

KONDISI OPTIMUM ADSORPSI Pb(II) MENGGUNAKAN NANOMATERIAL PASIR BESI PANTAI KENDAL TERLAPIS SILIKA- TRIAMIN

Ricka Prasdiantika¹⁾, Susanto²⁾, Yustika Kusumawardani³⁾

¹ Fakultas Teknik Universitas Pandanaran, Semarang 50268, Indonesia
email: ricka.prasdiantika@unpand.ac.id

² Fakultas Teknik Universitas Pandanaran, Semarang 50268, Indonesia
email: susanto@unpand.ac.id

³ Fakultas Teknik Universitas Pandanaran, Semarang 50268, Indonesia
email: yustika@unpand.ac.id

Abstract

The Lead (Pb) was heavy metal that toxic and dangerous for environment. In this research the application of hybrids nanomaterial of silica modified with the coated triamin group on Kendal Coastal Magnetic Sand Materials (PB@SiO₂@TA) to adsorb heavy metals Pb(II) at laboratory scale has been investigated at pH variations, variations concentrations of Pb(II) solutions as adsorbate and variations of adsorption time. The aim of this research was to determined the ability adsorption from PB@SiO₂@TA to heavy metal ions of Pb(II) and also determined of optimum adsorption conditions. The result showed that hybrids nanomaterial of silica modified with the coated triamin group on Kendal Coastal Magnetic Sand Materials could adsorb metal ions of Pb(II) with high capability. Adsorption of Pb(II) by PB@SiO₂@TA showed the highest concentration of Pb(II) already adsorbed at pH 4. The Optimum adsorption time at 150 minutes with concentrations of Pb(II) was adsorbed at most is 259,302 ppm, and the effective adsorption time at 60 minutes with a Pb(II) concentration was adsorbed of 258,922 ppm with a difference of concentration that did not too significant. The highest adsorbed Pb(II) concentration was at an initial Pb(II) concentration of 500 ppm which was as many as 462.156 ppm (92.43% of the Pb metal ion was adsorbed). The increased of concentration of Pb (II) in the initial solution, it was increased the concentration of Pb(II) adsorbed by PB@SiO₂@TA.

Keywords: adsorption, nanomaterial, propyl-diethylenetriamine group, Pb (II), Iron sand

1. PENDAHULUAN

Logam berat umumnya berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, karena tidak mengalami biodegradasi dan cenderung terakumulasi pada makhluk hidup (Rostamian et al., 2011). Logam berat merupakan logam dengan densitas 5 g/cm^3 (Hodges, 1973). Timbal (Pb) termasuk logam berat karena memiliki densitas $> 5 \text{ g/cm}^3$ (Powell et al., 2009). Logam Pb merupakan logam yang bersifat toksik dan berbahaya yang dapat mencemari keberlangsungan hidup organisme perairan (Palar, 2002). Logam Pb yang mencemari perairan dapat berasal dari limbah buangan industri kimia, industri percetakan, dan industri penghasil logam dan cat (Yulaipi and Aunurohim, 2013). Oleh karena itu, diperlukan metode untuk menanggulangi logam berat tersebut. Salah satunya yaitu menggunakan metode adsorpsi. Metode adsorpsi memiliki keunggulan dapat menanggulangi logam berat dibandingkan metode lainnya karena memiliki tingkat selektivitas yang tinggi, mudah

dioperasikan, biaya murah, dan adsorbennya dapat digunakan kembali (Rostamian et al., 2011).

Nanomaterial mempunyai aplikasi yang luas dalam penanggulangan polutan beracun (Ursachi et al., 2011). Nanomaterial memiliki luas permukaan besar, reaktivitas yang tinggi, kapasitas adsorpsi besar, kinetika adsorpsi cepat, dan memiliki sifat supermagnetik (Qu et al., 2013). Nanomaterial seperti magnetit (Fe_3O_4) dapat digunakan dalam proses adsorpsi logam berat karena Fe_3O_4 mempermudah proses pemisahan adsorben dari larutannya pada sistem *Batch* melalui penggunaan magnet eksternal (Zhang et al., 2013). Fe_3O_4 di alam terdapat pada pasir besi, selain itu pasir besi alam juga mempunyai komposisi utama oksida besi lain seperti hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (Cornell and Schwertmann, 2003). Pasir besi banyak terdapat di pesisir pantai Propinsi Jawa Tengah, salah satunya di Kabupaten Kendal (Dinas ESDM Jawa Tengah, 2018).

Material hibrida anorganik-organik dapat digunakan sebagai adsorben. Silika gel digunakan sebagai matriks anorganik pada material hibrida anorganik-organik yang stabil pada kondisi asam, *inert* terhadap reaksi redoks dan dapat dimodifikasi dengan gugus fungsi seperti gugus amina ($-\text{NH}_2$) sehingga meningkatkan selektivitas adsorben (Wu et al., 2011; Wang et al., 2010). Metode yang digunakan untuk melapiskan silika pada material magnetik adalah metode Stöber melalui proses sol-gel (Li et al., 2013).

Adsorben bergugus amin memiliki kemampuan adsorpsi logam berat lebih baik dibandingkan adsorben bergugus merkapto (Mohammad-Beigi et al., 2013). Lakay (2009) melakukan penelitian silika termodifikasi gugus monoamin dan diamin metoksisilan untuk adsorpsi Au(III). Hasil adsorpsi menunjukkan bahwa silika termodifikasi diamin menghasilkan kapasitas adsorpsi dua kali lebih besar dibandingkan dengan silika yang termodifikasi monoamin.

Dalam rangka meningkatkan kemampuan dalam mengadsorpsi logam berat, maka pada penelitian ini akan digunakan senyawa organik dengan tiga gugus amina dari reagen silan N-3-(Trimetoksisilpropil)dietilentriamina (TMSPDETA) untuk memodifikasi pasir besi terlapis silika. Nanomaterial hibrida dari pasir besi pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentriamin ($\text{PB@SiO}_2\text{@TA}$) yang digunakan pada penelitian ini merupakan nanomaterial yang sudah diteliti penulis pada penelitian sebelumnya.

Pada penelitian ini dikaji aplikasi nanomaterial hibrida dari pasir besi pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentriamin ($\text{PB@SiO}_2\text{@TA}$) untuk mengadsorpsi ion logam Pb(II) skala laboratorium pada variasi pH, variasi konsentrasi adsorbat dalam ion logam Pb(II) dan variasi waktu. Tujuan penelitian adalah mengetahui kemampuan adsorpsi pasir besi Pantai Kendal terlapis silika termodifikasi gugus triamin ($\text{PB@SiO}_2\text{@TA}$) terhadap ion logam Pb(II) dan kondisi optimum adsorpsinya. Manfaat penelitian ini mengetahui kapasitas adsorpsi $\text{PB@SiO}_2\text{@TA}$ terhadap ion logam Pb(II), mengetahui pH optimum, dan waktu optimum adsorpsinya. Dengan adanya penelitian ini diharapkan membantu cara penanggulangan logam berat, khususnya logam berat Pb.

2. KAJIAN LITERATUR DAN PENGEMBANGAN HIPOTESIS

Faktor pH mempengaruhi jenis interaksi yang terjadi antara logam dengan permukaan adsorben. Pada pH rendah ($\text{pH} < 4,9$), gugus amina ($-\text{NH}_2$) akan terprotonasi membentuk $-\text{NH}_3^+$ sebagai asam Lewis, sehingga memiliki kemampuan untuk mengikat suatu kompleks anion logam (Lam et al., 2008). Namun pada kondisi $\text{pH} > 4,9$, gugus $-\text{NH}_2$ cenderung sebagai basa Lewis sehingga dapat mengikat kation logam (Lam et al., 2008). Ion logam Pb(II) memiliki spesi ion Pb^{2+} optimum pada $\text{pH} \leq 5$ (Powell et al., 2009). Dengan demikian diharapkan nanomaterial hibrida magnetit silika termodifikasi gugus triamin mampu mengadsorpsi ion logam Pb(II).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi ion logam Pb(II) pada skala laboratorium menggunakan material material pasir besi Pantai Kendal terlapis silika termodifikasi gugus triamin (PB@SiO₂@TA). Adsorpsi dilakukan pada variasi pH, variasi waktu adsorpsi, dan variasi konsentrasi larutan ion logam Pb(II), kemudian dilakukan uji *Atomic Absorption Spectoscopy* (AAS) pada supernatan sisa adsorpsi. Berdasarkan hasil uji AAS, dapat dianalisis konsentrasi ion logam Pb(II) yang tidak teradsorpsi, sehingga konsentrasi ion logam Pb(II) yang teradsorpsi dapat diketahui.

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yaitu material magnetik pasir besi pesisir Pantai Muara Kencan di Pidodo Kulon, Kecamatan Kendal, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah.

3.3 Bahan dan Alat Utama

Bahan yang digunakan terdiri dari HCl 37% (Merck), aquadest, Pb(NO₃)₂ (Merck), dan kalium hidrogen ptalat (Merck). Peralatan preparasi terdiri dari gelas ukur, gelas Beaker, pipet volum, pipet tetes, labu ukur, lumpang, mortar porselen, sonikator, oven, neraca analitik, magnet eksternal (Niobium) dan shaker. Peralatan analisis terdiri dari *Atomic Absorption Spectoscopy* (AAS, Perkin Elmer AA 3110).

3.4 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Pandanaran. Uji *Atomic Absorption Spectoscopy* (AAS) dilakukan di Laboratorium Kimia Universitas Gadjah Mada.

3.5 Prosedur Penelitian

Material PB@SiO₂@TA ditempatkan dalam 23 botol plastik masing-masing sebanyak 10 mg. Pada variasi pH, adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* dengan cara menambahkan 10 ml larutan Pb(NO₃)₂ pada konsentrasi 300 ppm dengan variasi pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7) ke dalam botol plastik. Pada variasi waktu adsorpsi, adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* dengan cara menambahkan 10 ml larutan Pb(NO₃)₂ dengan konsentrasi 300 ppm dan pH optimum dengan variasi waktu (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit).

Pada variasi konsentrasi, adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* pada pH optimum dan waktu efektif, dengan cara menambahkan 10 ml larutan Pb(NO₃)₂ dengan variasi konsentrasi (100, 200, 300, 400, dan 500 ppm) ke dalam botol plastik. Material dan supernatan dipisahkan menggunakan magnet eksternal. Supernatan yang diperoleh dari masing-masing botol dianalisis dengan AAS untuk menentukan konsentrasi ion logam Pb(II) yang tidak teradsorpsi.

3.6 Teknik pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan cara menguji kemampuan adsorpsi material di laboratorium guna memperoleh data untuk dilakukan analisis.

3.7 Teknik Analisis

- Metode analisa grafik yaitu pengambilan keterangan dari data yang ada, disusun dalam bentuk grafik yang diperoleh dari hasil pengujian material.
- Metode analisa statistik yaitu menganalisa data yang sudah diperoleh, menggunakan metode pengolahan data statistik.

Berdasarkan hasil uji Uji *Atomic Absorption Spectoscopy* (AAS), dapat dianalisis konsentrasi ion logam Pb(II) yang tidak teradsorpsi, sehingga konsentrasi ion logam Pb(II) yang teradsorpsi dapat diketahui.

4. HASIL PENELITIAN



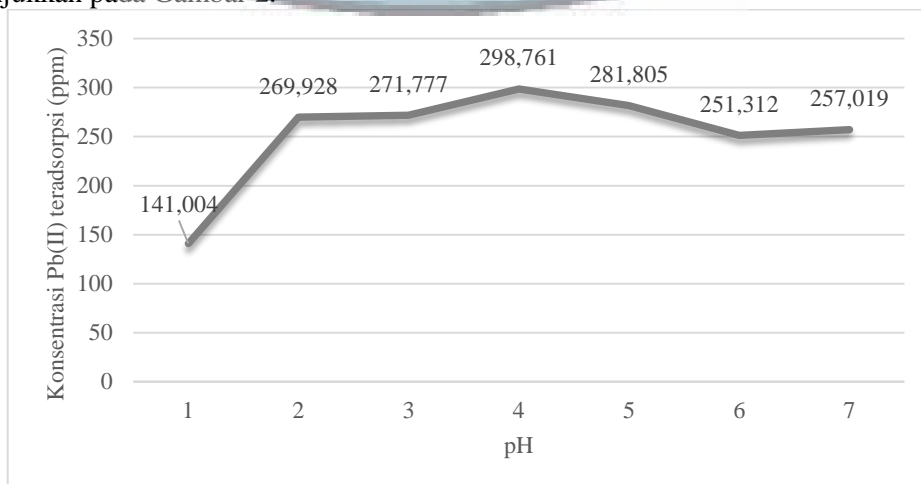
Gambar 1. (a) Hasil preparasi pasir besi Pantai Kendal, (b) Adsorben nanomaterial hibrida $PB@SiO_2@TA$

Pada Gambar 1 (a) dapat dilihat hasil preparasi pasir besi Pantai Kendal berwarna hitam pekat. Warna hitam tersebut mengindikasikan bahwa secara visual oksida besi yang terkandung pada material magnetik pasir besi didominasi oleh oksida besi magnetit (Cornell dan Shwertmann, 2003). Pada Gambar 1 (b) hasil sintesis nanomaterial hibrida $PB@SiO_2@TA$ berwarna putih keabu-abuan. Hal ini menunjukkan bahwa silika-triamin berhasil melapisi material magnetik pasir besi.

Nanomaterial hibrida $PB@SiO_2@TA$ yang telah disintesis, diaplikasikan untuk mengadsorpsi ion logam $Pb(II)$ skala laboratorium dengan melakukan uji coba pada variasi pH, variasi waktu, dan variasi konsentrasi ion logam $Pb(II)$ untuk mendapatkan kondisi optimum adsorpsi $Pb(II)$ oleh $PB@SiO_2@TA$.

Variasi pH

Pada variasi pH, adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* dengan cara menambahkan 10 ml larutan $Pb(NO_3)_2$ pada konsentrasi 300 ppm dengan variasi pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7) oleh adsorben nanomaterial hibrida dari pasir besi Pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentrifiamin ($PB@SiO_2@TA$). Hasil adsorpsi pada variasi pH ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi ion logam $Pb(II)$ yang teradsorpsi oleh $PB@SiO_2@TA$

Tabel 1. Persentase konsentrasi ion logam Pb (II) yang teradsorpsi

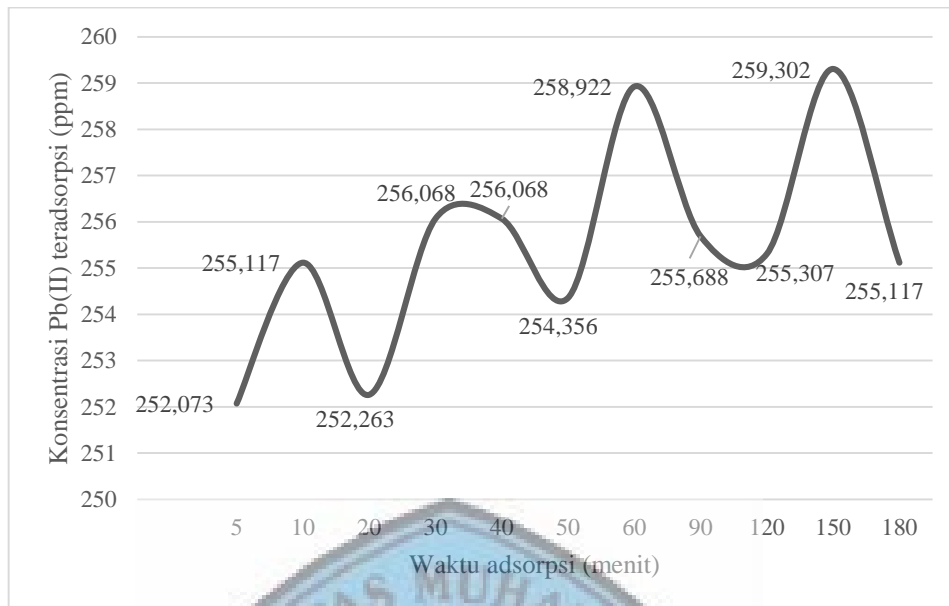
pH	Konsentrasi Ion Logam Pb(II)		Persentase Konsentrasi Ion Logam Pb(II) teradsorpsi
	mula-mula (ppm)	Teradsorpsi (ppm)	
1	300	141,004	47,00%
2	300	269,928	89,98%
3	300	271,777	90,59%
4	300	298,761	99,59%
5	300	281,805	93,94%
6	300	251,312	83,77%
7	300	257,019	85,67%

Berdasarkan Gambar 2 dan Tabel 1, hasil adsorpsi ion logam Pb(II) oleh adsorben nanomaterial hibrida dari pasir besi Pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentrriamin (PB@SiO₂@TA) menunjukkan konsentrasi ion logam Pb(II) yang paling banyak diadsorpsi yaitu pada kondisi pH 4 dengan jumlah 298,761 ppm (99,59% ion logam Pb teradsorpsi) dari larutan awal 300 ppm. Dengan demikian pH optimum untuk adsorpsi ion logam Pb(II) oleh PB@SiO₂@TA adalah pada kondisi pH 4. Hal ini dikarenakan pada pH ≤ 4,9 yaitu pH 4, ion logam Pb(II) memiliki spesi ion Pb²⁺ optimum sebagaimana yang dikemukakan oleh (Powell et al., 2009).

Selain itu pada kondisi pH > 4,9 yaitu pada pH 4, gugus propildietilentrriamin pada PB@SiO₂@TA yang memiliki -NH₂ cenderung sebagai basa Lewis sehingga dapat mengikat kation logam sebagai mana yang dikemukakan oleh (Lam et al., 2008). Dengan demikian pada pH 4, ion logam Pb(II) dalam bentuk Pb²⁺ berada pada kondisi optimum, dan gugus propildietilentrriamin pada PB@SiO₂@TA dengan -NH₂ cenderung sebagai basa Lewis, sehingga ion logam Pb(II) dapat teradsorpsi secara optimum.

Variasi Waktu

Pada variasi waktu adsorpsi, adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* dengan cara menambahkan 10 ml larutan Pb(NO₃)₂ dengan konsentrasi 300 ppm dan pH optimum 4 dengan variasi waktu (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150 dan 180 menit) oleh adsorben nanomaterial hibrida dari pasir besi pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentrriamin (PB@SiO₂@TA). Hasil adsorpsi pada variasi waktu ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh waktu Terhadap Konsentrasi ion logam Pb(II) yang teradsorpsi oleh PB@SiO₂@TA

Tabel 2. Persentase konsentrasi ion logam Pb (II) yang teradsorpsi pada pH optimum 4

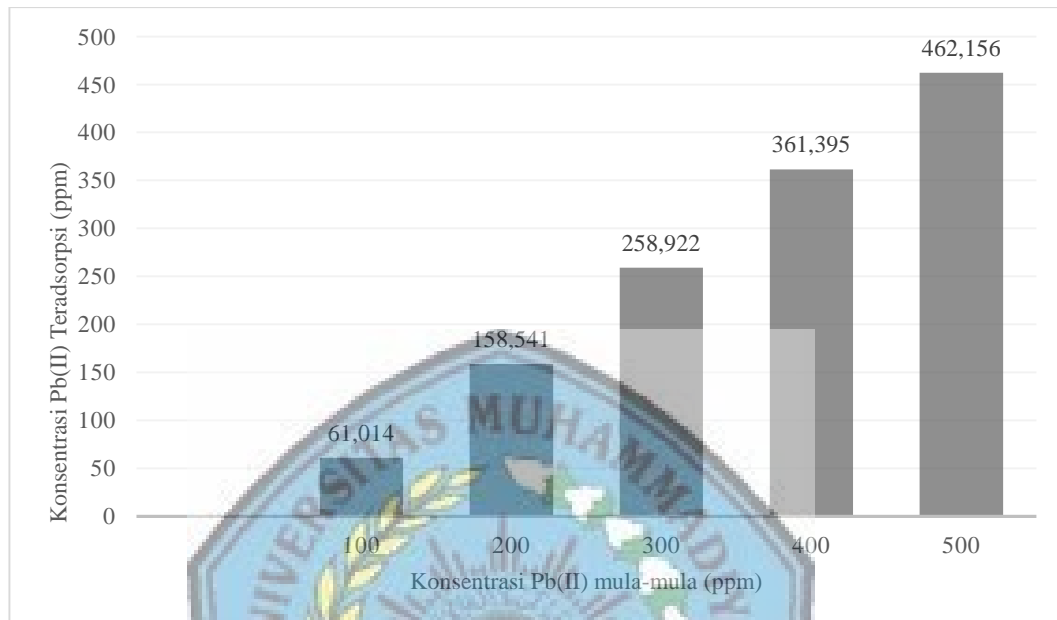
Waktu (menit)	Konsentrasi Ion Logam Pb(II)		Persentase Konsentrasi Ion Logam Pb(II) teradsorpsi
	mula-mula (ppm)	Teradsorpsi (ppm)	
5	300	252,073	84,02%
10	300	255,117	85,04%
20	300	252,263	84,09%
30	300	256,068	85,36%
40	300	256,068	85,36%
50	300	254,356	84,79%
60	300	258,922	86,31%
90	300	255,688	85,23%
120	300	255,307	85,10%
150	300	259,302	86,43%
180	300	255,117	85,04%

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada waktu adsorpsi 150 menit, konsentrasi ion logam Pb(II) yang teradsorpsi paling banyak yaitu 259,302 ppm (86,43% ion logam Pb teradsorpsi). Kemudian pada waktu adsorpsi 60 menit, adsorben dapat mengadsorpsi konsentrasi ion logam Pb(II) sebanyak 258,922 ppm (86,31 % ion logam Pb teradsorpsi). Apabila dilihat banyaknya konsentrasi ion logam Pb(II) teradsorpsi, maka jumlah konsentrasi ion logam Pb(II) teradsorpsi pada waktu 60 menit dan 150 menit tidak terlalu berbeda secara signifikan. Walaupun pada waktu 150 menit dapat mengadsorpsi ion logam Pb(II) paling banyak, namun waktu adsorpsi yang paling efektif pada 60 menit. Oleh karena itu, pada prosedur adsorpsi dengan variasi konsentrasi menggunakan waktu efektif 60 menit.

Variasi Konsentrasi

Pada variasi konsentrasi, adsorpsi dilakukan dalam sistem *batch* pada pH optimum 4 dan waktu efektif 60 menit dengan cara menambahkan 10 ml larutan Pb(NO₃)₂ dengan

variasi konsentrasi (100, 200, 300, 400, dan 500 ppm) oleh adsorben nanomaterial hibrida dari pasir besi pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentrilamin (PB@SiO₂@TA) ke dalam botol plastik. Hasil adsorpsi pada variasi konsentrasi ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 3.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi ion logam Pb(II) mula-mula terhadap konsentrasi ion logam Pb(II) teradsorpsi oleh PB@SiO₂@TA

Tabel 3. Persentase konsentrasi ion logam Pb (II) teradsorpsi pada pH 4 waktu 60 menit

Konsentrasi Ion Logam Pb(II) mula-mula (ppm)	Teradsorpsi (ppm)	Persentase Konsentrasi Ion Logam Pb(II) teradsorpsi (%)
100	61,014	61,01
200	158,541	79,27
300	258,922	86,31
400	361,395	90,35
500	462,156	92,43

Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 3, dapat dilihat perubahan konsentrasi larutan ion logam Pb(II) mula-mula. Semakin besar konsentrasi mulai-mulai ion logam Pb(II), semakin besar pula konsentrasi ion logam Pb(II) yang teradsorpsi oleh nanomaterial hibrida dari pasir besi pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus propildietilentrilamin (PB@SiO₂@TA). Konsentrasi ion logam Pb(II) yang teradsorpsi paling besar terdapat pada konsentrasi ion logam Pb(II) mula-mula 500 ppm yaitu sebanyak 462,156 ppm (92,43% ion logam Pb teradsorpsi).

5. SIMPULAN

Nanomaterial hibrida dari pasir besi Pantai Kendal yang terlapis silika termodifikasi gugus triamin dari propildietilentrilamin (PB@SiO₂@TA) dapat mengadsorpsi ion logam Pb(II) dengan kemampuan yang tinggi. Adsorpsi Pb(II) oleh nanomaterial hibrida PB@SiO₂@TA menunjukkan konsentrasi Pb(II) paling banyak diadsorpsi pada pH 4. Pada pH 4, ion logam Pb(II) dalam bentuk Pb²⁺ dalam kondisi optimum dan -NH₂ pada gugus propildietilentrilamin pada PB@SiO₂@TA cenderung sebagai basa Lewis, sehingga ion

logam Pb(II) dapat terserap optimum. Waktu adsorpsi optimum pada waktu 150 menit dengan konsentrasi ion logam Pb(II) teradsorpsi paling banyak yaitu 259,302 ppm, dan waktu adsorpsi efektif pada 60 menit dengan konsentrasi ion logam Pb(II) teradsorpsi sebanyak 258,922 ppm. Konsentrasi Pb(II) yang teradsorpsi paling besar terdapat pada konsentrasi ion logam Pb(II) mula-mula 500 ppm yaitu sebanyak 462,156 ppm (92,43% ion logam Pb teradsorpsi). Semakin banyak konsentrasi ion logam Pb(II) dalam larutan, semakin banyak ion logam Pb(II) yang teradsorpsi oleh PB@SiO₂@TA.

6. REFERENSI

- Cornell, R. M. and Schwertmann, U., *The Iron Oxides : Structure, Properties, Reaction, Occurrences and Uses*, 2nd Ed, Willey-VCH GmbH and Co. KGaA, 2003.
- Dinas ESDM Jawa Tengah. Peta Lokasi Pasir Besi Jawa Tengah. *Dinas ESDM Jawa Tengah*, 2018.
- Hodges, L., *Environmental Pollution, A Survey of Emphasising Physical and Chemical Principle*, Holt, Rhinehart and Winston Inc., 1973.
- Lakay, E. M., Superparamagnetic Iron-Oxide Based Nanoparticles for The Separation and Recovery of Precious Metals from Solution, *Thesis*, University of Stellenbosch, 2009.
- Lam, K. F., Fong, C. M., Yeung, K. L., and McKay, G., Selective Adsorption of Gold from Complex Mixtures Using Mesoporous Adsorbents, *Chem. Eng. J.*, 145, 2, (2008), 185-195.
- Li, X.-S., Zhu, G.-T., Luo, Y.-B., Yuan, B.-F., and Feng, Y.-Q., Synthesis and Applications of Functionalized Magnetic Materials in Sample Preparation, *TrAC Trends Anal. Chem.*, 45, (2013), 233-47.
- Mohammad-Beigi, H., Yaghmaei, S., Roostaazad, R., and Arpanaei, A. Comparison of Different Strategies for the Assembly of Gold Colloids onto Fe₃O₄@SiO₂ Nanocomposite Particles. *Phys. E Low-Dimensional Syst. Nanostructures*, 49, (2013), 30-38.
- Palar, H., *Pencemaran Dan Toksikologi Logam Berat*, Rineka Cipta, 2002.
- Powell, K. J., Brown, P. L., Byrne, R. H., Gajda, T., Hefter, G., Leuz, A.-K., Sjöberg, S., and Wanner, H., Chemical Speciation of Environmentally Significant Metals with Inorganic Ligands, Part 3: The Pb²⁺, OH⁻, Cl⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, and PO₄³⁻ Systems (IUPAC Technical Report), *Pure Appl. Chem.*, 81, 12, De Gruyter, (2009), 2425-76.
- Qu, X., Alvarez, P. J. J., and Li, Q., Applications of Nanotechnology in Water and Wastewater Treatment, *Water Res.*, 47, 12, (2013), 3931-46.
- Rostamian, R., Najafi, M., and Rafati, A., Synthesis and Characterization of Thiol-Functionalized Silica Nano Hollow Sphere as a Novel Adsorbent for Removal of Poisonous Heavy Metal Ions from Water: Kinetics, Isotherms and Error Analysis, *Chem. Eng. J.*, 171, 3, (2011), 1004-11.
- Ursachi, I., Vasile, A., Chiriac, H., Postolache, P., and Stancu, A., Magnetic Properties of Magnetite Nanoparticles Coated with Mesoporous Silica by Sonochemical Method. *Mater. Res. Bull.*, 46, 12, (2011), 2468-73.
- Wang, J., Zheng, S., Shao, Y., Liu, J., Xu, Z., and Zhu, D., Amino-Functionalized Fe₃O₄@SiO₂ Core-Shell Magnetic Nanomaterial as a Novel Adsorbent for Aqueous Heavy Metals Removal, *J. Colloid Interface Sci.*, 349, 1, (2010), 293-99.
- Wu, S., Sun, A., Zhai, F., Wang, J., Xu, W., Zhang, Q., and Volinsky, A., Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles Synthesis from Tailings by Ultrasonic Chemical Co-Precipitation, *Mater. Lett.*, 65, 12, (2011), 1882-84.
- Yulaipei, S. and Aunurohim, A., Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) Dan Hubungannya Dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis Mossambicus*), *J. Sains Seni*,

2, 2, (2013), 166–70.

Zhang, Y., Xu, Q., Zhang, S., Liu, J., Zhou, J., Xu, H., Xiao, H., and Li, J., 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, (2013), 391–97.

