

KARAKTERISASI FILM KITOSAN-MIKROKRISTAL SELULOSA ALANG-ALANG (*IMPERATA CYLINDRICA*) SEBAGAI ADSORBEN

Hartika Samgryce Siagian
Universitas Imelda Medan

Article Info

Keywords:

Microcrystalline
Cellulose
Reeds
Chitosan Film

ABSTRACT

Research on the utilization of cellulose microcrystals from *Imperata cylindrica* as a filler in the film has been carried out. Microcrystalline cellulose (MCC) added to the chitosan film solution with a mass variation of 0.1 g; 0.2 g; 0.3 g. This research was divided into two stages: the first stage was the manufacture of MCC from *Imperata* grass which was digested with 17.5% NaOH to produce α -cellulose then hydrolyzed with 2.5 N HCl to produce MCC. Analysis of microcrystalline cellulose particle size with PSA of 82.278 μ m. The second step is the making of Chitosan-MCC films. The best mechanical properties testing occurred on chitosan films with the addition of 0.3 g MCC with a film thickness of 0.24 mm and a tensile strength test value of 10.409 MPa. This result is supported by the results of SEM analysis showing that in the film it is seen that MCC is evenly distributed. The TGA analysis result of chitosan-MCC film shows that chitosan-MCC film has better thermal than chitosan and MCC.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Hartika Samgryce Siagian,
Program Studi S1 Farmasi,
Universitas Imelda Medan,
Jl. Bilal No. 52 Kelurahan Pulo Brayan Darat I Kecamatan Medan Timur, Medan - Sumatera Utara.
Email: hartikasiagian@gmail.com

1. INTRODUCTION

Keberadaan logam berat di lingkungan dapat berbahaya bagi makhluk hidup, meskipun beberapa logam berat (contohnya Fe dan Zn) dalam konsentrasi kecil bersifat esensial bagi makhluk hidup karena diperlukan untuk metabolisme tubuh (Firdaus, 2012). Senada dengan Quek, dkk (1998) Logam dapat membahayakan bagi kehidupan manusia jika konsentrasi melebihi batas ambang yang diijinkan, apabila konsentrasinya belum melebihi batas ambang, keberadaan logam berat telah diketahui bersifat akumulatif dalam sistem biologis.

Akhir-akhir ini banyak penelitian yang mencoba menemukan adsorben yang lebih ekonomis, ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan. Salah satunya adalah penggunaan adsorben yang mengandung polimer alam seperti kitosan. Kitosan merupakan biopolimer yang efektif digunakan sebagai adsorben logam berat karena sifatnya yang tidak beracun, memiliki kekuatan

mekanik yang tinggi, biokompatibilitas, biodegradabilitas dan biofungsionalitas (Kousalya, dkk. 2010).

Dari berbagai literatur diketahui bahwa kitosan dapat digunakan untuk mengadsorpsi beberapa logam yaitu Cu (II), Pb (II), U (VI), Cr (III), Cr (VI), Ni (II), Cd (II), Zn (II), Co (II), Fe (II), Mn (II), Pt (IV), Pd (II), V (V) dan V (VI) (Santoso, 2012). Hal ini senada dengan hasil penelitian Kusumawati (2009) yang menunjukkan keberadaan gugus amina dalam kitosan yang mampu mengikat logam berat seperti Cd, Cu, Pb, Fe, Mn dan lainnya.

Hasil penelitian (Meriatna, 2008) telah menunjukkan bahwa film (membran) kitosan dapat menurunkan kadar krom (Cr) dan nikel (Ni) dengan metode kolom. Namun, membran kitosan ini memiliki keterbatasan dalam hal sifat mekanik (kekuatan mekanik) sehingga diperlukan material pendukung seperti selulosa untuk meningkatkan kekuatan mekanik film tersebut. Selulosa merupakan biopolimer alami yang paling berlimpah dengan relatif kuat mekanik kekuatan hingga 1GN/m^2 atau 10.000Mpa (Yang, 2001). Selulosa sudah banyak dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat antara lain selulosa dari serbuk ampas kelapa (Fatma, 2002), jerami padi (Fatoni, 2010) dan mikroselulosa (MCC) kapas yang telah dijadikan adsorben ion Cd (II) pada larutan standar $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ dimana persen daya serap terhadap ion Cd (II) sebesar 74,92% (Cahyaningrum, 2012). Selain itu, selulosa juga memiliki struktur kimia yang mirip dengan kitosan yang memungkinkan untuk menghasilkan campuran (komposit) kitosan-selulosa sebagai adsorben untuk adsorpsi logam. Pada penelitian Herwanto dan Eko (2006) telah berhasil menghasilkan membran komposit kitosan-selulosa terikat silang untuk adsorpsi ion logam Pb (II) dengan metode perendaman. Selain itu, film kitosan-CMC juga telah dibuat untuk adsorpsi logam Cd (II) (Govindarajan, 2011) dimana film ini mampu mengadsorpsi ion logam Cd (II) mencapai persen daya serap sebesar 64,89%.

Alang-alang (*Imperata cylindrica*) merupakan tanaman asli Indonesia yang memiliki kandungan selulosa sebesar 40,22%. Beberapa jurnal telah menyebutkan manfaat alang-alang sebagai obat-obatan. Namun, pemanfaatan mikrokristal selulosa alang-alang sebagai adsorben belum pernah dilakukan. Menurut penelitian yang terdahulu yang berkaitan dengan alang-alang menyatakan bahwa Hasil analisis sampel film sebagai adsorben logam kadmium menunjukkan bahwa film kitosan dengan penambahan 0,3 g MCC menghasilkan peningkatan daya serap logam kadmium (Cd) paling tinggi yaitu sebesar 79,519% dibandingkan film kitosan tanpa penambahan MCC. (Siagian 2015). Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang peningkatan kerja membran kitosan dengan penambahan mikrokristal selulosa (MCC) alang-alang sebagai adsorben.

2. RESEARCH METHOD

A. Alat Penelitian

Seperangkat alat gelas, neraca analitis, kertas saring biasa, termometer, hot plate, oven, indikator universal, seperangkat alat TGA, seperangkat alat uji tarik, seperangkat, seperangkat mikroskop pindai elektron (SEM), seperangkat alat FT-IR, spektrofotometer serapan atom.

B. Bahan Penelitian

Rumput alang-alang (RAA), kitosan, air suling, NaOH 2%, NaOCl 1,75%, NaOH 17,5%, H_2O_2 10%, HCl 2,5 N, larutan buffer, asam asetat 1%, larutan standar $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 2 $\mu\text{g/L}$.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Serbuk Alang-Alang

Alang-alang dibersihkan dan dicuci dengan air bersih. Dikeringkan di bawah sinar matahari sampai kering. Alang-alang yang sudah kering dipotong-potong dan dihaluskan dengan blender hingga menjadi serat halus.

2. Isolasi α -selulosa dari Alang-Alang

Ditimbang 75 g serbuk alang-alang dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian ditambahkan 1 L larutan NaOH 2% lalu dipanaskan pada suhu 100°C selama 4 jam sambil diaduk di atas hot plate. Disaring dan dicuci residu hingga filtrat netral. Residu kemudian diputihkan dengan 1 L larutan (yang terbuat dari larutan buffer asetat dan NaOCl 1,7% dengan perbandingan 1:1), dipanaskan pada suhu 80°C selama 6 jam sambil diaduk di atas

hot plate. Residu kemudian disaring dan dicuci hingga filtrat netral (Selverio, dkk. 2010). Residu selanjutnya ditambahkan dengan 500 mL larutan NaOH 17,5%, dipanaskan pada suhu 80 °C selama 30 menit sambil diaduk di atas hot plate. Residu selanjutnya disaring dan dicuci hingga filtrat netral. Residu selanjutnya diputihkan dengan H₂O₂ 10%, dipanaskan pada suhu 60 °C selama 15 menit sambil diaduk dengan pengaduk magnet di atas hot plate. Residu selanjutnya disaring dan menghasilkan selulosa basah. Selulosa basah dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C menghasilkan selulosa kering. Selulosa kering disimpan dalam desikator (Ohwoavworhua, 2005).

3. Pembuatan Selulosa Mikrokrystal Alang-Alang

Serbuk α -selulosa dari alang-alang dihidrolisis dengan HCl 2,5 N dengan perbandingan serbuk: HCl 2,5 N (1:20) dan direfluks pada 105 \pm 2°C selama 15 menit. Kemudian dilakukan pencucian dengan air suling sampai netral, dikeringkan dalam oven vakum pada 40°C dan tekanan 30 cmHg, dihaluskan dan disimpan untuk penelitian selanjutnya (Ohwoavworhua dan Adalakun, 2005a). Selanjutnya selulosa mikrokrystal yang diperoleh dikarakteristik sifat fisika-kimianya yaitu: pengujian FT-IR dan PSA.

4. Pembuatan Film Kitosan-MCC Alang-Alang

Pembuatan film dari campuran kitosan dan selulosa mikrokrystal dengan pelarut asam asetat (1%) menurut prosedur dalam literatur (Sudha, dkk. 2011). Sebanyak 2 g kitosan dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 1% diaduk hingga homogen. Selama 2 jam proses pelarutan, campuran diaduk dengan pengaduk magnetik stirer hingga dihasilkan larutan homogen. Film campuran kitosan kemudian dicetak di atas plat akrilik ukuran 15 cm x 15 cm hingga terbentuk lembaran film. Film dikeringkan pada suhu ruang selama 2 hari.

3. RESULTS AND ANALYSIS

Isolasi α -selulosa Alang-Alang

Dari penelitian yang dilakukan, diperoleh α -selulosa sebanyak 228,16 g dari 600 g serbuk alang-alang yang diisolasi (sebanyak 38,03% dari berat awal alang-alang). Serangkaian proses delignifikasi, pulping dan bleaching diperoleh α -selulosa berwarna putih. Penambahan larutan alkali (NaOH 2%) dan sodium hipoklorit (NaOCl) bukan hanya menghilangkan 93% lignin tetapi juga mengurangi sekitar 23% silika dan 64% ekstraktif dalam suatu serat (Herawan, 2013). Hal ini senada dengan Sheltami (2012) menyatakan bahwa penambahan NaOH 2% merupakan proses terjadinya pengembangan serat sehingga hemiselulosa, garam-garam mineral dan abu hilang dan menghasilkan pulp berwarna kuning kecoklatan. Selanjutnya dilakukan proses pemutihan dengan menggunakan NaOCl 1,75%.

Hasil pemutihan dengan menggunakan NaOCl 1,75% diperoleh selulosa yang berwarna putih. Selulosa yang diperoleh ini masih terdiri dari α , β , dan γ -selulosa. Oleh karena itu perlu dilakukan pemisahan α -selulosa dari β , dan γ -selulosa, maka pemisahan dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH 17,5%, yang menyebabkan β , dan γ -selulosa akan larut, sedangkan α -selulosa akan mengendap (Wibisono, 2002). Proses ini akan menghasilkan α -selulosa yang berwarna kuning kecoklatan, oleh karena itu perlu dilakukan pemutihan dengan menggunakan H₂O₂ 10%, α -selulosa yang dihasilkan dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C.

Pembuatan Selulosa Mikrokrystal (MCC) dari Alang-Alang

Tahap selanjutnya adalah pembuatan selulosa mikrokrystal selulosa (MCC) dari α -selulosa. Pada pembuatan mikrokrystal dari selulosa 228,16 g α -selulosa dihasilkan selulosa mikrokrystal (MCC) sebanyak 45,52 g (%hasil = 19,95%).

Karakteristik Mikrokrystal Selulosa (MCC) Alang-Alang

A. Analisis FT-IR

Spektrum hasil analisis FT-IR dari serbuk mikrokrystal selulosa memperlihatkan puncak-puncak spektrum serapan dengan bilangan gelombang. Hasil analisis gugus fungsi dengan FT-IR menunjukkan bahwa mikrokrystal selulosa alang-alang mengandung gugus fungsi OH pada bilangan gelombang 3444,87 cm⁻¹ dan terdapat juga spektrum uluran C-H pada bilangan

gelombang $2893,22\text{ cm}^{-1}$. Kemudian pada bilangan gelombang $1060,85\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan tunggal C-O (C-O-C) dari mikrokristal selulosa yang diuji.

B. Analisis Ukuran Partikel Mikrokristal Selulosa (MCC) Alang – Alang dengan Menggunakan Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis ukuran partikel mikrokristal selulosa (MCC) alang-alang dengan *particle size analyzer* (PSA) menggunakan Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer HORIBA LA-951. Alat ini mampu mengukur diameter partikel dengan ukuran $11\text{ nm} - 3000\text{ }\mu\text{m}$. Serbuk mikrokristal selulosa (MCC) yang akan dianalisis terlebih dahulu digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Hasil analisis menunjukkan distribusi rata-rata partikel $82,278\text{ }\mu\text{m}$. Diameter ukuran partikel yang dikatakan ukuran mikro dalam dispersi farmasi adalah $0,5 - 3.360\text{ }\mu\text{m}$ (Martin, 1970). Nazzal (2002) menyatakan ukuran partikel mikrokristal selulosa (MCC) komersil dari $20\text{ }\mu\text{m} - 180\text{ }\mu\text{m}$. Hal ini senada dengan hasil penelitian Koo (2001) menyatakan bahwa ukuran partikel mikrokristal selulosa jenis Avicel PH 101 ($76,53\text{ }\mu\text{m}$), Avicel PH 102 ($132,81\text{ }\mu\text{m}$) Avicel PH 301 ($73,55\text{ }\mu\text{m}$), dan Avicel PH 302 ($139,41\text{ }\mu\text{m}$).

C. Karakteristik Film Kitosan-Mikrokristal Selulosa (MCC)

Film yang telah terbentuk dianalisis dengan FT-IR, kemudian dilakukan pengujian sifat mekanik yang meliputi uji tarik dan mengukur ketebalan film, kemudian dilakukan uji absorpsi dengan larutan standar, filtrat hasil adsorpsi dianalisis dengan Spektrometer Serapan Atom (SSA). Film yang mempunyai daya serap (adsorpsi) paling tinggi dianalisis dengan SEM dan TGA.

D. Analisis Film Kitosan dan Film Kitosan Mikrokristal Selulosa (MCC) dengan Spektrofotometer FT-IR

Hasil analisis spektrum FT-IR dari film kitosan-mikrokristal selulosa (MCC) terdapat puncak-puncak daerah serapan antara lain (1) pada daerah serapan 3419 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi regangan O-H, (2) pada daerah serapan $2900-2850\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi C-H dari rantai alkana, (3) pada daerah serapan 1646 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi regangan C=O, (4) pada daerah serapan 1595 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi regangan N-H dan (5) pada daerah serapan $1150-890\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi regangan C-O. Hasil spektrum FT-IR menunjukkan bahwa pada proses pembuatan film merupakan proses pencampuran secara fisika dengan adanya interaksi hidrogen antar rantai.

E. Pengujian Sifat Mekanik dan Fisik

Pengujian sifat mekanik dalam penelitian ini meliputi pengukuran ketebalan dan kekuatan tarik film. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh menunjukkan bahwa film kitosan yang diperkuat dengan filler MCC pada variasi massa filler yang berbeda-beda $0,1-0,3\text{ g}$ meningkatkan kuantitas kekuatan tarik (*tensile strength*). Hasil uji tarik pada penambahan $0,1\text{ g}$ MCC adalah $1,427\text{ MPa}$, pada penambahan $0,2\text{ g}$ MCC adalah $6,011\text{ MPa}$ dan pada penambahan $0,3\text{ g}$ adalah $10,409\text{ MPa}$.

Penambahan filler mikrokristal selulosa (MCC) pada film kitosan meningkatkan kuantitas (nilai) kekuatan mekanik pada film kitosan. Material yang ukuran partikelnya mikro memiliki sifat yaitu memperluas area permukaan pada film kitosan yang berisikan mikrofiller (Ningwulan, 2012). Jika area permukaan semakin luas maka efisiensi perpindahan gaya tekan akan semakin meningkat. Hal ini senada dengan Puji (2013) yang menyatakan bahwa penambahan mikrokristal selulosa (MCC) menyebabkan peningkatan kekuatan tarik (*tensile strength*) dari film pati-MCC yang dihasilkan. Mikrokristal selulosa (MCC) sebagai bahan pengisi dan penguat memberikan sifat kaku pada film tergantung pada konsentrasi massa mikrokristal selulosa (MCC) yang ditambahkan. Selain itu, faktor lain yang menyebabkan peningkatan kekuatan tarik adalah mikrokristal selulosa yang mengisi film kitosan tersebut akan mengalami ikatan hidrogen yang kuat dengan kitosan sehingga menambah kekuatan tarik pada film kitosan.

Pada kurva TGA dari film kitosan-mikrokristal selulosa (MCC) dengan perbandingan 1,7:0,3 bahwa degradasi termal mulai terjadi pada suhu $35,67-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan persen kehilangan berat air sebesar $5,660\%$. Selanjutnya degradasi film kitosan-MCC (1,7:0,3) pada suhu $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan

persen kehilangan berat sebesar 8,802%. Puncak degradasi film kitosan-MCC (1,7:0,3) terjadi pada 364,88 °C dengan rentang temperatur antara 273,63-400 °C, dan persen kehilangan berat sebesar 44,55%. Tahap akhir degradasi termal dari film kitosan-MCC (1,7:0,3) terjadi pada temperatur 590,29 °C dengan persen kehilangan berat sebesar 8,209% dan menghasilkan persen residu sebesar 31,98% (2,419 mg).

Berdasarkan literatur yang ada bahwa degradasi termal film kitosan mulai terjadi antara suhu 30-145 °C (Elhefian, 2010) dan puncak degradasi film kitosan terjadi pada pada suhu 297,80 °C (Lin, dkk. 2012). Sementara degradasi termal mikrokrystal selulosa (MCC) mulai terjadi pada suhu 50 °C dan puncak degradasi mikrokrystal selulosa (MCC) terjadi pada suhu 334,96 °C (Chauhan, 2009).

Dari hasil penelitian dan literatur yang diperoleh dapat diketahui bahwa film kitosan-MCC memiliki termal yang lebih baik daripada kitosan dan mikrokrystal selulosa (MCC). Hal ini disebabkan adanya pencampuran kitosan dan mikrokrystal selulosa (MCC) dan terjadinya interaksi intramolekuler antara atom-atom yang terdapat pada kitosan dan mikrokrystal selulosa (MCC). Interaksi tersebut menghasilkan energi yang cukup besar sehingga mampu mempertahankan stabilitas termal dari film kitosan-mikrokrystal selulosa (MCC).

4. CONCLUSION

1. Mikrokrystal selulosa (MCC) dari serbuk alang-alang dapat digunakan sebagai bahan pengisi dan penguat dapat meningkatkan sifat mekanik dan fisik serta meningkatkan daya serap kadar ion logam kadmium (Cd) dari film kitosan.
2. Hasil uji mekanik film kitosan-MCC yang optimum adalah 1,7 g kitosan dan 0,3 g selulosa mikrokrystal dengan kekuatan tarik sebesar 10,409 MPa dengan ketebalan film tersebut adalah 0,24 mm.
3. Hasil analisis TGA film kitosan-MCC menunjukkan bahwa film kitosan-MCC memiliki termal yang lebih baik daripada kitosan dan mikrokrystal selulosa (MCC). Hal ini disebabkan adanya pencampuran kitosan dan mikrokrystal selulosa (MCC) dan terjadinya interaksi intra molekuler antara atom-atom yang terdapat pada kitosan dan mikrokrystal selulosa (MCC). Interaksi tersebut menghasilkan energi yang cukup besar sehingga mampu mempertahankan stabilitas termal dari film kitosan-mikrokrystal selulosa (MCC).
4. Hasil analisis adsorpsi filtrasi kolom menggunakan AAS menunjukkan bahwa film kitosan dengan penambahan 0,3 g MCC mengalami peningkatan daya serap kadar logam kadmium (Cd) yang paling tinggi yaitu 79,519% dibandingkan film kitosan tanpa penambahan MCC 48,672%.

REFERENCES

- Cahyaningrum, L. (2012). *Hidrolisis Selulosa Kapas (Gossypium hirsutum L.) sebagai Adsorben Ion Cd (II) dalam Pengaruh Ion Cr (III)*. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang .
- Chauhan, Y.P., Sapkal, R. S., V. S. Sapkal., dan G. S. Zamre. (2009). *Microcrystalline Cellulose From Cotton Rags (Waste From Garment and Hosiery Industries)*. Department of Chemical Engineering, College of Engineering and Technology, India. International Journal Chemistry. India. 7(2): 681-688.
- Chen, A., G. I. Zeng., G. Chen., X. Hu., M. Yan., S. Guan., C. Shang., L. Lu., Z. Zou., G. Xie. (2012). *Novel Thiourea-Modified Magnetic Ion-Imprinted Chitosan/TiO₂ Composite for Simultaneous Removal of Cadmium and 2,4-Dichlorophenol*. Chemical Engineering Journal. Human University Changsha. China.
- El-Hefian, E.A., Elham, S. E., Mainal, A. Mainal., A.H. Yahaya.(2010). *Characterization of Chitosan in Acetic Acid: Rheological and Thermal Studies*. Department of Chemistry, University of Malaya, Kuala Lumpur. Malaysia. (34): 47-56.
- Fatma.(2002). *Studi Pemanfaatan Sabut kelapa untuk Penyerapan Ion Kadmium dari Limbah Pabrik Pelapisan Seng*. Jurnal Penelitian Sains. No.12: 82-89.
- Fatoni, A., N. Hindryawati dan N. Sari. (2010). *Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Ion Logam Kadmium (II) oleh Adsorben Jerami Padi*. Jurnal Penelitian Kimia. Samarinda: Kimia FMIPA Universitas Mulawarman. Vol.7. No.5 : 59 – 61.

- Firdaus, M.L. (2012). *Studi Perbandingan berbagai Adsorben Sintesis dan Alami untuk Mengikat Logam Berat*. Jurnal Penelitian. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- Greene, B., M. Hosea., R. McPherson., M. Henzl., M.D. Alexander., and D.W. Darnall. (1986). Interaction of Gold (I) and (III) Complexes with Alga Biomass. *Environ. Sci. Technol.* 20: 627-631.
- Govindarajan, C., S. Ramasubramaniam., dkk.(2011). *Studies on adsorption behavior of Cadmium onto nanochitosan - carboxymethyl cellulose blend*. *Archives of Applied Science Research.* 3(5): 572-580.
- Herawan, T., M. Rivani., K. Sinaga., A. G. Sofwan. (2013). *Pembuatan Mikrokrystal Selulosa Tandan Kosong Sawit sebagai Bahan Pengisi Tablet Karoten Sawit*. Departemen Farmasi, Universitas Sumatera Utara.
- Herwanto, B. dan Eko.S. (2006). *Adsorpsi Ion Logam Pb (II) pada Membran Selulosa-Kitosan Terikat Silang*. Akta Kimindo. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November. Vol 2: 9-14.
- Koo, O. M. Y., dan P.W. S. Heng. (2001). *The Influence of Microcrystalline Cellulose Grade on Shape Distributions of Pellets Produced by Extrusion-Spheronization*. Department of Pharmacy, National University of Singapore. *Chem. Pharm. Bull.* 49 (11): 1383-1387.
- Kousalya, G.N., M.R.G.C. Sairam Sundaram, S. Meenakshi. (2010). *Synthesis of Nano-Hydroxyapatite Chitin/Chitosan Hybrid Biocomposite for the Removal of Fe (III)*. *Carbohydrate Polymer*, 82, 594-599.
- Kusumawati, N. (2009). *Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Ultrafiltrasi*. Jurnal Penelitian. Universitas Negeri Semarang.
- Mano, J. F., Koniarova, D. Reis, R. L. (2003). *Journal of Material Science: Materials in Medicine*. Vol.14, pp. 127 – 135.
- Martin, A. N., J. Swarbrick., dan Cammarata. (1970). *Physical Pharmacy*. 2nd Ed., Lea & Febiger. Philadelphia.
- Meriatna. 2008. *Penggunaan Membran Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Krom (Cr) dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam*. Tesis. Medan: USU.
- Mohamad, E. (2012). *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) pada Tanah dengan menggunakan Bayam Duri (Amaranthus spinosus L)*. Laporan Penelitian Pengembangan IPTEK. FMIPA Universitas Negeri Gorontalo.
- Nazzal, S., A. A. Zaghoul., dan M.A. Khan.(2002). *Effect of Extragranular Microcrystalline Cellulose on Compaction, Surface Roughness, and In Vitro Dissolution of a Self-Nanoemulsified Solid Dosage Form of Ubiquinone*. *Pharmaceutical Technology*. 86-98.
- Siagian, H. S. 2015. "Studi Daya Serap Film Kitosan–Mikrokrystal Selulosa Alang–Alang (*Imperata Cylindrica*) Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd) Menggunakan Metode Adsorpsi–Filtrasi Kolom." 1(2): 25.