

## Adsorben Magnetit Terlapis Dimerkaptosilika untuk Adsorpsi Anion Logam [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup> dan [Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>-2</sup>

Ngatijo<sup>1</sup>, Diah Riski Gusti<sup>1\*</sup>, Abdurrazaq Habib Fadhilah<sup>1</sup>, Resilta Khairunnisah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

Corresponding author:  
Diah Riski Gusti  
diahgusti@unja.ac.id

Received: April 2020  
Accepted: August 2020  
Published: September 2020

©Diah Riski Gusti et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

### Abstract

Adsorbent magnetite-dimercapto-silica (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> - DMS) is a synthesis of magnetite with 2,3-dimercapto-1-propanol which has been applied to adsorb anions [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup> and [Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>-2</sup>. The adsorption process of metal anion [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup> at pH 5 with a contact time of 100 minutes was found optimum results at an adsorption capacity of 77.58 mg/g and an adsorption efficiency value of 96.975%. While the optimum conditions of metal anion [Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>-2</sup> after the adsorption process at pH 4 with a contact time of 90 minutes was found an adsorption capacity of 85.0426 mg/g and an adsorption efficiency value of 85.0426%. The adsorption efficiency of metal anions [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup> is higher than the adsorption efficiency of metal anions [Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>-2</sup>.

**Keywords:** magnetite, dimerkaptosilika, [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, [Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>-2</sup>, 2,3-dimercapto-1-propanol

### Pendahuluan

Nanoteknologi suatu ilmu perindustrian dan teknologi berdasarkan ukuran materi pada skala nanometer dimana akan berbeda dari sifatnya semula<sup>[1]</sup>. Ciri khas nanopartikel ditentukan pada ukuran, bentuk, komposisi kimia, stabilitas struktur kristal, luas permukaan, energi permukaan, dan kekasaran permukaan<sup>[2]</sup>. Magnetite atau Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> merupakan salahsatu nanopartikel yang banyak disintesis untuk berbagai aplikasi<sup>[3]</sup>. Sifat ferromagnetik dari magnetit telah banyak dimanfaatkan sebagai adsorben dalam mengadsorpsi kation-kation logam dari limbah cair<sup>[4]</sup>.

Sintesis partikel nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> telah dikembangkan dengan berbagai metode seperti kopresipitasi, sol gel, hidrotermal, elektrokimia, dan mikroemulsi. Metode kopresipitasi adalah yang paling banyak digunakan karena mudah dan efisien untuk sintesis partikel nano Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub><sup>[5]</sup>.

Tingginya sifat kemagnetan dari magnetik maka magnetit banyak diaplikasikan sebagai adsorben. Akan tetapi, kelemahan dari magnetit ini sangat, tidak stabil karena mudah teroksidasi dan cenderung membentuk agregat besar<sup>[6]</sup>. Untuk mengatasi kelemahan ini, magnetit perlu dilapisi yaitu dengan lapisan gugus silanol dan siloksan.

Gugus silanol dan siloksan dapat diperoleh dari siliga-gel yang dimodifikasi. Pembentukan lapisan silika pada permukaan nanopartikel oksida besi dapat membantu mencegah agregasi magnetit dalam cairan dan meningkatkan stabilitas kimianya. Keuntungan lain dari nanopartikel besi oksida pelapis-silika adalah bahwa gugus permukaan silanol dapat dimodifikasi dengan berbagai variasi<sup>[7]</sup>.

Sintesis dan karakterisasi partikel nano magnetik dilapisi dengan silika melalui pendekatan berbagai metode pelapisan sintesis

kimia, diantaranya adalah proses sol-gel lebih sering digunakan karena homogenitas yang baik, biaya rendah, dan kemurnian tinggi. Gugus Si-OH yang merupakan gugus silanol dan gugus Si-O-Si yang merupakan gugus siloksan dimana keduanya terdapat pada permukaan silika gel. Kedua gugus tersebut dapat dimodifikasi menjadi gugus merkaptto (-SH) sehingga dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion-ion logam<sup>[8]</sup>.

Emas merupakan salah satu komoditas pertambangan logam mulia yang memiliki nilai ekonomi yang relatif tinggi dan menarik untuk dieksplorasi<sup>[9]</sup>. Kebutuhan emas yang tinggi mendorong pengembangan metode pemisahan emas dari konsentrasinya<sup>[10]</sup>. Adsorpsi adalah salah satu metode alternatif untuk adsorpsi emas yang potensial karena prosesnya yang relatif sederhana, dapat bekerja pada konsentrasi rendah, dapat didaur ulang, dan biaya yang dibutuhkan relatif murah<sup>[11]</sup>.

*Hexavalent chromium* (Cr(VI)) merupakan logam yang memiliki toksisitas yang lebih besar dibandingkan dengan *trivalent chromium* Cr(III) karena Cr (IV) memiliki sifat yang mudah larut dan memiliki mobilitas tinggi di lingkungan, yang sulit terurai, tidak mengendap dan stabil<sup>[12]</sup>. Kadar maksimum dari logam kromium yang diperbolehkan dalam air tanah yaitu sebesar 0.05 mg/L sebagai total kromium (Permenkes No 492 Th 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum), dan 0.05 mg/L untuk Cr<sup>+6</sup>.

Penggunaan magnetit sebagai adsorpsi ion-ion logam dalam bentuk anion menjadi salah satu alasan dilakukannya modifikasi magnetit, seperti modifikasi magnetit yang dilapisi dengan senyawa merkaptto. Nuryono, *et al* (2010) telah melaporkan bahwa silika dari sekam padi berhasil disintesis dan memodifikasi gugus Si-OH dengan 3-mercaptopropil trietoksilana sebagai sumber merkaptto membentuk Hibrida Merkaptto Silika (HMS) yang melapisi magnetit. Hasil penelitian menunjukkan adsorben magnetik yang dilapisi silika-mercaptopropil efektif dan selektif untuk Au(III), Cu(II) dan Ni(II)<sup>[13]</sup>. Fadhillah, *et al* (2019) telah mensintesis silika dari abu sekam padi dan memodifikasi gugus Si-OH dengan menambahkan 2,3-dimerkapto-1-

propanol membentuk dimerkaptosilika (DMS)<sup>[14]</sup>. Oleh karena itu pada penelitian ini, adsorben magnetit yang dilapisi DMS hasil sintesis silika dari abu sekam padi dengan 2,3-dimerkapto-1-propanol diaplikasikan untuk mengadsorpsi anion logam [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup> dan [Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>2-</sup>.

## Metodologi Penelitian

### Bahan kimia

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah FeSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (Merck), FeCl<sub>3</sub>·7H<sub>2</sub>O (Merck), NH<sub>4</sub>OH (Merck), HCl (Merck), 2,3-dimerkapto-1-propanol, akuades, tetrakloroaurat [AuCl<sub>4</sub>]<sup>-</sup>, dan kalium dikromat [K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>].

### Peralatan

Peralatan alat-alat gelas, timbangan analitik, *furnace*, *shaker*, *hotplate*, *bar stirrer magnetik*, *Atomic Absorption Spectrophotometri* (AAS), Spektroskopi FT-IR, *X-ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk identifikasi dan karakterisasi adsorben.

### Prosedur penelitian

#### *Sintesis magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)*

Magnetit disintesis dengan metode kopresipitasi dari 16.2 g FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O dan 9.7 g FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O masing-masing dalam 25 mL akuades yang dilarutkan hingga homogen kemudian kedua larutan tersebut dicampur. Campuran larutan tersebut dipanaskan pada suhu 60 °C, diaduk dengan stirrer dan diteteskan NH<sub>4</sub>OH 10% sedikit demi sedikit hingga menghasilkan endapan berwarna hitam. Kemudian endapan dipisahkan dari larutan dengan disaring. Endapan hasil saringan dibilas dan dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 80 °C. Endapan yang merupakan magnetit yang diperoleh tersebut dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, SEM dan XRD.

#### *Pelapisan magnetit dengan dimerkaptosilika*

Pelapisan magnetik dilakukan dilakukan melalui proses sol-gel. Magnetik yang diperoleh sebanyak 2 g ditambahkan ke dalam campuran

4 mL larutan HCl 1 M, 5 mL natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), dan 10 mL 2,3-dimercapto-1-propanol yang kemudian campuran tersebut ditambahkan akuades hingga volume campuran menjadi 24 mL. Dilakukan penambahan HCl 1 M dan  $\text{NH}_4\text{OH}$  1 M setetes demi setetes hingga pH 7 pada campuran tersebut. Produk endapan yang dihasilkan dipisahkan dengan magnet eksternal sehingga diperoleh Magnetit-DMS, kemudian dicuci dengan akuades. dan dikeringkan, selanjutnya karakterisasi dengan FTIR, XRD dan SEM.

### Adsorpsi ion logam

#### Pengaruh pH

Sebanyak 10 mg adsorben diinteraksikan dengan 20 mL larutan anion  $[\text{AuCl}_4]^-$  40 ppm dengan variasi pH 2 – 8 dan untuk larutan anion  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$  50 ppm pada variasi pH 3 – 8, dengan penambahan HCl 0.1 M atau  $\text{NH}_4\text{OH}$  0.1 M. dan diaduk selama satu jam. Kemudian larutan disaring, dan filtrat diukur kandungan logam yang ada dalam larutan dengan AAS.

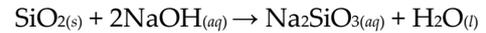
#### Pengaruh waktu kontak

Sebanyak 10 mg adsorben diinteraksikan dengan 20 mL larutan anion  $[\text{AuCl}_4]^-$  40 ppm pada pH optimum dengan waktu interaksi 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 dan 160 menit. Untuk larutan anion  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$  50 ppm pada pH optimum dengan waktu interaksi 30, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Kemudian larutan disaring, filtrat diambil untuk dianalisis kadar logam yang tersisa dalam larutan dengan AAS.

## Hasil dan Diskusi

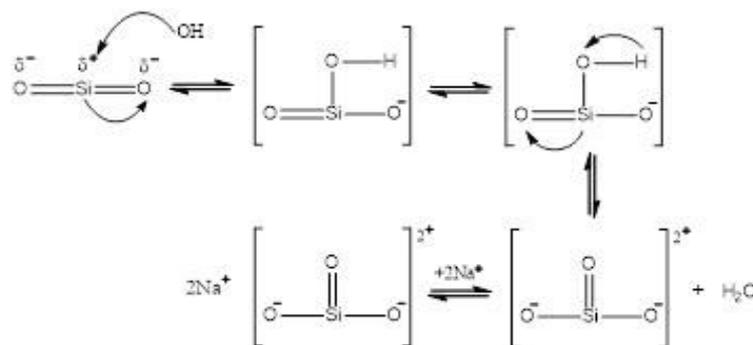
### Adsorben $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -DMS

Sumber natrium silikat diperoleh dari abu sekam padi yang dilarutkan dalam NaOH yang telah dilaporkan Fadhillah, *et al* (2019). Reaksi silika dengan NaOH adalah sebagai berikut<sup>[14]</sup>:

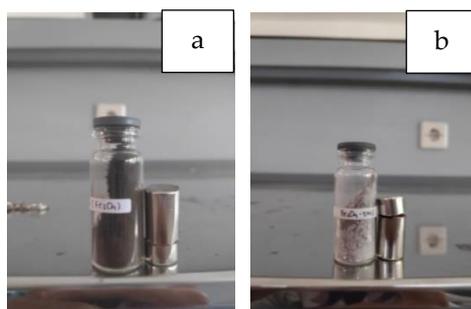


NaOH dalam larutan membentuk 2 ion  $\text{Na}^+$  dan 2 ion  $\text{OH}^-$ . Atom O yang mempunyai elektronegatifan yang tinggi pada  $\text{SiO}_2$  mengakibatkan Si bersifat lebih elektropositif sehingga dapat membentuk *intermediet*  $[\text{SiO}_2\text{OH}]^-$  dari  $\text{SiO}_2$  dengan ion  $\text{OH}^-$ . Akan tetapi, ketidakstabilan dari *intermediet* ini membentuk dehidrogenasi. Molekul air akan terbentuk dari ion  $\text{OH}^-$  yang berikatan dengan hidrogen. Natrium silikat terbentuk dari dua ion  $\text{Na}^+$  dengan ion  $\text{SiO}_3^{2-}$ .

Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) disintesis dari reaksi  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan  $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  yang menghasilkan serbuk berwarna hitam yang dibuktikan dengan dapat ditariknya oleh magnet eksternal seperti yang ditunjukkan gambar 2(a).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dilapisi dengan dimerkaptosilika membentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -DMS. Material yang diperoleh berwarna abu-abu dan masih memiliki kemampuan sifat magnetnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2(b) dimana material masih dapat ditarik menggunakan magnet luar.



**Gambar 1.** Mekanisme pembentukan natrium silikat<sup>[14]</sup>.



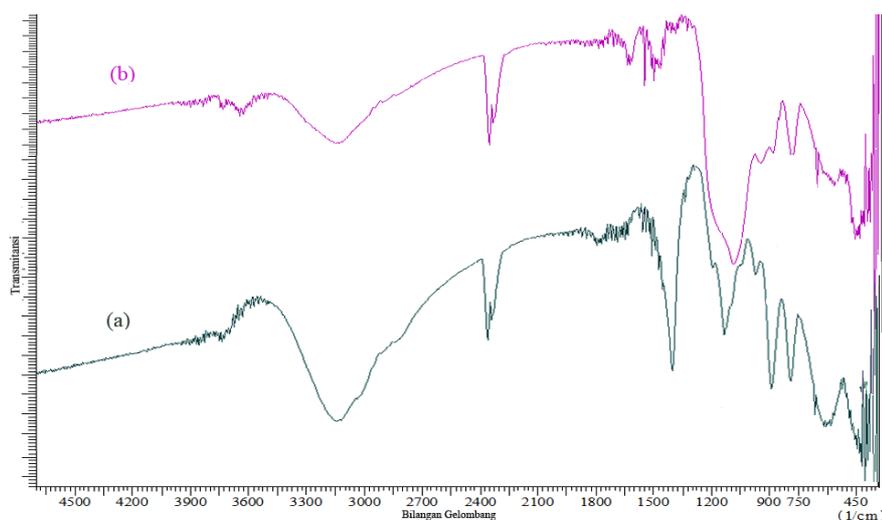
**Gambar 2.** (a) Hasil sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (b) Hasil sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}^{[14]}$ .

### Karakterisasi

Identifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  dikarakterisasi dengan spektroskopi FT-IR untuk melihat keberadaan gugus fungsinya yang ditunjukkan pada gambar 3.

Gambar 3(a) menunjukkan pita-pita serapan khas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang muncul pada spektrum FTIR. Bilangan gelombang  $3146.03\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus  $\text{-OH}$  dan  $1791.95\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi  $\text{Fe-OH}$ . Sedangkan vibrasi tekuk dari ikatan  $\text{Fe-O}$  pada bilangan gelombang  $605.67\text{ cm}^{-1[14]}$ . Pita-pita serapan dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  pada spektrum FTIR ditunjukkan

oleh gambar 3b. Dibandingkan pada gambar 3a, pada gambar 3b adanya pita serapan pada bilangan gelombang  $423.39\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ). Pita serapan dari  $\text{Si-O}$  pada gugus siloksan ( $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ) dan silanol ( $\equiv\text{Si-OH}$ ) yang ditunjukkan masing-masing pada bilangan gelombang  $797.60\text{ cm}^{-1}$  dan  $961.56\text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan bilangan gelombang  $1558.55\text{ cm}^{-1}$ ,  $668.36\text{ cm}^{-1}$ ,  $894.04\text{ cm}^{-1}$  yang masing-masing merupakan pita serapan dari  $\text{-OH}$  dari gugus silanol ( $\equiv\text{Si-OH}^{[15]}$ ),  $\text{Fe-O-Si}^{[16]}$   $894.04\text{ cm}^{-1}$  dari  $\text{S-H}$  dari gugus merkapto.

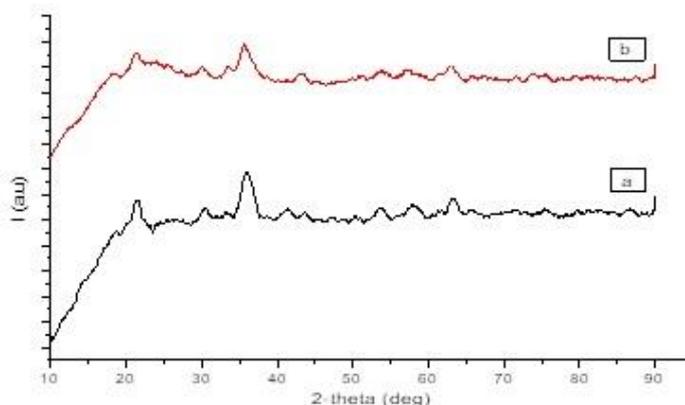


**Gambar 3.** Spektrum FTIR (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}^{[14]}$ .

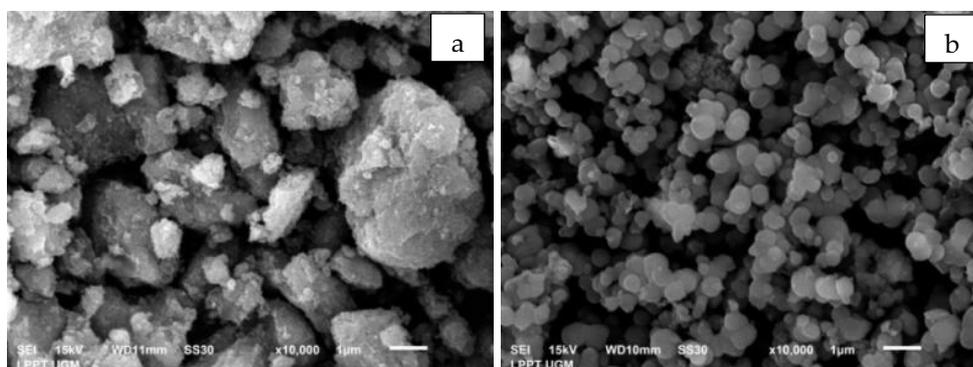
Struktur magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan produk lapisan magnetit dianalisis menggunakan XRD. Hasil XRD di perlihatkan pada gambar 4. Pola difraksi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dimana puncak yang muncul pada  $2\theta$  yakni  $21.56^\circ$ ;  $30.42^\circ$ ;  $35.96^\circ$ ;  $41.3^\circ$ ;  $53.36^\circ$ ;  $57.9^\circ$  dan  $63.2^\circ$  yang ditunjukkan pada gambar 4a. Difraktogram tersebut sesuai dengan pola XRD standar untuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (JCPDS card no 19-629). Difraktogram pada gambar 4 mengkonfirmasi bahwa produk hasil sintesis adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang berbentuk kristal kubik dan ukuran kristal 4.883 nm. Gambar 4(b) menunjukkan munculnya pada  $2\theta$  puncak tertinggi  $35.46^\circ$  dan puncak melebar  $20\text{-}22^\circ$  dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  yang menunjukkan silika dengan struktur amorf. Berdasarkan penelitian sebelumnya, untuk pelapisan silika termodifikasi pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditandai dengan puncak baru pada  $2\theta = 35.43^\circ$ <sup>[13]</sup>. Sehingga dapat disimpulkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

telah terbentuk. Modifikasi dari silika dari gugus merkapto terjadi secara serentak. Polimerisasi silika dari larutan silikat diikuti dengan masuknya gugus merkapto melalui siloksan<sup>[13]-[16]</sup>.

Morfologi permukaan dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  dikarakterisasi dengan SEM pada perbesaran 10000x. Gambar 5(a) menunjukkan hasil SEM dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang masih terbentuk gumpalan-gumpalan. Gambar 5(b) memperlihatkan morfologi dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  dimana gumpalan-gumpalan yang ada tidak sebesar seperti pada gambar 5a. Lapisan atas merupakan DMS sedangkan lapisan bawah adalah  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Gambar 4 menunjukkan perbedaan antara  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$ , sehingga  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  dapat diaplikasikan sebagai adsorben.



Gambar 4. Difraktogram XRD (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$ <sup>[14]</sup>.



Gambar 5. Karakterisasi SEM (a)  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (b)  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$ .

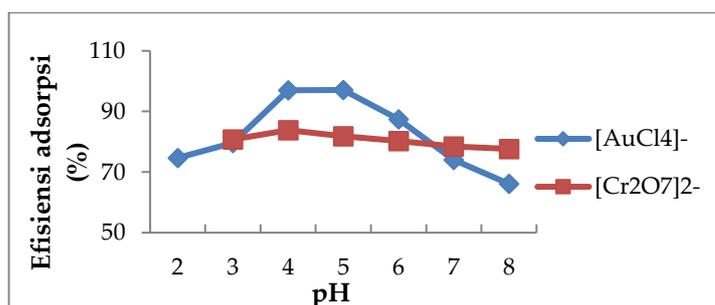
### Adsorpsi

Parameter pH merupakan hal yang penting dalam proses adsorpsi, karena pH dapat mempengaruhi ionisasi. Oleh karena itu perubahan muatan pada permukaan material maupun spesies ion logam dalam larutan akan dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan pH<sup>[17],[18]</sup>.

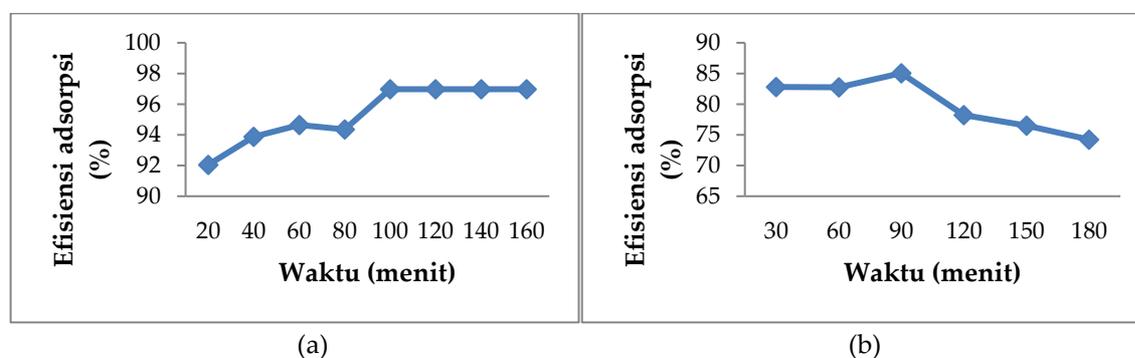
Berdasarkan pada gambar 6 yang menunjukkan grafik hubungan antara efisiensi adsorpsi dengan pH dapat dilihat bahwa nilai efisiensi optimum untuk  $[\text{AuCl}_4]^-$  berada pada pH 5 yaitu sebesar 97.1%, sedangkan untuk  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$  pada pH 4 yaitu sebesar 83.8%. Hal ini dikarenakan pada pH tersebut, masing-masing spesies berada dalam jumlah maksimum. Pada kondisi asam ion  $\text{H}^+$  pada gugus-gugus yang ada pada adsorben mengalami peningkatan sehingga dapat memiliki muatan positif yang

menyebabkan adsorben sangat reaktif terhadap spesi logam yang berada dalam bentuk anion atau bermuatan negatif.

Pada penyerapan adsorbat, adsorben membutuhkan waktu kontak. Lamanya waktu kontak mengakibatkan interaksi adsorben dengan adsorbat akan banyak karena sampai kapasitasnya optimum. Hal ini dikarenakan proses difusi dan penempelan molekul adsorben berlangsung lebih baik. Berdasarkan hasil yang diperoleh, tercapainya kesetimbangan (waktu optimum) adsorpsi anion logam pada suhu ruang yaitu pada waktu kontak 100 menit untuk  $[\text{AuCl}_4]^-$  dan 90 menit untuk  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$ . Waktu kontak dan efisiensi adsorpsi dari adsorben  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-DMS}$  dengan anion  $[\text{AuCl}_4]^-$  dan anion  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$  ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 6. Grafik hubungan pH dan efisiensi adsorpsi.



Gambar 7. Grafik hubungan waktu kontak dengan efisiensi adsorpsi (a)  $[\text{AuCl}_4]^-$  (b)  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$ .

## Kesimpulan

Hasil sintesis magnet dengan merkaptometose sol-gel menghasilkan produk  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{—DMS}$ . Karakterisasi dengan FTIR dan XRD telah memperlihatkan adanya perbedaan antara spektrum antara  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{—DMS}$ . Spektrum FTIR untuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{—DMS}$  menunjukkan adanya gugus siloksan ( $\equiv\text{Si—O—Si}\equiv$ ), silanol ( $\equiv\text{Si—OH}$ ), dan  $\text{Fe—O—Si}$ . Karakterisasi XRD menunjukkan adanya puncak  $2\theta$  sebesar  $35.43^\circ$  yang menunjukkan adanya lapisan silika dimerkapto pada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan ukuran partikel 1.317 nm. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa terdapat perbedaan morfologi pada material  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{—DMS}$ . Pada proses adsorpsi anion logam  $[\text{AuCl}_4]^-$  dan  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$  diperoleh keadaan optimum masing – masing pada pH 5 dan pH 4 serta waktu kontak masing-masing 100 dan 90 menit dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sebesar 77.58 mg/g dan 85.0426 mg/g sedangkan efisiensi adsorpsi masing-masing sebesar 96.975% dan 85.0426%. Efisiensi adsorpsi anion  $[\text{AuCl}_4]^-$  lebih besar dari pada anion  $[\text{Cr}_2\text{O}_7]^{2-}$  dengan adsorben  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{—DMS}$ .

## Daftar Pustaka

- Ariningsih, E., Prospek penerapan teknologi nano dalam pertanian dan pengolahan pangan di Indonesia. in *Forum penelitian Agro Ekonomi*, **34(1)**: 1–20 (2016).
- Gatoo, M. A., Naseem, S., Arfat, M. Y., Dar, A. M., Qasim, K. & Zubair, S., Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. *Biomed Res. Int.*, **2014**: 498420 (2014).
- Baker, I., in *Nanobiomaterials*, 197–229 Elsevier, (2018).
- Zhang, J., Lin, S., Han, M., Su, Q., Xia, L. & Hui, Z., Adsorption properties of magnetic magnetite nanoparticle for coexistent Cr (VI) and Cu (II) in mixed solution. *Water*, **12(2)**: 446 (2020).
- Jannah, N. R. & Onggo, D., Synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles for colour removal of printing ink solution. in *Journal of Physics: Conference Series*, **1245(1)**: 12040 IOP Publishing, (2019).
- Zhang, Y., Xu, Q., Zhang, S., Liu, J., Zhou, J., Xu, H., Xiao, H., *et al.*, Preparation of thiol-modified  $\text{Fe}_3\text{O}_4@ \text{SiO}_2$  nanoparticles and their application for gold recovery from dilute solution. *Sep. Purif. Technol.*, **116**: 391–397 (2013).
- Andrade, A. L., Souza, D. M., Pereira, M. C., Fabris, J. D. & Domingues, R. Z., Synthesis and characterization of magnetic nanoparticles coated with silica through a sol-gel approach. *Cerâmica*, **55(336)**: 420–424 (2009).
- Mujiyanti, D. R., Nuryono, N. & Kunarti, E. S., Sintesis dan karakterisasi silika gel dari abu sekam padi yang diimobilisasi dengan 3-(trimetoksisilil)-1-propantioil. *J. Sains dan Terap. Kim.*, **4(2)**: 150–167 (2016).
- Syed, S., Recovery of gold from secondary sources—A review. *Hydrometallurgy*, **115**: 30–51 (2012).
- Lee, J. D., *Concise inorganic chemistry*. John Wiley & Sons, (2008).
- Stumm, W. & Morgan, J. J., *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. **126**: John Wiley & Sons, (2012).
- Rahman, M. U., Gul, S. & Haq, M. Z. U., Reduction of chromium (VI) by locally isolated *Pseudomonas* sp. C-171. *Turkish J. Biol.*, **31(3)**: 161–166 (2007).
- Nuryono, N., Muliaty, E., Rusdiarso, B., SAKTI, S. C. W. & Tanaka, S., Adsorption of Au(III), Cu(II) and Ni(II) on magnetite coated with mercapto groups modified rice hull ash silica. *J. Ion Exch.*, **25(4)**: 114–121 (2014).
- Fadhilah, A. H. & Gusti, D. R., Sintesis dan karakterisasi magnetit terlapis dimerkaptosilika. *Chempublish J.*, **4(2)**: 81–88 (2019).
- Trivana, L., Sugiarti, S. & Rohaeti, E., Sintesis dan karakterisasi natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dari sekam padi. *J. Sains Teknol. Lingkungan*, **7(2)**: 66–75 (2015).

16. Taib, S. & Suharyadi, E., Sintesis nanopartikel magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dengan template silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan karakterisasi sifat kemagnetannya. *Indones. J. Appl. Phys*, **5(1)**: 23–30 (2015).
17. Buhani, B., Narsito, N., Nuryono, N. & Kunarti, E. S., Amino and mercapto-silica hybrid for Cd(II) adsorption in aqueous solution. *Indones. J. Chem.*, **9(2)**: 170–176 (2009).
18. Kalapathy, U., Proctor, A. & Shultz, J., A simple method for production of pure silica from rice hull ash. *Bioresour. Technol.*, **73(3)**: 257–262 (2000).