

SINTESIS DAN KARAKTERISASI MEMBRAN KITOSAN TERCETAK ION PADA PERMUKAAN KARBON (KTI-C) UNTUK PENINGKATAN PERMSELEKTIVITAS ION Fe(III)

Zenobia Mulya Brilliantari^{1*}, Anis Shofiyani¹, Lia Destiarti¹

¹Program Studi Kimia Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura

Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak

*email: zenobiamulya@gmail.com

ABSTRAK

Kitosan merupakan polimer alam yang dapat dibentuk menjadi film tipis dan memiliki kemampuan membentuk senyawa kompleks dengan ion logam. Pada penelitian ini, kitosan dimodifikasi menjadi membran komposit tercetak ion dengan ion pencetak Fe(III) serta material pendukung karbon. Pembuatan membran KTI-C dilakukan dengan melarutkan kitosan pada asam asetat, imprinting ion logam, penambahan karbon, pencetakan membran, proses elusi, dan regenerasi membran. Karakterisasi membran Kitosan Tercetak Ion (KTI) dan Kitosan Tercetak Ion Pada Permukaan Karbon (KTI-C) dilakukan dengan SEM-EdX (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray) dan dengan menentukan nilai fluks serta derajat swellingnya dalam akuades. Membran KTI dan KTI-C yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk menentukan permselektivitas membran terhadap larutan ion Fe(III). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar ion imprinting telah berhasil dielusi menggunakan pengompleks Na₂EDTA. Nilai fluks pada membran KTI dan KTI-C masing-masing sebesar 220,81 L/m²jam dan 254,77 L/m²jam, dengan derajat swelling masing-masing sebesar 202,38 % dan 48,07 %. Uji permselektivitas menunjukkan bahwa pemisahan optimum terjadi pada pH 4 dengan nilai koefisien rejeksi ion Fe(III) pada masing-masing KTI dan KTI-C sebesar 85,80% dan 80,90%.

Kata Kunci : membran komposit, permselektivitas, Fe(III), kitosan, karbon

PENDAHULUAN

Teknologi membran merupakan metode dalam pengolahan limbah yang saat ini berkembang pesat dan banyak digunakan dalam proses pemisahan. Teknologi membran dalam aplikasinya untuk proses pemisahan, pemurnian, dan pemekatan memiliki berbagai keunggulan, diantaranya proses dapat dilakukan secara kontinyu, konsumsi energi rendah, dan material membran bervariasi sehingga mudah untuk diadaptasikan pemakaiannya (Kusumawati dan Tania, 2012).

Salah satu bahan yang digunakan pada pembuatan membran untuk tujuan pemisahan ion logam berat adalah kitosan. Keutamaan kitosan terletak pada gugus -NH₂ dan -OH yang dapat bertindak sebagai situs pengkhelat ion logam, terutama dari golongan transisi (Zaharah, *et al.*, 2015).

Meriatna (2008) melaporkan bahwa penggunaan membran kitosan untuk

pengolahan limbah cair industri pelapisan logam mampu menurunkan kadar Cr(III) dan Ni(II) masing-masing sebesar 99,87% dan 91,13%. Menurut Rahayu dan Purnavita (2007) kitosan dari limbah cangkang ranjungan dapat menurunkan kadar Hg(II) sampai 70,83%. Hastuti, *et al* (2011) menyatakan bahwa kitosan dapat menurunkan kadar Cr(VI) dari limbah industri batik sebanyak 74%-89%. Nurhayati dan Pratiwi (2016) melaporkan bahwa kitosan mampu menurunkan kadar Pb hingga 59,20% dengan adanya pengaruh massa dan pengaruh waktu pengadukan. Pitriani (2010) juga menyatakan bahwa aplikasi kitosan untuk menurunkan kadar Fe dan kadar Mn dengan adanya pengaruh pH masing-masing sebesar 77,68 % dan 58,67%. Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, kitosan termodifikasi terbukti menurunkan kadar ion logam dengan baik.

Perkembangan teknik modifikasi kitosan dilakukan dengan melakukan teknik pencetakan ion. Pencetakan ion (*ionic*

imprinting) merupakan metode untuk menyiapkan *template* ion logam pada polimer seperti kitosan sehingga mempunyai kemampuan untuk mengenali secara spesifik ketika polimer tersebut dikontakkan kembali dengan ion yang sama dalam aplikasi lingkungan. Kitosan tercetak ion (KTI) mempunyai selektivitas yang tinggi terhadap ion logam target. Hal ini antara lain dilaporkan oleh Shofiyani et al. (2015) yang mempelajari selektivitas KTI terhadap ion logam Cd(II), Cu(II) dan Cr(III).

Telah banyak publikasi yang melaporkan efektivitas KTI terhadap ion-ion logam berat, namun KTI dalam bentuk membran komposit dengan memanfaatkan serbuk karbon sebagai material pendukung belum pernah ditemukan publikasinya. Pada penelitian ini dilakukan sintesis membran kitosan tercetak ion pada permukaan karbon (KTI-C) untuk pemisahan ion logam Fe(III). Parameter yang dipelajari adalah sifat karakteristik membran (fluks, *swelling* dan permselektivitas) serta pengaruh pH terhadap koefisien rejeksi Fe(III) oleh membran.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain timbangan analitik, desikator, oven, plat kaca, pompa vakum, seperangkat alat gelas, *Fourier Transform InfraRed (FTIR)* Nicolet Avatar 360 IR, *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Analysis (SEM EdX)* Jeol JSM 6510LA, *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* Varian AA240Fs.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain asam asetat (CH_3COOH), asam klorida (HCl), besi(III) klorida (FeCl_3), epiklorohidrin ($\text{C}_3\text{O}_5\text{ClO}$), karbon, kitosan, natrium EDTA (Na_2EDTA), natrium hidroksida (NaOH).

Prosedur Kerja

Pembuatan Membran KTI-C (Shofiyani, et al., 2015 dengan modifikasi)

Karbon ditimbang 100 g dan dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu 110°C . Karbon yang sudah kering dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit, kemudian dikeluarkan, dan disimpan dalam tempat tertutup. Karbon kemudian digerus dan diayak menggunakan ayakan 120 mesh.

Kitosan ditimbang 0,5 g dilarutkan dalam 20 mL larutan asam asetat encer 2,5% (v/v) dan diaduk menggunakan stirer selama 6 jam, kemudian 0,125 g karbon ditambahkan secara perlahan ke dalam hidrogel. Larutan FeCl_3 dengan konsentrasi 5000 mg/L dipipet 5 mL, ditambahkan ke dalam larutan kitosan karbon dan diaduk selama 1 jam. Larutan disentrifus selama 1 jam untuk menghilangkan gelembung.

Campuran dituangkan untuk dibentuk membran pada plat kaca, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 40°C . Membran yang sudah kering direndam dengan larutan 0,1 M NaOH sampai dapat dilepaskan dari plat kaca, selanjutnya dicuci dengan akuades hingga air cucian netral. *Crosslinking* dilakukan dengan merendam membran dalam larutan epiklorohidrin (pH 10) selama 6 jam pada suhu kamar. Setelah dikeluarkan, membran dicuci berulang-ulang menggunakan akuades hingga air cucian netral.

Elusi ion Fe(III) dari permukaan membran dilakukan dengan menempatkan membran pada kolom dengan diameter 3 cm, kemudian dialirkan larutan Na_2EDTA 0,2 M menggunakan pompa vakum. Eluat ditampung dan diukur kadar Fe(III) yang berhasil dilepaskan. Regenerasi membran dilakukan dengan cara mencelupkan ke dalam larutan NaOH 0,1 M 2-3 kali, kemudian dicuci menggunakan akuades beberapa kali hingga netral. Selanjutnya membran dikeringkan pada temperatur kamar untuk digunakan dalam proses pemisahan ion logam. Karakterisasi membran dilakukan menggunakan spektrofotometri *Fourier Transformed Infra Red (FT-IR)*, morfologi, ukuran pori, dan komposisi unsur membran menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive (SEM EdX)*.

Karakterisasi Membran KTI-C

Penentuan Fluks (Rohman, et al., 2009)

Membran KTI-C dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 3 cm sesuai dengan diameter kolom yang digunakan. Sebanyak 100 mL akuades dilewatkan pada kolom yang sudah dipasangkan membran KTI-C. Sebelum uji fluks air, terlebih dahulu dilakukan kompaksi terhadap membran yang akan diuji. Kompaksi dilakukan dengan mengalirkan air melewati membran hingga

diperoleh fluks air yang konstan. Fluks dinyatakan sebagai:

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

J = fluks (L/m².jam)

V = volume permeat (L)

A = luas permukaan (m²)

t = waktu (jam)

Penentuan Derajat Swelling (Handayani, 2009)

Membran dipotong dengan ukuran 1x1cm², ditimbang sebagai berat awal. Penentuan kapasitas penyerapan air dilakukan dengan cara merendam membran dalam akuades selama 24 jam, kemudian permukaan membran dikeringkan dengan tisu dan ditimbang kembali sebagai berat basah. Derajat *swelling* dinyatakan sebagai:

$$\% \text{ derajat swelling} = \frac{W_o - W_1}{W_o} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

W_o = berat basah

W₁ = berat kering

Penentuan Permselectivitas (Kusumawati dan Tania, 2012)

Sebanyak 50 mL Larutan Fe(III) konsentrasi 250 mg/L dimasukkan ke dalam gelas kimia 25 mL, diatur pH-nya denganya variasi 3, 4, 5, 6,7 dengan penambahan HCl atau NaOH 0,1 M. Masing-masing larutan Fe(III) yang telah dikondisikan pH-nya kemudian dialirkan melalui kolom yang telah dipasangkan membran KTI-C dengan bantuan pompa vakum. Eluat ditampung dan ditentukan jumlah Fe(III) yang teradsorpsi menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), selanjutnya dilakukan penentuan nilai koefisien rejeksi dengan menggunakan rumus :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

R = Koefisien rejeksi (%)

C_p = Konsentrasi zat terlarut dalam permeat

C_f = Konsentrasi zat terlarut dalam umpan

HASIL DAN PEMBAHASAN

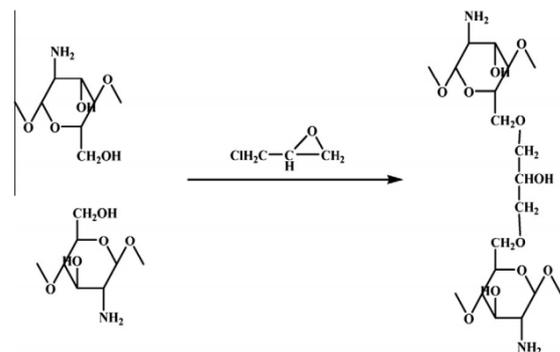
Hasil Proses Sintesis Membran KTI dan KTI-C

Pada tahap awal sintesis, kitosan dilarutkan dalam asam asetat membentuk hidrogel kitosan. Sebagian besar gugus fungsional -NH₂ pada kitosan mengalami

protonasi. Pada tahap ini dimungkinkan terjadi depolimerisasi kitosan membentuk satuan-satuan polimer yang lebih kecil sehingga fleksibilitasnya meningkat. Hal ini berguna dalam proses modifikasi kitosan menjadi bentuk yang diinginkan, dalam penelitian ini adalah bentuk membran. Penambahan karbon kedalam hidrogel kitosan dilakukan untuk meningkatkan karakter pori membran sekaligus meningkatkan sifat mekanik yang dimilikinya.

Proses netralisasi gugus fungsional kitosan yang terprotonasi terjadi pada saat penambahan NaOH. Proses ini memungkinkan membran untuk dapat dilepas dari plat kaca karena terjadinya difusi ke bagian bawah membran yang berhimpitan dengan permukaan cetakan (Kusumawati dan Tania, 2012).

Tahap *crosslinking* dimaksudkan untuk meningkatkan stabilitas kimia dan stabilitas fisika membran terutama dalam pelarut asam. Epiklorohidrin dikondisikan pada pH 10 untuk mengarahkan proses *crosslinking* pada gugus -OH kitosan dengan terbentuknya epoksida yang bersifat lebih reaktif dibandingkan -NH₂, sehingga gugus -NH₂ sebagai situs utama pengikatan ion logam Fe(III) relatif terlindungi. Mekanisme *crosslinking* kitosan dengan epiklorohidrin ditunjukkan melalui Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi *crosslinking* kitosan dengan epiklorohidrin (Tirtom, et al, 2012)

Elusi ion *imprinting* dengan larutan Na₂EDTA. Kompleks Fe(III)-EDTA mempunyai konstanta stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan Fe(III)-NH₂ sehingga diharapkan dapat menggantikan ligan dalam ikatan koordinasi antara ion Fe(III) dengan situs aktif dari kitosan.

Tabel 1. Persentase Ion Logam Terelusi dari Membran KTI dan KTI-C

Membran	Konsentrasi ion Fe(III) (mg/L)		% total elusi
	Konsentrasi awal (Cf)	Konsentrasi Permeat (Cp)	
KTI	4123,8830	1881	45,61%
KTI-C	4123,8830	2591,7	62,85%

Tabel 2. Komposisi Unsur Membran Kompleks Kit-Fe(III), KTI, Kit-C, Kompleks Kit-Fe(III)-C dan KTI-C Berdasarkan Hasil EdX

Massa (%)	Jenis Membran				
	Kitosan-C	Kompleks Kit-Fe(III)	KTI	Kompleks Kit-Fe(III)-C	KTI-C
C	66,38	87,73	92,27	68,36	82,82
O	1,53	3,15	1,75	5,42	7,93
N	28,92	-	-	-	-
Fe	-	8,28	2,26	3,79	1,32

Eluat yang dihasilkan dari proses elusi ditampung dan konsentrasi ion logam yang berhasil dilepas ditentukan berdasarkan spektrometri serapan atom. Hasilnya ditunjukkan melalui Tabel 1.

Pada proses elusi, ion logam Fe(III) yang dilepaskan akan menghasilkan rongga-rongga yang memiliki bentuk dan ukuran spesifik terhadap logam *imprinted* (Shofiyani *et al.*, 2015). Persentase hasil elusi pada membran KTI-C lebih tinggi jika hal yang sama dibandingkan pada membran KTI. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada membran KTI-C lebih banyak ion logam yang terikat dan keluar dari membran bersama larutan Na₂EDTA. Hal ini terjadi dimungkinkan karena peran karbon untuk lebih mengarahkan terikatnya ion logam pada permukaan membran, sehingga elusi berlangsung lebih efektif. Hasil proses elusi dikonfirmasi dengan analisis EdX (*X-ray Dispersive Energy*), hasilnya disajikan melalui Tabel 2.

Analisis EdX dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung pada membran (Wahyuni dan Damayanti, 2016). Tabel 2 menunjukkan hasil analisis komposisi unsur C, O, dan Fe pada masing-masing jenis membran. Perbandingan komposisi unsur C pada membran kompleks Kit-Fe(III) dan membran KTI, serta komposisi unsur C pada membran kompleks Kit-Fe(III)-C dan KTI-C mengalami kenaikan. Terjadinya peningkatan unsur C diduga karena pada membran KTI dan KTI-C telah dilakukan proses *crosslinking* menggunakan larutan epiklorohidrin, sehingga terjadi kenaikan unsur C pada membran KTI dan KTI-C. Terikatnya ion Fe(III) ditunjukkan masing-

masing pada kompleks Kit-Fe(III) dan Kit-Fe(III)-C. Ion-ion *imprinting* tersebut selanjutnya dilepaskan dari kompleks menggunakan ligan EDTA. Sebagian besar ion *imprinted* telah berhasil dilepas. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan signifikan jumlah ion Fe masing-masing pada KTI dan KTI-C. Hasil tersebut sesuai dengan hasil AAS yang menunjukkan terlepasnya ion-ion *imprinting* pada tahap elusi.

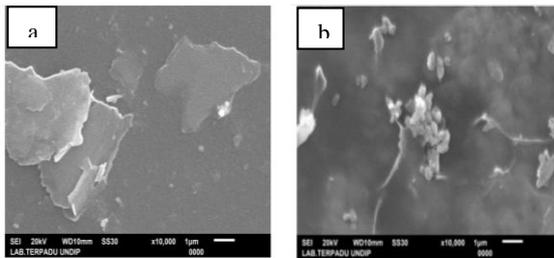
Karakteristik Membran KTI dan KTI-C Nilai Fluks

Permeabilitas suatu membran dinyatakan dalam nilai fluks. Fluks merupakan standar dalam mengevaluasi kinerja membran.

Tabel 3. Hasil Uji Permeabilitas Pada Membran KTI dan KTI-C

Membran	Nilai Fluks
Kitosan	560,51 L/m ² jam
Kitosan-C	679,40 L/m ² jam
KTI	220,81 L/m ² jam
KTI-C	254,77 L/m ² jam

Nilai fluks yang diperoleh pada membran kitosan dengan material pendukung karbon lebih besar daripada nilai fluks pada membran kitosan tanpa karbon. Hal yang sama juga pada membran tercetak ion, dimana nilai fluks pada membran KTI-C lebih besar dibandingkan pada membran KTI. Hal ini diperkirakan terjadi karena penambahan karbon akan meningkatkan karakter pori dari membran, sehingga jumlah air yang melewati luas membrane meningkat. Gambar 2 menunjukkan hasil SEM pada membran KTI dan KTI-C.



Gambar 2. Hasil SEM membran (a) KTI dan (b) KTI-C

Derajat Swelling

Swelling dapat ditentukan dengan mengukur berat kesetimbangan membran melalui proses penyerapan terhadap air sampai didapatkan berat konstan. Hasil uji *swelling* terhadap karakteristik membran ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji *Swelling* Membran

Membran	<i>Swelling</i>
Kitosan	72,24%
Kitosan-C	48,53%
KTI	202,38%
KTI-C	48,07%

Berdasarkan data yang diperoleh, derajat *swelling* pada membran kitosan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan derajat *swelling* pada membran Kitosan-C. Begitu pula pada membran KTI memiliki derajat *swelling* yang lebih besar dibandingkan pada membran KTI-C. Membran dengan komposisi kitosan awal memiliki derajat *swelling* yang tinggi karena kitosan mempunyai kemampuan menyerap air (Alauhdin dan Widiarti, 2014). Kitosan memiliki rantai utama yang hidrofilik karena adanya gugus asam amina bebas dan hidroksi pada atom karbonnya.

Penambahan material pendukung karbon akan menurunkan derajat hidrofilitas dari rantai utama kitosan, sehingga kinerja membran menjadi lebih baik. Karbon akan menghambat penyerapan air pada membran dan akibatnya terjadi penurunan derajat penyerapan airnya (derajat *swelling*) (Handayani, 2009).

Permselektivitas Membran

Permselektivitas membran diukur dengan menentukan nilai koefisien rejeksi. Koefisien rejeksi merupakan kemampuan suatu membran untuk dapat menahan partikel terlarut. Hasil uji permselektivitas disajikan melalui Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Uji Permselektivitas Membran KTI dan Membran KTI-C Terhadap Larutan Fe(III)

Variasi pH	Koefisien Rejeksi	
	Membran KTI	Membran KTI-C
pH 3	84,90%	73,50%
pH 4	85,80%	80,90%
pH 5	79,30%	62,70%
pH 6	3,20%	2,10%
pH 7	5,20%	5,00%

Berdasarkan data pada Tabel 5, secara umum koefisien rejeksi ion Fe(III) pada KTI lebih besar dibandingkan pada KTI-C. Hal ini dikarenakan membran KTI-C mengandung karbon yang relatif kurang selektif dalam pemisahan ion logam karena yang berperan sebagai situs aktif adalah pori. Kesesuaian ukuran pori membran dengan diameter atau ukuran logam yang akan dipisahkan merupakan hal yang penting diperhatikan dalam proses pemisahan membran dengan gaya pendorong tekanan. Pemisahan yang terjadi pada pori karbon tidak bersifat spesifik terhadap ion logam karena kemungkinan distribusi ukuran pori dari karbon yang tidak homogen. Pada membran KTI (tanpa karbon), pengikatan ion logam lebih selektif diduga berlangsung pada *template* yang telah dibuat pada tahap *imprinting*. Pembentukan *template* berlangsung efektif karena terdapat kesesuaian sifat asam-basa ion Fe(III) dengan gugus fungsional kitosan.

Berdasarkan teori HSAB (*Hard Soft Acid and Base*), asam keras akan berikatan dengan basa keras, sedangkan asam lunak akan berikatan dengan basa lunak. Ion logam Fe(III) merupakan golongan asam keras, sedangkan gugus aktif kitosan yaitu gugus amina (-NH₂) dan hidroksil (-OH) merupakan basa keras, sehingga kecenderungan terjadi ikatan antara ligan amina atau ligan hidroksil dengan ion logam Fe(III) membentuk asam basa keras. Ion logam Fe(III) akan membentuk kompleks dengan gugus aktif kitosan sehingga tertahan pada membran, namun setelah gugus-gugus aktif berada dalam kondisi jenuh, maka ion logam yang tersisa akan lolos melewati membran (Noralia dan Maharani, 2013).

Berdasarkan Tabel 5 juga dapat diketahui bahwa pemisahan yang optimum terjadi pada pH 3-4. Hal ini sesuai dengan diagram spesi Fe(III), dimana pada pH tersebut sebagian besar ion Fe(III) berada sebagai Fe^{3+} . Pada pH di atas 4 kemungkinan mulai terjadi proses pengendapan sehingga mekanisme lebih didominasi oleh pembentukan kompleks Fe(III) hidroksida.

SIMPULAN

1. Membran KTI dan KTI-C hasil penelitian mempunyai karakteristik derajat *swelling* yaitu masing-masing sebesar 202,38 % dan 48,07%, Selain itu, membran KTI-C memiliki nilai fluks yang lebih tinggi yaitu sebesar 254,77 L/m²jam dan nilai fluks pada membran KTI sebesar 220,81 L/m²jam.
2. Kemampuan membran KTI dan KTI-C ditunjukkan oleh nilai permselektivitas yang terjadi pada pH optimum 4 dengan nilai koefisien rejeksi masing-masing sebesar 85,80% dan 80,90%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alauhdin, M dan Widiarti, N, 2014, Sintesis dan Modifikasi Lapis Tipis Kitosan-Tripolifosfat, *J. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 32 (1) : 46-52.
- Handayani, E, 2009, Sintesa Membran Nanokomposit Berbasis Nanopartikel Biosilika Dari Sekam Padi dan Kitosan Sebagai Matriks Biopolimer, Institut Pertanian Bogor, (Thesis).
- Hastuti, B., Masykur, A., Ifada, F, 2011, Modifikasi Kitosan Melalui Proses Swelling dan Crosslinking Menggunakan Glutaraldehid Sebagai Pengadsorpsi Logam Cr(VI) Pada Limbah Industri Batik, *J. Ekosains*, 3(3), 14-21.
- Jin, L and Renbi, B, 2002, Mechanisms of Lead Adsorption on Chitosan/PVA Hydrogel Beads, *Langmuir*, 18 (25) : 9765-9770.
- Kusumawati, N., dan Tania, S, 2012, Pembuatan dan Uji Kemampuan Membran Kitosan Sebagai Membran Ultrafiltrasi Untuk Pemisahan Zat Warna Rhodamin B, *J. Molekul*, 7 (1) : 43-52.
- Meriatna, 2008, Penggunaan Membran Kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam Krom (Cr) dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam, Universitas Sumatera Utara, Medan, (Thesis).
- Nurhayati dan Pratiwi, D, 2016, Pengaruh Massa dan Waktu Pengadukan Kitosan Dalam Menurunkan Timbal Dalam Air, *Seminar Sains dan Teknologi II*, 132-139.
- Laksono, E.W, 2009, The Adsorption Capacity of chitosan-alumina to Cr(III) and Ni(II) ion. *Proceeding Paccon. Thailand*.
- Laus, R., Costa, T. G., Szpoganicz, B., and Favere, V. T, 2010, Adsorption and Desorption of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) Ions Using Chitosan Crosslinked with Epichlorohydrin-Triphosphate As The Adsorbent, *J. Hazardous of Material*, 183 : 233 – 241.
- Noralia, E dan Maharani, D.K, 2013, Filtrasi Ion Logam Cr⁶⁺ Dengan Membran Komposit Kitosan Silika, *UNESA J. Of Chemistry*, 2(1) : 24-28.
- Pitriani, P, 2010, Sintesis dan Aplikasi Kitosan Dari Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) Sebagai Penyerap Ion Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Untuk Pemurnian Natrium Silikat, Universitas Syarif Hidayatullah, Jakarta, (Skripsi).
- Rahayu, L.H dan Purnavita, S, 2007, Optimasi Pembuatan Kitosan Dari Kitin Limbah Cangkang Ranjungan (*Portunus pelagicus*) Untuk Adsorben Ion Logam Merkuri, *J. Reaktor*, 11(1), 45-49.
- Rohman, T., Utami, U.B.L., dan Mahmud, 2009, Pengaruh Konsentrasi Kitosan Terhadap Karakter Membran Kitosan, *J. Sains dan Terapan Kimia*, 2 (1) : 14-24.
- Shofiyani, A., Narsito, N., Santosa, S. J., Noegrohati, S., Zahara, T. A., and Sayekti, E, 2015, Cadmium Adsorption on Chitosan/*Chlorella* Biomass Sorbent Prepared by Ionic-Imprinting Technique, *Indones. J. Chem*, 15(2) : 163-171.
- Tirtom, V. N., Dincer, A., Bacerik, S., Aydemir, T., and Celik, A, 2012, Comparative Adsorption of Ni (II) and Cd (II) Ion on Epichlorohydrin Crosslinked Chitosan – Clay Composite Beads in Aqueous

- Solution, *J. Chemical Engineering*, 197 : 379 -386.
- Wahyuni, S., dan Damayanti, A, 2016, Pengaruh Konsentrasi dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Karakteristik Membran Komposit Chitosan, *J. Purifikasi*, 16 (1) : 44-53.
- Zaharah, T.A., Shofiyani, A., dan Sayekti, E, 2015, Karakteristik Biomassa *Chlorella sp* Terimobilisasi Pada Kitosan Untuk Adsorpsi Kromium (III) Dalam Larutan, *J. Penelitian Kimia Alchemy*, 11(1) : 15-28.