

KINETIKA ADSORPSI ION SIANIDA (CN^-) OLEH HIBRIDA AMINO SILIKA GEL TERIMPREGNASI Fe(III)

KINETICS ADSORPTION OF CYANIDE ION (CN^-) BY AMINO HYBRID SILICA GEL IMPREGNATED Fe(III)

*Natalia Puspita Sari * dan Amaria*

*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Sciences
State University of Surabaya*

Jl. Ketintang Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

* Korespondensi, email: natalie.scientist@yahoo.com

Abstrak. Telah dilakukan penelitian tentang adsorpsi ion sianida (CN^-) oleh hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III) ($SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$). $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ disintesis dari silika gel Merck yang diimpregnasi dengan Fe(III) ($SG\text{-}Fe$) dan dimodifikasi dengan penambahan 3-aminopropyltriethoxysilane. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui luas permukaan dan rerata jari-jari pori $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ yang dianalisis dengan metode adsorpsi-desorpsi N_2 , gugus fungsional $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ yang dianalisis secara spektrofotometri FTIR, pengaruh pH medium, dan pengaruh waktu interaksi pada adsorpsi ion sianida oleh $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ terhadap nilai konstanta laju adsorpsinya. Konsentrasi sianida pada percobaan pengaruh pH medium dan waktu interaksi diukur secara voltametri. Konstanta laju adsorpsinya dianalisis menggunakan dua model kinetika yaitu orde satu saat mencapai kesetimbangan dan pseudo second-order. Penelitian ini mengikuti metode eksperimental. Hasil penelitian yang diperoleh adalah: 1) luas permukaan dan rerata jari-jari pori $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ masing-masing adalah $137,853\text{ m}^2/\text{g}$ dan $90,359\text{ \AA}$; 2) identifikasi gugus fungsional $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ menunjukkan terdapat beberapa daerah serapan karakteristik vibrasi ulur $-NH_2$, vibrasi tekuk $-NH_2$, vibrasi ulur asimetris $Si\text{-}O$ dari $Si\text{-}O\text{-}Si$, vibrasi ulur simetris $Si\text{-}O$ dari $Si\text{-}O\text{-}Si$, dan vibrasi tekuk $Si\text{-}O$ masing-masing pada bilangan gelombang $3442,02\text{ cm}^{-1}$, $1638,98\text{ cm}^{-1}$, $1105,34\text{ cm}^{-1}$, $803,47\text{ cm}^{-1}$, dan $467,92\text{ cm}^{-1}$; 3) adsorpsi ion sianida (CN^-) oleh $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ terjadi secara maksimum pada pH 4; dan 4) konstanta laju adsorpsi ion sianida (CN^-) oleh $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ sebesar $51,766\text{ g/mol}\cdot\text{min}$ mengikuti model kinetika pseudo second-order.

Kata kunci: adsorpsi, hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III), sianida

Abstract. Research has been done on the adsorption of cyanide ion (CN^-) by amino hybrid silica gel impregnated Fe(III) ($SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$). $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ synthesized from silica gel Merck impregnated with Fe(III) ($SG\text{-}Fe$) and modified by the addition of 3-aminopropyltriethoxysilane. The purpose of this research to find out the surface area and a mean pore radius of $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$, functional groups of $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$, influence of pH from the medium, and the effect of interaction time on the cyanide ion adsorption by $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ to the value of adsorption rate constant. Cyanide concentration in the experimental influence of pH from the medium and interaction time measured with voltammetry. Adsorption rate constants were analyzed using two models, there are first-order kinetics when it reaches equilibrium and pseudo second-order. This research followed experimental method. The results that obtained are: 1) the surface area and a mean pore radius of $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ respectively are $137.853\text{ m}^2/\text{g}$ and 90.359 \AA ; 2) identification of functional groups $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ indicates some characteristics area of stretching vibration of $-NH_2$, bending vibration of $-NH_2$, asymmetric stretching vibration of $Si\text{-}O$ from $Si\text{-}O\text{-}Si$, symmetric stretching vibration of $Si\text{-}O$ from $Si\text{-}O\text{-}Si$, and bending vibration of $Si\text{-}O$ respectively in wave number $3442,02\text{ cm}^{-1}$, $1638,98\text{ cm}^{-1}$, $1105,34\text{ cm}^{-1}$, $803,47\text{ cm}^{-1}$, and $467,92\text{ cm}^{-1}$; 3) adsorption of cyanide ion (CN^-) by $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ occurring maximum at pH 4, and 4) the adsorption rate constant of cyanide ion (CN^-) by $SG\text{-}Fe\text{-}NH_2$ are $51.766\text{ g/mol}\cdot\text{min}$ follow the kinetics model of pseudo second-order.

Keywords: adsorption, amino hybrid silica gel impregnated Fe(III), cyanide

PENDAHULUAN

Sianida adalah zat yang sangat beracun bagi organisme air dan manusia karena sianida yang terkandung dalam air akan diserap oleh organisme air dan kemudian akan dikonsumsi oleh manusia. Sianida merupakan inhibitor dalam respirasi karena toksitasnya yang tinggi terhadap enzim sitokrom oksidase. Sianida dapat mengikat bagian aktif dari enzim sitokrom oksidase sehingga akan menghentikan metabolisme sel secara aerobik. Dalam jangka pendek, dapat mengakibatkan sesak napas, tremor, dan efek neurologis lainnya. Dalam jangka panjang, dapat mengakibatkan penurunan berat badan, efek tiroid, kerusakan saraf, dan bahkan dapat menyebabkan kematian [1]. Menyadari toksitas sianida yang sangat tinggi dan fakta bahwa sianida dapat menyebabkan kematian, maka keberadaan sianida dalam limbah cair dibatasi tidak boleh melebihi konsentrasi 0,5 ppm sesuai dengan baku mutu air limbah kategori II (Kep. Men. LH No. 51/Men.LH/10/1995).

Keberadaan sianida dalam limbah cair dapat diminimalkan dengan cara adsorpsi. Salah satu adsorben yang sering digunakan adalah silika gel karena diproduksi dan dapat diregenerasi sehingga dapat digunakan kembali (*reuse*). Silika gel merupakan adsorben yang relatif inert [2]. Silika gel memiliki gugus fungsional silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si). Gugus fungsional yang ada pada silika gel kurang sesuai jika digunakan untuk mengadsorpsi polutan anionik seperti sianida karena silika gel mengembang muatan negatif dari gugus silanol (Si-OH). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan daya adsorpsi terhadap polutan anionik dengan cara memodifikasi permukaan silika gel.

Jang, *et al.* (2002) telah berhasil melakukan sintesis SBA-15 yang diimpregnasi dengan besi 10% untuk mengadsorpsi ion arsenik. Adsorben tersebut menunjukkan daya adsorpsi sebesar 0,169 mmol/g. Impregnasi dilakukan dengan tujuan menambahkan situs aktif yang lebih elektropositif pada adsorben sehingga dapat mengadorpsi ion arsenat yang mengembang muatan negatif [3]. Sulistiyo (2010) dan Sabtiawan (2010) juga berhasil melakukan sintesis silika gel sekam padi terimpregnasi aluminium untuk mengadsorpsi ion sianida. Hasil penelitiannya

menunjukkan adsorpsi maksimum pada pH 8 [3] dan memberikan konstanta laju adsorpsi (k) sebesar 829,4917 g/mol.min [4].

Purdyanto (2010) dan Hidayat (2010) telah melakukan modifikasi silika gel dari abu sekam padi dengan impregnasi alumunium 10% dan selanjutnya dengan penambahan 3-aminopropiltretoksisilan menghasilkan hibrida amino silika gel sekam padi terimpregnasi aluminium untuk mengadsorpsi ion sianida. Penambahan senyawa 3-aminopropiltretoksisilan dimaksudkan untuk menambahkan gugus fungsional -NH₂, yang akan membentuk gugus -NH³⁺ dalam air atau asam, sehingga dapat mengadsorpsi sianida yang mengembang muatan negatif [8]. Hasil penelitiannya menunjukkan adsorpsi maksimum pada pH 5 [6] dan memberikan konstanta laju adsorpsi (k) sebesar 1340,749 g/mol.min [7].

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi silika gel Merck dengan impregnasi Fe(III) dan selanjutnya penambahan senyawa 3-aminopropiltretoksisilan yang menghasilkan senyawa hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III) untuk mengadsorpsi ion sianida (CN⁻). Kemampuan adsorpsi hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III) dapat diuji dengan tiga parameter yang terdiri dari karakteristik fisika dan kimia; pengaruh pH optimum; dan pengaruh waktu interaksi terhadap nilai konstanta laju adsorpsinya pada adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe-NH₂).

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian ini: silika gel Merck ukuran 200-400 mesh, FeCl₃ 10%, NaOH berbagai konsentrasi, HCl berbagai konsentrasi, 3-amino- propiltretoksisilan, aquades, aquademineral, natrium sulfat anhidrat, toluena, etanol, dietil eter, dan kertas saring Whatman 42.

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: voltameter, spektrofotometer FTIR *Perkin Elmer Spectrum Version 10.03.06*, pH meter EUTECH Instruments *Ion 510*, *Quantachrome Instruments version 11.0*, sentrifuge Centurion K 60, shaker,

neraca analitik, tabung sentrifuse, botol, tanur (Heraeus), oven, pompa vakum, *hot plate*, *magnetic stirer*, serta peralatan gelas.

PROSEDUR PENELITIAN

Pembuatan Silika Gel Terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe)

Tiga puluh mL FeCl_3 10% dimasukkan dalam gelas kimia, kemudian ditambahkan NaOH 0,4 M tetes demi tetes dan diaduk dengan *magnetic stirer* sampai diperoleh pH 3 dan homogen. Satu gram silika gel Merck dimasukkan dalam gelas kimia dan ditambahkan FeCl_3 10%, lalu diaduk dengan *magnetic stirer* selama 2 jam, kemudian didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang, selanjutnya dicuci dengan aquadest sampai netral dan disaring. Endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam, lalu dikalsinasi sampai 500°C selama 4 jam.

Pembuatan Hibrida Amino Silika Gel Terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe-NH₂)

Enam gram SG-Fe disuspensiakan dalam 20 mL 3-ami-nopropiltretoksisilan yang dilarutkan dalam toluena kering (10% v/v), kemudian direfluks dan diaduk dengan *magnetic stirer* pada suhu kamar selama 12 jam. Slurry SG-Fe-NH₂ yang terbentuk dikeringkan kemudian dicuci dengan toluena, etanol, dan dietil eter secara bergantian, lalu dikeringkan secara vakum pada suhu 100°C selama 8 jam.

Pengaruh pH Medium

Dua puluh mg adsorben (SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe) diinteraksikan dengan 20 mL larutan CN⁻ 25 mg/L yang dibuat pada berbagai pH medium, yaitu pH 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Pengaturan pH dilakukan dengan menambahkan HCl 0,1 M. Campuran dikocok dengan kecepatan 450 rpm selama 2 jam, kemudian disentrifuse dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Campuran dikocok dengan kecepatan 450 rpm selama 2 jam, kemudian disentrifuse dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh diukur secara voltametri untuk menentukan konsentrasi CN⁻ teradsorpsi yang dihitung dari selisih konsentrasi CN⁻ awal dengan konsentrasi CN⁻ sisa. Daya adsorpsi adsorben terhadap anion CN⁻ diperoleh melalui persamaan berikut [9]:

$$q = \frac{(C_0 - C)V}{M} \quad (1)$$

q adalah sianida yang teradsorpsi (mg/g), C_0 dan C adalah konsentrasi awal dan akhir sianida (mg/L); V adalah volume larutan (L); dan M adalah massa adsorben (g).

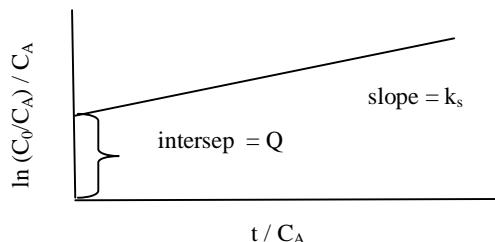
Pengaruh Waktu Interaksi

Lima puluh mg adsorben (SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe) dimasukkan dalam botol film, kemudian diinteraksikan dengan 50 mL larutan sianida (CN⁻) 50 mg/L pada pH optimum, dengan variasi waktu 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, dan 150 menit, lalu dikocok dengan kecepatan 450 rpm, kemudian disentrifuse dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh diukur secara voltametri untuk menentukan konsentrasi sianida (CN⁻) sisa. Konsentrasi CN⁻ teradsorpsi dihitung dari selisih konsentrasi CN⁻ awal dengan konsentrasi CN⁻ sisa. Kemudian untuk menentukan konstanta laju reaksi dilakukan kajian kinetika adsorpsi menggunakan dua model kinetika, yaitu orde satu saat mencapai kesetimbangan dan *pseudo second-order*.

Model kinetika orde satu saat mencapai kesetimbangan merupakan penyempurnaan bagi Model Langmuir-Hinshelwood. Model kinetika Langmuir-Hinshelwood digunakan untuk model adsorpsi Langmuir-Hinshelwood itu sendiri (adsorpsi monolayer) [10]. Nuryono, dkk. (2005) [11] menjelaskan bahwa konstanta laju yang ditentukan dengan menggunakan model Langmuir-Hinshelwood memperoleh nilai negatif. Konstanta laju yang memiliki nilai negatif atau kurang dari nol adalah tidak realistik, sehingga hal ini diperbaiki oleh Santosa, *et al.* (2007) [12]. Model kinetika orde satu saat mencapai kesetimbangan dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$\frac{\ln \frac{C_0}{C_A}}{C_A} = k_s \frac{t}{C_A} + Q \quad (2)$$

C_A adalah konsentrasi spesi A dalam larutan, C_0 adalah konsentrasi awal, k_s adalah konstanta laju adsorpsi, dan Q adalah konstanta laju adsorpsi-desorpsi ($Q = k_s/k_d$).



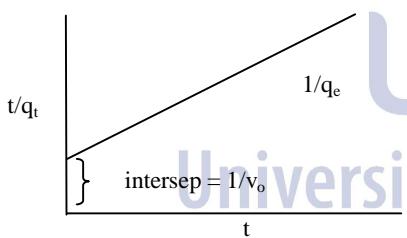
Gambar 1. Kurva linieritas $\ln(C_0/C_A)/C_A$ terhadap t/C_A [12]

Model kinetika *pseudo second-order* sesuai untuk adsorpsi di mana kedua reaktan, yaitu adsorben dan adsorbat, saling memberikan pengaruh [13]. Menurut Ho dan McKay (1999) [14], pada umumnya model kinetika *pseudo second-order* sangat sesuai untuk sistem adsorpsi larutan pada permukaan zat padat dan model ini sangat sesuai untuk waktu interaksi (antara adsorbat dan adsorben) yang panjang. Model kinetika orde *pseudo second-order* dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

$$v_0 = k_2 \cdot q_e^2 \quad (4)$$

q_e dan q_t adalah jumlah adsorbat yang terserap pada saat setimbang dan pada waktu t (mg/g), k_2 adalah konstanta laju adsorpsi *pseudo second-order*. Harga v_0 dan q_e ditentukan dengan memplotkan antara t/q_t (g.min/mg) terhadap t (menit) dengan bentuk kurva linier seperti berikut:



Gambar 2. Kurva linieritas t/q_t terhadap t [15]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas Permukaan dan Rerata Jari-jari Pori Hibrida Amino Silika Gel Terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe-NH₂)

Hasil karakteristik fisika SG-Fe-NH₂ dibandingkan dengan silika gel Merck dan SG-Fe disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil karakteristik fisika adsorben SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe

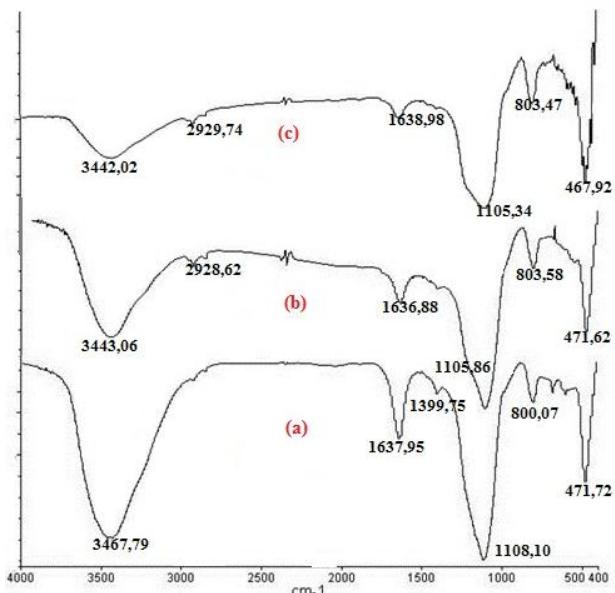
Karakteristik	Adsorben		
	Silika gel	SG-Fe	SG-Fe-NH ₂
Luas permukaan (m^2/L)	71,48	134,962	137,853
Rerata jari-jari pori (\AA)	156,814	157,002	90,359

Luas permukaan SG-Fe-NH₂ mengalami peningkatan karena adanya penambahan gugus fungsi baru dari senyawa 3-aminopropiltretoksisilan pada SG-Fe. Rerata jari-jari pori SG-Fe-NH₂ mengalami penurunan karena adanya kemungkinan gugus fungsional -NH₂ yang mengisi pori silika, sehingga mengakibatkan pori SG-Fe-NH₂ semakin kecil. Hal ini juga didukung oleh data inframerah pada bilangan gelombang dari senyawa tersebut yang menunjukkan berkurangnya persentase transmisi dari gugus -OH menjadi 3442,02 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus amina dan besi yang masuk ke dalam silika gel. Selain itu, juga diperkuat oleh adanya panjang gelombang pada 1638,98 cm^{-1} yang merupakan vibrasi tekuk -NH₂.

Identifikasi Gugus Fungsional Hibrida Amino Silika Gel Terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe-NH₂)

Hasil karakteristik kimia SG-Fe-NH₂ dibandingkan dengan silika gel Merck dan SG-Fe disajikan pada Gambar 3.

Identifikasi gugus fungsional SG-Fe-NH₂ menunjukkan bahwa terdapat beberapa daerah serapan karakteristik vibrasi ulur -NH₂, vibrasi tekuk -NH₂, vibrasi ulur asimetris Si-O dari Si-O-Si, vibrasi ulur simetris Si-O dari Si-O-Si, dan vibrasi tekuk Si-O masing-masing pada bilangan gelombang 3442,02 cm^{-1} , 1638,98 cm^{-1} , 1105,34 cm^{-1} , 803,47 cm^{-1} , dan 467,92 cm^{-1} . Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa setiap senyawa mempunyai karakteristik yang berbeda. Pengurangan persentase transimisi gugus -OH dari setiap senyawa a, b, dan c disebabkan oleh masuknya ion Fe³⁺ dan gugus fungsional -NH₂ ke dalam struktur silika gel. Masuknya gugus fungsional NH₂ diperkuat oleh adanya vibrasi tekuk -NH₂ pada panjang gelombang 1638,98 cm^{-1} . Rincian mengenai data karakteristik kimia SG-Fe-NH₂ tersebut disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 3. Spektra FTIR: (a) Silika gel; (b) SG-Fe; (c) SG-Fe-NH₂

Tabel 2. Hasil karakteristik kimia adsorben SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe

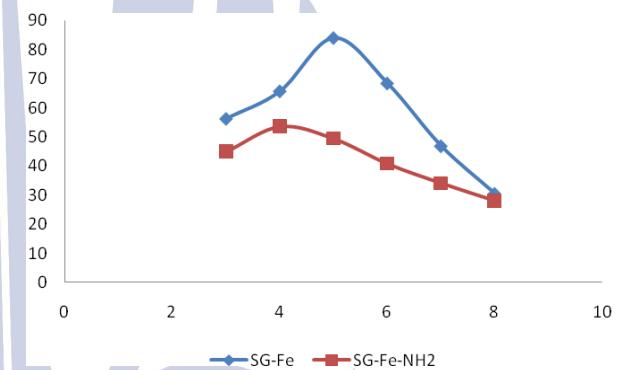
Gugus fungsional	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)		
	Silika gel	SG-Fe	SG-Fe-NH ₂
Vibrasi ulur -OH dari Si-OH	3467,79	3443,06	-
Vibrasi ulur -NH ₂	-	-	3442,02
Vibrasi tekuk - NH ₂	-	-	1638,98
Vibrasi ulur asimetris Si-O dari Si-O-Si	1108,1	1105,86	1105,34
Vibrasi ulur simetris Si-O dari Si-O-Si	800,07	803,58	803,47
Vibrasi tekuk Si-O	471,72	471,62	467,92
Vibrasi ulur -OH dari Si-OH	3467,79	3443,06	-

Pengaruh pH Medium

Adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh SG-Fe-NH₂ terjadi maksimum pada pH 4 sebesar 16,747 mg/g (53,59%) dan SG-Fe terjadi pada pH 5 sebesar 26,239 mg/g (83,97%). Pengaruh pH medium pada adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe ditunjukkan pada Gambar 4.

Adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh SG-Fe-NH₂ maksimum pada pH 4 karena di dalam larutan

banyak terdapat ion sianida (CN⁻), sementara permukaan adsorben SG-Fe-NH₂ memiliki situs aktif yang lebih elektropositif karena adanya impregnasi Fe(III) dan gugus fungsional -NH₂ yang akan terprotonasi membentuk -NH³⁺ sehingga terjadi gaya tarik-menarik yang menyebabkan adsorpsi secara maksimum. Pada pH <4, adsorpsi ion sianida (CN⁻) mengalami penurunan karena sianida akan cepat membentuk gas HCN dan banyaknya besi yang terdekomposisi dari adsorben SG-Fe-NH₂ menjadi ion Fe³⁺ sehingga terjadi persaingan dalam menarik ion sianida antara adsorben dengan Fe³⁺. Pada pH kondisi basa, gugus amina yang terprotonasi semakin menurun dan sehingga adsorpsi terhadap ion sianida (CN⁻) pun akan semakin sedikit. Selain itu, pada pH >8 silika akan larut dalam basa.



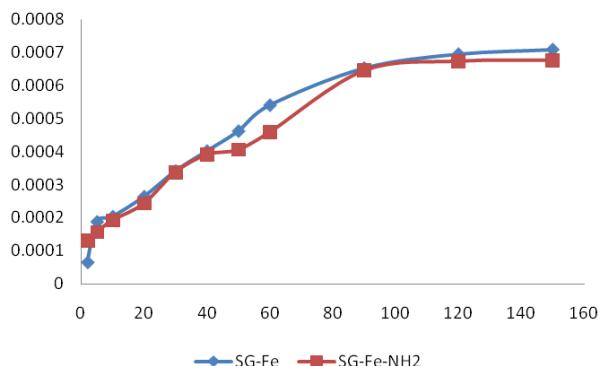
Gambar 4. Grafik pengaruh pH medium pada adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe

Pengaruh Waktu Interaksi

Pengaruh waktu interaksi pada adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh hibrida SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe terhadap nilai konstanta laju adsorpsinya ditunjukkan pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5 secara umum adsorpsi ion sianida (CN⁻) oleh hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe-NH₂) relatif lebih kecil dibandingkan silika gel terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe) karena pori-pori adsorben yang tadinya untuk mengadsorpsi ion sianida telah terisi oleh gugus amina pada saat pembuatan SG-Fe-NH₂ sehingga jumlah ion sianida yang teradsorpsi lebih sedikit. Setelah 90 menit, adsorpsi ion sianida (CN⁻) dengan kedua adsorben menunjukkan keadaan konstan karena semua sisi aktif dari adsorben sudah berikatan dengan ion sianida sehingga tidak ada

peningkatan jumlah ion sianida yang teradsorpsi. Pada waktu interaksi 90 menit, SG-Fe-NH₂ mampu mengadsorpsi adsorbat sebesar 33,53213 mg/L dan SG-Fe mampu mengadsorpsi adsorbat sebesar 33,90659 mg/L.



Gambar 5. Grafik pengaruh waktu interaksi pada adsorpsi ion sianida (CN) oleh adsorben SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe

Data pada grafik pengaruh waktu adsorpsi yang disajikan pada Gambar 4.5 di atas diterapkan pada model kinetika adsorpsi orde satu saat mencapai kesetimbangan dan *pseudo second-order* untuk menentukan konstanta laju adsorpsi masing-masing.

Tabel 3. Parameter kinetika adsorpsi ion sianida (CN) oleh adsorben SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe

Adsorben	Model Kinetika Adsorpsi			
	Orde satu saat mencapai kesetimbangan		Pseudo second-order	
	k _s (min ⁻¹)	R ²	k ₂ (g/mol.min)	R ²
SG-Fe-NH ₂	0,007	0,926	68,585	0,984
SG-Fe	0,008	0,912	51,766	0,981

Pada Tabel 3 menunjukkan beberapa harga konstanta laju adsorpsi dan koefisien determinasi yang diperoleh dari beberapa model kinetika adsorpsi. Model kinetika *pseudo second-order* memberikan nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,984 (SG-Fe) dan 0,981 (SG-Fe-NH₂). Berdasarkan harga R² tersebut dapat diartikan bahwa model kinetika yang sesuai untuk penelitian ini (baik adsorben SG-Fe-NH₂ maupun SG-Fe) adalah model kinetika *pseudo second-order* karena

menunjukkan nilai derajat linieritas hampir mendekati 1. Penelitian Sabtiawan (2010) [5] dan Hidayat (2010) [7] juga menggunakan model kinetika ini untuk menentukan konstanta laju adsorpsi ion sianida oleh adsorben silika gel sekam padi terimpregnasi Al₂O₃ (SG_{Al}) dan hibrida aminopropil silika gel sekam padi terimpregnasi aluminium (APSG_{Al}). Selain itu, juga menunjukkan bahwa pada proses adsorpsi baik adsorben maupun adsorbat saling mempengaruhi hasil akhir.

Berdasarkan model kinetika *pseudo second-order* diperoleh harga konstanta laju adsorpsi untuk adsorben SG-Fe-NH₂ dan SG-Fe berturut-turut adalah 51,766 g/mol.min dan 68,585 g/mol.min. Harga konstanta laju adsorpsi untuk SG-Fe-NH₂ menurun 1,3 kali dari konstanta laju adsorpsi untuk SG-Fe. Hal ini menunjukkan bahwa laju adsorpsi ion sianida oleh SG-Fe lebih cepat dibandingkan dengan SG-Fe-NH₂. Laju adsorpsi SG-Fe-NH₂ lebih lambat dari SG-Fe dikarenakan adanya kemungkinan bahwa penambahan 3-aminopropiltrioksisilan pada silika gel terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe) menyebabkan adanya penutupan pori sehingga rerata jari-jari pori SG-Fe-NH₂ lebih kecil dibandingkan SG-Fe. Pada masing-masing pH optimum juga menunjukkan bahwa SG-Fe-NH₂ memiliki daya adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan SG-Fe yaitu sebesar 83,9659% dan 53,5896%. Adsorben SG-Fe-NH₂ juga mengalami dekomposisi besi membentuk Fe³⁺ dalam larutan sehingga terjadi persaingan dalam menarik ion sianida antara SG-Fe-NH₂ dengan Fe³⁺, sedangkan adsorben SG-Fe tidak mengalami dekomposisi besi sehingga SG-Fe yang memiliki muatan elektropositif pada permukaannya dapat menarik ion sianida dengan maksimal. Selain itu, menurut prinsip asam basa keras lunak gugus -NH₂ yang termasuk ligan basa keras akan membentuk ikatan yang stabil dengan kation asam keras seperti Fe³⁺, sehingga interaksi ion sianida dengan besi maupun gugus amina itu sendiri pada permukaan adsorben terhalangi dan menjadikan laju adsorpsinya menjadi lebih kecil [16]. Jadi, adsorben SG-Fe lebih bagus bila digunakan untuk mengadsorpsi ion sianida (CN⁻) daripada adsorben SG-Fe-NH₂.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa spektra FTIR hibrida amino silika gel terimpregnasi Fe(III) (SG-Fe-NH_2) teridentifikasi beberapa daerah serapan karakteristik vibrasi ulur $-\text{NH}_2$, vibrasi tekuk $-\text{NH}_2$, vibrasi ulur asimetris Si-O dari Si-O-Si, vibrasi ulur simetris Si-O dari Si-O-Si, dan vibrasi tekuk Si-O masing-masing pada bilangan gelombang $3442,02\text{ cm}^{-1}$, $1638,98\text{ cm}^{-1}$, $1105,34\text{ cm}^{-1}$, $803,47\text{ cm}^{-1}$, dan $467,92\text{ cm}^{-1}$. Adsorpsi ion sianida (CN^-) oleh SG-Fe- NH_2 terjadi maksimum pada pH 4 sebesar $16,747\text{ mg/g}$ (53,59%) dan SG-Fe terjadi pada pH 5 sebesar $26,239\text{ mg/g}$ (83,97%). Konstanta laju adsorpsi untuk adsorben SG-Fe- NH_2 dan SG-Fe secara berturut-turut adalah $51,766\text{ g/mol.min}$ dan $68,585\text{ g/mol.min}$ mengikuti model kinetika *pseudo second-order* memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0,981 (SG-Fe- NH_2) dan 0,984 (SG-Fe).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya haturkan pada Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing peneliti dan para laboran serta karyawan di Jurusan Kimia FMIPA Unesa yang telah membantu peneliti dalam segala hal, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dash, Rajesh Roshan, Chandrajit Balomajumder, and Arvind Kumar. 2008. Removal of Cyanide from Water and Wastewater Using Granular Activated Carbon. Elsevier: *Chemical Engineering Journal*, 408-413.
2. Amaria, Sari Edi Cahyaningrum dan Rudiana Agustini. 2006. *Imobilisasi Saccharomyces cerevisiae Limbah Fermentasi Industri Bir Melalui Pebentukan Sol Gel Silika dan Aplikasinya untuk Adsorpsi Kation-Kation Logam Berat*. Laporan Hibah Pekerti, Universitas Negeri Surabaya.
3. 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*.
4. Sulistiyo, Yudi Aris. 2010. *Adsorpsi Sianida oleh Silika Gel dari Limbah Sekam Padi Terimpregnasi Aluminium(III)*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
5. Sabtiawan, Wahyu B. 2010. *Kinetika Adsorpsi Ion Sianida (CN^-) oleh Silika Gel Sekam Padi Terimpregnasi Al_2O_3* . Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
6. Purdiyanto, Eka Andra. 2010. *Adsorpsi Ion Sianida (CN^-) Oleh Hibrida Amino Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Terimpregnasi Aluminium*. Skripsi FMIPA, UNESA. Surabaya.
7. Hidayat, Rachmad. 2010. *Kinetika Adsorpsi Sianida oleh Hibrida Aminopropil Silika Gel Sekam Padi Terimpregnasi Aluminium*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
8. Fessenden, Ralp and Fessenden, J.S. 1986. *Organic Chemistry, Third Edition*. California: Wadsworth, Inc.
9. Siaka, M., Sukadana I M., dan Rahayu K. S. 2002. *Arang Kulit Kacang Tanah sebagai Adsorben Alternatif untuk Adsorpsi Larutan Nitrat*. Denpasar: Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Udayana.
10. Houston, Paul L. 2001. *Chemical Kinetics and Reaction Dynamics*. Mc Graw Hill: New York.
11. Nuryono, Suyanta, Narsito, 2005. Kinetics of Zn(II) and Cd (II) Adsorption on Mercaptopropyl Silica hybrid Synthesized From Rice Husk Ash. *International Seminar on Environmental Chemistry and Toxycology, Yogyakarta, Indonesia, April 26-27*.
12. Santosa, J.S. 2007. Hybrid of Chitin and Humic Acid as high performance sorbent for Ni(II). Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.susc.2007.04.163.
13. Koumanova, B., Peeva-Antova, P., Yaneva, Z. 2005. Introduction Adsorption of 4-chlorophenol from Aqueous Solutions on Activated Carbon-Kinetic Study. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, vol.40, no.3, 213-218.
14. Ho, Y.S. and McKay. 1999. Pseudo Second-Order Model for Sorption Processes. Elsevier: Hongkong 34, 451-465.
15. Meshragi, M.A., Ibrahim, H.G and Aboabboud, M.M. 2008. Equilibrium and Kietics of Chromium Adsorption on Cement Kiln Dust. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. October 22-24*.

16. Douglas, B., Mc Daniel, D., and Alexander, J.
1994. *Concepts and Models of Inorganik Chemistry, Thrid Edition.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.

