

SINTESIS PASIR KUARSA TERLAPIS MANGAN DIOKSIDA DAN OPTIMASI pH DALAM MENURUNKAN KADAR BESI PADA AIR TANAH

Dian Ratna Sari^{1*}, Lia Destiarti¹, Nelly Wahyuni¹

¹Progam Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,

Jln. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi 78124, Pontianak

*email: dian_ratna92@yahoo.com

ABSTRAK

Air tanah di wilayah Pontianak sebagian besar mengandung besi dengan kadar yang melebihi ambang batas, sehingga perlu dilakukan pengolahan agar air tanah memenuhi persyaratan kualitas air bersih. Penelitian ini menggunakan pasir kuarsa terlapis mangan dioksida untuk pengolahan air tanah. Pasir kuarsa terlapis mangan dioksida disintesis menggunakan bahan mangan (II) klorida tetrahidrat, natrium hidroksida dan kalium permanganat. Volume kalium permanganat pada sintesis pasir kuarsa terlapis mangan dioksida divariasikan, yaitu 50 mL (PTM₅₀), 80 mL (PTM₈₀), 110 mL (PTM₁₁₀) dan 140 mL (PTM₁₄₀). Keempat hasil variasi pasir kuarsa terlapis mangan dioksida tersebut diukur efektivitasnya dalam menurunkan kadar besi pada air tanah dan variasi yang paling baik digunakan untuk menentukan pH air tanah yang efektif dalam menurunkan kadar besi pada air tanah. Efektivitas tertinggi diperoleh pada pengolahan air tanah menggunakan PTM₈₀ dengan nilai sebesar 92,85%. Nilai pH air tanah yang paling efektif dalam menurunkan kadar besi air tanah menggunakan PTM₈₀ adalah pH 7. Karakterisasi menggunakan Scanning Electron Microscope memberikan gambaran permukaan PTM₈₀ yang tidak merata dan berbentuk gumpalan. Karakterisasi menggunakan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy menunjukkan bahwa PTM₈₀ mengandung unsur Si (40,39%), O (49,08%) dan Mn (10,53%). Penurunan kadar besi pada sampel air tanah diduga terjadi karena adanya tiga mekanisme yang terjadi antara pasir kuarsa terlapis mangan dioksida dengan ion besi, yaitu adsorpsi, oksidasi dan pertukaran proton. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pasir kuarsa terlapis mangan dioksida yang disintesis dapat digunakan untuk menurunkan kadar besi pada air tanah.

Kata Kunci: pasir kuarsa, mangan dioksida, kadar besi, air tanah, optimasi pH

PENDAHULUAN

Air tanah di wilayah Pontianak sebagian besar berwarna kuning, berbau dan berasa yang diduga akibat tingginya kandungan besi. Kandungan besi yang tinggi dapat menyebabkan masalah estetika seperti air berwarna, keruh, menimbulkan noda pada pakaian dan porselen, dan menimbulkan rasa yang tidak enak pada air minum pada konsentrasi kira-kira melebihi 0,3 mg/L (Saeni, 1989).

Berdasarkan standar dari Permenkes No. 416/Menkes/Per/IX/1990 disebutkan bahwa kadar besi maksimal dalam air bersih adalah sebesar 1,0 mg/l. Namun, air tanah di wilayah Pontianak memiliki kadar besi yang berkisar antara 2-8 mg/L (Asbahani, 2013; Polintang, 2011). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan pada air tanah agar diperoleh air yang bersih dan layak digunakan untuk kebutuhan hidup sehari-hari.

Penurunan kandungan besi dalam air umumnya menggunakan karbon aktif dan pasir. Selain itu, beberapa cara lainnya adalah dengan oksidasi besi yaitu proses aerasi-filtrasi, proses klorinasi-filtrasi dan proses oksidasi kalium

permanganat-filtrasi dengan mangan zeolit (*manganese greensand*) (Abidin, dkk., 2008; Asbahani, 2013; Said, 2005).

Beberapa peneliti telah melakukan modifikasi pada pasir dengan melapiskannya dengan suatu oksida logam. Oksida logam seperti mangan dioksida dan besi oksida diketahui dapat menghilangkan zat pencemar pada perairan karena memiliki luas permukaan yang relatif tinggi, struktur mikropori dan memiliki gugus fungsi OH yang mampu bereaksi dengan logam-logam, fosfat dan bisfenol (Lin, *et al.*, 2009; Tanada, *et al.*, 2003; Yaghi, 2009). Berdasarkan penelitian yang ada, pasir terlapis mangan dioksida dapat digunakan untuk menghilangkan As (III), As (V), Cu (II) dan Cr (III) (Bajpai dan Chaudhuri, 1999; Chang, *et al.* 2012; Guha, *et al.* 2001; Lee, *et al.* 2004).

Han, *et al.* (2006) melihat pengaruh pH pada penghilangan tembaga (II) dan timbal (II) di dalam air menggunakan pasir terlapis mangan dioksida. Han, *et al.* (2006) menyatakan bahwa permukaan oksida dapat mengalami protonasi dan deprotonasi sebagai respon dari perubahan pH larutan. Pada pH rendah, penurunan

tembaga (II) dan timbal (II) terhambat karena adanya kompetisi antara ion hidrogen dengan ion logam. Pada saat pH meningkat, muatan negatif pada permukaan pasir terlapis mangan dioksida juga meningkat. Hal ini menyebabkan deprotonasi pada ikatan logam, sehingga dapat mempengaruhi proses penghilangan ion logam. Penghilangan tembaga (II) semakin meningkat pada pH 1,4 hingga 5,1, sedangkan timbal (II) semakin meningkat pada pH 1,4 hingga 5,1 (Han, *et al.*, 2006).

Mellisani, dkk. (2013) melakukan sintesis pasir terlapis mangan dioksida dengan memvariasikan volume larutan KMnO_4 0,2 M, sehingga dapat disimpulkan bahwa volume larutan KMnO_4 yang digunakan pada sintesis pasir kuarsa terlapis mangan dioksida dapat mempengaruhi nilai efektivitasnya terhadap penurunan kandungan besi. Pada penelitian ini dilakukan sintesis pasir kuarsa terlapis MnO_2 dengan memvariasikan volume larutan KMnO_4 0,2 M, yaitu volume 50 mL, 80 mL, 110 mL dan 140 mL. Pasir kuarsa terlapis MnO_2 yang paling efektif kemudian karakterisasi menggunakan SEM dan EDS, serta digunakan untuk melihat pengaruh pH pada sampel air tanah terhadap penurunan kandungan besi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat

Alat-alat yang digunakan adalah alat-alat gelas, ayakan ukuran 40 dan 60 *mesh*, *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS), kertas saring, neraca analitik, oven, pH-meter, *rotary shaker*, *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe JEOL-JSM-6510LV dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Varian AA24OFS.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah air tanah, akuades (H_2O), asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO_3), kalium permanganat (KMnO_4), mangan klorida tetrahidrat ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), natrium hidroksida (NaOH) dan pasir kuarsa yang berasal dari daerah Padang Dua Belas, Desa Sungai Nanjung, Kecamatan Matan Hilir Selatan, Kabupaten Ketapang.

Prosedur Penelitian

Sintesis Pasir Kuarsa Terlapis Mangan Dioksida (Mellisani, dkk., 2013)

a. Preparasi sampel pasir kuarsa

Preparasi pasir kuarsa dilakukan berdasarkan prosedur Mellisani (2013). Sampel pasir kuarsa dicuci dengan akuades dan direndam dalam larutan asam klorida 0,1 M selama 24 jam. Selanjutnya didekantasi dan residu dicuci kembali dengan akuades. Pasir

tersebut kemudian dikeringkan pada 100°C selama 24 jam dan disaring. Pasir kuarsa hasil preparasi kemudian diayak dengan ayakan 40 dan 60 *mesh*. Pasir kuarsa yang digunakan adalah pasir kuarsa yang lolos pada ayakan 40 *mesh* dan tertahan pada ayakan 60 *mesh*.

b. Sintesis pasir kuarsa terlapis mangan dioksida

Sebanyak 165 gram pasir kuarsa yang telah dipreparasi ditambah dengan KMnO_4 0,2 M yang divariasikan volumenya yaitu 50 mL (PTM_{50}), 80 mL (PTM_{80}), 110 mL (PTM_{110}) dan 140 mL (PTM_{140}). Selanjutnya ditambahkan dengan NaOH 0,4 M sebanyak 100 mL. Kemudian ditambahkan 100 mL MnCl_2 0,3 M. Penambahan MnCl_2 dilakukan tetes demi tetes sambil diaduk pada suhu kamar. Kemudian didiamkan selama 24 jam. Setelah itu disaring dan dikeringkan pasir kuarsa terlapis mangan dioksida pada suhu 105°C selama 24 jam. Pasir dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama 2 jam dan disimpan pada botol tertutup.

Pengambilan Sampel Air Tanah

Sampel berasal dari air tanah yang diambil dari beberapa sumur di Kota Baru, Pontianak. Air tanah yang digunakan untuk sampel adalah air permukaan. Wadah sampling terlebih dahulu dibilas dengan air tanah. Selanjutnya dimasukan air tanah yang hendak digunakan sebagai sampel ke dalam wadah sampel dan ditutup. Semua sampel air tanah yang telah diambil kemudian dihomogenkan dan disaring. Sampel air tanah diukur kandungan besinya menggunakan SSA.

Penentuan Volume KMnO_4 0,2 M Optimum pada Sintesis Pasir Kuarsa Terlapis Mangan Dioksida

Disaring air tanah yang akan digunakan dan dikondisikan pada pH 7. Sebanyak 60 mL air tanah dimasukkan ke dalam 4 buah botol. Setelah itu dimasukkan pasir kuarsa terlapis mangan dioksida sebanyak 2 gram ke dalam masing-masing botol tersebut. Semua botol ditutup dan dikocok menggunakan *rotary shaker* selama 2 jam. Selanjutnya larutan disaring dan ditentukan kadar besi pada filtrat menggunakan SSA. Percobaan diulangi sebanyak 3 kali. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan ANOVA. Pasir kuarsa terlapis mangan dioksida yang memiliki efektivitas penurunan kadar besi tertinggi kemudian dianalisis menggunakan SEM dan EDS.

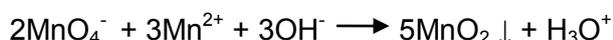
Penentuan pH Optimum Air Tanah terhadap Penurunan Besi

Penentuan pH air tanah optimum terhadap penurunan kadar besi dilakukan menggunakan produk pasir kuarsa terlapis mangan dioksida yang memiliki efektivitas penurunan kadar besi lebih tinggi. Sebanyak 60 mL air tanah dimasukkan ke dalam 5 buah botol dengan variasi pH 5, 6, 7, 8 dan 9 menggunakan larutan HNO₃ dan NaOH. Sebanyak 2 gram pasir kuarsa terlapis mangan dioksida kemudian dimasukkan ke dalam masing-masing botol. Selanjutnya botol dikocok menggunakan *rotary shaker* selama 2 jam dan disaring. Filtrat yang diperoleh dianalisis menggunakan SSA. Percobaan diulangi sebanyak 3 kali. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan ANOVA.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis dan Karakterisasi Pasir Kuarsa Terlapis Mangan Dioksida

Pada sintesis pasir kuarsa terlapis MnO₂, terjadi oksidasi Mn²⁺ menjadi Mn⁴⁺. Larutan KMnO₄ yang digunakan pada sintesis pasir kuarsa terlapis MnO₂ memiliki konsentrasi 0,2 M dan divariasikan volumenya yaitu 50 mL, 80 mL, 110 mL dan 140 mL. Reaksi yang terjadi pada sintesis pasir kuarsa terlapis MnO₂ adalah sebagai berikut:



Pada tahap sintesis, MnO₂ yang terbentuk akan menempel pada permukaan pasir kuarsa. Pasir kuarsa memiliki permukaan yang luas serta mampu menahan material tersuspensi, sehingga pasir kuarsa dapat mengikat MnO₂ yang terbentuk saat sintesis (Said, 2005).

Pasir kuarsa hasil preparasi dan keempat pasir kuarsa terlapis MnO₂ dengan variasi volume KMnO₄ yang diperoleh, yaitu PTM₅₀, PTM₈₀, PTM₁₁₀ dan PTM₁₄₀, kemudian diuji kemampuannya dalam menurunkan kandungan besi pada air tanah. Efektivitas penurunan kandungan besi (II) dapat dilihat pada Tabel 1.

Terdapat tiga mekanisme yang diduga terjadi sehingga pasir kuarsa terlapis MnO₂ mampu menurunkan kadar besi yang terkandung pada sampel air tanah, yaitu mekanisme adsorpsi, oksidasi dan pertukaran proton oleh pasir kuarsa terlapis MnO₂. Pertama, mekanisme yang diduga terjadi pada penghilangan ion besi terlarut yang terdapat di dalam air tanah ini yaitu proses adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses penghilangan zat pengotor tersuspensi, koloidal dan terlarut. Zat pengotor, seperti besi (II) pada air tanah teradsorpsi oleh pasir karena adanya gaya tarik menarik antara zat pengotor dengan pasir. Gaya tarik menarik ini terjadi karena

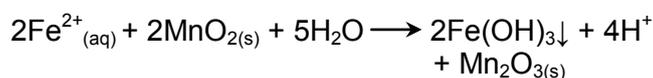
adanya tarikan fisik antara dua buah partikel (gaya *Van Der Waals*) dan tarikan elektrostatis antara dua muatan yang berbeda (gaya *Coulomb*). Proses ini mampu menghilangkan partikel yang lebih kecil dari partikel tersuspensi seperti partikel koloid dan molekul zat pengotor. Pasir sebagai media penyaring mempunyai muatan negatif pada pH normal sehingga dapat menarik partikel bermuatan positif seperti kation dari molekul besi (Abidin, 2008).

Tabel 1 Efektivitas Penurunan Kadar Besi (II) oleh Pasir Kuarsa dan Pasir Kuarsa Terlapis MnO₂

Jenis Pasir	Kadar Fe awal (mg/L)	Kadar Fe sisa (mg/L)	Efektivitas Penurunan Kadar Fe (%)
Pasir Kuarsa	1,3818	0,4582	66,84
PTM ₅₀	1,3818	0,3287	76,21
PTM ₈₀	1,3818	0,1831	92,85
PTM ₁₁₀	1,3818	0,2584	81,30
PTM ₁₄₀	1,3818	0,2012	85,44

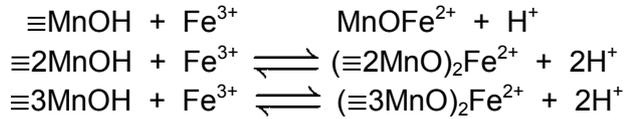
Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa pasir kuarsa memiliki kemampuan menurunkan kandungan besi pada air tanah 66,84%. Mekanisme adsorpsi besi (II) yang terjadi pada pasir kuarsa dikarenakan pasir kuarsa memiliki permukaan yang luas serta mampu menahan material tersuspensi, sehingga pasir kuarsa dapat digunakan sebagai media filtrasi pada proses pengolahan air (Saifudin dan Astuti, 2005; Sundararajan, *et al.*, 2009).

Mekanisme kedua yang diduga terjadi yaitu oksidasi besi (II). Kemampuan pasir kuarsa lebih rendah bila dibandingkan dengan kemampuan pasir kuarsa terlapis MnO₂ (PTM₅₀, PTM₈₀, PTM₁₁₀ dan PTM₁₄₀) dalam menurunkan kandungan besi pada air tanah. Hal ini disebabkan karena selain terjadinya adsorpsi besi terlarut oleh pasir kuarsa terlapis MnO₂, juga terjadi proses oksidasi. Adanya MnO₂ yang terlapis pada permukaan pasir kuarsa berperan dalam mengoksidasi besi (II) pada air tanah. Terjadinya interaksi antara pasir terlapis MnO₂ dengan besi (II) menyebabkan kandungan besi (II) berkurang. Hal ini terjadi akibat adanya sisi aktif MnO₂ sebagai oksidator yang mengoksidasi besi (II) menjadi besi (III). Berikut ini adalah reaksi oksidasi besi (II) oleh MnO₂ (Said, 2005):



Mekanisme ketiga yang diduga terjadi yaitu reaksi pertukaran proton. Besi (III) mengalami

pertukaran proton dengan gugus hidroksil pada permukaan pasir terlapis MnO₂. Permukaan pasir kuarsa terlapis MnO₂ memiliki sisi aktif ≡MnOH yang merupakan bentuk hidrasi dari MnO₂. Berikut merupakan reaksi pertukaran proton yang terjadi pada besi (III) yang terbentuk dari mekanisme oksidasi (Mukai dan Haan, 1992).



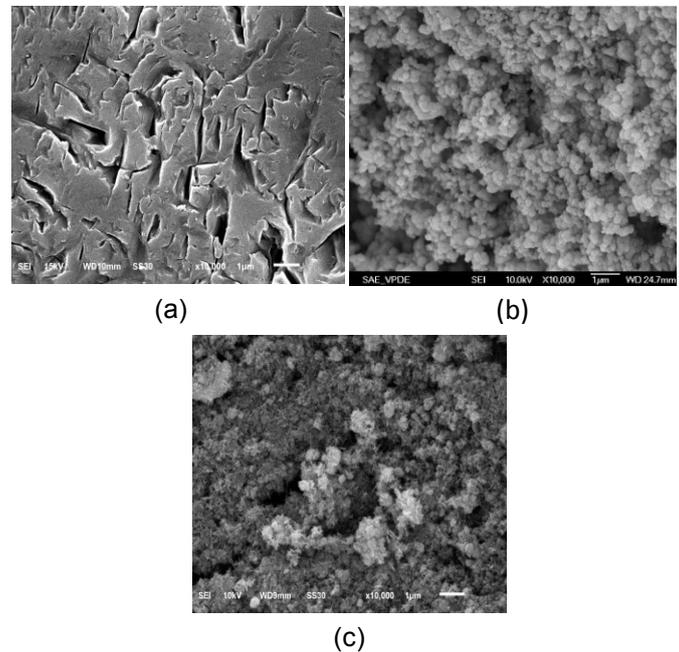
Hasil uji statistik ANOVA memberikan data bahwa nilai efektivitas penurunan kadar besi PTM₈₀, PTM₁₁₀ dan PTM₁₄₀ memiliki nilai yang tidak berbeda signifikan. Oleh karena itu, pasir kuarsa terlapis MnO₂ yang digunakan untuk penelitian lebih lanjut pada penentuan pH optimum air tanah terhadap penurunan besi yaitu PTM₈₀ karena volume KMnO₄ yang digunakan lebih sedikit.

Pasir kuarsa terlapis MnO₂ yang memiliki efektivitas penurunan kandungan besi tertinggi, yaitu PTM₈₀ dikarakterisasi menggunakan SEM dan EDS. Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk melihat morfologi permukaan PTM₈₀, sedangkan karakterisasi menggunakan EDS dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat dalam PTM₈₀ serta komposisinya berdasarkan unsur tersebut. Gambar 2 menunjukkan hasil pengukuran pasir kuarsa yang telah dilapis dan pasir kuarsa yang belum dilapis oleh MnO₂ menggunakan SEM dengan perbesaran 10.000x.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pasir kuarsa setelah dipreparasi memiliki permukaan yang relatif seragam, halus dan terdapat celah-celah kecil (Gambar 2 (a)), sedangkan pasir kuarsa setelah dilapis MnO₂ (PTM₈₀) memiliki permukaan yang tidak merata dan terdiri dari gumpalan, yang mengindikasikan adanya ukuran butir yang cukup beragam dengan distribusi yang tidak merata pada permukaan (Gambar 2 (c)). Pemisahan antara gumpalan juga terlihat dengan cukup jelas, yakni dalam bentuk *micro-cracking* yang cukup dalam yang terdapat di antara gumpalan. Terbentuknya permukaan yang tidak merata dan terdiri dari gumpalan tersebut diasumsikan bahwa pasir kuarsa telah terlapisi MnO₂ (Suka, dkk., 2008).

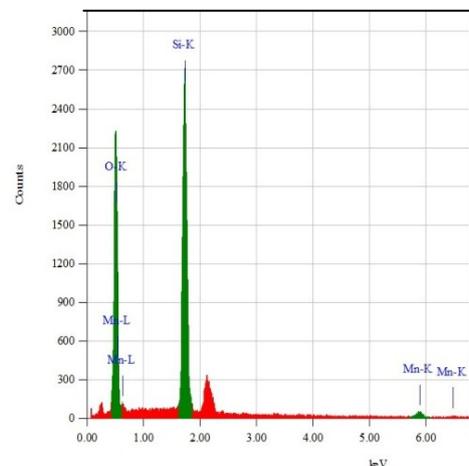
Analisis menggunakan SEM pada permukaan pasir terlapis MnO₂ yang dihasilkan pada penelitian Han, *et al.*, 2006 (Gambar 2 (b)) menunjukkan bahwa MnO₂ yang terlapis membentuk kelompok pada setiap celah antar permukaan pasir. Terdapat kemiripan pada permukaan PTM₈₀ dengan pasir terlapis MnO₂

hasil penelitian Han, *et al.*, 2006. Hanya saja gumpalan pada permukaan PTM₈₀ kurang seragam dibanding dengan pasir terlapis MnO₂ dihasilkan pada penelitian Han, *et al.*, 2006 yang lebih seragam, sehingga dapat dikatakan bahwa proses pelapisan MnO₂ pada permukaan pasir pada penelitian ini masih belum sempurna.



Gambar 2 Mikrograf SEM (a). Pasir Kuarsa (Mellisani, dkk., 2013), (b). Pasir Terlapis MnO₂ (Han, *et al.*, 2006) dan (c). PTM₈₀

Hasil yang diperoleh dari analisis menggunakan EDS disajikan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan terdapatnya berbagai unsur kimia dalam PTM₈₀, meliputi unsur Si, O dan Mn. Persentase massa Si, O dan Mn berturut-turut adalah 40,39%, 49,08% dan 10,53%.



Gambar 3 Spektrum EDS pada PTM₈₀

Keberadaan sinyal Mn pada spektrum EDS PTM₈₀ menunjukkan bahwa mangan telah terlapis pada permukaan PTM₈₀. Adanya puncak

Si yang tinggi pada spektrum EDS tersebut menunjukkan mangan oksida tidak melapisi permukaan pasir kuarsa secara sempurna (Han, *et al.*, 2006).

Penentuan pH Optimum Air Tanah terhadap Kemampuan PTM₈₀ Menurunkan Kadar Besi

Nilai pH air tanah dapat mempengaruhi efektivitas PTM₈₀ terhadap penurunan kandungan besi (II). Zou, *et al.* (2006) menyatakan bahwa muatan permukaan mangan oksida bergantung pada pH larutan yang disebabkan adanya pertukaran ion H⁺. Permukaan oksida dapat mengalami protonasi dan juga deprotonasi sebagai respon dari perubahan pH larutan.

Pada pengukuran efektivitas penurunan kadar besi (II) oleh PTM₈₀ dengan berbagai pH memberikan nilai yang bervariasi yang disajikan pada Tabel 2. Hasil uji statistik ANOVA menunjukkan bahwa pada pH 5, 6 dan 7 memberikan nilai efektivitas penurunan yang tidak berbeda signifikan. Meskipun demikian, ketiga pH ini menunjukkan efektivitas penurunan besi yang berbeda signifikan pada pH 8, 8,3 dan 9. Nilai pH yang terbaik pada hasil penelitian ini adalah pH 7 karena air tanah yang digunakan sebagai sampel memiliki pH 8,3. Nilai pH 7 ini dinilai lebih efektif karena hanya sedikit diperlukan larutan asam untuk pengubahan nilai pH.

Tabel 2 Efektivitas Penurunan Kadar Besi (II) oleh PTM₈₀ pada berbagai pH

pH	Efektivitas Penurunan Kadar Fe (%)
5	94,47
6	93,77
7	93,16
8	89,68
8,3*	91,25
9	91,27

*pH awal air tanah

Widowati, dkk. (2008) menyatakan bahwa pada pH 7, ion Fe²⁺ mengalami oksidasi menjadi Fe³⁺ yang bersifat tidak larut dan mengendap. Terjadinya pengendapan Fe³⁺ menyebabkan semakin banyaknya jumlah besi yang dapat tersaring oleh kertas saring sehingga kadar besi yang terkandung pada air tanah setelah dikontakkan dengan pasir kuarsa terlapis MnO₂ menjadi lebih sedikit.

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Polintang (2011), terdapat ion-ion lain selain besi pada air tanah, yaitu ion Mn²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ dan Na⁺. Ion-ion lain selain ion Fe²⁺

diketahui dapat berinteraksi kuat dengan pasir MnO₂ (Lin, *et al.*, 2012). Permukaan pasir MnO₂ cenderung bermuatan negatif dan mempunyai afinitas ikatan yang tinggi terhadap ion logam (Zou, *et al.*, 2006). Keberadaan ion-ion logam lain selain ion Fe²⁺ diperkirakan sebagai penyebab efektivitas penurunan nilai kandungan besi oleh PTM₈₀ pada sampel air tanah belum sempurna. Adanya kehadiran ion-ion logam tersebut dapat membuat proses oksidasi ion besi yang diharapkan menjadi terganggu karena PTM₈₀ yang digunakan juga mengoksidasi ion jenis lain.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Volume KMnO₄ 0,2 M yang paling efektif pada sintesis pasir kuarsa terlapis MnO₂ adalah sebanyak 80 mL (PTM₈₀).
2. Karakterisasi PTM₈₀ menggunakan SEM memberikan gambaran bahwa permukaannya tampak tidak merata serta terdiri dari gumpalan dan karakterisasi menggunakan EDS memberikan nilai persentase massa mangan yang terkandung dalam PTM₈₀ adalah sebesar 10,53%.
3. Nilai pH air tanah yang paling efektif terhadap penurunan besi menggunakan PTM₈₀ adalah 7 dengan nilai efektivitas penurunan kadar besi sebesar 93,16%.

DAFTAR PUSTAKA

- Asbahani, 2013, Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu sebagai Karbon Aktif untuk Menurunkan Kadar Besi pada Air Sumur, *J. Teknik Sipil UNTAN*, 13(1): 105-114.
- Abidin, Z., Masra, F. dan Santosa, I., 2008, Pengaruh Kombinasi Resin (Mangan Zeolit) dengan Pasir dalam Menurunkan Kadar Fe (Besi) pada Air, *J. Kesehatan*, 1(2): 165-174.
- Bajpai, S. and Chaudhuri, M., 1999, Removal of Arsenic From Ground Water by Manganese Dioxide-Coated Sand, *J. Env. Eng.*, 125:782-784.
- Chang, Y., Song, K., Yu, M. and Yang, J., 2012, Removal of Arsenic from Aqueous Solution by Iron-Coated Sand and Manganese-Coated Sand having Different Mineral Types, *J. Wat. Sci. Tec.*, 65(4):683-688.
- Guha, H., Saiers, J.E., Brooks, S., Jardine, P. and Jayachandran., 2001, Chromium Transport, Oxidation, and Adsorption in Manganese-Coated Sand, *J. Contaminant Hydrology.*, 49:311-334.
- Han, R., Zou, W., Zhang, Z., Shi, J., and Yang, J., 2006, Removal of Copper(II) and Lead(II) From Aqueous Solution by Manganese Oxide

- Coated Sand I. Characterization and Kinetic Study, *J. Haz. Mat.*, 137B:384-395.
- Lee, C.I., Yang, W.F. and Hsieh, C.I., 2004, Removal of Copper (II) by Manganese-Coated Sand In A Liquid Fluidized-Bed Reactor, *J. Haz. Mat.*, B114:45-51
- Lin, K., Liu, W., and Gan, J., 2009, Oxidative Removal of Bisphenol A by Manganese Dioxide: Efficacy, Products, and Pathways, *J. Environ. Sci. Technol.*, 43:3860-3864.
- Lin, K., Peng, Y., Huang, X., and Ding, J., 2012, Transformation of Bisphenol A by Manganese Oxide-Coated Sand, *J. Environ. Sci. Pollut. Res.*
- Mellisani, B., Gusrizal, Wahyuni, N., 2013, Penurunan Kandungan Besi (II) oleh Pasir Terlapis Mangan Dioksida (MnO_2), *J. Kimia Khatulistiwa*, 2(3): 123-126.
- Mukai, T. dan Haan, H.D., 1992, Adsorptive Characteristics of Iron (III) onto Hydrated Manganese Dioxide in Model Lake Water under Acidic Conditions, *Hydrobiol. Bull.*, 25(3), 183-189.
- Polintang, F.I., 2011, Perbandingan Efektivitas Penggunaan Resin Penukar Kation dan Aerator dalam Menurunkan Kadar Besi Pada Air Tanah, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, (Skripsi).
- Saifudin, M.R. dan Astuti, D., 2005, Kombinasi Media Filter untuk Menurunkan Kadar Besi (Fe), *J. Sains. Tek.*, 6:49-64.
- Said, N.I., 2005, Metode Penghilangan Zat Besi dan Mangan di dalam Penyediaan Air Minum Domestik, *J. Air Indonesia*, Vol. 1(3): 239-250.
- Saeni, M.S., 1989, Kimia Lingkungan, Pusat Antar Universitas Ilmu Hayati IPB, Bogor.
- Suka, I.G., Simanjuntak, W., Sembiring, S., Trisnawati, E., 2008, Karakteristik Silika Sekam Padi dari Provinsi Lampung yang diperoleh dengan Metode Ekstraksi, *MIPA*, 1:47-52.
- Sundararajan, M., Ramaswamy, S. and Raghavan, P., 2009, Evaluation for the Beneficiability of White Silica Sands from the Overburden of Lignite Mine situated in Rajpardi district of Gujarat, India, *J. Min. Mat. Char. Eng.*, 8(9):701-713.
- Tanada, S., Kabayama, M., Kawasaki, N., Sakiyama, T., Nakamura, T., Araki, M., and Tamura, T., 2003, Removal of Phosphate by Aluminum Oxide Hydroxide, *J. Coll. Int. Sci.*, 257:135-140.
- Widowati, W., Sastiono, A. dan Rumampuk, R.J., 2008, Efek Toksik Logam; Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran, Penerbit: Andi, Yogyakarta.
- Yaghi, N.Z.A., 2009, Iron Oxide Based Materials for the Removal of Copper from Drinking Water – A study of Freundlich adsorption isotherms, site energy distributions and energy frequency distributions, Chalmers University of Technology, Department of Civil and Environmental Engineering, Sweden, (Thesis).
- Zou, W., Zhao L., Han, R., 2011, Adsorption Characteristics of Uranyl Ions by Manganese Oxide Coated Sand in Batch Mode, *J. Radioanal. Nucl. Che.*, 288:239–249.