

# OPTIMALISASI WAKTU ALIR TERHADAP ADSORPSI HIBRID SILIKA KITOSAN PADA SIMULTAN ION LOGAM Ni (II) DAN Cd (II) DENGAN METODE EKSTRAKSI FASE PADAT (EFP)

Lisnawati Simatupang<sup>1</sup>, Ratna Sari Dewi<sup>2</sup> dan Sri Rezeki Samosir<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Medan, Jl. Willem Iskandar Psr. V Medan, Indonesia 20221, Email:lisna1907@gmail.com

Diterima 5 Februari 2013, disetujui untuk publikasi 26 Februari 2014

**Abstract:** Preparation of hybrid silica chitosan adsorbent and used to adsorb heavy metals Ni(II), Cd(II) have been done. The research aims to find out efficiency and selectivity of the hybrid silica chitosan to adsorb heavy metals Ni(II) and Cd(II) using solid phase extraction method. Silica used is rice husk ash while chitosan used material is essentially the shrimp shell. Previous research data shows that the optimum hybrid silica chitosan ratio is 20:4% (20 mL of sodium silicate solution : 0.4g chitosan in 10 mL of acetate 2%) with surface area of 189.405 m<sup>2</sup>/g. To determine the level of effectiveness and selectivity of adsorbent was carried out on the variation of flow time (20,40,60,80,100) minutes. Result showed that the amount of metals ions tend to increase the following increase the flow time. The optimum condition at the time of 60 minutes, after which the amount of metals ion adsorbed decreased. At the flow time of 60 minutes the amount of metal adsorbed for Ni(II) 58.1755 mg/L, Cd(II) 49.7392 mg/L. Solid phase extraction (SPE) method using hybrid silica more effective in adsorb chitosan adsorb was metal Ni(II) compared metal Cd(II) by order of the strength of adsorptions Ni(II) > Cd(II)

## Kata kunci:

Hybrid silica chitosan, Metal Ni(II) and Cd(II), Solid Phase Extraction (SPE), flow time .

## Pendahuluan:

Keberadaan logam berat sebagai polutan bagi lingkungan hidup diawali dengan meningkatnya populasi dan industrialisasi dari proses modernisasi manusia dan lingkungan sangat berpotensi tercemar dari logam berat yang dihasilkan dari hasil limbah industri. Keberadaannya di air atau air limbah dengan konsentrasi melebihi ambang batas dapat memberikan dampak negatif bagi siklus biologi

yang normal di lingkungan dampak negatif yang langsung dirasakan oleh manusia antara lain gangguan kesehatan dan keracunan seperti gangguan fungsi syaraf, perubahan komposisi darah, kelainan pada jantung, paru-paru dan sebagainya. Logam berbeda dengan polutan berbahaya lainnya karena logam bersifat tidak terdegradasi, dapat terakumulasi pada jaringan hidup, dan terkonsentrasi pada rantai makanan. Salah satu teknik pengolahan limbah

yang diharapkan dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi logam berlebihan pada lingkungan perairan dengan proses adsorpsi. Adsorpsi adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul atau suatu akibat dari medan gaya pada permukaan padatan (adsorben) yang menarik molekul-molekul gas atau uap atau cairan (Oscik, 1982).

Contoh logam berat yang dapat membahayakan lingkungan jika melebihi ambang batas adalah logam Ni dan logam Cd.

Nikel merupakan logam keras, ulet, bisa ditempa, dan berwarna putih keperakan dengan lambang kimia Ni, Nomor atom 28 Massa atom 58,71 g/mol. Nikel melebur pada 1453 °C dan mendidih 2913 °C. Nikel larut perlahan dalam asam encer namun, seperti besi, menjadi pasif ketika dipaparkan dengan asam nitrat, Penggunaan utama nikel adalah sebagai bahan pembuat logam paduan. Logam paduan nikel memiliki karakteristik kuat, tahan panas, serta tahan karat (Eksiklopedi nasional Indonesia, 1991).

Kadmium (Cd) adalah logam putih keperakan, yang dapat ditempa, lunak dan tahan korosi. Kadmium melebur pada 321°C dan melarut dengan lambat dalam asam encer dengan melepaskan hidrogen (disebabkan oleh adanya potensial elektrodanya yang negatif) (Vogel, 1984). Kadmium merupakan logam transisi. Oleh karena sifat-sifatnya kadmium banyak dipakai sebagai stabilizer dalam pembuatan polivinilclorida. Dimasa silam kadmium malah digunakan dalam pengobatan syphilis dan malaria. Kadmium didapat pada limbah berbagai jenis pertambangan logam

yang tercampur kadmium seperti timah hitam, dan seng. Dengan demikian, kadmium dapat ditemukan di dalam perairan baik di dalam sedimen maupun di dalam penyediaan air minum (Cooke, 1977). Massa atom logam kadmium 112,411 g/mol, deret kimia logam Cd merupakan logam transisi, rapatan pada suhu kamar 8,65 g/cm<sup>3</sup>, massa jenis cair padat titik lebur 7,996 g/cm<sup>3</sup>, titik didih 767 °C, jari-jari ion divalen 0,92 Å, panas penguapan 99,87 kJ/mol, elektronegativitas 1.69 (Skala Pauling).

Limbah sekam padi dan kulit udang dapat diolah menjadi silika gel dan kitosan. Berdasarkan keberadaan situs aktif gugus silanol (-Si-OH) dan siloksan (O-Si-O) pada silika gel dan gugus amina (-NH<sub>2</sub>) pada kitosan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Kelemahan penggunaan silika gel sebagai adsorben adalah rendahnya daya serapnya apabila digunakan untuk mengadsorpsi ion logam. Sedangkan kitosan memiliki situs aktif (-NH<sub>2</sub>) yang lebih mampu mengikat ion logam yang bersifat asam Lewis karena N pada -NH<sub>2</sub> lebih bersifat basa Lewis daripada O pada Si-OH dan Si-O-Si.

Dengan adanya kekurangan dan kelebihan dari masing-masing adsorben, maka untuk mendapatkan adsorben yang baik kitosan dan silika gel dihibridkan dengan proses sol gel, dimana pada proses ini pembuatan Hibrid Silika Kitosan dari larutan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> diawali dengan pengolahan abu sekam padi menjadi larutan natrium silikat yang selanjutnya digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan hibrida silika kitosan tersebut.

Proses pembuatan dan mekanisme reaksi hibrida silika kitosan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Simatupang (2007). Pembuatan hibrida silika kitosan (HSK) dari campuran larutan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan kitosan dengan variasi (20:1%), (20:2%), (20:3%), (20:4%) dilakukan secara sol gel.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan hibrid silika kitosan adalah proses pencucian gel dengan aquades. Proses ini bertujuan untuk melarutkan kotoran terutama garam NaCl yang juga terdapat pada pembentukan gel dan terperangkap pada gel tersebut. Apabila proses pencucian tidak sempurna maka akan mempengaruhi kristalinitas dari gel yang dihasilkan.

Selanjutnya, hibrid silika kitosan ini akan digunakan sebagai adsorben untuk mengikat limbah logam divalen seperti Ni(II), Cd(II) dengan variasi waktu alir menggunakan metode Ekstraksi Fase Padat. Hasil ekstrak dianalisis menggunakan Spektroskopi Serapan Atom.

### Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Penelitian Kimia FMIPA Unimed dan untuk pengukuran secara SSA dilakukan di Lembaga Penelitian FMIPA Kimia USU Medan.

### Bahan dan Peralatan

#### Alat

Adapun peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini untuk pembuatan hibrid silika immobil kitosan dan proses adsorpsi meliputi:

- Peralatan penunjang meliputi : oven, tanur, ayakan ukuran 200 mesh, timbangan analitik, alat penggerus (lumpang dan mortar), desikator, kolom EFP, peralatan gelas dan peralatan plastik.
- Peralatan analisis yaitu SSA.

### Bahan

Bahan - bahan yang dibutuhkan untuk penelitian ini terutama:

- Adsorben hibrid silika kitosan yang berbahan dasar abu sekam padi dan kulit udang.
- Bahan pendukung lainnya : HCl 6M, HCl 3M, NaOH 3,5%, NaOH 60%, akuabides, akuades, metanol 70%, larutan multilogam  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

### Prosedur Penelitian

#### Pembuatan Hibrid silika kitosan melalui proses sol-gel.

Proses sintesis hibrid silika kitosan (HSK) diawali dengan penyiapan bahan larutan natrium silikat sebanyak 20 mL dan kitosan sebanyak 0,4 gram (4%). Berdasarkan penelitian Simatupang (2013), menunjukkan bahwa hasil karakterisasi optimum adsorpsi kitosan adalah 4% didasarkan pada luas pori 1,073 cc/g dan luas area 163,171m<sup>2</sup>/g secara SAA (Surface Area Analyser) yang dimiliki paling besar sehingga kemampuan untuk menyerap lebih baik.

Kitosan 4 % dilarutkan dalam asetat 2% sebanyak 10 mL (Sri, 2013). Pada pembuatan hibrid silika kitosan natrium silikat dicampurkan secara perlahan ke dalam kitosan dalam asetat 2% sambil ditetesi HCl 3M secara perlahan, hal ini bertujuan untuk pembentukan gel hingga pH larutan netral. Larutan yang terbentuk didiamkan semalaman, kemudian dicuci dengan aquades, dioven hingga kering pada suhu 70°C. Hibrid silika kitosan yang telah kering digerus kemudian diayak 200 mesh.

#### Preparasi Kolom EFP dan loading sampel

Kolom dan filter dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan

akuabides sehingga bersih dan kering. Setelah itu dilakukan proses kondisioning kolom yaitu sebanyak 0,5 gram hibrid silika kitosan ditempatkan ke dalam botol plastik dan ditambahkan 5 mL metanol 70% kemudian dihomogenkan. Setelah homogen adsorben dimasukkan ke dalam kolom EFP sampai kondisi yang sesuai menempati kolom dan homogen. Dialirkan pertahapan dengan variasi waktu alir (20, 40, 60, 80, 100) menit. Ekstrak kemudian ditampung kemudian dianalisis dengan SSA.

## Hasil dan Pembahasan

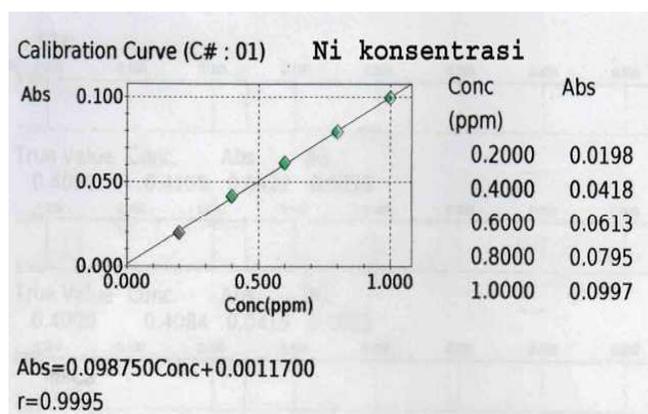
### Penentuan Daya Serap Adsorben Hibrid Silika Kitosan Terhadap Logam Simultan Ni(II) dan Cd(II) Dengan Metode Ekstraksi Fase Padat (EFP)

Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan sistem kolom mini dimana campuran kedua logam Ni(II) dan Cd(II) secara bersamaan kemudian diinteraksikan dengan adsorben Hibrid Silika Kitosan. Terlebih dahulu dilakukan kondisioning kolom, dengan berat adsorben sebanyak 0,5 gram. Sampel yang merupakan campuran logam Ni(II) dan Cd(II) 200 ppm masing-masing sebanyak 10 mL

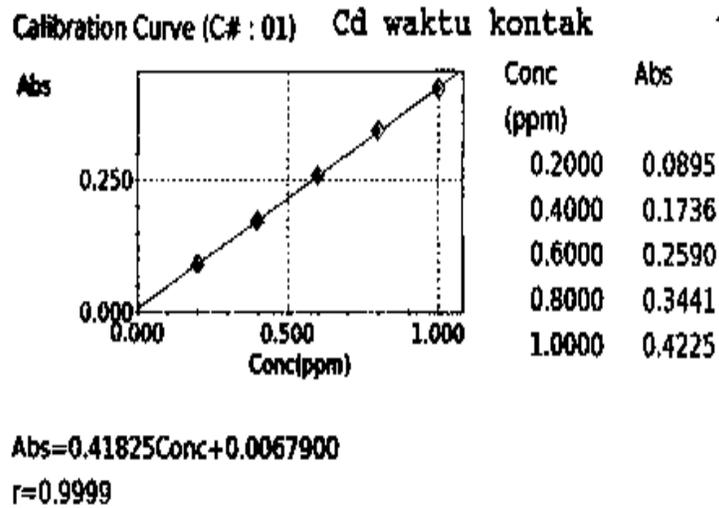
pertahapan dimasukkan ke dalam kolom dengan variasi waktu alir 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit, 100 menit. Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, waktu alir merupakan faktor yang sangat mempengaruhi dimana kesetimbangan adsorpsi ion logam tercapai setelah lebih kurang 1 jam sehingga situs aktif adsorben sudah jenuh dengan molekul adsorbat dan kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak meningkatkan jumlah logam yang teradsorpsi (Emma, 2010). Ekstrak yang telah diperoleh ditampung, kemudian dianalisis dengan SSA.

### Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi diperoleh dari pengukuran seri larutan standar logam Ni(II) dan Cd(II) dengan mengukur absorbansi larutan standar Ni(II) dan Cd(II) pada panjang gelombang 285,2 nm dan 213,9 nm. Kalibrasi alat dilakukan agar pengukuran sampel lebih akurat dan teliti. Hasil kurva kalibrasi untuk logam Ni(II) dan Cd(II) dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 dibawah ini. Setelah kalibrasi alat selesai dilanjutkan pengukuran sampel variasi waktu alir (20, 40, 60, 80, 100) menit. Hasil pengukuran sampel menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom ditunjukkan oleh tabel 3.1 berikut..



Gambar 3.1 Kurva Kalibrasi Logam Ni



Gambar 3.2. Kurva Kalibrasi Logam Cd

Tabel 3.1. Hasil pengukuran logam Ni(II) dan Cd(II) secara SSA

Logam	Waktu Alir (menit)	Konsentrasi	Absorbansi	Aktual Konsentrasi(ppm)
Ni(II)	20	0.1522	0.0162	152.2025
	40	1.2145	0.1211	145.7377
	60	2.7142	0.2692	135.7114
	80	4.9269	0.4877	147.8066
	100	6.2454	0.6179	156.1342
Cd(II)	20	3.9340	1.6522	177.0316
	40	2.5497	1.0732	152.9817
	60	1.3839	0.5856	138.3885
	80	4.3056	1.8076	172.2273
	100	4.5471	1.9086	181.8826

Tabel 3.1 menjelaskan bahwa konsentrasi, absorbansi, dan aktual konsentrasi pada waktu 60 menit pada logam Ni(II) dan Cd(II) berada pada nilai yang terkecil dibandingkan pada waktu alir pada 20, 40, 80, dan 100 menit.

Data selengkapnya tentang hasil kajian adsorpsi menggunakan teknik kolom EFP dapat terlihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2. Kajian Adsorpsi HSK Menggunakan Teknik Kolom EFP Terhadap Logam Ni(II) dan Cd(II)

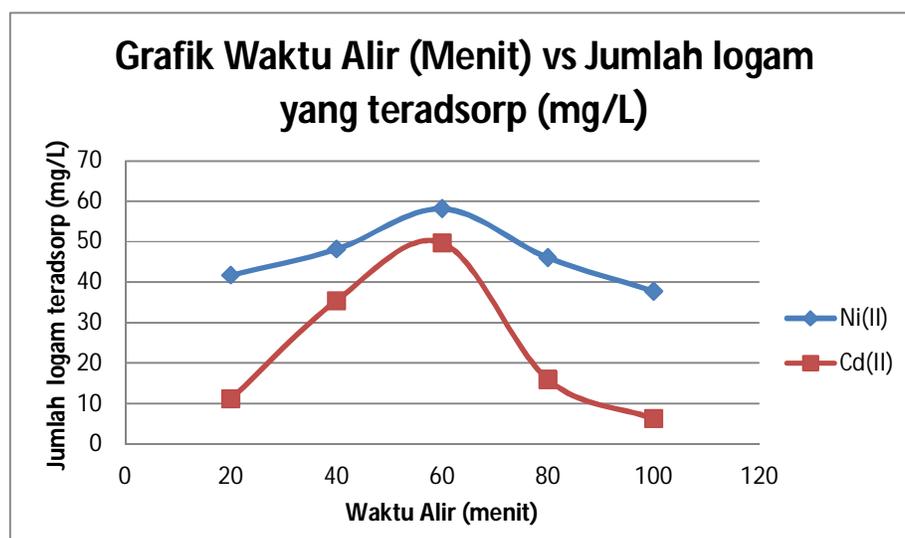
Logam	Waktu Alir (menit)	C <sub>awal</sub>		C <sub>kesetimbangan</sub>		Jumlah logam teradsorp	
		mg/L	μmol/L	mg/L	μmol/L (C)	mg/L	μmol/L(m)
Ni(II)	20	193.8869	33.0289	152.2025	25.9284	41.6844	7.1012
	40	193.8869	33.0289	145.7377	24.8262	48.1492	8.2025
	60	193.8869	33.0289	135.7114	23.1192	58.1755	9.9106
	80	193.8869	33.0289	147.8066	25.1788	46.0803	7.8501
	10	193.8869	33.0289	156.1342	26.5979	37.7527	6.4314
Cd(II)	20	188.1277	16.7373	177.0316	15.7501	11.0961	0.9872
	40	188.1277	16.7373	152.9817	13.6104	35.146	3.1269
	60	188.1277	16.7373	138.3885	12.3121	49.7392	4.4252
	80	188.1277	16.7373	172.2273	15.3227	15.9004	1.4146
	10	188.1277	16.7373	181.8826	16.1817	6.2451	0.5556

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa penambahan waktu alir berpengaruh terhadap jumlah logam Cd yang teradsorp. Jumlah logam yang teradsorp pada alir 20 menit adalah 11,0961 mg/L, sedangkan dengan penambahan waktu alir 20 menit atau pada waktu alir 40 menit hasil jumlah logam yang teradsorp meningkat hingga lebih dari 100% yaitu 35,146 mg/L. Jumlah logam yang teradsorp pada waktu 60 menit merupakan jumlah yang paling besar dibandingkan dari semua waktu alir, penambahan waktu alir berikutnya pada menit ke 80 jumlah logam yang teradsorp semakin kecil, dan pada waktu 100 menit jumlah logam Cd yang teradsorp semakin sedikit. Dari data di atas dapat dilihat bahwa pada waktu 60 menit merupakan waktu alir yang optimum untuk menyerap logam Cd, semakin tinggi waktu alir yang digunakan tidak meningkatkan jumlah logam yang teradsorp.

Pada waktu alir 60 menit merupakan waktu dimana kesetimbangan adsorpsi ion logam tercapai. Hal ini disebabkan situs aktif sudah jenuh dengan molekul

adsorbat dan kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak meningkatkan jumlah logam yang teradsorpsi (Lisnawaty, 2007).

Data dari jumlah logam Ni(II) dan Cd(II) bila disajikan dalam bentuk grafik, akan tampak seperti gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3. Grafik waktu alir (menit) vs Jumlah logam teradsorp (mg/L).

Grafik di atas menjelaskan bahwa dengan metode ekstraksi fase padat logam Ni lebih banyak teradsorp dibandingkan dengan logam Cd. Proses adsorpsi yang dilakukan merupakan sistem simultan logam, sehingga pada saat interaksi akan terjadi kompetisi diantara ion logam divalen tersebut untuk menempati situs aktif pada adsorben (Lisnawaty, 2007).

Berdasarkan hasil perhitungan kajian adsorpsi menggunakan teknik kolom EFP terhadap logam Ni(II) terlihat bahwa pada waktu 20 menit (41.6844 mg/L) dan 40 menit (48.1492mg/L), jumlah logam yang teradsorp semakin meningkat, dan pada waktu 80 menit (46.0803 mg/L) dan 100 menit (37.7527mg/L) terjadi penurunan. Sedangkan jumlah logam teradsorp yang paling banyak berada pada waktu 60 menit yaitu (58.1755mg/L) pada waktu alir 60 menit merupakan waktu penyerapan logam yang optimum. Hasil perhitungan kajian adsorpsi menggunakan teknik kolom EFP terhadap logam Cd(II) terlihat bahwa pada waktu 20 menit (11.0961mg/L) dan 40 menit (35.146mg/L)

jumlah logam yang teradsorp semakin kecil, sama halnya pada waktu 80 menit (15.9004mg/L) dan pada 100 menit (6.2451mg/L). Jumlah logam teradsorp yang paling banyak berada pada waktu 60 menit yaitu (49.7392mg/L) pada waktu alir 60 menit merupakan waktu penyerapan logam yang optimum. Dari hasil pengukuran pada waktu optimum yaitu 60 menit logam Ni lebih banyak teradsorp dibandingkan dengan logam Cd dan memiliki selisih 8,4363mg/L. Waktu optimum tercapai bilamana peningkatan logam yang teradsorpsi mencapai titik maksimalnya, sehingga penambahan waktu alir tidak akan memberikan perubahan yang signifikan terhadap logam yang teradsorp (Sri, 2010)

Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, waktu alir merupakan faktor yang sangat mempengaruhi dimana kesetimbangan adsorpsi ion logam tercapai setelah 1 jam sehingga situs aktif adsorben sudah jenuh dengan molekul adsorbat dan kenaikan konsentrasi adsorbat relatif tidak

meningkatkan jumlah logam yang teradsorpsi (Lisnawaty, 2007).

Berdasarkan prinsip Hard Soft Acid and Bases (HSAB) yang dikembangkan Pearson bahwa kelompok asam-asam keras akan menyenangi kelompok basa-basa keras, sedangkan kelompok asam-asam lunak akan menyenangi basa-basa lunak. Gugus yang paling berperan dalam proses adsorpsi adalah gugus silanol (Si-OH) dan  $-NH_2$  yang merupakan situs basa keras. Menurut Martell dan Hancock (1996) ukuran jari-jari kompleks  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$  yaitu 2,06 Å, sedangkan  $[Cd(H_2O)_6]^{2+}$  yaitu 2,30 Å (Scott, 1993). Dengan demikian jelaslah bahwa jari-jari kompleks akua oktahedral  $[Ni(H_2O)_6]^{2+} < [Cd(H_2O)_6]^{2+}$ , dimana Ni(II) adalah merupakan asam menengah dan Cd(II) adalah asam lunak.

Dari hasil penelitian sebelumnya, telah dilakukan penggunaan adsorben hibrid amino silika dengan sistem batch pada waktu alir 60 menit dan pada variasi konsentrasi 5, 10, 20, 50, 100, 200, 300, dan 400 mg/L. Pada konsentrasi 200 mg/L dan pada waktu alir 60 menit diperoleh hasil daya serap hibrid amino silika terhadap ion logam Ni(II) dan Cd(II) sebanyak 21,575 mg/L dan 3,769 mg/L (Lisnawaty, 2007). Sedangkan hasil penelitian menggunakan adsorben hibrid silika kitosan dengan sistem kolom pada waktu alir 60 menit dan konsentrasi 200 mg/L diperoleh jumlah logam yang teradsorpsi yaitu 58.1755 mg/L untuk logam Ni(II) dan sebanyak 49.7392 mg/L untuk logam Cd(II). Dapat disimpulkan bahwa adsorben hibrid silika kitosan dengan sistem kolom lebih efektif dibandingkan dengan adsorben hibrid amino silika untuk menyerap ion logam Ni(II) dan Cd(II).

## Kesimpulan

Berdasarkan variasi waktu alir diperoleh penyerapan adsorben hibrid silika kitosan yang optimum berada pada waktu alir 60 menit. Pada waktu alir 60 menit, jumlah ion logam teradsorpsi Ni(II) 58.1755 mg/L, Cd(II) 49.7392 mg/L. Adsorben hibrid silika kitosan dengan menggunakan metode ekstraksi fase padat lebih efektif untuk menyerap ion logam seperti Ni(II) dengan tingkat persentase 30%, dan Cd(II) 26,4%.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Negeri Medan dan Dit. Litabmas DP2M Dikti Depdikbud yang memberikan dana penelitian Desentralisasi Skim Hibah Bersaing Tahun anggaran 2014.

## Daftar Pustaka

- Bhumkar, D.R and Phokarkar, V.B. 2006. Studies on Effect of pH on Crosslinking of Chitosan With Sodium Tripolyphosphate : A Technical Note. *AAPS Pharmacy Science Technology*. **Vol 7**.
- Budi, Ahmad., (2011). *Preparasi Kitosan Dan Sifat fisikokimia Serta Aplikasinya sebagai Agen Antibakteri*. Skripsi Fakultas Matematika Dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat, Banjar Baru.
- Kartika, Maharani, (2009), *Aktivitas Antibakteri Kain Komposit Kitosan-EpoksiSilika dan Kain Kitosan-Silika Sebagai Tekstil Antibakteri*, SEMINAR NASIONAL KIMIA, Surabaya, 28 Juli

- 2009 Diselenggarakan oleh Jurusan Kimia FMIPA-ITS. ISBN 978-979-95845-9-5.
- Harsono, H., 2002, *Pembuatan Silika Amorf Dari Limbah Sekam Padi*, **Vol.III** Jurnal Ilmu Dasar, Indonesia, 98-103.
- Lestari, Sri., (2010), *Pengaruh Berat dan Waktu Kontak Untuk Adsorpsi Timbal(II) Oleh Adsorben Dari Kulit Batang Jambu Biji*. Jurnal Kimia Mulawarman **Volume 8 No 1 Tahun 2010, ISSN 1693-5616**. Kimia FMIPA UnMul, Samarinda.
- Linawati, H., (2006), *Chitosan Bahan Alami Pengganti Formalin*, Skripsi Departemen Teknologi Perairan (THP) Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor (FKIK-IPB).
- Simatupang, Lisnawaty, (2005), *Interaksi Simultan Antara Mg(II), Zn(II), Ni(II), Cd(II) dan 3-aminopropiltrimetoksisilan Yang Diimobilisasikan Pada Silika Melalui Proses Sol- Gel*. **Thesis** Pascasarjana Perguruan Tinggi UGM, Yogyakarta.
- Mulia, Muhammad, Suharna, (1995), *Analisis Instrumentasi*, Journal of Instrumen and Aplication Adsorption, **Vol 2** hal 34-39, Airlangga University Press, Surabaya.
- Narsito, Nuryono, Suyanta., (2005), *Imobil Senyawa Amin pada Silika Gel dari Abu Sekam Padi Melalui Proses Sol-Gel dan Kinetika Adsorpsi Ion Logam Divalen*, Penelitian Fundamental Perguruan Tinggi UGM, Yogyakarta.
- Oscik, J., 1982, *Adsorption*, Ellis Horwood Limited, England
- Scott, R.P.W, (1993), *Silica Gel and Bonded Phases : Their Production, Properties and Use in LC*, John Wiley & Sons, Toronto.
- Sembodo, S.T.B., (2006), *Adsorpsi Simultan Ion Logam Divalen Mg(II), Ni(II) Dengan metode Ekstraksi Fase Padat*, Skripsi UNIMED, Medan.
- Shamsipur, M., Raoufi, F., dan Sharghi, H., (2000)., *Solid phases extraction and determination of lead in soil and water samples using octadecyly silica membrane disks modified by bis [1-hydroxy-9,10-anthraquinone-2-methyl] sulfide and flame atomic absorption spectrometry*, *Talanta*, **52**: 637-643.
- Suharta, (2005), *Spektroskopi Serapan Atom dan Aplikasinya*, FMIPA UNIMED, Medan.
- Vogel, (1985), *Buku Teks Analitik Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, PT Kalman Media Pustaka, Medan.