

KAJIAN SIFAT KONDUKTANSI MEMBRAN KITOSAN PADA BERBAGAI VARIASI WAKTU PERENDAMAN DALAM LARUTAN Pb

Mella Roza^{*)}, Gusnedi^{)}, dan Ratnawulan^{***)}**

^{*)} Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA UNP, email : Mellaroleoza@gmail.com

^{**)} Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

^{***)} Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang

ABSTRACT

Chitosan membrane is capable of being used as adsorbent adsorption of metal ions Pb. Assessment of the electrical properties of the chitosan membrane is one see references in the membrane as ability adsorpsi metal ion weight. The purpose of this study to determine the nature of the conductance of chitosan membranes useful to look at the ability of the membrane chitosan as the adsorption of metal ions Pb. This research is experimental research with samples of chitosan membranes were soaked in a solution of Pb metal. The time variation of soaking the membrane is 0.5 hours, 1 hour, 1.5 hours, 2 hours, 2.5 hours, 3 hours and without soaking. The measurement results for the effect of soaking variation time chitosan membrane. Pb metal in solution obtained current-voltage characteristics of the membrane in the solution is linear, the longer soaking in a solution of Pb metal, the greater the current flow. The longer the time soaking in a solution of Pb chitosan membrane, then the greater the value of the conductance.

Keywords : *Chitosan, Membrane, Adsorption, Conductance, Metal Pb*

PENDAHULUAN

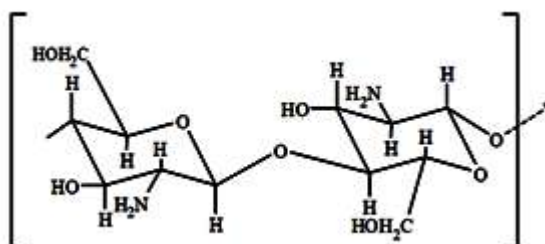
Peningkatan jumlah industri akan selalu diikuti oleh penambahan jumlah limbah, baik berupa limbah padat, cair maupun gas. Masalah utama yang ditimbulkan dari perkembangan indsutri saat ini adalah masalah pencemaran lingkungan oleh limbah industri. Salah satu limbah berbahaya yang dihasilkan industri adalah logam berat. Masuknya limbah ini ke perairan laut telah menimbulkan pencemaran terhadap perairan.

Mengingat ancaman yang begitu besar dari pencemaran logam berat, maka dikembangkan berbagai metode alternatif untuk mengurangi konsentrasi logam berat yang dibuang ke perairan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk penanganan limbah logam berat yaitu metode adsorpsi.

Adsorpsi adalah proses akumulasi substansi dipermukaan antara dua fasa yang terjadi secara fisika atau kimia, atau proses terse-rapnya molekul-molekul pada permukaan eksternal dan internal suatu padatan. Komponen-komponen yang diserap disebut adsorbat contoh bahan yang biasa digunakan sebagai adsorbat antara lain : aluminium, karbon aktif, silica gel dan lain-lain. (Mc. Cabe,1999 dalam Meriatna. 2008). Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai adsorben logam berat dari air limbah adalah kitosan.

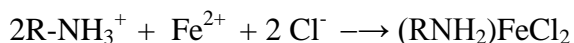
Kitosan adalah suatu rantai linear dari D-Glukosamin dan N-Asetil DGlukosamin yang terangkai pada posisi $\beta(1-4)$. Kitosan dihasilkan dari deasetilasi kitin. Karena dalam bentuk kationik, bentuk kitosan yang tidak larut dalam air akan membentuk poli-

elektronik dengan anion polielektrolit. Kitosan telah digunakan dalam bidang biomedikal dan farmasi karena kitosan bersifat biokompatibel, biodegradasi dan tidak beracun (Adriana *et al*, 2003). Kitosan juga terdapat secara alami dalam beberapa jamur namun tidak sebanyak kitin. Struktur idealnya dapat dilihat dari Gambar 1:



Gambar 1. Struktur Kitosan
(Sumber : Silitonga, 2009)

Keberadaan gugus amida dalam kitin dan gugus amina dalam kitosan telah menjadikan kitin dan kitosan sebagai adsorben yang mampu mengikat logam berat. Hal ini terkait dengan adanya gugus amina terbuka sepanjang rantai kitosan (Kumar, 2000). Kitosan mempunyai kemampuan untuk mengikat logam dan membentuk kompleks kitosan dengan logam. Contoh mekanismenya adalah sebagai berikut: (Menurut Mc Kay (1987) dalam Rumapea, N, 2009),



Salah satu logam berat yang dikaji dalam penelitian ini adalah logam Pb. Logam Pb merupakan logam yang berbahaya dan banyak ditemui dalam limbah cair industri. Timbal atau timah hitam (Pb) merupakan logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi dan tersebar ke alam dalam jumlah kecil melalui proses alami maupun buatan. Apabila terhirup atau tertelan oleh manusia, akan beredar mengikuti aliran darah, diserap kembali di dalam ginjal dan otak, dan disimpan di dalam tulang dan gigi.

Manusia terkontaminasi timbal melalui udara debu, air, dan makanan. Lambangnya diambil dari bahasa Latin *Plumbum*. (Fauzi, 2008).

Penelitian ini mengkaji adsorpsi ion logam berat Pb pada kitosan dalam bentuk membran. Membran merupakan lapisan semipermeable yang dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain berdasarkan perbedaan ukuran komponen yang akan dipisahkan. Membran dapat berfungsi sebagai barrier atau penghalang tipis yang sangat selektif di antara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan molekul, menahan partikel yang berukuran lebih besar dari pori-pori membran (Notodarmojo S, 2004).

Membran dapat didefinisikan sebagai suatu lapisan yang memisahkan dua fasa dan mengatur perpindahan massa dari kedua fasa yang dipisahkan. Membran adalah bahan yang dapat memisahkan dua komponen dengan cara spesifik, yaitu dengan menahan atau melewatkan salah satu komponen lebih cepat dari komponen lainnya.

Membran kitosan termasuk membran sintetik atau buatan yang berbahan dasar kitosan yang merupakan turunan kitin yang banyak terdapat pada kerangka atau kulit luar *Crustacea*. Membran kitosan memiliki kelarutan yang tinggi terhadap asam asetat 1% sehingga mudah untuk mendapatkan membrannya setelah pelarutnya diuapkan. Membran kitosan adalah membran pengkompleks pertama dari polimer alam dan telah digunakan untuk menarik unsur-unsur logam transisi dalam jumlah renik dari larutan garamnya (Meriatna, 2008)

Membran merupakan penghalang bagi gerakan molekul dan ion zat-zat. Keleluasan gerak ion dan molekul sangat penting untuk menjaga kestabilan pH yang sesuai dan mengendalikan konsentrasi ion dalam larutan. Hal tersebut diatas dilakukan dengan cara difusi, osmosis, dan transpor aktif.

Difusi dapat diartikan perpindahan zat (padat, cair, dan gas) dari larutan konsentrasi tinggi (hipertonis) ke larutan dengan konsentrasi rendah (hipotonis). Dengan kata lain setiap zat akan berdifusi menuruni gradien konsentrasinya. Hasil dari difusi adalah konsentrasi yang sama antara larutan tersebut dinamakan isotonis. Kecepatan zat berdifusi melalui membran tidak hanya tergantung pada gradien konsentrasi, tetapi juga pada besar muatan, dan daya larut dalam lemak (lipid) (Yunita, 2010).

Osmosis merupakan difusi air melalui selaput semipermeabel. Air akan bergerak dari daerah yang mempunyai konsentrasi larutan rendah ke daerah yang mempunyai konsentrasi tinggi. Tekanan osmosis dapat diukur dengan suatu alat yang disebut osmometer. Air akan bergerak dari daerah dengan tekanan osmosis rendah ke daerah dengan tekanan osmosis tinggi. Membran akan mengerut jika berada pada lingkungan yang mempunyai konsentrasi larutan lebih tinggi. Pada transpor aktif sangat diperlukan untuk melawan gradien konsentrasi. Transpor aktif sangat diperlukan untuk memelihara keseimbangan molekul-molekul di dalam membran. Sumber energi untuk transpor aktif adalah ATP (adenosin trifosfat) (Yunita, 2010).

Oleh karena itu diperlukan suatu bahan baku alternatif yang relatif mudah dan murah dengan memanfaatkan bahan lain sebagai membran. Penggunaan membran kitosan dari bahan dasar limbah kulit udang merupakan solusi yang efisien dan tepat untuk pengolahan limbah industri, karena membran ini dibuat dengan ukuran nanopori sehingga dapat menyerap semua ion logam berat yang terkandung dalam limbah industri (Kusumawati, 2009).

Ion logam berat yang diserap membran kitosan dapat mempengaruhi karakteristik dari membran kitosan. Salah satu sifat karakteristik membran yang terpengaruh adalah sifat fisika dari membran, khususnya sifat konduktansi membran. Karakterisasi si-

fat fisika dari suatu membran meliputi sifat listrik, termal, mekanik, dan sebagainya. Sifat kelistrikan dapat dilihat dengan melakukan pengukuran terhadap nilai konduktansi membran dan karakteristik Arus-Tegangan (I-V). Karakteristik ini dipengaruhi oleh aliran elektron dan ion-ion pada membran. Dari karakteristik arus-tegangan dapat ditentukan sifat ohmik-nya suatu membran, daya tahanan listrik dan energi dari arus yang melintasi membran (Juansah 2002).

Setiap bahan akan memiliki sifat kelistrikan. Bahan tersebut dapat termasuk dalam konduktor, isolator, semikonduktor atau superkonduktor. Bahan organik pada umumnya bersifat konduktor karena memiliki kadar air yang cukup tinggi. Dalam bahan konduktor terdapat berbagai sifat kelistrikan yang meliputi konduktansi, kapasitansi, impedansi, dielektrik dan lain-lain.

Konduktansi merupakan kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan arus listrik. Nilai konduktansi berbanding terbalik dengan nilai hambatan (R) dan biasanya diberi lambang G. Satuan konduktansi adalah mho (= ohm⁻¹), yang juga disebut Siemens (S). Nilai konduktansi yang besar menunjukkan bahwa bahan tersebut mampu menghantarkan arus dengan baik, tetapi nilai konduktansi yang kecil menunjukkan bahan itu susah mengalirkan muatan. Ion yang melintasi membran merupakan kuantitas elektrik, dinamakan sebagai arus (I) (Robbins, 2003). Konduktansi dan gradient elektrokimia (V_m - V_x) dapat digunakan untuk memprediksi arus, tegangan membran (V_m), Tegangan nerst (V_x). Secara matematis ditulis pada Persamaan 1 (Guljarani, 1998).

$$I = G (V_m - V_x) \dots\dots\dots (1)$$

$$G \approx \frac{1}{R} \dots\dots\dots (2)$$

Selain itu hambatan yang dihubungkan dengan tegangan membran (V_m) dapat ditulis dengan Persamaan berikut:

$$R = \frac{V_m}{I_s} \dots\dots\dots(3)$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_s} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

I_s = arus yang diberikan (ampere)

V_s = tegangan referensi (volt)

R_s = Hambatan referensi (ohm)

R = Hambatan membran (ohm).

(Guljarani, 1998).

Karakteristik arus-tegangan (I-V) merupakan salah satu karakteristik kelistrikan membran. Karakteristik ini dipengaruhi oleh aliran elektron dan ion-ion pada membran. Aliran ion-ion berpengaruh pada aliran arus dalam membran dan proses transpor lainnya. Semua proses transpor dipengaruhi oleh faktor-faktor luar maupun dalam dari membran itu sendiri. Dari karakteristik arus-tegangan dapat ditentukan sifat *ohmik-nya* suatu membran, daya tahanan listrik dan energi diri ion yang melintasi membran. Rapat arus dari ion pembawa yang bergerak di dalam larutan dan menembus membran dapat diduga dari Persamaan berikut: (Juansah,2002)

$$J_p = kT \mu_p \frac{dP}{dx} - Pq\mu_p \frac{dV_m}{dx} \dots\dots\dots (5)$$

$$J_n = kT \mu_n \frac{dN}{dx} - Nq\mu_n \frac{dV_m}{dx}$$

N, P adalah Konsentrasi ion pembawa muatan negatif dan positif. T adalah suhu mutlak, J adalah rapat arus internal (A/m^2) dan μ_p, μ_n adalah mobilitas ion positif dan negatif (m/v.s) dengan V_m adalah beda tegangan (Volt) dan k adalah konstanta Boltzman. Variabel $P, N,$ dan V_m merupakan fungsi dari x (koordinat normal dari mem-

bran) dan dihubungkan oleh Persamaan poisson sebagai berikut :

$$\frac{dV_m}{dx} = \frac{p(x)}{\epsilon} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan memperhatikan persamaan (6) dapat dipastikan bahwa rapat arus dipengaruhi oleh besarnya tegangan (V_m) muatan pembawa (N, P). Semakin besar beda tegangan pada membran maka semakin besar pula arus yang mengalir pada membran. Bila konsentrasi muatan pembawa dibiarkan konstan maka dapat dibuat hubungan beda tegangan dan arus. Dengan memplotkan beda tegangan membran dan arus maka akan didapat karakteristik arus tegangan dari membran itu sekaligus persamaannya (Juansah, 2002).

Berdasarkan sifat kelistrikan membran diatas, maka membran kitosan yang digunakan sebagai adsorpsi ion logam Pb perlu dikaji sifat kelistrikannya. Ion-ion logam dari logam berat yang terserap oleh membran akan memberikan pengaruh terhadap nilai konduktansi membran. Dari nilai konduktansi akan menunjukkan tingkat aliran arus yang melintasi membran. Hubungan karakteristik arus-tegangan dengan variasi waktu perendaman larutan, digunakan untuk memberikan informasi tentang mampu atau tidaknya suatu membran kitosan sebagai adsorpsi, sedangkan konduktansi untuk melihat respon membran terhadap karakteristik ion-ion logam yang terserap pada membran. Untuk itu peneliti melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Sifat Konduktansi Membran Kitosan Sebagai Adsorpsi Ion Logam Pb Terhadap Variasi Waktu Perendaman Dalam Larutan Pb”.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran kitosan, dua

buah elektroda dan tembaga (Cu) dan seng (Zn), resistor, larutan asam KCl, aquades, larutan logam Pb dengan kadar logam/ konsentrasi 10 ppm (mg/L), larutan elektrolit KCl 20 mM 300 mL, Asam asetat 1% (pelarut) dan NaOH 4%

Peralatan yang digunakan adalah chamber, multimeter digital, neraca analitik, kabel penghubung, resistor 1 k Ω , *Magnetic stirrer*, audiogenerator, multimeter digital, neraca analitik, *Atomic absorption spectroscopy (AAS)*.

Persiapan Eksperimen

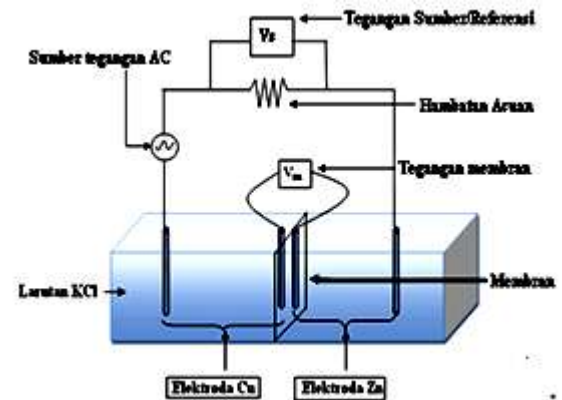
Persiapan eksperimen yang dilakukan antara lain adalah persiapan bahan Pembuatan bahan membran kitosan dilakukan dengan menimbang 7,5 gram bubuk kitosan dan dilarutkan kedalam 250 mL asam asetat 1%. Mengaduk bahan yang telah tercampur secara homogen dengan *magnetic stirrer*, menuangkan bahan kedalam cetakan berupa cetakan kaca menjadi lembaran-lembaran membran.

Membran kitosan berupa lembaran dipotong menjadi bagian kecil dengan ukuran 7 x 3,5 cm. Menyediakan larutan Pb dengan konsentrasi 10 ppm yang diletakkan dalam botol yang berbeda masing-masing 100 mL. Merendam membran kitosan dengan variasi waktu perendaman 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam, 3 jam.

Pengukuran

Pengukuran arus-tegangan (I-V) dan konduktansi dilakukan dengan menggunakan metoda empat titik (penggunaan dan penempatan dua pasang elektroda pada empat titik yang telah ditentukan. Dua elektroda sebagai pembaca tegangan dan dua elektroda lainnya untuk mengalirkan sumber arus tegangan. Larutan KCl 20 mM diletakkan dalam *chamber* yang memiliki dua bagian ruangan. Kedua ruangan tersebut disekat dengan menggunakan membran kitosan. Dari empat elektroda tersebut didapat nilai tegangan refe-

rensi dan tegangan membran. Nilai tegangan ini didapat dengan menggunakan resistor referensi pada bagian elektroda pemberi arus listrik. Nilai tegangan membran didapat dari dua elektroda antara membran. Skema pengukuran arus-tegangan dan konduktansi dari membran kitosan diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Skema rangkaian sistem pengukuran I-V (sumber : Azizah, 2008)

Analisis Data

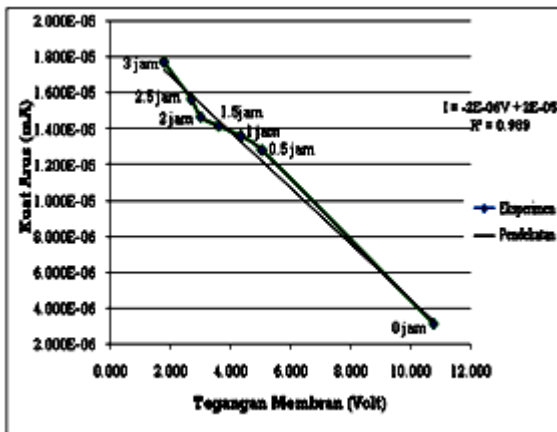
Pengukuran arus-tegangan (I-V) sampel dilakukan dengan mengukur tegangan referensi (V_s), dan kuat arus referensi (I_s) dihitung dari perbandingan tegangan referensi V_s terhadap resistor acuan (R_s) melalui Persamaan 3. Tegangan arus yang diukur merupakan tegangan membran V_m . Pengukuran ini berlangsung ketika membran diletakkan dalam *chamber*. Konduktansi membran kitosan terhadap larutan logam Pb diperoleh dengan menggunakan persamaan garis (persamaan 2), yaitu diperoleh dari data pada pengukuran arus- tegangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Arus -Tegangan Membran Kitosan

Karakteristik arus-tegangan membran kitosan yang direndam dalam larutan ion lo-

gam Pb 10 ppm dengan variasi waktu perendaman 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, dan tanpa perendaman (0 jam). Hubungan tegangan membran dan kuat arus membran dengan variasi waktu perendaman dapat dilihat dari Gambar 4.

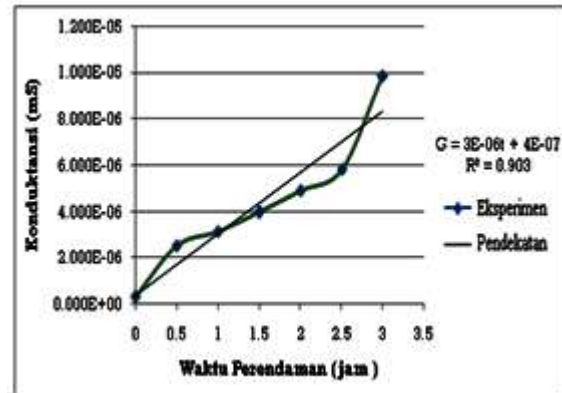


Gambar 3. Grafik Hubungan Karakteristik Arus-Tegangan Membran Kitosan terhadap Lama Perendaman Dalam Larutan Ion Logam Pb

Gambar 3 memperlihatkan hubungan variasi lama waktu perendaman selama 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, dan tanpa perendaman (0 jam) dengan arus-tegangan membran adalah linier. Semakin lama waktu perendaman diperoleh arus yang semakin besar dan tegangan yang semakin kecil. Sedangkan hubungan arus dan tegangan pada membran adalah semakin besar kuat arus melewati membran maka tegangan membran yang diperoleh semakin kecil.

Karakteristik Konduktansi Membran Kitosan

Hubungan antara konduktansi dengan lama waktu perendaman membran kitosan dalam larutan logam Pb 10 ppm selama 0,5 jam, 1 jam, 1,5 jam, 2 jam, 2,5 jam, 3 jam, dan tanpa perendaman (0 jam) dapat dilihat dari Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan konduktansi membran kitosan dengan lama waktu perendaman dalam larutan ion logam Pb

Dari Gambar 4, dapat dijelaskan bahwa semakin lama waktu perendaman dalam larutan ion logam Pb maka konduktansi membran juga semakin besar. Karakteristik konduktansi (grafik) yang dihasilkannya pada keadaan diatas adalah linier.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai konduktansi naik dengan semakin lamanya waktu perendaman dalam larutan Pb. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari ion logam Pb yang telah berikatan dengan membran kitosan (Laksono, 2009). Semakin lama perendaman dalam larutan Pb mengakibatkan peningkatan jumlah ion Pb pada larutan dan mempengaruhi membran ketika proses perendaman terjadi. Membran kitosan semakin bermuatan dengan adanya penumpukan ion Pb pada permukaan membran. Membran kitosan yang semakin bermuatan akan mempermudah aliran arus yang melewati membran. Tingkat aliran tersebut yang menyebabkan terjadinya peningkatan konduktansi membran.

Hal diatas dibuktikan dengan arus dan tegangan melewati membran yang dialirkan melalui elektroda dan larutan elektrolit KCl sebagai larutan eksternalnya. Semakin banyak Ion logam Pb yang menempel pada membran mengakibatkan arus

yang melalui membran semakin besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang dikemukakan Azizah (2008), pada saat membran direndam pada konsentrasi tinggi terjadi peningkatan konduktansi akibat dari arus muatan yang mengalir, sehingga membran tidak mampu melewatkannya. Jika hal ini terjadi maka terdapat penumpukan muatan pada lapisan membran. Muatan yang menghalangi pori-pori membran menyebabkan mekanisme transport pada membran berbeda dan cenderung sebagai penghambat.

Nilai arus-tegangan yang dihasilkan menentukan nilai konduktansi membran kitosan. Nilai konduktansi yang diperoleh membran kitosan terhadap variasi waktu perendaman dalam larutan logam Pb yang dihasilkan adalah linier. Semakin lama waktu perendaman membran kitosan dalam larutan logam Pb maka nilai konduktansi semakin besar. Kenaikan konduktansi setelah perendaman membran kitosan dalam larutan ion logam Pb dikarenakan permukaan yang kaya akan ion-ion. Dari pernyataan Laksono (2009) yang menyatakan bahwa kitosan mampu mengikat ion logam berat, yaitu ion logam Pb yang menempel pada permukaan membran kitosan.

Membran kitosan yang semakin lama direndam pada larutan Pb mampu menaikkan nilai konduktansi membran. Hal ini juga sesuai dengan teori Robbins, (2003), bahwa nilai konduktansi yang besar menunjukkan bahwa bahan tersebut mampu mengkonduksikan arus dengan baik, tetapi nilai konduktansi yang kecil menunjukkan bahan itu susah mengalirkan muatan. Penumpukan ion logam mengakibatkan muatan arus yang melewati membran menjadi bertambah sehingga menghasilkan nilai konduktansi yang bertambah juga. Hal ini tidak berlaku umum, karena pada saat tertentu mungkin saja membran mengalami kejenuhan akibat penumpukan ion-ion logam pada pori-pori membran, sehingga arus yang mengalir tidak mampu melewatinya (Juansah, 2002).

KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengkaji perubahan-perubahan sifat listrik dari membran kitosan sebagai adsorpsi ion logam Pb. Larutan tersebut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap membran. Dari pembahasan dan analisis grafik sebelumnya maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Karakteristik arus tegangan membran kitosan sebagai adsorpsi ion logam Pb pada variasi waktu perendaman adalah linier. Semakin kecil tegangan membran kitosan maka kuat arus yang diperoleh semakin besar.
2. Karakteristik arus tegangan membran kitosan sebagai adsorpsi ion logam Pb pada variasi waktu perendaman. Semakin lama waktu perendaman dalam larutan ion logam Pb maka semakin besar harga konduktansi membran kitosan.
3. Dari karakteristik arus-tegangan dan harga konduktansi yang diperoleh dapat kita ketahui bahwa membran kitosan mampu mengadsorpsi ion logam Pb.

DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, Fitri. 2008. *Kajian Sifat Listrik Membran Selulosa Asetat Yang Direndam Dalam Larutan Asam Klorida dan Kalium Hidroksida*. Skripsi. FMIPA-IPB. Bogor.
- Baker, Richard w. 2004. *Membrane Teknologi And Applications Second Edition*. Menlo Park. California. Membrane Teknologi dan Research, inc.
- Brian, Paul, dan Colin. 1999. *Transport of Molecules Across Cell Membrane (Plant in Action)*. Macmilla Education Australia Pty Ltd: Melbourne, Australia.
- C.G.A. Lima et al. 2006. *DC conductivity and dielectric permittivity of collagen-chitosan films*. *Materials Chemistry and Physics* 99 (2006) 284–288

- Fauzi, T.M. 2008. *Penaruh Pemberian Timbale Asetat Dan Vitamin Terhadap Kadar Malondialdehyde Dan Kualitas Spermatozoa Di Dalam Sekresi Epididimis Mencit Albino (Mus Musculus L) STARIN BALB/C*. Tesis. Pasca Sarjana-USU. Medan.
- Guljarani, Ramesh M. 1998. *Bioelectricity and Biomagnetism*. Canada. John Wiley and Sons, Inc.
- Juansah, Jajang, Dkk. 2002. *Studi Karakteristik Arus Tegangan Membran Polisulfon Pada Berbagai Frekuensi, Konsentrasi Dan Suhu*. Buletin Kimia vol 2 Hal 12-18. FMIPA-IPB. Bogor
- Khasanah, Nurul, Eliya. 2009. *Adsorpsi Logam Berat*. Oseana, Volume XXXIV, no 4, Tahun 2009:1-7
- Kumar, M.N.V. 2000. *Nano and Microparticles as controlled drug Delivery Devices*. J.Pharm Pharmaceutic. Scie 3(2) : 234-258
- Kusumawati, Nita. 2009. *Pemanfaatan Limbah Kulit Udang Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Ultrafiltrasi*. Inotek, Volume 13, Nomor 2, Agustus 2009.
- Laksono, Endang. 2009. *Kajian Terhadap Aplikasi Kitosan Sebagai Adsorben Ion Logam Dalam Limbah Cair*. Jurdik Kimia, FMIPA, UNY Karangmalang 55281, Yogyakarta
- Meriatna. 2008. *Penggunaan Membran Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam krom (Cr) dan Nikel (Ni) Dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam*. Tesis. Pasca Sarjana-USU. Medan.
- Notodarmojo, Suprihanto. Anne Deniva. 2004. *Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End*. Jurnal Sains dan Teknologi vol.36 no.1 hal 63-82. ITB-Bandung.
- Rakhmanudin, Maman. 2005. *Karakteristik Kelistrikan Membran Selulosa Astat dalam Berbagai Tingkat Keasaman Larutan*. Bogor :Jurusan Fisika FMIPA-IPB. Bogor.
- Robbins A, Wilhelm C. Miller. 2003. *Circuit Analysis with Devices: Theory and Practice*:Delmar Learning
- Rumapea, Nurmida. 2009. *Penggunaan Kitosan dan Polyaluminium Chlorida (PAC) Untuk Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) dan Seng (Zn) Dalam Air Gambut*. Tesis. Pasca Sarjana-USU. Medan.
- Silitonga, Dewi Regina. 2009. *Pembuatan Membran Kalsium Alginat Kitosan Serta Pengujian Permeabilitasnya*. Skripsi. FMIPA-USU. Medan
- Yunita, indah. 2011. *Kajian Sensitivitas Membran Dari Kulit Buah Markisa Sebagai Fiter Minyak Jelantah Sawit*. Skripsi. FMIPA-UNP. padang