

IMOBILISASI SULFIDA PADA BATU APUNG YANG TERLAPISI KITOSAN SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BESI (Fe) TERLARUT

Muhammad Ridwan Harahap^{1*}, Khairun Nisah¹, Qismullah¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

*E-mail : ridwankimia@ar-raniry.ac.id

Abstract: *Research on the effect of sulfides on pumice coated with chitosan as an adsorbent of dissolved (Fe) ions has been carried out. This study aims to determine the effect of sulfide absorption as an adsorbent using the adsorption method. The method used was a combination of coating pumice coated with chitosan with variations in the concentration of sodium sulfide. The results showed that the effect of sulfide absorption on pumice coated with chitosan could absorb dissolved Fe metal at a concentration of 5 M sodium sulfide with an adsorption efficiency percentage of 97% and an adsorption capacity of 0.1320 mg/g.*

Keywords: *Pumice, chitosan, adsorption, sulfide*

Abstrak: Penelitian tentang pengaruh sulfida pada batu apung yang terlapis kitosan sebagai adsorben logam besi (Fe) terlarut telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh daya serap sulfida sebagai adsorben menggunakan metode adsorpsi. Metode yang dilakukan yaitu kombinasi penyalutan batu apung terlapis kitosan dengan variasi konsentrasi natrium sulfida 1 M; 3 M dan 5 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh daya serap sulfida pada batu apung yang dilapisi kitosan memiliki kemampuan untuk menyerap logam Fe terlarut, namun penyerapan optimum ditunjukkan pada konsentrasi natrium sulfida 5 M dengan persentase efisiensi adsorpsi sebesar 97% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,1320 mg/g.

Kata Kunci: Batu apung, kitosan, adsorpsi, natrium sulfida

PENDAHULUAN

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kadar logam dalam air yaitu adsorpsi (Nurhayatie dkk. 2016). Adsorpsi merupakan suatu proses yang terjadi ketika suatu cairan atau gas terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut (Syauqiah dkk. 2011). Substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya disebut dengan adsorbat, sedangkan adsorben merupakan suatu media penyerap. Menurut Kusmiyati dkk,

(2012), metode adsorpsi merupakan metode yang paling mudah dan hemat biaya.

Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan polimer alam (biopolimer) sebagai adsorben, salah satu polimer yang paling melimpah di alam yaitu kitosan. Kitosan dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki sisi aktif berupa gugus amina (-NH₂) dan hidroksil (-OH) yang memiliki kemampuan untuk mengikat ion logam pada rantainya sehingga logam berat yang berbahaya dan tidak stabil menjadi lebih stabil (Permanasari dkk. 2010). Kitosan memiliki struktur kimia [β -(1-4)-2-amina-2-deoksi-D glukosa] yang merupakan hasil dari deasetilasi. Kitosan merupakan suatu

polimer yang bersifat polikationik, dengan keberadaan gugus hidroksil dan amino sepanjang rantai polimer menjadikan kitosan sangat efektif mengikat kation ion logam berat maupun kation dari zat-zat organik (Agustina dkk. 2015).

Telah banyak diteliti tentang kitosan yang digunakan sebagai adsorben, di antaranya yaitu Sulistyawati dkk. (2018), dengan pengujian membran kitosan sebagai adsorben menunjukkan peningkatan penyerapan logam Fe dengan hasil relatif baik diperoleh pada 30 menit adsorpsi dengan kandungan Fe sebesar 0,97 ppm. Kemampuan kitosan untuk menyerap logam berat sudah cukup baik, namun untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dan kegunaan kitosan dapat dilakukan lagi dengan cara memodifikasinya. Menurut Tanheitafino dkk. (2016), kemampuan adsorpsi kitosan dapat ditingkatkan melalui modifikasi kitosan dengan material anorganik lainnya. Penelitian tentang modifikasi terhadap kitosan telah dilakukan oleh Prasetyo dkk. (2014), menunjukkan kemampuan adsorpsi kitosan asam-askorbat pada uji campuran ion dapat meningkatkan daya adsorpsi terhadap logam Mg(II) sebesar 24,45 mg/g, Cd(II) sebesar 24,61 mg/g. Meskipun demikian kemampuan adsorpsi kitosan terhadap logam masih perlu ditingkatkan, misalnya dengan memperbanyak gugus aktif seperti memodifikasi dengan senyawa lain atau memperluas permukaan kitosan (Raja & Nurfaejriani, 2017).

Senyawa yang dapat digunakan sebagai adsorben yang termodifikasi yaitu sulfur, akan tetapi kajian tentang sulfur sebagai adsorben memiliki kendala karena sulfur dalam keadaan padat menyebabkan tidak semua sisinya dapat mengalami kontak dengan logam, sehingga dibutuhkan juga suatu zat penyangga atau media untuk dijadikan sulfur sebagai adsorben dalam bentuk larutan agar dapat bekerja dengan baik sebagai adsorben di dalam air dengan memperluas bidang sentuh terhadap logam. Keberadaan sulfur pada permukaan adsorben dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi mencapai 100%, meskipun tekstur adsorben dan kandungan gugus dipermukaan adsorben harus dikenali, namun hasil yang diperoleh menyatakan

pentingnya keberadaan sulfur dipermukaan adsorben untuk memperoleh kapasitas adsorpsi yang lebih besar.

Metode yang sedang berkembang untuk meningkatkan efektifitas adsorben adalah memodifikasi permukaannya dengan cara mengkombinasikan dengan bahan kimia tertentu. Na_2S sebagai impregnan pada karbon aktif akan meningkatkan pori-pori karbon aktif. Dalam penelitiannya juga menjelaskan perbandingan adsorpsi ion Cu dan Cd, dimana peran Na_2S sangat signifikan. Untuk penyerapan Cu dengan adsorben arang aktif tanpa dilapisi Na_2S mencapai 64%, sedangkan pada adsorben arang aktif dilapisi Na_2S mencapai 86,21%. Dengan demikian, peran Na_2S sangat dibutuhkan dalam proses adsorpsi untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Lau dkk. (2013), menggunakan media berupa karbon aktif yang telah terlapisi sulfur menghasilkan adsorben yang lebih efisien. Munfarida dkk. (2016) melaporkan bahwa dengan penambahan sulfida dapat menyerap logam hingga 95,48%. Hu dkk. (2018), juga melaporkan bahwa dengan memodifikasikan sulfur dengan biochar dapat digunakan sebagai adsorben yang efisien untuk menghilangkan logam Ni dalam air limbah. Penelitian di atas menunjukkan bahwa modifikasi sulfida sangat berperan dalam penyerapan ion logam berat yang jauh lebih tinggi. Telah diteliti juga oleh Meena dkk. (2010), dalam penelitiannya menjelaskan tentang penyerapan logam Cd, Pb, Hg, Ni dan Zn yang menunjukkan hampir 100% penghilangan kadar ion logam berat menggunakan adsorben arang aktif yang dikombinasikan dengan Na_2S . Dalam penelitian Iguchi & Wajima (2018) diperoleh hasil adsorpsi logam nikel dengan menggunakan adsorben karbon aktif yang dikombinasikan dengan Na_2S dan K_2S adalah 0,43 mmol/g dan 0,27 mmol/g, yang berarti bahwa adsorben yang menggunakan Na_2S memiliki kemampuan adsorpsi nikel yang lebih tinggi dari pada yang menggunakan K_2S .

Dari kajian di atas, maka dibutuhkan suatu media untuk sulfur dapat bekerja lebih baik sebagai adsorben. Salah satu media yang dapat dijadikan sebagai adsorben yaitu

batu apung, karena memiliki struktur yang berpori dan mengandung banyak sekali kapiler-kapiler yang halus, sehingga adsorbat akan teradsorpsi pada kapiler tersebut. Menurut Zukria dkk. (2012), batu apung dapat juga dimanfaatkan sebagai katalis atau adsorben seperti zeolit atau batuan aktif lainnya karena batu apung memiliki sifat yang sama yaitu memiliki pori yang berhubungan satu sama lain pada permukaannya.

METODE

Penyiapan Adsorben Batu Apung

Batu apung yang digunakan sebagai sampel diperoleh dari Pesisir Pantai Alue Naga, Aceh Besar. Batu apung direndam dengan air yang mengalir 3 hari, lalu di keringkan di bawah sinar matahari untuk menghilangkan kadar garam. Selanjutnya batu apung dihaluskan menggunakan palu menjadi ukuran yang beragam. Batu apung diayak dengan ukuran ayakan 100 mesh. Batu apung yang berukuran 100 mesh dikeringkan pada oven dengan suhu 105°C selama 30 menit. Batu apung disimpan dalam desikator dan digunakan sebagai adsorben.

Pembuatan Larutan Kitosan 0,6%

Kitosan ditimbang sebesar 1,5 g dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Larutan CH₃COOH 1,5% sebanyak 250 mL dicampurkan kedalam kitosan. Diaduk dengan *magnetik stirrer* pada kecepatan 350 rpm sampai kitosan larut (Devita, 2018)

Persiapan Reaktor Fitoremediasi Filtrasi Arang Aktif

Reaktor kedua adalah reaktor kombinasi menggunakan *wadah Container plastic box* ukuran panjang 52 cm, lebar 36 cm dan tinggi 26 cm yang terdiri dari tumbuhan *E. palaefolius* sebanyak 8 tanaman dengan media tanam netpot lalu penambahan filtrasi arang aktif dan dipasangkan aerator dimana penelitian ini untuk membandingkan efektivitas reaktor fitoremediasi dengan reaktor fitoremediasi

filtrasi arang aktif.

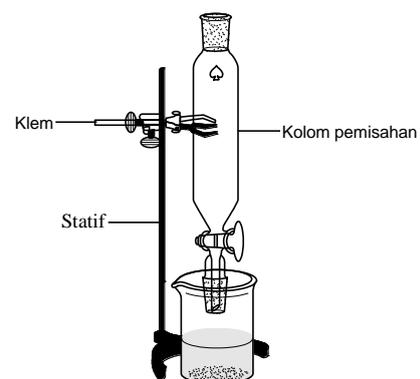
Penentuan Berat Kitosan pada Permukaan Batu Apung

Batu apung dipanaskan didalam oven pada suhu 105°C dan didinginkan. Untuk proses pelapisan, serbuk batu apung sebanyak 1 g direndam dengan larutan kitosan 0,6% sebanyak 2 mL lalu dikeringkan pada suhu ruangan. Setelah kering, serbuk batu apung-kitosan ditimbang lalu dicatat hasilnya.

Modifikasi Kitosan dan Sulfida pada batu apung

Sebanyak 20 mL larutan kitosan 0,6% ditambahkan kedalam larutan 10 mL Na₂S 1M lalu dihomogenkan. Setelah homogen, larutan tersebut ditambahkan batu apung sebanyak 10g, kemudian dikeringkan pada suhu kamar. Hasil dari modifikasi ini yaitu serbuk batu apung-kitosan-Na₂S 1M. Perlakuan yang sama dilakukan untuk konsentrasi Na₂S 3 M dan 5 M.

Penyerapan Logam Besi (Fe) pada kolom dengan Variasi Adsorben



Gambar 1. Rangkaian Alat Kolom Sederhana (Devita, 2018)

Dirangkai alat yang meliputi kolom, statif, klem dan *beaker glass* sedemikian rupa sesuai dengan Gambar 1. Kemudian, selembar kertas saring dipotong mengikuti ukuran diameter kolom dan dimasukkan hingga ke dasar kolom. Sebanyak 10 g serbuk batu apung dimasukkan kedalam kolom yang telah disiapkan pada rangkaian alat. Kemudian dimasukkan 15 mL larutan standar Fe 1000 ppm kedalam kolom. lalu

didiamkan selama 24 jam. Setelah selesai, larutan dikeluarkan melalui kran dan ditampung pada botol sampel lalu dianalisis kadar logam Fe tersisa. Hal yang sama dilakukan terhadap batu apung-kitosan dan variasi serbuk batu apung-kitosan-Na₂S.

Analisis Data

Data AAS yang didapatkan dianalisis dengan beberapa metode yaitu penentuan efisiensi dan kapasitas adsorpsi dari adsorben.

Penentuan Efisiensi dan Kapasitas Adsorpsi

Cara penentuan efisiensi dan kapasitas adsorpsi dari adsorben dapat digunakan rumus Sobhanardakani dkk. (2015) :

$$\% E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \text{ dan } Q = \frac{C_0 - C_1}{m} \times v$$

Keterangan :

% E = persen efisiensi adsorpsi

Q = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C₀ = konsentrasi awal larutan (mg/L)

C₁ = konsentrasi akhir larutan (mg/L)

m = massa adsorben (g)

v = volume larutan (mL)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelapisan Batu Apung dengan Kitosan

Kitosan memiliki gugus aktif berupa gugus amina (-NH₂) dan gugus hidroksil (-OH) yang dapat mengikat logam dan membentuk khelat logam (Morsi dkk. 2014). Batu apung yang belum terlapis kitosan memiliki warna yang lebih putih jika dibandingkan dengan batu apung yang telah terlapis kitosan. Selain dari warna batu apung yang berubah dari putih menjadi agak kecoklatan, batu apung yang telah terlapis kitosan juga memiliki tekstur yang berbeda. Tekstur dari batu apung-kitosan sedikit menggumpal dibandingkan dengan batu apung tanpa lapisan kitosan. Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh

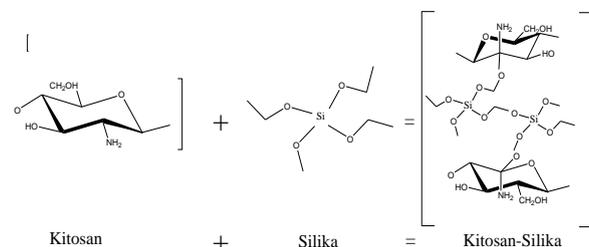
Hendarsam dkk. (2013), dengan menggunakan batu apung sebagai penyangga yang di lapisi TiO₂, perbedaan morfologi antara batu apung tanpa TiO₂ dengan batu apung dilapisi TiO₂ sangat signifikan, dimana batu apung tanpa TiO₂ memiliki banyak rongga sedangkan batu apung yang dilapisi TiO₂ memiliki pori yang rapat dan jumlah rongga yang dimiliki menurun karena lapisan TiO₂ yang mengisi pori dari batu apung tersebut secara merata.

Tabel 1. Data Hasil Penambahan Kitosan pada Permukaan Batu Apung

Percobaan ke-	Berat (g)			Berat rata-rata kitosan (g)
	Batu Apung (g)	Batu Apung-Kitosan (g)	Berat kitosan (g)	
1	1	1,263	0,263	
2	1	1,213	0,213	0,224
3	1	1,196	0,196	

Penentuan Berat Kitosan pada Permukaan batu apung

Batu apung mengandung silika (SiO₂) dan alumina (Al₂O₃) yang signifikan Mourhly dkk. (2015), sehingga terjadinya interaksi antara kitosan dengan silika. Berdasarkan hasil pengamatan Maharani, dkk. (2011) pada spektra diketahui bahwa gugus OH dari silika dapat berinteraksi dengan gugus asetamida, amina dan hidroksil pada kitosan melalui ikatan hidrogen. Interaksi ini menyebabkan meningkatnya kekuatan ikatan kitosan pada batu apung dengan adanya ikatan silang dari gugus silika. Reaksi antara silika dengan kitosan seperti dibawah ini.



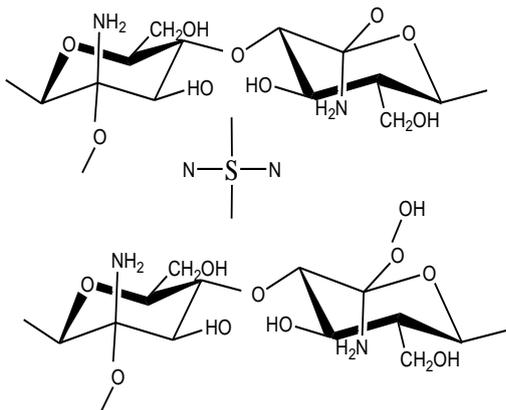
Gambar.2 Reaksi Kitosan-Silika (Maharani dkk. 2011)

Tabel 2. Data Hasil Penambahan Kitosan Terhadap Parameter Pengujian

No	Variasi adsorben	Perendaman (jam)	Parameter		Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Persentase Efisiensi (%)
			Larutan FeSO ₄ .7H ₂ O awal (mg/L)	Larutan FeSO ₄ .7H ₂ O akhir (mg/L)		
1.	Batu Apung	24	1000	806,0867	0,0290	19
2.	Batu apung-kitosan	24	1000	433,6767	0,0809	56
3.	Batu apung-kitosan-Na ₂ S 1 M	24	1000	87,7267	0,1244	91
4.	Batu apung-kitosan-Na ₂ S 3 M	24	1000	37,5517	0,1312	96
5.	Batu apung-kitosan-Na ₂ S 5 M	24	1000	31,5483	0,1320	97

Modifikasi Kitosan dan Sulfida pada Batu Apung

Proses modifikasi kitosan dan sulfida dilakukan dengan mencampurkan kitosan dengan larutan Na₂S terlebih dahulu. Reaksi larutan ini ditandai dengan kitosan yang mengendap dan larutan akan berubah warna serta membentuk endapan hitam.



Gambar 3. Reaksi Kitosan-Natrium Sulfida (Devita, 2018)

Hasil kombinasi batu apung dengan larutan kitosan-Na₂S menyebabkan perubahan warna pada batu apung. Selain dari warna batu apung yang berubah dari putih menjadi kuning kecoklatan, batu apung yang telah terlapisi kitosan-Na₂S juga memiliki tekstur yang berbeda.

Penyerapan Ion Besi (Fe) pada Kolom dengan Variasi Adsorben

Persentase adsorpsi batu apung terhadap logam besi terlarut setelah perendaman 24 jam sebesar 19%, untuk batu apung-kitosan 56%, untuk batu apung-kitosan-Na₂S 1M 91%, untuk batu apung-kitosan-Na₂S 3M 96%, dan untuk batu apung-kitosan-Na₂S 5 M 97%. Hasil menunjukkan bahwa adsorben dengan daya serap yang lebih baik ditunjukkan oleh batu apung-kitosan-Na₂S 5M dengan persentase efisiensi adsorpsi sebesar 97%. Menggunakan batu apung tanpa dilapisi kitosan maupun sulfida (Na₂S) mampu menyerap ion Fe dengan persentase adsorpsi sebesar 47,54%. Dari penelitian yang telah dilakukan Fadlilah dkk. (2018), menunjukkan bahwa menggunakan larutan Na₂S dengan metode presipitasi dapat menurunkan kadar Hg pada limbah sintetik HgCl₂ dengan massa endapan HgS optimum sebesar 0,046 g dengan persentase efisiensi penyerapan hingga 99,81%. Dari hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa dengan memodifikasikan partikel aktif pada zat penyangga atau media dapat menjadikan adsorben yang lebih efisien.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengaruh daya serap sulfida pada batu apung yang dilapisi kitosan memiliki kemampuan untuk menyerap logam Fe terlarut. Sedangkan penyerapan tertinggi pada adsorben dengan variasi konsentrasi natrium sulfida 5 M mencapai persentase efisiensi adsorpsi sebesar 97% dan kapasitas adsorpsi sebesar 0,1320 mg/g.

DARTAR RUJUKAN

- Agustina, S., Swantara, M. D., & Suartha, N. (2015). Isolasi kitin, karakterisasi dan sintesis kitosan dari kulit udang. *Jurnal Kimia*, Bali, Fakultas Kedokteran Hewan, Universitas Udayana, 9 (2), 271-278.
- Devita. (2018). Imobilisasi sulfida pada karang yang terlapisi kitosan sebagai adsorben logam merkuri (Hg) terlarut. *Skripsi*, Universitas Syiah Kuala.
- Fadlilah, I., Prasetya, A., & Mulyono, P. (2018). Recovery ion Hg^{2+} dari limbah cair industri penambangan emas rakyat dengan metode presipitasi sulfida dan hidroksida. *Jurnal Rekayasa Proses*. Fakultas Teknik, Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada.
- Hendarsam, A. S., Tanuwijaya, J., Nitya, C. V. N. Hermansyah. H., & Slamet. (2013). Fotodegradasi fenol dengan katalis TiO_2 P25 berpenyangga batu apung. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, Departemen Teknik Kimia. Universitas Indonesia, Depok, 35 (1), 45-51.
- Hu, X., Xue, L., & Liu, L. (2018). Preparation and characterization of Na_2S -modified biochar for nickel removal. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1298-6>.
- Iguchi, M., & Wajima, T. (2018). Behavior of reduction precipitation of nickel adsorbed on the surface of sulfur-impregnated carbonaceous cotton. *Journal of Engineering and Science Research*, 2 (5), 01-06.
- Kusmiyati, Puspita & Pratiwi, K. (2012). Pemanfaatan karbon aktif arang batu batubara (KAAB) untuk menurunkan kadar ion logam berat Cu dan Ag pada limbah cair industri. *Jurnal Teknik*, 14 (1), 51-60.
- Lau, R.I., Chung, H.H., Yi, S.J., Chung, S.Y., & Wei, H.C. (2013). Adsorption of vapor-phase elemental mercury and mercury chloride with innovative composite active carbons impregnated with Na_2S and S in defferent sequences. *Chemical Engineering Journal*, 229, 469-476.
- Maharani, D. K., Kartini, I., & Aprilita, N. H. (2011). Efektivitas nana komposit kitosan-epoksi silika sebagai bahan anti bakteri ramah lingkungan pada tekstil. *Journal Of Biological Reasearches*, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya.
- Meena, A. K., Rajagopal, C., Kiran, & Mishra, G. K. (2010). Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using chemically (Na_2S) treated granular activated carbon as an adsorbent. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 69, 449-453.
- Morsi, R.E., Al-sabagh, A.M., Moustafa, Y.M., & Sayed, M.S. (2014). Mercury uptake capacity of chitosan : Kinetic and isotherm study. *Journal Chemistry*. Egyp

- Mourhly, A., Khachani, M., Hamidi, A., Kacimi, M., Halim, M., & Arsalane, S. (2015). The Synthesis and Characterization of Low-cost Mesoporous Silica SiO₂ from Local Pumice Rock. *Nanomater Nanotechnol*, 5, 35, Doi: 10.5772/62033.
- Munfarida, Tunggul, A., Susanawati, L. D., Handaru, B & Cahyono. (2016). Reduksi logam merkuri (Hg) dengan penambahan Na₂S atau NaOH pada limbah cair pengujian COD refluk terbuka. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya.
- Nurhayati, I., Sutrisno, J., Pungut, & Sembodo, B. P. (2016). Arang Aktif Ampas Tebu sebagai Media Adsorpsi untuk Meningkatkan Kualitas Air Sumur Gali. *Jurnal Teknik*, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, 13 (02).
- Permanasari, A., Siswaningsih, W., & Wulandari, I. (2010). Uji kinerja adsorben kitosan bentonit terhadap logam berat dan diazinon secara simultan. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*, Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 1(2), 121-134.
- Prasetyio, W., Khabibi, & Widodo, S. (2014). Adsorpsi ion logam Mg(II) menggunakan kitosan termodifikasi asam askorbat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, Semarang, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University. 17 (2), 70 – 74.
- Raja, P. M., & Nurfajriani. (2017). Pembuatan Adsorben dari kitosan cangkang belangkas (*Tachypleus gigas*) dan gelatin untuk menurunkan kadar logam timbal (Pb). *Jurnal Pendidikan Kimia*, Departemen Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Medan.
- Sobhanardakani, S., Zandipak, R., Khoi, A, J., Hosseini, S, M., Moslemi, M., & Delfieh, P. (2015). Removal of Hg (II) and Cd (II) ions from aqueous solution using chitosan. *Iranian Journal of Health Sciences*, Kinetics and equilibrium studies, 3(2), 2-30.
- Sulistiyawati, E. Wijaya, M. D. & Fantryani. (2018). Membran kitosan sebagai adsorben logam besi (Fe) pada air sumur di lingkungan teknik kimia UPN “Veteran” Yogyakarta. *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia Yogyakarta*, Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN Yogyakarta
- Syauqiah, I., Amalia, M., & Kartini, A. H. (2011). Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Jurnal Teknik*, 12 (1).
- Tanheitafino, S., Zaharah, T. A., & Destiarti, L. (2016). Modifikasi kitosan dengan kaolin dan aplikasinya sebagai adsorben timbal (II). *Jurnal Kajian Komunikasi*, Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, 5 (2), 33-42.
- Zukria, Papatungan, M & Musa, W. J. A. (2012). Analisis Logam-logam Pada Batu Apung dan Modifikasinya Serta Uji Adsorpsinya Pada Larutan Asam Asetat. *Jurnal Saintek*, Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Negeri Gorontalo, 6 (5).