

## PENENTUAN KAPASITAS ADSORPSI ION SIANIDA (CN<sup>-</sup>) PADA HIBRIDA AMINO SILIKA TERIMPREGNASI BESI(III)

### DETERMINATION CAPACITY ADSORPTION OF CIANIDE ON HYBRID AMINO SILICA IMPREGNATED IRON(III)

Lailatul Fithri\* dan Amaria\*\*

Jurusan Kimia FMIPA-Universitas Negeri Surabaya

Koresponden : \*e-mail : puput164@gmail.com

\*\*e-mail : amariajeng@yahoo.com

**Abstrak.** Telah dibuat dua macam adsorben yaitu silika terimpregnasi besi (Si-Fe) dan hibrida amino silika terimpregnasi besi (HASi-Fe) yang digunakan untuk adsorpsi ion sianida (CN<sup>-</sup>). Salah satu parameter adsorpsi yang dipelajari adalah penentuan kapasitas adsorpsi pada kedua adsorben. Persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich digunakan untuk menentukan besarnya kapasitas adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi ion CN<sup>-</sup> mencapai kesetimbangan pada konsentrasi 200 mg/L pada Si-Fe dan HASi-Fe yang sesuai dengan persamaan isoterm Freundlich dengan nilai koefisien regresi sebesar 0,899 dan 0,845. Kapasitas adsorpsi multilayer untuk Si-Fe sebesar 62,09 mmol/g dan HASi-Fe sebesar 3,78 mmol/g.

**Kata kunci:** adsorpsi, impregnasi, hibrida, sianida, silika.

**Abstract.** Two types of adsorbent have been made, silica impregnated iron (Si-Fe) and hybrid amino silica impregnated iron (HASi-Fe) used for the adsorption of cyanide ion. One of adsorption parameters were studied is concerning the determination of adsorption capacity on both the adsorbent. The equilibrium of Langmuir and Freundlich isotherm is used to determined the capacity of adsorption. The results showed that the adsorption of cyanide ion reaches equilibrium at 200 mg/L for Si-Fe and HASi-Fe mached to equilibrium of Freundlich isotherm with value of linier regression is 0,899 and 0,8845. Multilayer adsorption capacity of Si-Fe is 62,09 mmol/g and HASi-Fe is 3,78 mmol/g.

**Keywords:** adsorption, cyanid, hybrid, impregnated, silica.

#### PENDAHULUAN

Sianida merupakan salah satu limbah industri yang dapat mencemari lingkungan. Industri pertambangan emas dan tepung tapioka merupakan industri yang banyak menghasilkan limbah sianida di lingkungan. Sianida merupakan zat yang sangat beracun dan berbahaya yang jika masuk ke dalam tubuh manusia akan menyebabkan terjadinya kelumpuhan bahkan kematian [1].

Beberapa teknik yang biasa digunakan untuk mengolah limbah cair hasil industri adalah dengan pengendapan, aerasi, nanofiltrasi, adsorpsi dengan karbon aktif. Adsorpsi merupakan teknik yang dapat digunakan untuk penanganan limbah sianida karena merupakan metode yang sederhana, biayanya relatif kecil, dan reversible [2].

Silika gel merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan silika gel mudah diproduksi dan memiliki struktur pori dan sifat kimia pada permukaan yang dapat dengan mudah dimodifikasi [3]. Silika merupakan adsorben yang

relatif inert [4], tetapi kurang mampu berinteraksi dengan analit anionik karena permukaannya yang mengemban muatan negatif dari gugus silanol (Si-OH). Oleh karena itu diperlukan adanya modifikasi pada permukaannya, agar silika dapat digunakan sebagai adsorben ion sianida (CN<sup>-</sup>).

Berdasarkan jenis senyawa yang digunakan, modifikasi permukaan silika gel dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu secara fisik dan kimia.

Modifikasi secara fisik salah satunya dengan teknik impregnasi. Impregnasi merupakan metode yang digunakan untuk memodifikasi silika gel dengan memasukkan logam pada permukaannya dengan tujuan menambahkan gugus aktif khususnya logam sehingga muatan silika menjadi elektropositif. Jang, *et al.* [5] telah berhasil melakukan sintesis SBA-15 yang dimpregnasi dengan berbagai macam logam, yakni besi, aluminium, dan seng dengan konsentrasi logam sebesar 10%.

Modifikasi secara kimia terbagi menjadi dua metode, yakni: imobilisasi reagen silan dan

imobilisasi melalui reaksi *homogeny* (proses sol-gel). Jal *et al.* [6] memodifikasi permukaan silika gel dengan gugus fungsional organik yakni dengan menambahkan reagen silan atau senyawa organosilika. Modifikasi silika dengan teknik impregnasi maupun penambahan reagen silan terbukti mampu mengadsorpsi kation logam maupun spesies anionik seperti kompleks sianida,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dan  $\text{CrO}_4^{2-}$  [7,8,9].

Dalam penelitian ini parameter yang digunakan untuk menentukan baik tidaknya suatu adsorben adalah dengan melihat besarnya kapasitas adsorpsi yang dihasilkan pada proses adsorpsi antara adsorben silika terimpregnasi besi dan hibrida amino silika terimpregnasi besi dengan ion sianida. Kapasitas adsorpsi ditentukan berdasarkan adsorpsi maksimum ion  $\text{CN}^-$  oleh adsorben pada persamaan isoterm Langmuir atau persamaan isoterm Freundlich.

## METODE PENELITIAN

### Alat

Beberapa alat yang digunakan antara lain: Stirrer, shaker IKA, setrifuse Centurion, pH meter Hanna Instrument model 96107, Voltameter Methrom, Spektrofotometer FTIR Perkin Elmer, *Gas Sorption Analyser* (GSA) NOVA 1200e Quantachrome, dan beberapa alat gelas.

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh di pasaran komersial dengan kemurnian p.a antara lain: sodium hidroksida, asam klorida, 3-aminopropiltrioksasilan, etanol, toluena, dietileter, potasium sianida, silika gel Merck 200 mesh.

## PROSEDUR PENELITIAN

### Pembuatan dan karakterisasi silika terimpregnasi besi(III) dan hibrida amino silika terimpregnasi besi(III)

Dalam penelitian ini terdapat dua adsorben yang digunakan. Pembuatan adsorben yang pertama adalah silika terimpregnasi besi yang dimulai dengan membuat larutan *modifier*, yakni 10 mL  $\text{FeCl}_3$  10% yang ditambahkan larutan NaOH sampai pH 2,5 selanjutnya *diaging* selama 24 jam untuk pembentukan jembatan hidroksida. Larutan *modifier* yang didapat kemudian diimpregnasikan pada 1 gram silika gel dengan diadukputar selama 2 jam lalu *diaging* 24 jam untuk mencapai hasil impregnasi yang maksimal. Campuran yang dihasilkan disaring, dicuci sampai netral, di oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 2 jam dan kalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam. Pembuatan adsorben yang kedua adalah hibrida amino silika terimpregnasi besi, yakni dengan mensuspensikan

silika terimpregnasi besi dalam 20 mL larutan 3-aminopropiltrioksasilan dalam toluena kering (10% v/v), kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu kamar selama 12 jam. Kondisi suspensi dalam proses pengadukan dijaga dengan menggunakan refluks. Setelah itu *slurry* yang didapat disaring kemudian dicuci dengan toluena, etanol, dan dietileter secara bergantian. Setelah didesikator, *slurry* yang belum terlalu kering kemudian dikeringkan secara vakum pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 8 jam [10]. Kedua adsorben yang dihasilkan dianalisis gugus fungsionalnya dengan spektrofotometer FTIR.

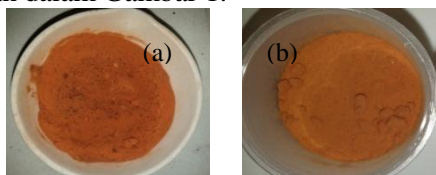
### Penentuan kapasitas adsorpsi $\text{CN}^-$ oleh adsorben

Sebanyak masing-masing 25 mg Si-Fe dan HASi-Fe diinteraksikan dengan 25 mL larutan ion  $\text{CN}^-$  dengan berbagai konsentrasi 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 70, 100, 150, 200, dan 250 mg/L. Larutan kemudian di *shaker* dengan kecepatan 450 rpm selama 2 jam, kemudian di sentrifuse selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh diukur nilai arus (A) dengan voltametri untuk menentukan konsentrasi ion  $\text{CN}^-$  sisa. Penentuan konsentrasi pada sampel dilakukan setelah diperoleh kurva kalibrasi larutan standar ion  $\text{CN}^-$  dengan persamaan  $y = ax + b$ . Kurva kalibrasi dibuat dengan mengplotkan konsentrasi larutan standar (sumbu x) dengan data respon arus (sumbu y) sehingga dapat diperoleh konsentrasi ion  $\text{CN}^-$  sisa pada sampel. Jumlah ion  $\text{CN}^-$  yang teradsorpsi dihitung dari selisih antara kandungan ion  $\text{CN}^-$  dalam larutan awal dengan konsentrasi ion  $\text{CN}^-$ . Konsentrasi yang didapat pada masing-masing sampel kemudian dihitung kapasitas adsorpsinya dengan isoterm Langmuir dan Freundlich.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian data yang dihasilkan terdiri dari data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif meliputi data fisik dan kimia, data kualitatif fisik adalah pengamatan warna pada adsorben yang dihasilkan. Data kualitatif kimia adalah data analisis gugus fungsional dengan spektrofotometer FTIR. Data kuantitatif yang dibahas dalam penelitian ini hanya data kuantitatif kimia yang meliputi kapasitas adsorpsi dan pergeseran bilangan gelombang pada adsorben sebelum dan sesudah berinteraksi. Data kualitatif fisik memperlihatkan bahwa besi telah terimpregnasi pada silika, dengan adanya perubahan warna pada silika yang semula putih menjadi jingga kecoklatan setelah ditambahkan larutan *modifier*  $\text{FeCl}_3$  10%, dan ketika ditambah dengan reagen 3-aminopropiltrioksasilan juga terjadi perubahan warna dari Si-Fe menjadi merah bata kecoklatan.

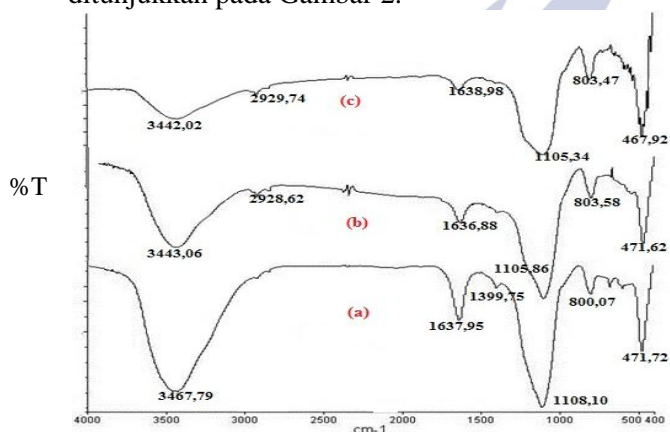
Perbedaan warna pada kedua adsorben tersebut disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. (a) Si-Fe (b) HASi-Fe

Gambar 1(b) menunjukkan bahwa HASi-Fe berwarna lebih gelap daripada Si-Fe dikarenakan adanya penambahan reagen 3-aminopropil-trietoksisilan pada Si-Fe.

Data kualitatif kimia melalui analisis gugus fungsional yang terkandung dalam Si-Fe dan HASi-Fe dengan spektrofotometer FTIR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil spektrofotometer FTIR (a) SG (b) Si-Fe dan (c) HASi-Fe

Pada Gambar 2 hasil analisis gugus fungsional dengan spektrofotometer FTIR menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang pada 3467,79 cm<sup>-1</sup> yang merupakan daerah gugus -OH dari silanol pada silika gel menjadi 3443,06 cm<sup>-1</sup> pada Si-Fe ketika dimpregnasi dengan besi dan bergeser lagi pada HASi-Fe menjadi 3442,02, daerah serapannya juga terlihat lebih lebar dengan perubahan intensitas, pada bilangan gelombang tersebut merupakan daerah vibrasi -NH, adanya perubahan bilangan gelombang membuktikan bahwa besi telah terimpregnasi pada silika gel, begitu pula dengan 3-aminopropil-trietoksisilan yang telah berikatan dengan besi pada Si-Fe, karena amina merupakan ligan yang mampu berikatan dengan logam seperti besi(III). Pergeseran gelombang disertai dengan perubahan intensitas juga terjadi pada daerah serapan 1636,88 cm<sup>-1</sup> yang merupakan daerah vibrasi ulur simetrik -OH pada Si-Fe menjadi 1638,98 cm<sup>-1</sup> pada HASi-Fe. Hal yang sama juga terjadi pada daerah serapan regang tak simetris Si-O-Si pada bilangan gelombang 1105,86 cm<sup>-1</sup> dengan nilai transmitan 2,04% untuk Si-Fe menjadi

1105,34 cm<sup>-1</sup> dan transmitan 0,60%. Hasil ini cukup menunjukkan bahwa besi dan 3-aminopropil-trietoksisilan telah termodifikasi pada silika gel.

Data kuantitatif kimia untuk adsorpsi ion sianida oleh Si-Fe dan HASi-Fe dengan berbagai variasi konsentrasi ditunjukkan dalam Tabel 1.

Data yang dihasilkan pada Tabel 1 kemudian dimasukkan pada persamaan isoterm Langmuir dengan persamaan sebagai berikut [11]:

$$m = \frac{bKC}{1 + KC} \dots\dots\dots(1)$$

dengan

- m= [CN<sup>-</sup>] terserap (mol/g)
- b= kapasitas adsorpsi monolayer (mol/g)
- K= konstanta kesetimbangan Langmuir
- C= konsentrasi CN<sup>-</sup> pada saat setimbang (mol/L)

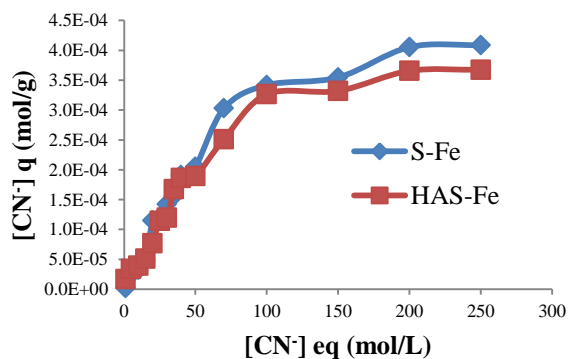
Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi berdasarkan isoterm Freundlich maka data yang diperoleh dimasukkan dalam persamaan berikut [11]:

$$m = B \cdot C^{1/n} \dots\dots\dots(2)$$

dengan

- q= [CN<sup>-</sup>] yang terserap (mol/g)
- B= kapasitas adsorpsi multilayer (mol/g)
- C= konsentrasi CN<sup>-</sup> pada kesetimbangan (mol/L)
- n= konstanta

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa adsorpsi ion CN<sup>-</sup> pada Si-Fe dan HASi-Fe mulai meningkat dari konsentrasi 1 mg/L sampai 100 mg/L kemudian pada konsentrasi 200 mg/L dan 250 mg/L cenderung konstan. Pada konsentrasi tersebut diperkirakan semua gugus aktif pada silika terimpregnasi besi telah mengalami adsorpsi yang maksimum sehingga mengalami kejenuhan seperti disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Kurva isoterm Langmuir adsorpsi sianida oleh Si-Fe dan HASi-Fe



Tabel 1 Adsorpsi Si-Fe dan HASi-Fe pada berbagai variasi konsentrasi larutan awal sianida

CN <sup>-</sup> awal (mg/L)	Si-Fe			HASi-Fe		
	CN <sup>-</sup> eq (mg/L)	CN <sup>-</sup> terserap (mg/L)	CN <sup>-</sup> terserap (mg/g)	CN <sup>-</sup> eq (mg/L)	CN <sup>-</sup> terserap (mg/L)	CN <sup>-</sup> terserap (mg/g)
1	0,8945	0,1055	0,0528	0,1194	0,8806	0,4403
5	3,7293	1,2707	0,6353	3,2255	1,7745	0,8873
10	8,3131	1,6869	0,8435	7,9433	2,0567	1,0284
15	12,4895	2,5105	1,2553	12,3357	2,6643	1,3222
20	14,0268	5,9732	2,9866	15,9855	4,0145	2,0073
25	18,7581	6,2419	3,1210	19,037	5,9630	2,9815
30	22,6016	7,3984	3,6992	23,7588	6,2414	3,1206
35	26,8637	8,1363	4,0682	26,2974	8,7026	4,3513
40	30,0448	9,9552	4,9776	30,3061	9,6939	4,8470
50	39,3335	10,6665	5,3335	40,1445	9,8555	4,9278
70	54,2389	15,7611	7,8805	56,9208	13,0792	6,5396
100	82,2128	17,7872	8,8936	83,0097	16,9903	8,4951
150	131,548	18,4517	9,2259	132,7222	17,2778	8,6389
200	178,905	21,0955	10,5478	180,9722	19,0278	9,5139
250	228,727	21,2727	10,6363	230,8815	19,1185	9,5593

Tabel 2 Parameter adsorpsi ion sianida (CN<sup>-</sup>) oleh Si-Fe dan HASi-Fe

Adsorben	Langmuir				Freundlich		
	b ( $\mu\text{mol/g}$ )	K ( $\text{mol/L}^{-1}$ )	E ( $\text{kJ/mol}$ )	R <sup>2</sup>	B ( $\text{mmol/g}$ )	n	R <sup>2</sup>
Si-Fe	692,04	214,7421	13,4817	0,565	62,09	1	0,899
HASi-Fe	507,87	406,8181	15,0860	0,662	3,78	2	0,845

Tabel 3 Pergeseran bilangan gelombang Si-Fe dan HASi-Fe sebelum dan sesudah berinteraksi

Gugus Fungsional	v sebelum berinteraksi ( $\text{cm}^{-1}$ )		v sesudah berinteraksi ( $\text{cm}^{-1}$ )		v perubahan ( $\text{cm}^{-1}$ )	
	Si-Fe	HASi-Fe	Si-Fe	HASi-Fe	Si-Fe	HASi-Fe
regangan gugus -OH/ -NH <sub>2</sub>	3443,06	3442,02	3441,94	3445,63	1,12	3,61
regang tak simetris Si-O-Si	1105,86	1105,34	1105,92	1107,43	0,06	2,09
Ulur Fe-O	471,62	467,92	471,50	475,13	0,12	7,21

Untuk mengetahui kapasitas adsorpsi monolayer (b) pada Si-Fe dan HASi-Fe maka dibuat kurva linieritas Langmuir yang menghubungkan antara C dan  $\frac{C}{m}$ . Persamaan linieritas Langmuir

yang didapat dari penurunan rumus pada persamaan (1) dapat memberikan parameter-parameter adsorpsi seperti konstanta kesetimbangan adsorpsi (K) dan energi adsorpsi (E) yang disajikan pada Tabel 2. Kemudian dilakukan uji linieritas persamaan

isotherm adsorpsi Freundlich untuk menentukan kapasitas adsorpsi multilayer (B) dan afinitas (n).

Hasil uji linieritas Langmuir pada adsorben Si-Fe menghasilkan persamaan regresi linier  $y = 1445x + 6,729$  dengan koefisien determinasi 0,565 dan untuk HASi-Fe menghasilkan persamaan regresi linier  $y = 1969x + 4,840$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,662, sedangkan uji linieritas Freundlich yang diperoleh dari persamaan (2) pada Si-Fe menghasilkan persamaan regresi linier  $y = 0,913x - 1,207$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,899 dan HASi-Fe menghasilkan persamaan  $y = 0,484x - 2,523$  dengan koefisien determinasi sebesar 0,845.

Berdasarkan kedua persamaan linieritasnya dapat diketahui bahwa adsorpsi ion sianida oleh adsorben Si-Fe maupun HASi-Fe mengikuti persamaan isotherm adsorpsi Freundlich. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan afinitas pada permukaan Si-Fe dan HASi-Fe, sehingga dapat disimpulkan bahwa permukaan adsorben adalah heterogen [12]. Permukaan tidak homogen tersebut memungkinkan terjadinya proses adsorpsi secara multilayer pada permukaan adsorben Si-Fe maupun HASi-Fe yang terjadi akibat penambahan gugus besi atau reagen 3-aminopropiltrioksasilan pada permukaan silika gel [11]. Data yang diperoleh sesuai dengan penelitian yang dilakukan Amaria [13] sebelumnya pada hibrida amino silika terimpregnasi logam aluminium dan silika terimpregnasi aluminium yang juga mengikuti persamaan isotherm adsorpsi Freundlich.

Energi adsorpsi ion sianida yang dihasilkan pada proses adsorpsi oleh Si-Fe sebesar 13,4817 kJ/mol dan 15,0860 kJ/mol untuk HASi-Fe. Menurut Atkins [14], energi adsorpsi fisika yang melibatkan ikatan antar molekuler seperti ikatan hidrogen atau ikatan *Van der Waals* berada sekitar 10-40 kJ/mol, sedangkan energi adsorpsi kimia yang melibatkan ikatan elektrostatis dan ikatan kovalen koordinasi dari penggunaan elektron bersama oleh adsorben dan adsorbat  $>40$  kJ/mol. Maka berdasarkan harga energi yang diperoleh pada kedua proses adsorpsi tersebut, energi pada proses adsorpsi ion sianida oleh Si-Fe dan HASi-Fe dalam penelitian ini merupakan energi fisika.

Data kuantitatif yang mendukung terjadinya adsorpsi pada kedua adsorben tersebut adalah dengan analisis pergeseran bilangan gelombang pada adsorben sebelum dan sesudah berinteraksi dengan ion sianida menggunakan spektrofotometer FTIR seperti terlihat pada Tabel 3. Pergeseran bilangan gelombang pada adsorben Si-Fe dan HASi-Fe sebelum dan sesudah berinteraksi dengan ion sianida seperti disajikan dalam Tabel 3 dikarenakan adanya interaksi antara sianida dan

adsorben pada daerah seserapan -OH yang pada Si-Fe telah berikatan dengan besi dan pada HASi-Fe telah berikatan dengan 3-amino-propiltrioksasilan, fakta tersebut didukung pada serapan yang dimiliki Fe-O yang juga mengalami pergeseran bilangan gelombang.

Adsorben Si-Fe dan HASi-Fe memiliki kapasitas adsorpsi multilayer (B) masing-masing sebesar 62,09 mmol/g dan 3,78 mmol/g dan kapasitas adsorpsi monolayer (b) sebesar 692,04  $\mu$ mol/g dan 507,87  $\mu$ mol/g. Jika dibandingkan kapasitas adsorpsi monolayer dan multilayernya, kapasitas adsorpsi HASi-Fe lebih kecil dari Si-Fe dikarenakan adanya penambahan 3-aminopropiltrioksasilan pada silika terimpregnasi besi (Si-Fe) yang menyebabkan adanya halangan sterik. Menurut prinsip asam basa keras lunak, gugus  $\text{NH}_2$  termasuk ligan basa keras akan membentuk ikatan yang stabil dengan kation asam keras seperti  $\text{Fe}^{3+}$  [15], sehingga interaksi spesies sianida dan besi pada permukaan adsorben terhalangi dan menjadikan kapasitas adsorpsinya lebih kecil. Selain itu, pada proses impregnasi terjadi penutupan pori karena metode impregnasi melalui pemerkapan *modifier* besi didalam pori-pori silika gel. Hal tersebut yang menyebabkan kapasitas multilayer HASi-Fe jauh lebih kecil daripada kapasitas multilayer Si-Fe.

## SIMPULAN

Beberapa simpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah adsorpsi ion sianida ( $\text{CN}^-$ ) oleh Si-Fe dan HASi-Fe mencapai kesetimbangan pada konsentrasi 200 mg/L yang sesuai dengan persamaan isotherm Freundlich dengan kapasitas adsorpsi multilayer untuk Si-Fe sebesar 62,09 mmol/g dan 3,78 mmol/g untuk HASi-Fe.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Adiwisastro, A. 1992. *Sumber Bahaya serta penanggulangan Keracunan*. Angkasa: Bandung
2. Ghandi, Muniyappan R., dan Meenakshi. 2012. Reparation and Characterization of silika gel/chitosan composite for removal of Cu(II) and Pb(II). *International Journal of Electronic Enginering*. 2. 1: 89-92
3. Fahmiati, Nuryono dan Narsito. 2004. Kajian Kinetika Adsorpsi Cd(II), Ni(II) dan Mg(II) pada Silika Gel Termodifikasi 3-Merkapto-1,2,4-triazol. *Alchemy*. 3(2), 22-28
4. Amaria, Cahyaningrum, Sari E., dan Agustini, R. 2006. *Imobilisasi Saccharomyces cerevisiae Limbah Fermentasi Industri Bir Melalui Pembentukan Sol Gel Silika dan Aplikasinya untuk*

- Adsorpsi Kation-Kation Logam Berat*. Laporan Hibah Pekerti, Universitas Negeri Surabaya
5. Jang, M., Shin, E. W., Park, J. K. 2002. Removal of Arsenic Using Mesoporous Silicate Media Impregnated Metal Oxides Nano-Particles. *The Proceedings of the WEFTEC02 meetings, The Water Environment Federation: Chicago, IL*
  6. Jal, P.K, Patel, S., and Mishra, B.K. 2004. Chemical modification of silica surface by immobilization of functional groups for extractive concentration of metal ions. *Elsevier: Talanta 62, 1005-1028*
  7. Arakaki, L.N.H. dan Airoidi, C., 2000, Ethylenimine in the Synthetic Routes of a New Silylating agent: Chelating Ability of Nitrogen and Sulfur donor Atoms after Anchoring onto the Surface of Silica Gel, *Polyhedron*, 19, 367-737
  8. Buhani, Narsito, Nuryono, and Kunarti Eko Sri. 2009. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indo. J. Chem.*, 2009 (2), 170-176
  9. Tavlarides, L. L. 2008. *Sol-Gel Synthesis and Sorbent Development and Analysis for Column Separations*. Syracuse University: department of Biomedical and Chemical Engineering.
  10. Goswami, A., Singh, A.K., Venkataramani, B. 2003. 8-Hydroxyquinoline anchored to silica gel via new moderate size linker: synthesis and applications as a metal ion collector for their flame atomic adsorption spectrometric determination. *Talanta 60: 1141-1154*
  11. Santosa, S.J., Siswanta, D., Kurniawan, A., Rahmanto, W.H., 2007. Hybrid of Chitin and Humic Acid as High Performance Sorbent for Ni(II). *Surface Science*. 2007. 04. 163
  12. Sawyer, C. N., McCarty, P. L., and Parkin, G. F. 2003. *Chemistry for Environmental and Engineering Science Fifth Edition*. Singapore: McGraw-Hill
  13. Amaria, 2012. *Adsorpsi Ion Sianida dalam Larutan Menggunakan Adsorben Hibrida Aminopropil Silika Gel dari Sekam Padi Terimpregnasi Alumunium*. Jurnal Manusia dan Lingkungan Vol.19, No.1, Maret. 2012: 56-65
  14. Atkins, P. W. 1990. *Kimia Fisika Jilid 2*. Edisi keempat. Jakarta : Erlangga
  15. Douglas, B., Mc Daniel, D., and Alexander, J. 1994. *Concepts and Models of Inorganik Chemistry. Third Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc