde dua yang ditandai dengan nilai R^2 paling mendekati 1, yaitu 0,868 dengan konstanta laju adsorpsi (k) sebesar 18,7 $\text{g.mg}^{-1}.\text{menit}^{-1}$. Nilai k adsorpsi merupakan parameter yang memaknai tentang cepat atau lambat suatu proses adsorpsi berlangsung. Makin tinggi nilai k, makin cepat proses adsorpsi berlangsung (Tanasale, *et al.*, 2014). Kesesuaian model kinetika pseudo orde

dua menggambarkan bahwa proses adsorpsi ion Hg(II) pada membran karagenan-kitosan dipengaruhi oleh dua spesi reaktan yaitu konsentrasi ion Hg(II) dan konsentrasi situs aktif pada membran karagenan-kitosan. Fransina dan Tanasale (2007) menyatakan bahwa mekanisme proses adsorpsi pseudo orde dua dijelaskan dengan mengasumsikan bahwa sebagai penentu laju reaksi adalah proses penyerapan kimia yang meliputi pertukaran elektron antara adsorben dan adsorbat.

Penentuan isoterm adsorpsi



Gambar 4. Model isoterm adsorpsi (a) Langmuir dan (b) Freundlich

Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan nilai parameter isoterm adsorpsi. Nilai koefisien korelasi (R^2) isoterm Langmuir sebesar 0,455, sedangkan nilai koefisien korelasi (R^2) isoterm Freundlich sebesar 0,999. Berdasarkan hasil tersebut adsorpsi ion Hg(II) oleh membran karagenan-kitosan cenderung mengikuti pola isoterm adsorpsi Freundlich. Nilai persamaan isoterm adsorpsi Freundlich untuk membran karagenan-kitosan yaitu $\log Q_e = 4,008 \log C_e + 0,227$.

Kesesuaian dengan persamaan isoterm Freundlich tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi yang terjadi membentuk banyak lapisan (*multilayer*) adsorbat pada permukaan dan bersifat heterogen. Proses adsorpsi antara ion logam Hg(II) dengan membran karagenan-kitosan melibatkan ikatan fisika sehingga mudah dilepaskan kembali karena ikatan yang dimiliki lemah. Hal ini terjadi karena molekul yang terikat pada membran disebabkan karena adanya ikatan Van der Waals antara gugus aktif membran dan ion Hg(II). Hasil ini sesuai dengan penelitian Wadi *et al.* (2020)

dimana didapatkan model isoterm Freundlich untuk adsorpsi ion logam Hg(II) menggunakan senyawa yang mengandung sulfur yang memiliki afinitas tinggi terhadap ion Hg(II). Pada penelitian Wahyuni *et al* (2018) juga mendapatkan hasil sejalan bahwa adsorpsi ion Hg(II) menggunakan adsorben butiran kerikil putih bersalut kitosan mengikuti pola isoterm adsorpsi Freundlich.

KESIMPULAN

Membran karagenan-kitosan dapat mengadsorpsi ion Hg(II) pada pH 4, massa 0,13 g dan waktu 90 menit dengan nilai efisiensi sebesar 82%. Model kinetika adsorpsi mengikuti model pseudo orde dua dan model isoterm mengikuti isoterm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi (R^2) 0,999 Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi ion Hg(II) oleh membran karagenan-kitosan merupakan adsorpsi fisika.

DAFTAR PUSTAKA

- Ibrahim, B., dan Soleh, A. M., 2020, Kinerja Membran Komposit Kitosan-Karagenan pada Sistem Microbial Fuel Cell dalam Menghasilkan Biolistrik dari Limbah Pemandangan Ikan, *JPHPI* 23(1): 137-146.
- Iriana, D. D., Sedjati, s., dan Yulianto, B., 2018, Kemampuan Adsorpsi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Logam Timbal, *Journal of Marine Research* 7(4): 303-309.
- Ismillayli, N., Andayani, I. G.A. S., Honiar, R., Mariana, B., Sanjaya, R.K., dan Hermanto, D., 2020, Polyelectrolyte Complex (PEC) Film Based on Chitosan as Potential Edible Films and Their Antibacterial Activity Test, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Engineering.
- Kehrig, H., Costa, M., Moreira, I., dan Malm, O., 2002, Total and Methylmercury in a Brazilian estuary, Rio de Janeiro, *Marine Pollutin bulletin* 44: 1018-1023.
- Lin, B., Du, Y., Liang, X., wang, X., Wang, X., dan Yang, J., 2011, Effect of Chitosan Coating on Respiratory Behavior and Quality of Stored Litchi Under Ambient Temperature, *Journal of Food Engineering* 102: 94-99.
- Mirdat, Patadungan, Y. S., dan Isrun., 2013, Status Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Tanah pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas di Kelurahan Poboyo, Kota Palu, *e-J. Agrotekbis* 1(2): 127-134.
- Renu, Agarwal, M., dan Singh, K., 2017, Methodologies for Removal of Heavy Metal Ions From Wastewater: On Overview, *Interdisciplinary Environmental Review* 18(2): 124-142.

Tanasale, M.F.J.D.P., Tehubijuluw, H., dan Sekewael, S.J., 2014, Aplikasi Kitosan Berderajat Deasetilasi Tinggi sebagai Adsorben Zat Warna Tartrazina, Prosiding Seminar Nasional, F-MIPA UNPATTI.