

The Isotherm Adsorption of Cu^{2+} Ions in Aqueous Solutions by Cross-Linked Chitosan-Cellulose Membrane Composite

Eko Santoso¹, Hendro Yuwono¹, dan Yohana Ratnawati¹

Abstract—The isotherm adsorptions of Cu^{2+} ions in aqueous solutions by cross-linked chitosan-cellulose composite membranes were investigated. The equilibrium isotherm adsorption studies were done in a batch system. The composite membranes have been prepared by coating 1 %, 2%, and 3 % (m/v) chitosan solution containing 1 % (m/v) acetic acid onto the grade 4 whatman paper filter and cross-linked by glutaraldehyde. The effects of polyethylene glycol additive as a porogen agent of the composite membranes on the adsorption abilities were investigated also. The linear regression method was used to fit the adsorption data with the Langmuir model and the Freundlich model. The fitting results show that the adsorption data more fit to the Langmuir model with the correlation coefficient value R^2 higher than 0.97. The fitting of adsorption data to the Freundlich model result the correlation coefficient value R^2 between 0.84–0.88. Furthermore, the Langmuir model was used to calculate the maximum adsorption capacity per surface area unit of the composite membrane (Q_m) and the maximum adsorption capacity per weight unit of the composite membrane (K_m). The results show that Q_m increase with the increasing of chitosan concentration. The additions of PEG have increased Q_m too. But 5% (m/v) PEG has increased Q_m more higher than 10% (m/v) PEG. However, both the increasing of chitosan and the addition of PEG have decreased K_m .

Keywords—Adsorption, membrane, Composite, Cellulose, and Chitosan

I. PENDAHULUAN

Air limbah dari perindustrian dan pertambangan merupakan sumber utama polutan logam berat. Logam berat dapat membahayakan bagi kesehatan manusia jika konsentrasinya melebihi batas ambang yang diijinkan. Meskipun konsentrasinya belum melebihi batas ambang, keberadaan logam berat tetap memiliki potensi yang berbahaya untuk jangka waktu yang panjang karena logam berat telah diketahui bersifat akumulatif dalam sistem biologis. Oleh karena itu, saat ini lembaga-lembaga pemerintahan juga memberikan perhatian serius dan membuat aturan yang ketat terhadap pengolahan air limbah industri sebelum dibuang ke perairan terbuka [1]. Logam Cu merupakan salah satu jenis dari logam berat yang banyak digunakan oleh industri elektronik, fungsida, dan cat anti noda. Sampai saat ini, metoda yang banyak digunakan untuk menghilangkan ion Cu^{2+} dari air limbah adalah mengendapkannya dalam bentuk $\text{Cu}(\text{OH})_2$ dengan cara penambahan air kapur. Metoda ini tergolong murah,

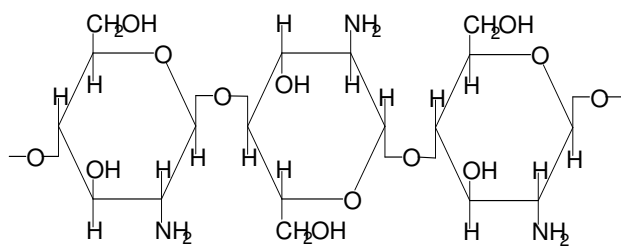
namun dengan metoda ini ion Cu^{2+} yang tersisa dalam larutan masih cukup tinggi sehingga masih menimbulkan masalah yang serius [2].

Beberapa tahun terakhir telah banyak dilakukan penelitian tentang polimer alam (biopolimer) yang mampu mengikat logam berat melalui pembentukan senyawa kompleks sehingga biopolimer dapat berfungsi sebagai biosorben untuk memisahkan logam berat dari air limbah meskipun konsentrasinya sangat rendah. Dan salah satu biopolimer yang saat ini banyak diteliti untuk adsorben logam berat dari air limbah adalah khitosan, poli (2-amino-2-deoksi- β (1,4)-D-glukosa), seperti ditunjukkan pada gambar 1, yang termasuk golongan polisakarida, yang dapat diperoleh dari proses deasetilasi khitin, poli (2-asetamido-2-deoksi- β (1,4)-D-glukosa), yang terdapat pada bahan pendukung (kulit cangkang) binatang moluska, krustakhea, dan insekta dan merupakan biopolimer yang sangat melimpah di alam, terbanyak kedua setelah selulosa. Khitosan telah diketahui mempunyai kapasitas adsorpsi yang cukup besar. Untuk larutan dengan konsentrasi awal ion Cu^{2+} sebesar 100 ppm, khitosan mampu mengadsorpsi hingga konsentrasi akhir ion Cu^{2+} dalam larutan mendekati 1 ppm dalam waktu 150 menit atau 2,5 jam [2].

Dalam banyak penelitian, khitosan umumnya di gunakan sebagai adsorben dalam bentuk murni sebagai serpihan [3], [4], [5], bubuk [6], [7], [8], [9], [10], manik-manik terikat silang [8], atau dipadukan dengan bahan lain menjadi komposit [11], [12] yang kapasitas adsorpsinya dinyatakan dalam satuan mg/g, yakni jumlah miligram ion logam teradsorpsi per gram khitosan. Pada penelitian ini, khitosan digunakan sebagai adsorben dalam bentuk membran komposit bersama selulosa. Yakni, membran khitosan dilapiskan ke permukaan kertas saring sebagai bahan selulosa dengan teknik inversi fasa. Konsentrasi larutan khitosan sebagai bahan pembuatan membran divariasi 1%, 2%, dan 3%. Selain itu, peranan polietilen glikol (PEG) sebagai zat pembentuk pori pada membran khitosan juga diuji, untuk mengetahui peranannya terhadap kapasitas adsorpsi. Adsorpsi membran komposit selulosa-khitosan terhadap ion Cu^{2+} dalam larutan dilakukan dengan sistem rendam (batch system) pada suhu kamar secara isothermal pada pH tertentu, yakni pH hasil optimasi. Dan kapasitas adsorpsi dinyatakan dalam mmol/cm^2 (jumlah milimol ion Cu^{2+} yang teradsorpsi per satuan luas penampang membran) dan mmol/g (jumlah milimol ion Cu^{2+} yang teradsorpsi per gram membran).

Naskah diterima 1 Mei 2007; selesai revisi pada 14 April 2008

¹ Eko S., Hendro Y., dan Yohana R. adalah dosen jurusan Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, INDONESIA



Gambar 1. Struktur kimia dari molekul khitosan [13].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi limbah udang, kertas saring Whatman grade 4, NaOH pa, HCl 37 % pa, asam asetat glasial pa, polietilen glikol, glutaraldehid, kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan asam nitrat 65 % pa.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik, gelas arloji, penyaring buchener, kertas saring biasa, corong kaca, beker gelas, erlemeyer, labu ukur, pipet volum, pipet ukur, pro pipet, pipet tetes, gelas ukur, pemanas listrik, pengaduk magnetik, pengaduk gelas, termometer, oven vakum, penggiling, pengayak 325 mesh, neraca analitik, mikrometer, viskometer Ostwald, spektrofotometer inframerah, spektrofotometer serapan atom (AAS), dan mikroskop elektron (SEM).

B. Preparasi larutan pembentuk membran

Limbah udang dicuci, dikeringkan, digiling, dan diayak sehingga menjadi serbuk berukuran 325 mesh. Dari serbuk tersebut dilakukan ekstraksi khitin dan deasetilasi menjadi khitosan. Metode ekstraksi khitin dan deasetilasi telah diterangkan dalam penelitian terdahulu [14], [15]. Derajat deasetilasi khitosan ditentukan dengan metode inframerah [16], [17]. Sedangkan massa molekul rata-rata khitosan diukur dengan metode viskometri [18], [19].

Selanjutnya, khitosan dilarutkan dalam larutan asam asetat 1% sehingga diperoleh larutan khitosan dengan konsentrasi 1%, 2%, dan 3% (m/v), yang selanjutnya disebut sebagai larutan pembentuk membran khito1, khito2, dan khito3. Untuk mengetahui efek zat porogen, juga dibuat campuran khito3% dengan larutan polietilen glikol 5% dan 10% (m/v) dengan perbandingan volume 1:1, yang selanjutnya disebut larutan pembentuk membran khito3PEG5 dan khito3PEG10.

C. Preparasi membran selulosa-khitosan terikatsilang

Kertas saring Whatman grade 4 dengan luas penampang (A) sebesar $63,62 \text{ cm}^2$ direndam dalam larutan pembentuk membran selama 15 menit, kemudian direndam dalam larutan NaOH 1 M selama 24 jam untuk menarik larutan asam asetat sehingga terbentuk membran khitosan secara inversi fasa di seluruh permukaan kertas saring dan untuk menarik zat porogen polietilen glikol (PEG) sehingga terbentuk pori pada permukaan membran khitosan. Kemudian, untuk meningkatkan ketahanan kimiawi, terutama terhadap asam, membran komposit direndam selama 24 jam dalam larutan pengikatsilang glutaraldehid 0,02% (v/v) sehingga terjadi ikatsilang antar rantai khito-

san. Membran komposit selulosa-khitosan yang telah terbentuk dikeringkan dalam oven. Porositas membran komposit dikarakterisasi dengan metode pengembangan dalam air [20]. Ketebalan membran khitosan diukur dengan mikrometer dan berat membran khitosan yang terbentuk dipermukaan kertas saring diukur secara gravimetri. Selain itu, juga diamati morfologi permukaan membran komposit dengan mikroskop sapuan elektron (SEM).

C. Adsorpsi isothermal ion Cu^{2+}

Satu lembar membran selulosa-khitosan direndam dalam larutan CuSO_4 selama 24 jam agar terjadi kesetimbangan pada suhu kamar dan pada pH optimum. Konsentrasi larutan CuSO_4 divariasikan 100–1000 mg/L. Setelah adsorpsi, sisa ion Cu^{2+} dalam larutan diukur dengan spektrofotometer serapan atom (AAS). Nilai kapasitas adsorpsi membran khitosan (q_e , dalam mmol/cm^2) terhadap ion Cu^{2+} dihitung dengan persamaan 1.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V \cdot A_r}{A} \quad (1)$$

C_0 : konsentrasi (mg/L) ion Cu^{2+} dalam larutan sebelum adsorpsi, C_e : konsentrasi (mg/L) ion Cu^{2+} dalam larutan setelah adsorpsi, V: volume (mL) larutan ion Cu^{2+} yang diadsorpsi, A_r : massa atom relatif Cu, dan A: luas penampang membran adsorben.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Khitin dan khitosan

Hasil karakterisasi spektroskopi inframerah khitin dan khitosan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2(a) dan 2(b). Dalam penelitian ini tidak dibahas secara rinci puncak-puncak yang muncul dalam spektra inframerah tersebut karena spektra tersebut serupa dengan spektra inframerah khitin dan khitosan yang telah diperoleh dalam penelitian terdahulu [14],[15],[17]. Perbedaan spektra inframerah hasil penelitian ini dengan hasil penelitian terdahulu hanya terletak pada besar absorbansi tiap-tiap puncak, khususnya puncak 1655 cm^{-1} yang menunjukkan adanya amida-I yang menjadi ukuran kandungan gugus N-asetil dan puncak 3450 cm^{-1} dari puncak hidroksil yang berfungsi sebagai standar internal untuk mengoreksi perbedaan ketebalan film atau perbedaan kadar khitosan dalam pelet KBr. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa nilai derajat deasetilasi khitin dan khitosan yang digunakan dalam penelitian ini berbeda dengan nilai derajat deasetilasi khitin dan khitosan penelitian terdahulu. Hasil perhitungan dengan metoda "base line" [16], [17] menunjukkan bahwa nilai derajat deasetilasi khitin dan khitosan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50% dan 85%.

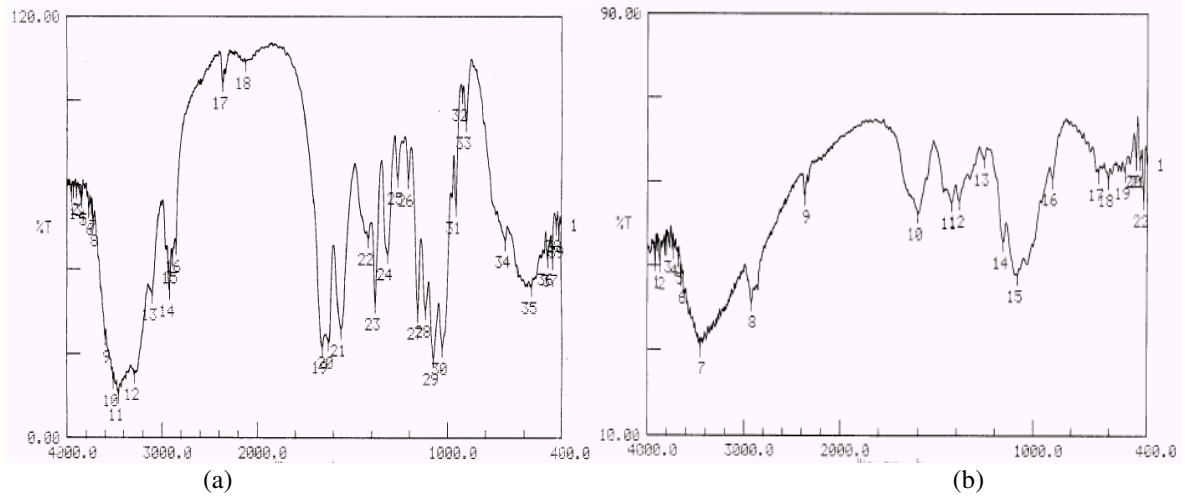
Hasil pengukuran dengan metoda viskometri [18], [19], massa molekul rata-rata khitosan yang digunakan sebagai membran komposit dalam penelitian ini $1,01 \cdot 10^4 \text{ g/mol}$.

B. Membran selulosa-khitosan

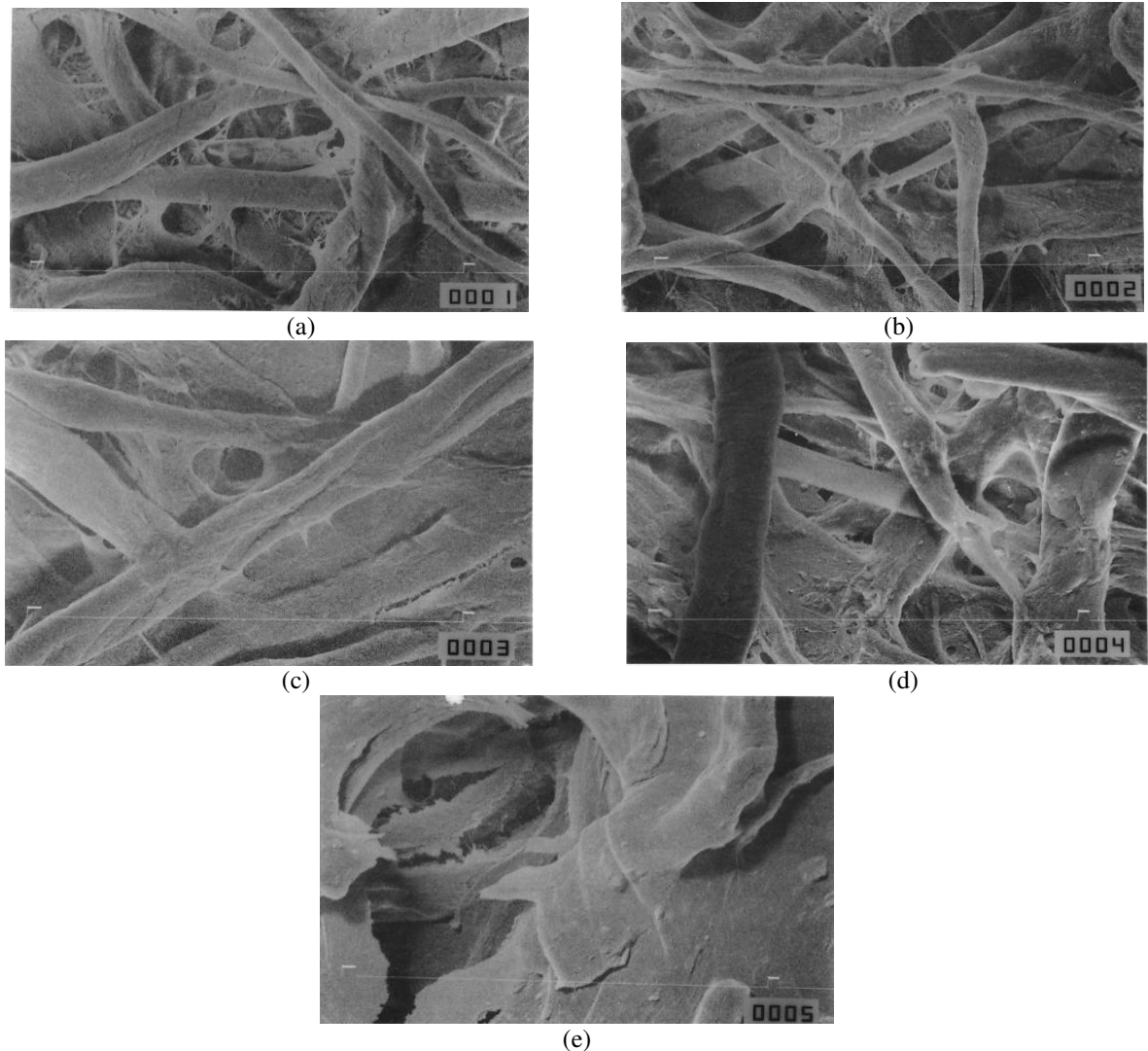
Hasil pengamatan morfologi permukaan membran komposit selulosa-khitosan yang telah dibuat dalam penelitian ini dengan SEM ditunjukkan pada gambar 3(a) sampai 3(e). Pada gambar 3(a) sampai 3(d) bentuk serat selulosa dari kertas saring tampak sangat jelas. Hal ini

menunjukkan bahwa membran khitosan yang melapisi permukaan kertas saring merupakan lapisan film yang sangat tipis. Namun, pada gambar 3(e), bentuk serat selulosa dari kertas saring mulai tidak tampak, yang tampak hanya lapisan film khitosan. Jadi, pada gambar 3(e) lapis-

an membran khitosan yang menutupi permukaan kertas saring sudah relatif lebih tebal, dibandingkan 3(a) hingga 3(d). Ketebalan, berat, dan porositas lapisan membran khitosan yang menempel pada permukaan kertas saring ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Spektra inframerah dari (a) khitin dan (b) khitosan dari limbah udang.



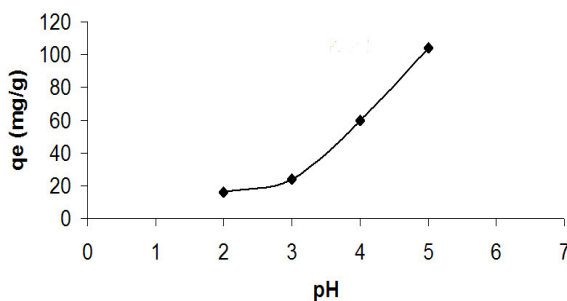
Gambar 3. Foto SEM permukaan membran selulosa-khitosan yang melapisi permukaan kertas saring (a). Khito1% (b). Khito2% (c). Khito3% (d). Khito3%+PEG5% dan (e). Khito3%+PEG10%.

TABEL 1
KETEBALAN, BERAT, DAN POROSITAS LAPISAN MEMBRAN KHITOSAN
YANG MENEMPEL PADA PERMUKAAN KERTAS SARING

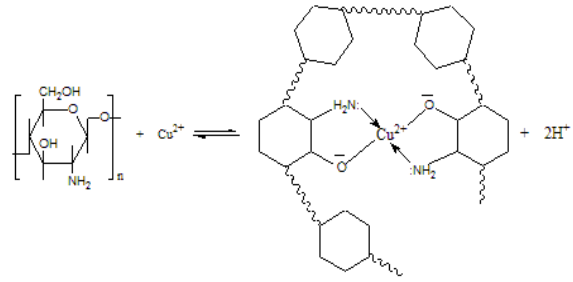
Konsentrasi larutan pembentuk membran	Berat membran (mg)	Tebal membran (μm)	Porositas (%)
Khitosan1%	1,29 \pm 0,53	7,67 \pm 0,96	92,98
Khitosan2%	3,69 \pm 1,09	9,57 \pm 0,81	83,58
Khitosan3%	6,45 \pm 1,48	12,00 \pm 1,85	87,16
Khitosan3%+PEG 5%	12,68 \pm 1,74	25,13 \pm 1,05	92,37
Khitosan 3% + PEG 10%	29,24 \pm 6,16	25,93 \pm 0,66	94,65

C. Adsorpsi isothermal ion Cu^{2+}

Hasil optimalisasi pH terhadap proses adsorpsi isothermal ion Cu^{2+} oleh membran komposit selulosa-khitosan antara pH 2–5 ditunjukkan pada gambar 4, dimana kapasitas adsorpsi (q_e) membran sangat dipengaruhi oleh pH. Tampak, kapasitas adsorpsi tertinggi terjadi pada pH 5. Hal ini sesuai hasil penelitian Wan Ngah dan kawan-kawan bahwa pada pH 1–6 kapasitas adsorpsi butiran khitosan (chitosan beads) terhadap ion Cu^{2+} meningkat seiring dengan kenaikan pH [8]. Pada pH yang lebih rendah, kapasitas adsorpsi membran cenderung menurun karena pada pH rendah gugus amina dari khitosan mengalami protonasi. Oleh karena itu, pada pH rendah pasangan elektron dari gugus amina digunakan untuk mengikat proton dan tidak dapat mengikat ion Cu^{2+} . Pada pH yang semakin tinggi kecenderungan gugus amina mengalami protonasi semakin berkurang dan kecenderungan pasangan elektron untuk terikat dengan ion Cu^{2+} secara kovalen koordinasi juga semakin kuat. Proses pembentukan ikatan antara ion Cu^{2+} dengan khitosan ditunjukkan pada gambar 5 [21]. Pada pH lebih besar dari 5 percobaan adsorpsi tidak dilakukan karena dalam larutan terbentuk endapan berwarna putih. Hal ini menunjukkan bahwa pada pH di atas 5 sebagian ion Cu^{2+} dalam larutan telah bereaksi dengan ion OH^- dan membentuk senyawa $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang berwarna putih. Pada pH 6, endapan putih yang terbentuk jumlahnya lebih banyak lagi. Oleh karena itu, pengamatan adsorpsi ion Cu^{2+} dalam larutan oleh membran komposit selulosa-khitosan dihentikan pada pH 5.



Gambar 4. Kapasitas adsorpsi membran selulosa-khitosan sebagai fungsi pH.



Gambar 5. Adsorpsi ion Cu^{2+} oleh khitosan yang disertai dengan deprotonasi.

Hasil adsorpsi isothermal ion Cu^{2+} pada pH 5 untuk berbagai jenis membran komposit selulosa-khitosan yang telah dilakukan dalam penelitian ini diuji dengan dua model adsorpsi isothermal, yaitu model adsorpsi isothermal Langmuir dan model adsorpsi isothermal Freundlich. Persamaan matematik model Langmuir dan bentuk linearnya ditunjukkan pada persamaan 2 dan 3.

$$q_e = \frac{K_L \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (2)$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \frac{b}{K_L} C_e \quad (3)$$

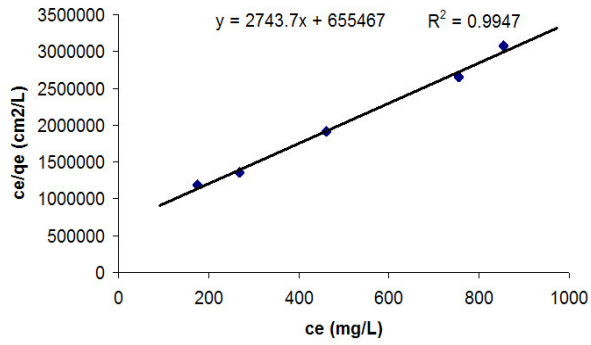
Dengan C_e : konsentrasi ion Cu^{2+} yang tersisa dalam larutan (tidak terserap oleh membran khitosan), q_e : kapasitas adsorpsi membran khitosan terhadap ion Cu^{2+} , b dan K_L adalah tetapan Langmuir. Sedangkan persamaan matematik model Freundlich dan bentuk linearnya ditunjukkan pada persamaan 4 dan 5.

$$q_e = k_F \cdot C_e^{1/n} \quad (4)$$

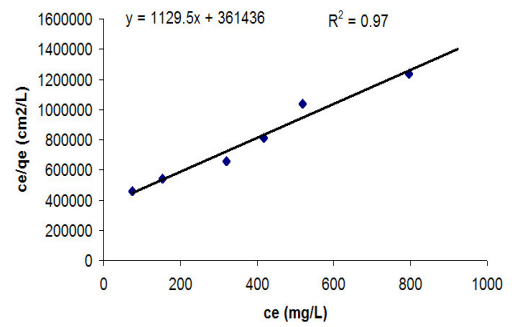
$$\ln q_e = \ln k_F + 1/n \ln C_e \quad (5)$$

dimana k_F dan n adalah tetapan Freundlich.

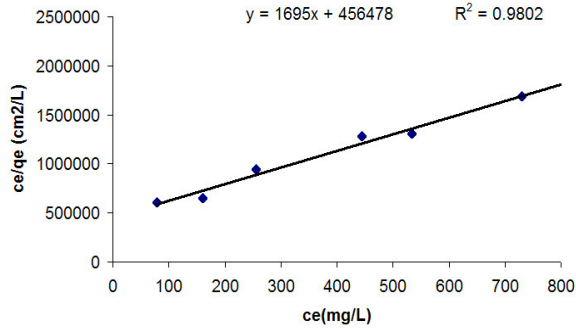
Hasil "fitting" data adsorpsi ion Cu^{2+} dengan kedua model adsorpsi isothermal menunjukkan bahwa adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa khitosan mempunyai kesesuaian yang cukup tinggi dengan model adsorpsi isothermal Langmuir, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi R^2 yang tinggi, yakni nilai $R^2 > 0,97$, seperti terlihat pada gambar 6–10. Sedangkan hasil "fitting" data adsorpsi ion Cu^{2+} dengan model Freundlich tidak menunjukkan kesesuaian yang baik karena mempunyai koefisien korelasi rendah, yakni nilai $R^2 < 0,90$, seperti ditunjukkan pada gambar 11–15. Korelasi yang baik harus memiliki nilai $R^2 > 0,9$ [22]. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khitosan terjadi secara kimiawi, yakni melalui pembentukan ikatan koordinasi antara ion Cu^{2+} dengan gugus amino dan hidroksi dari khitosan, seperti ditunjukkan pada gambar 5. Hasil adsorpsi membentuk lapisan lapis tunggal dan kapasitas adsorpsi membran mencapai maksimum ketika semua situs aktif pada permukaan membran telah mengikat ion Cu^{2+} .



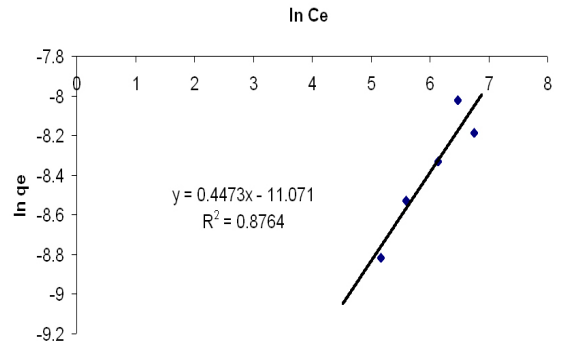
Gambar 6. Hasil "fitting" model Langmuir untuk data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito1.



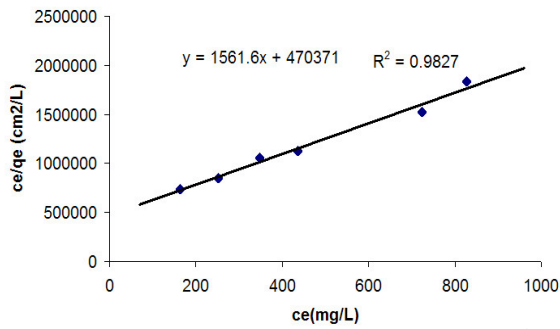
Gambar 10. Hasil "fitting" model Langmuir untuk data adsorpsi Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito3PEG10.



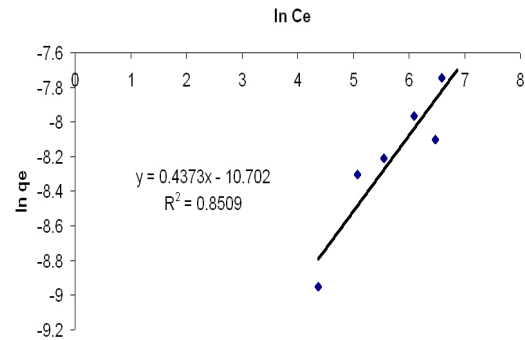
Gambar 7. Hasil "fitting" model Langmuir untuk data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito2.



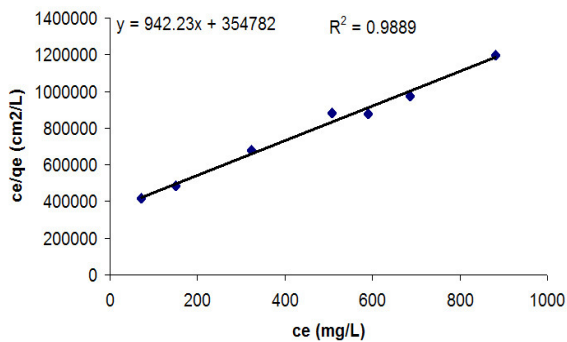
Gambar 11. Hasil "fitting" model Freundlich untuk data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito1.



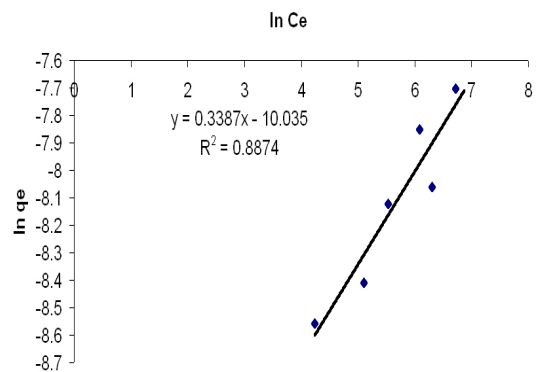
Gambar 8. Hasil "fitting" model Langmuir data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito3.



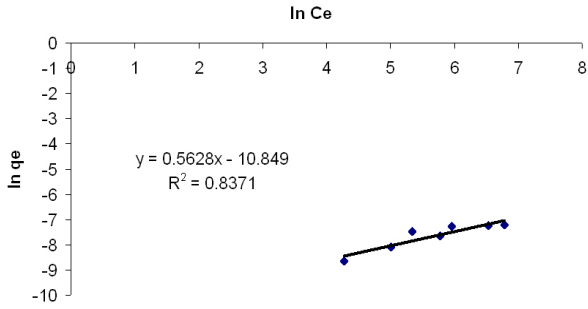
Gambar 12. Hasil "fitting" model Freundlich untuk data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito2.



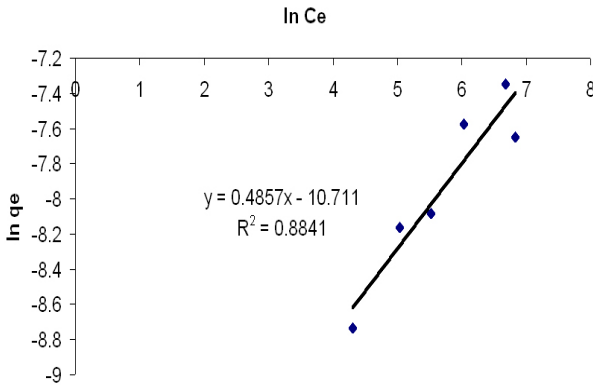
Gambar 9. Hasil "fitting" model Langmuir untuk data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito3PEG5.



Gambar 13. Hasil "fitting" model Freundlich untuk data adsorpsi ion Cu^{2+} pada membran komposit selulosa-khito3.



Gambar 14. Hasil "fitting" model Freundlich untuk data adsorpsi ion Cu²⁺ pada membran komposit selulosa-khito3PEG5.



Gambar 15. Hasil "fitting" model Freundlich untuk data adsorpsi ion Cu²⁺ pada membran komposit selulosa-khito10PEG10.

Berdasarkan pada persamaan regresi linear hasil "fitting" (gambar 6–10) dapat dihitung tetapan Langmuir b dan K_L dalam persamaan 2 dan 3, dan nilai kapasitas adsorpsi per satuan luas penampang, seperti ditunjukkan pada tabel 2. Kapasitas adsorpsi maksimum persatuan luas permukaan membran (Q_m) meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan khitosan pembentuk membran. Hal ini wajar karena peningkatan konsentrasi larutan khitosan akan meningkatkan jumlah rantai khitosan dalam larutan dan peningkatan jumlah rantai khitosan akan meningkatkan jumlah gugus amino (gugus NH_2) yang berfungsi sebagai situs aktif pengikat ion Cu^{2+} . Dan penambahan polietilen glikol (PEG) 5% pada larutan khitosan 3% juga menghasilkan peningkatan Q_m per satuan luas permukaan membran. Namun, untuk penambahan PEG 10% peningkatan Q_{maks} per satuan luas membran men-

jadi lebih kecil dibandingkan penambahan PEG 5%. Hal ini terjadi karena pada penambahan PEG 5% yang berfungsi sebagai zat porogen telah menciptakan pori-pori yang meningkatkan porositas (lihat tabel 1) pada permukaan membran dan gugus amino yang berada dilapisan dalam membran menjadi muncul ke permukaan membran sehingga dapat berinteraksi dengan ion Cu^{2+} . Penambahan PEG 10% juga meningkatkan porositas permukaan membran (lihat tabel 1) tetapi penambahan PEG yang terlalu besar justru menurunkan jumlah rantai khitosan yang membentuk membran yang berakibat pada penurunan jumlah gugus amino pada membran. Pada gambar 16 diagram nilai Q_m untuk keseluruhan membran komposit selulosa-khitosan dalam penelitian ini.

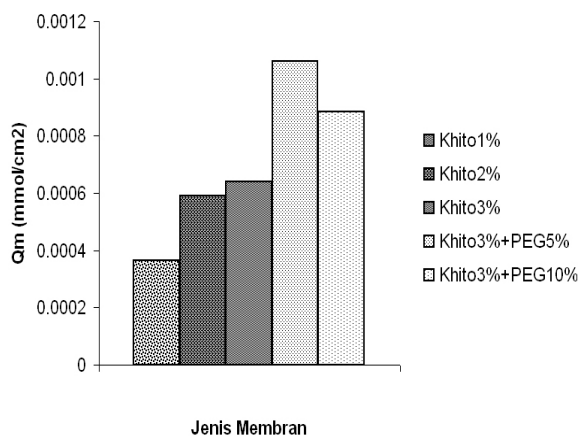
Namun, Kapasitas adsorpsi maksimum per satuan berat membran (K_m) menurun dengan meningkatnya konsentrasi khitosan pembentuk membran dan dengan adanya penambahan PEG. Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi khitosan dan penambahan PEG telah meningkatkan kekentalan larutan khitosan untuk membuat membran sehingga menyebabkan ketebalan dan berat membran khitosan juga meningkat. Semakin tebal membran khitosan semakin banyak gugus amino yang berada dilapisan dalam membran sehingga makin banyak pula gugus amino yang tidak dapat berinteraksi dengan ion Cu^{2+} . Hal ini berarti rasio jumlah gugus amino di permukaan membran dengan di lapisan dalam membran semakin menurun dengan meningkatnya ketebalan membran khitosan dan berakibat pada penurunan kapasitas adsorpsi per satuan berat membran. Hal ini juga menunjukkan bahwa adsorpsi efektif ion Cu^{2+} pada membran khitosan hanya terjadi di permukaan membran, bukan di lapisan dalam membran. Oleh karena itu, perlu teknik pembuatan membran yang mampu mengontrol ketebalan membran sehingga ketebalan membran dapat dijaga konstan meskipun larutan khitosan semakin kental. Pada gambar 17 ditunjukkan diagram nilai K_{maks} untuk keseluruhan membran komposit selulosa-khitosan dalam penelitian ini.

TABEL 2
TETAPAN LANGMUIR DAN KAPASITAS ADSORPSI MAKSIMUM ION Cu^{2+} PADA MEMBRAN KOMPOSIT SELULOSA-KHITOSAN

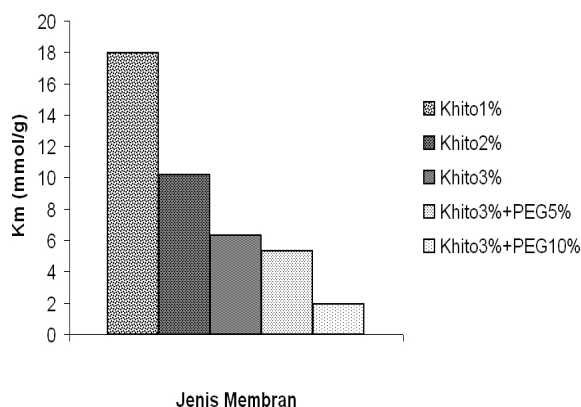
Komposisi larutan pembentuk membran	b (mmol/L)	K_L (cm ² /L)	* Q_m (mmol/cm ²)	** K_m (mmol/g)
Khito1	0,004186	0,00000153	0,000364	1142,25
Khito2	0,003713	0,00000219	0,000590	646,37
Khito3	0,003320	0,00000213	0,000640	401,38
Khito3PEG5	0,002656	0,00000282	0,001061	338,37
Khito3PEG10	0,003125	0,00000277	0,000885	122,48

* $Q_m = b/K_L$

** $K_m = (b/K_L).(A/w)$, $A = 63,62$ cm² dan w : berat membran pada Tabel 1



Gambar 16. Kapasitas adsorpsi ion Cu²⁺ per satuan luas penampang (Qm) untuk berbagai membran komposit selulosa-khitosan.



Gambar 17. Kapasitas adsorpsi ion Cu²⁺ per satuan berat (Km) untuk membran komposit selulosa-khitosan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi ion Cu²⁺ dari larutan pada membran komposit selulosa-khitosan mengikuti model adsorpsi isothermal Langmuir. Peningkatan konsentrasi larutan khitosan pembentuk membran telah meningkatkan kapasitas adsorpsi per satuan luas permukaan (Qm) membran terhadap ion Cu²⁺. Nilai Qm untuk khitosan 1%, 2%, dan 3% adalah sebesar 3,64.10⁻⁴, 5,90.10⁻⁴, dan 6,40.10⁻⁴ mmol/cm². Disamping itu peningkatan konsentrasi larutan khitosan juga meningkatkan ketebalan lapisan membran khitosan yang berakibat pada penurunan kapasitas adsorpsi per satuan berat (Km) membran terhadap ion Cu²⁺. Nilai Km untuk khitosan kadar 1%, 2%, dan 3% adalah 11,42.10², 6,46.10², dan 4,01.10² mmol/g. Perlu teknik pembuatan membran yang dapat mengontrol ketebalan lapisan membran khitosan di permukaan selulosa sehingga tebal membran tetap konstan meskipun konsentrasi larutan khitosan meningkat. Penambahan polietilen glikol (PEG) dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi per satuan luas permukaan membran (Qm), namun yang terbaik adalah konsentrasi PEG 5%. Nilai Qm untuk penambahan PEG 5% dan 10% adalah 10,61.10⁻⁴ dan 8,85.10⁻⁴ mmol/cm².

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan banyak terimakasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah

mendana penelitian ini melalui proyek TPSDP (Technological and Professional Skills Development Sector Project) Batch III.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Quek, SY., Wase, DAJ., and Forster, CF., "The use of sago waste for the sorption of lead and copper", *Water SA*, Vol. 24, No. 3, pp. 251-256. 1998.
- [2] Schmuhl, R., Krieg, H.M., and Keizer, K., "Adsorption of Cu(II) and Cr(VI) ions by Chitosan : Kinetics and Equilibrium Studies", *Water SA*, Vol. 27, No. 1, pp. 79-86. 2001.
- [3] Jonsson-Charrier, M., et al, "Vanadium (IV) sorption by chitosan : kinetics and equilibrium", *wat. Res.*, **30**, 2, pp. 465-475. 1996.
- [4] Bassi, Prasher, and Simpson, "Removal of Selected Metal Ions from Aqueous Solutions Using Chitosan Flakes", *Separation Science and Technology*, **35**(4), pp. 547-560. 2000.
- [5] Verbych, S., Bryk, M., and Chornokur, G., "Removal of Copper(II) from Aqueous Solutions by Chitosan Adsorption", *Separation Science and Technology*, **40**, pp. 1749-1759. 2005.
- [6] Lima, I.S. and Airoldi, C., "A Thermodynamic investigation on chitosan-divalent cation interactions", *Thermochimica Acta*, **421**, pp. 133-139. 2000.
- [7] Ng, J.C.Y., Cheung, and McKay, "Equilibrium Studies of the Sorption of Cu(II) Ions onto Chitosan", *Journal of Colloid and Interface Science*, **255**, pp. 64-74. 2002.
- [8] Wan Ngah, W.S., Endud, C.S., and Mayanar, R., "Removal copper (II) ions from aqueous solution onto chitosan and cross-linked chitosan beads", *Reactive and Functional Polymers*, **50**, 181-190. 2002.
- [9] Paish da Silva, K.M. and Pais Silva, M.I., "Copper sorption from diesel oil on chitin and chitosan polymers", *Colloids and Surfaces A : Physico chem. Eng. Aspects*, **237**, pp. 15-21. 2004.
- [10] Karthikeyan, G., Anbalagan, K., Andal, N.M., "Adsorption dynamics and equilibrium studies of Zn (II) onto chitosan", *Indian J. chem. Sci.*, **116**, 2, pp. 119-127. 2004.
- [11] Boddu, V.M. and Smith, E.D., "Composite Chitosan Biosorbent For Adsorption of Heavy Metals From Wastewaters", Available : [http://www.asc2002.com/manuscripts/E/EP-01Standby.pdf] (tanggal akses : 20 Januari 2003). 2002.
- [12] Kalyani et al, "Removal of copper and nickel from aqueous solutions using chitosan coated on perlite as biosorbent", *Separation Science and Technology*, **40**, pp. 1483-1495. 2005.
- [13] Kumar, M.N.V., "A Review of chitin and chitosan applications", *Reactive and Functional Polymers*, **46**, pp. 1-27. 2000.
- [14] Yusroni, A., "Pengaruh derajat deasetilasi terhadap persen berat zat pengikat silang, kuat tarik dan morfologi membran khitosan", Skripsi (dibimbing oleh Eko Santoso), Kimia-FMIPA ITS, Surabaya. 2002.
- [15] Al-Maliki, K., "Studi deasetilasi bertahap pada pengaruh besarnya derajat deasetilasi dan massa molekul rata-rata khitosan (poly-2-Amino-2 deoksi-β-D-Glukosa) dalam NaOH pekat", Skripsi (dibimbing oleh Eko Santoso), Kimia-FMIPA ITS, Surabaya. 2005.
- [16] Rabek F., Jan, *Experimental methods in polymer chemistry*, John Wiley and Sons, New York. 1980.
- [17] Ahmad Khan, T., "Reporting degree of deacetylation values of chitosan : the influence of analytical methods", *J Pharm. Pharmaceut. Sci.* **5**(3):205-212. 2002.
- [18] Billmeyer Jr., F.W., *Textbook of Polymer Science*, 3rd ed., John Wiley and Sons, hal. 420. 1984.
- [19] Knaul, J.Z., Kasaai, M.R., Bui, V.T., and Creber, K.A.M., "Characterization of deacetylated chitosan and chitosan molecular weight review", *Can. J. Chem.*, **76**, 1699-1706. 1998.
- [20] Yang, L., Hsiao, W.W., and Chen, P., "Chitosan-Cellulose composite membrane for affinity purification of biopolymers and immunoabsorption", *J. Membrane Sci.*, **197**, 185-187. 2002.
- [21] Kaminski W. and Modrzejewska Z., "Application of chitosan membranes in separation of heavy metal ions", *Sep. Sci. Technol.*, **32**, 16, pp. 2659 - 2668. 1997.
- [22] Miller, J.C. dan Miller, C.N., (1991), *Statistik untuk kimia analitik*, ITB, Bandung. 1991.