

Pengaruh Penambahan Volume Kitosan dari Cangkang Bekicot terhadap Penurunan Kadar Tembaga Air Lindi

La Ifa, Muhamad Awalul Agus, Karim Kasmudin, dan Andi Artiningsih

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makasar, Indonesia

la.ifa@umi.ac.id, muhawalulagus3@gmail.com, kasmudinkarim@gmail.com, andi.artiningsih@umi.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mempelajari efektivitas kitosan yang dibuat dari cangkang keong (*Achatina Fullica*) selama proses adsorpsi logam tembaga (Cu (II)) dalam air lindi. Kitosan dideproteinisasi dengan 2 N natrium hidroksida, didemineralisasi dengan 1 N hidrogen klorida, dan dideasetilasi dengan 50% Sodium hidroksida. Larutan campuran dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik. Kemudian larutan dipisahkan dan dikeringkan dalam oven untuk mendapatkan kitosan padat. Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) menunjukkan bahwa tingkat deasetilasi kitosan adalah sebesar 78,06%. Kitosan dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 10.000 mg / L. Larutan kitosan dalam volume tertentu, yang divariasikan dari 2 hingga 10 mL, ditambahkan ke dalam 1 L air lindi dan diaduk selama 15 menit. Kadar Cu dalam sampel air lindi diuji menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometric* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume peningkatan volume kitosan mengurangi konsentrasi ion logam dalam air lindi. Dengan menambahkan 10 mL larutan kitosan 10.000 mg / L ion Cu teradsorpsi sebesar 82,52% dalam air lindi.

Kata kunci: Adsorben, Air lindi, cangkang bekicot, kitosan, logam Cu

Abstract

This research studied the effectiveness of chitosan prepared from the snail shells (*Achatina Fullica*) during the adsorption process of copper metal (Cu (II)) in leachate water. The chitosan was deproteinized with 2 N sodium hydroxide, demineralized with 1 N hydrogen chloride, and deacetylated with 50% Sodium hydroxide. The mixture solution was heated at 90°C for 1 hour and stirred using a magnetic stirrer. Then the solution was separated and dried in the oven to obtain a solid chitosan. The Fourier Transform Infra Red (FTIR) analysis showed that the degree of chitosan deacetylation was 78.06%. The chitosan was dissolved in water with a concentration of 10,000 mg/L. A certain volume of chitosan solution, which was varied from 2 to 10 mL, was added into 1 L of leachate water and stirred for 15 minutes. The Cu levels in the leachate water samples were tested using Atomic Absorption Spectrophotometric (AAS). The results showed that the volume of the increase of chitosan volume reduced the metal ion concentration in leachate water. By adding 10 mL of 10.000 mg/L chitosan solution adsorbed 82.52% of Cu (II) ion in leachate water.

Keywords: Adsorbent, chitosan, Cu metal, leachate water, snail shell

1. Pendahuluan

Sampah adalah sesuatu bahan yang tidak difungsikan, sesuatu yang harus dibuang, dan biasanya berasal dari aktifitas manusia (termasuk kegiatan industri) (Herlandien, 2013). Sebagian sampah anorganik yang terdapat di tempat pembuangan akhir (TPA) Antang Makassar mengandung logam berat. Komponen air lindi (leachate) diantaranya adalah Cu(II), berasal dari sampah alat-alat listrik, pipa, dan kawat (Himmah, dkk., 2009; Sari dan Afdal, 2017). Hal ini berpotensi terjadinya pencemaran Cu(II) pada air sumur gali. Air sumur gali disekitar TPA Antang Makassar pada radius 1-5 kilo meter mengandung logam Cu(II), umumnya melampaui kadar ambang batas untuk keperluan air minum yakni diatas 0,02 mg/L (Asriani, 2017).

Lindi adalah cairan yang merembes melewati tumpukan sampah, mengandung zat terlarut dan tersuspensi yang sangat halus sebagai hasil penguraian sampah oleh mikroba (Irhanni, dkk., 2017). Keberadaan lindi dapat menyebabkan pencemaran tanah karena mengandung beberapa senyawa kimia organik dan anorganik serta sejumlah pathogen (Susanto, 2004; Himmah, dkk., 2009). Pada konsentrasi 0,01 mg/L fitoplankton akan mati karena Cu(II) menghambat aktivitas enzim dalam pembelahan sel fitoplankton (Palar, 2004).

Pengolahan lindi TPA sebagian besar masih menggunakan teknologi system kolam yaitu kolam penampung, kolam anaerobik, kolam aerobik, kolam stabilisasi, *wet land* membutuhkan waktu yang relatif lama antara 30-50 hari. Said dan Hartaja (2018) mengolah air lindi menggunakan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi dapat mereduksi polutan organik, menurunkan *Chemical Oksigen Demand* (COD) dan mereduksi nitrit, namun belum dapat mereduksi logam-logam berat yang terkandung dalam air lindi.

Pada penelitian ini menggunakan metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Salah satu adsorben yang dapat digunakan adalah kitosan. Kitosan bisa diperoleh melalui deasetilasi kitin. Kitin merupakan bahan organik utama

Info Makalah:

Dikirim : 03-30-19;

Revisi 1 : 04-30-19;

Revisi 2 : 07-22-19;

Diterima : 09-23-19.

PenulisKorespondensi:

Telp : +62-8124-2165-289

e-mail : la.ifa@umi.ac.id

yang terdapat pada kelompok hewan crustacea, insekta, fungi, Mollusca dan arthropoda. Salah satu sumber kitin adalah cangkang bekicot.

Cangkang bekicot merupakan limbah, dapat mencemari lingkungan, mengandung zat kitin sekitar 70% - 80% (Srijanto, 2013). Kitin tersebut dapat diolah menjadi kitosan untuk menyerap logam berbahaya seperti logam tembaga. Kitosan memiliki pasangan elektron bebas dari nitrogen dan oksigen yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk membentuk kompleks dengan Cu(II). Darjito, dkk., (2006) melakukan penelitian menggunakan kitosan-alumina untuk mengadsorpsi Cd(II) dengan mempelajari pengaruh pH dan waktu kontak. Nurhayati dan Sutrisno (2014) menggunakan adsorben ampas tebu untuk menyerap Cu(II). Proses adsorpsi tergolong metode pemisahan yang efektif dalam pengolahan air limbah karena lebih ekonomis (Nurhayati, dkk., 2018) dan cocok untuk air dengan konsentrasi logam rendah (Yuan dan Liu, 2013).

Kelebihan adsorben kitosan adalah karena merupakan biopolimer yang sumbernya melimpah dan terbarukan serta memiliki banyak kegunaan seperti kosmetik, kesehatan, adsorben ion logam, farmasi, dan pengawet makanan. Kitosan mudah larut dalam asam organik seperti asam format, asam asetat, dan asam sitrat (Mekawati, 2000).

Karakteristik kimia yang paling penting dari kitosan diantaranya adalah derajat deasetilasi. Derajat deasetilasi berkaitan dengan kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain dan berpengaruh terhadap daya guna kitosan dalam aplikasinya. Kitosan memiliki derajat deasetilasi lebih dari 70% (Aspari dkk., 2010). Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang pembuatan kitosan seperti kulit udang (Harjanti, 2014), cangkang kepiting (Trisnawati, dkk., 2013), cangkang bekicot (Andhika, dkk., 2018), sisik ikan (Ifa dkk., 2018). Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben logam berat telah banyak dilakukan Supriyantini, dkk., (2018), menggunakan kitosan dari cangkang rajungan untuk menyerap logam timbal (Pb). Penelitian ini menggunakan metode baru dalam pengolahan air lindi TPA yang terletak di Antang Makassar, menggunakan metode adsorpsi dengan memanfaatkan limbah cangkang bekicot dengan mengolah kitin yang terkandung pada cangkang bekicot menjadi kitosan, untuk dijadikan adsorben dalam menyerap Cu(II) pada air lindi.

2. Metode

Pembuatan Kitosan

Bahan utama yang digunakan adalah cangkang bekicot, sampel air lindi dengan kadar Cu(II) 0,0572 mg/L yang diperoleh dari TPA Antang Makassar, natrium hidroksida (NaOH), hidrogen klorida (HCl), dan asam asetat (CH₃COOH).

Penelitian ini terdiri dari dua tahapan, yakni pembuatan kitosan dari cangkang bekicot dan penerapan kitosan sebagai penyerap Cu(II). Pembuatan kitosan dari cangkang bekicot dilakukan melalui beberapa tahapan. Sebelum diproses, cangkang bekicot dipreparasi dengan cara pencucian, pengeringan, penghancuran dan pengayakan. Isolasi kitosan dilakukan melalui tahap deproteinasi, demineralisasi dan deasetilasi. Cangkang bekicot sebanyak 50 gr deproteinasi menggunakan larutan NaOH 2N dengan rasio 1:6 (b/v). Campuran dipanaskan dengan *hot plate* pada suhu 90°C selama 1 jam dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, kemudian dipisahkan dan dikeringkan di dalam oven (Rahayu, 2004). Selanjutnya proses demineralisasi dengan menggunakan HCl 1 N dengan rasio 1:12 (b/v). Pengadukan dilakukan selama 1 jam pada suhu ruang yang selanjutnya dipisahkan dan dikeringkan dengan oven. Selanjutnya, proses deasetilasi dengan menggunakan NaOH 50% dengan perbandingan 1:10 (b/v) kemudian dipanaskan pada suhu 70-80°C selama 90 menit. Campuran dipisahkan kemudian dikeringkan dengan oven dan diperoleh kitosan dengan bobot 32,550 gr. Kitosan hasil dianalisa dengan teknik *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui adsorbansi sebagai data perhitungan derajat deasetilasi.

Kitosan 10.000 mg/L dengan volume masing-masing: (2, 4, 6, 8 dan 10) mL dilarutkan kedalam 1 L sampel air lindi, kemudian diaduk selama 15 menit, setelah itu disaring. Selanjutnya kadar Cu(II) dari sampel tersebut diukur dengan menggunakan AAS, metode uji SNI 06-6989.6: 2009 di laboratorium Balai Besar Hasil Perkebunan Makassar.

Perhitungan derajat deasetilasi kitosan.

Derajat asetilasi kitosan dihitung dengan menggunakan metode garis Moore dan Robert dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Khan dkk.,2002):

$$DD = 100 - \left[\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{100}{1,33} \right] \quad (1)$$

dimana A1655 adalah Absorbansi pada panjang gelombang 1655 cm⁻¹ untuk serapan gugus asetamida (CH₃COONH) dan A3450 adalah adsorbansi pada panjang gelombang 3450 cm⁻¹ untuk serapan gugus hidroksi/amin (-OH, NH₂). Nilai absorbansi A1655 dan A3450, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A_{1655} = \log \left[\frac{DF_2}{DE} \right] \quad (2)$$

$$A_{3450} = \log \left[\frac{AC}{AB} \right] \quad (3)$$

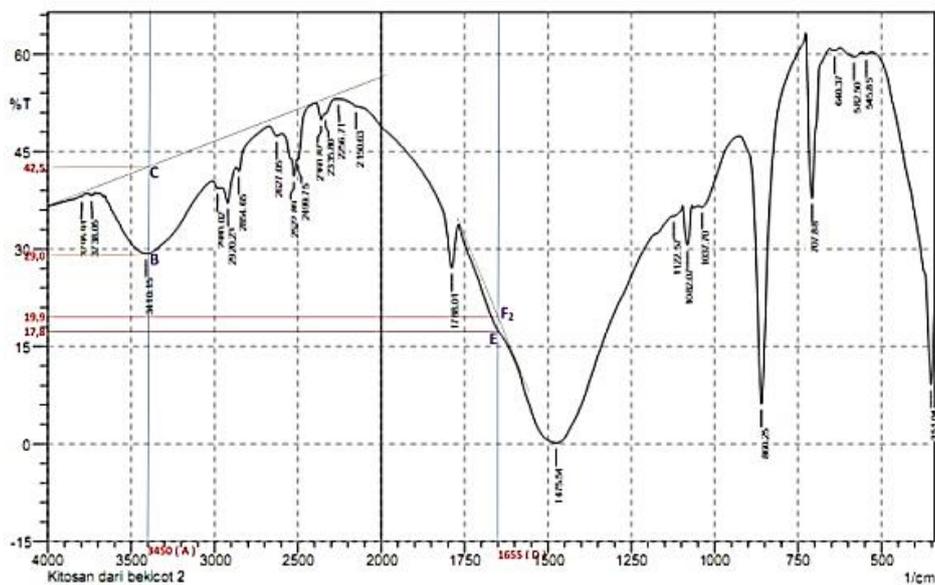
Keterangan :

- A_{1655} = Absorbansi panjang gelombang 1655 cm^{-1} untuk serapan gugus hidroksi/amin ($-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$).
- A_{3450} = Absorbansi panjang gelombang 3450 cm^{-1} untuk serapan gugus asetamida ($\text{CH}_3\text{COONH}-$).
- DE = Titik pertemuan antara kurva dengan garis A_{1655} ketika ditarik garis secara *vertical*.
- DF_2 = Titik pertemuan antara garis A_{1655} dengan garis diagonal yang ditarik dari titik peak terendah menuju peak titik tertinggi pada area gugus hidroksi/amin ($-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$).
- AB = Titik pertemuan antara kurva dengan garis A_{3450} ketika ditarik garis secara *vertical*.
- AC = Titik pertemuan antara garis A_{3450} dengan garis diagonal yang ditarik dari titik peak terendah menuju peak titik tertinggi pada area gugus asetamida ($\text{CH}_3\text{COONH}-$).

3. Hasil dan Pembahasan

Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan

Gambar 1 hasil uji FTIR, menunjukkan bahwa kitosan hasil penelitian mengandung gugus OH⁻ dengan adanya peak 3450 cm^{-1} yang berguna untuk melepaskan gugus asetil dari gugus asetamida dan menghasilkan gugus amina (NH_2) yang memiliki kemampuan untuk mengikat logam. Data pada Gambar 1 digunakan untuk menghitung derajat deasetilasi kitosan.



Gambar 1. Hasil uji FTIR

Berdasarkan data pada Gambar 1, diketahui bahwa:

- $\text{DF}_2 = 19,9$
- DE = 17,8
- AC = 42,5
- AB = 29,0

Absorbansi A_{1655} dan A_{3450} dihitung menggunakan persamaan (2) dan (3). Diperoleh hasil bahwa A_{1655} adalah sebesar 0,033 sedangkan A_{3450} adalah sebesar 0,146. Dengan menggunakan persamaan (1), maka derajat deasetilasi (DD) kitosan adalah sebesar 78,06% dan telah memenuhi standar dari segi derajat deasetilasi, lebih dari 70% (Apsari dkk., 2010). Menurut Asni dkk., (2014), kitosan yang mempunyai derajat deasetilasi lebih dari 60% dapat digunakan sebagai adsorben. Hasil dari penelitian ini mendekati hasil yang diperoleh dari peneliti-peneliti terdahulu, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Derajat Deasetilasi Kitosan Peneliti Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Nilai DD (%)
Trisnawati, dkk., 2013;	77,84%
Hajrianti, 2014	70,34%
Waryani dkk., 2014	75,13%;
Ifa dkk., 2018	73,40%.
Aspari dkk., 2010	83,30%
Penelitian ini	78,06%

Derajat deasetilasi berkaitan dengan kemampuan kitosan untuk membentuk interaksi isoelektrik dengan molekul lain dan berpengaruh terhadap daya guna kitosan dalam aplikasinya. Besarnya derajat deasetilasi hasil kitosan akan berpengaruh terhadap performanya sebagai adsorben ion logam. Tingginya derajat deasetilasi kitosan, maka makin banyak gugus $-NH_2$ sebagai tempat terjadinya penjerapan, sehingga semakin besar kemampuan kitosan dalam mengikat ion logam.

Performa Kitosan pada Penurunan Kadar Cu(II) dalam Air Lindi

Performa kitosan diuji cobakan pada penjerapan Cu(II) dalam air lindi. Data karakteristik hasil pengujian kitosan pada sampel air lindi dari hasil analisis AAS dengan variasi penambahan larutan kitosan sebanyak (2, 4, 6, 8, dan 10) ml ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Karakteristik Cu(II) dalam Air Lindi Setelah Penambahan Larutan Kitosan

Volume kitosan (ml)	Parameter Cu(II) (mg/L)
2	0,0296
4	0,0116
6	0,0113
8	0,0102
10	0,0100

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa kadar Cu(II) pada sampel cenderung menurun dengan bertambahnya larutan kitosan yang digunakan. Hal tersebut dikarenakan banyaknya kitosan memungkinkan luas permukaan kitosan banyak tersedia, sehingga terjadi peningkatan bidang aktif pada kitosan menyebabkan banyak Cu(II) yang diserap. Bertambahnya volume atau massa kitosan, mengakibatkan luas permukaan kontak adsorben semakin besar. Dari Tabel 2, menunjukkan bahwa kitosan mampu menyerap Cu(II) sebesar 0,0100 mg/L atau terjadi penurunan kadar Cu(II) sebesar 82,52% pada volume 10 mL. Hasil penelitian terhadap daya serap ini lebih besar dari hasil penelitian Darjito dkk., (2006) yakni 78,34%. Batas kandungan Cu(II) yang diperbolehkan yaitu 0,02 mg/L (Asriani, 2017). Kitosan yang dibuat dari bekicot dapat digunakan sebagai adsorben Cu(II) pada air lindi TPA Antang Makassar.

Pada volume 4 mL sampai 8 mL diperoleh jumlah Cu(II) yang terjerap terjadi penurunan. Ini disebabkan kemungkinan sudah mulai terpenuhnya gugus aktif pada permukaan adsorben sehingga kesempatan terjadinya ikatan antara Cu(II) dengan situs aktif menjadi kecil. Pada volume kitosan 8 mL sampai 10 mL diperoleh jumlah Cu(II) yang relatif konstan, disebabkan mulai terjadi kesetimbangan antara adsorbat yang terserap dengan adsorbat sisa dalam larutan sehingga penambahan volume tidak akan menambah jumlah Cu(II) yang terjerap. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Darjito dkk. (2006), banyaknya kitosan yang digunakan berbanding lurus dengan efisiensi penurunan kadar logam yang diadsorpsi. Semakin besar volume kitosan yang digunakan maka akan semakin tinggi juga nilai daya adsorpsi terhadap kadar logam (Supriyantini dkk., 2018).

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan dari data yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar volume kitosan yang ditambahkan semakin efektif dalam menyerap logam Cu(II). Kitosan yang diperoleh dari cangkang bekicot (*Achatina fullica*) telah memenuhi standar dari segi derajat deasetilasi sebesar 78,06% dan dapat digunakan sebagai adsorben. Keefektifan penjerapan kitosan pada air lindi yaitu penambahan adsorben kitosan 10 mL dengan kadar Cu(II) sebesar 0.0100 mg/L atau terjadi penurunan kadar Cu(II) sebesar 82,52%.

Daftar Pustaka

- Andhika, B., & Syauqiah, I. (2018). Pemanfaatan Kitosan Dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Sebagai Adsorben Logam Berat Seng (Zn). *Konversi*, 5(1), 22-26.
- Apsari, Ajeng, T., dan Dina, F. (2010). Studi Kinetika Penjerapan Ion Khromium dan Ion Tembaga Menggunakan Kitosan Produk dari Cangkang Kepiting. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro
- Asni, N., Saadilah, M.A., dan Saleh, D. (2014). Optimalisasi Sintesis Kitosan dari Cangkang Kepiting Sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II). *Spektra : Jurnal Fisika & Aplikasinya*, 15(1), 18-25
- Asriani. (2017). Identifikasi Logam Tembaga (Cu) Pada Zonasi Radius 1-5 Km Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Antang Makassar Terhadap Pengaruh Kualitas Air Sumur Gali. Skripsi. Universitas Islam Negeri Makassar
- Darjito, Purwonugroho, D, dan Nisa, S.N. (2006). Kajian Adsorpsi Cd (II) pada Kitosan-Alumina. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 238 – 244
- Harjanti, R. S. (2014). Kitosan dari Limbah Udang sebagai Bahan Pengawet Ayam Goreng. *Jurnal Rekaya Proses* 8(1), 12–19.
- Herlandien, Y.L. (2013). Pemanfaatan Arang Aktif Sebagai Absorban Logam Berat Dalam Air Lindi Di TPA Pakusari Jember, Skripsi, Jember: Universitas Jember.

- Himmah, Aminuddi, dan Milala. (2009). Potensi Limbah Air Lindih oleh Psedemonas Flouresens sebagai Prebiotik Tanaman“, Skripsi, Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Ifa. L., Artiningsih, A., Julniar, dan Suhaldin. (2018). Pembuatan Kitosan Dari Sisik Ikan Kakap Merah. *Journal of Chemical Process Engineering*, 3(1), 47-50
- Irhamni, Pandia, S., Purba, E., dan Hasan, W. (2017). Kandungan Logam Berat pada Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Kota Banda Aceh, Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) Unsyiah, Banda Aceh, A19-A22
- Khan, T.A., Peh, K.K., dan Ch'ng, H.S. (2002). Reporting Degree of Deacetylation Values of Chitosan: The Influence of Analytical Methods. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 205–212
- Mekawati, Fachriyah, E., dan Sumardjo, D. (2000). Aplikasi Kitosan Hasil Tranformasi Kitin Limbah Udang (*Penaeus merguieus*) untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal. *Jurnal Sains dan Matematika*, 8 (2), 51-54.
- Nurhayati, I., dan Sutrisno, J. (2014). Pemanfaatan limbah ampas tebu Sebagai Penyerap Logam Berat Cu. *Wahana*, 63(2), 27- 32.
- Nurhayati, I., Sutrisno, J., dan Zainudin, M.S. (2018). Pengaruh Konsentrasi Dan Waktu Aktivasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu Dan Fungsinya Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Laboratorium. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 16 (1), 64-71
- Palar, H. (2004). Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: PT. Rineka Cipta, 1994.
- Rahayu, L. H., dan Purnavita, S. (2007). Optimasi Pembuatan Kitosan dari Kitin Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) Untuk Adsorben Ion Logam Merkuri. *Reaktor*, 11(1), 45-49.
- Said, N. I., dan Hartaja, D. R. K. (2018). Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1), 1-20
- Sari, R. N., dan Afdal, A. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93-99.
- Srijanto, B. (2003). Kajian pengembangan teknologi proses produksi kitin dan kitosan secara kimiawi. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia* (Vol. 1, pp. F011-F015).
- Supriyantini, E., Yulianto, B., Ridlo, A., Sedjati, S., dan Nainggolan, A. C. (2018). Pemanfaatan Chitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) sebagai Adsorben Logam Timbal (Pb). *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(1), 23-28.
- Susanto, P. J., Ganefati P. S., Muryani, S., dan Istiqomah, H. S., (2004) Pengolahan Lindi (Leachate) dari TPA dengan Menggunakan Sistem Koagulasi – Biofilter Anaerobic. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5, 167 – 173
- Trisnawati, E., Andesti, D., & Saleh, A. (2013). Pembuatan kitosan dari limbah cangkang kepiting sebagai bahan pengawet buah duku dengan variasi lama pengawetan. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(2), 17-26
- Waryani, S. W., Silvia, R., & Hanum, F. (2014). Pemanfaatan Kitosan Dari Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Sebagai Pengawet Ikan Kembung (*Rastrelliger sp*) dan Ikan Lele (*Clarias batrachus*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(4), 51-57.
- Yuan, L., & Liu, Y. (2013). Removal of Pb (II) and Zn (II) from aqueous solution by ceramisite prepared by sintering bentonite, iron powder and activated carbon. *Chemical engineering journal*, 215, 432-439.

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)