

EFEKTIVITAS MANGANESE GREENSAND DENGAN VARIASI DIAMETER DAN KETEBALAN MEDIA DALAM MENGURANGI KADAR TIMBAL (Pb) PADA LARUTAN PESTISIDA MENGANDUNG TIMBAL

Indriyanti Agustina Putri, Nur Endah Wahyuningsih, Budiyo

Bagian Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat

Universitas Diponegoro

Email : indriyantiap@gmail.com

Abstract: Agricultural activities use fertilizers and pesticides to optimize agricultural produce. About 99.9% of pesticides used enter and pollute the environment causing health problems. Preliminary test results show that lead levels in agricultural waste and pesticide solutions exceed the specified quality standards. This research aims to find out the effectiveness of manganese greensand with various diameter and thickness to reduce lead content in pesticide solutions. This research uses quasi experiment with control group design. The sample used was an artificial pesticide solution. Data analysis was performed by two way ANOVA test with 95% significancen level. The results showed that the lead level before treatment was 0.238 mg/l. After treatment with manganese greensand with variations in diameter and thickness of lead content decreased, with the highest decrease in variations in diameter of 30 mesh and thickness of 35 cm with a percentage of 52.32%. Based on the two way anova test the p-value is > 0,05, it known that there is no significant difference between treatments. The conclusion of this study is that manganese greensand can reduce lead levels in pesticide solutions with an average of 37.04%, but have not been able to reduce lead levels meet requirement.

Keywords : Manganese Greensand, Adsorption, Lead, Pesticide, Diameter, Thickness

PENDAHULUAN

Seiring dengan tingginya permintaan pangan, petani dituntut untuk menghasilkan hasil pertanian yang baik dan jumlah banyak. Hal ini mendorong peningkatan penggunaan pestisida sehingga penggunaan pestisida oleh petani padi terus meningkat sejak tahun 1983.¹

Pestisida adalah seluruh zat kimia maupun non-kimia baik yang dicampur maupun yang tidak dicampur yang ditambahkan kedalam tanaman untuk menangkis, mencegah, menghancurkan atau mengurangi hama yang menyerang tanaman.² Pestisida memiliki dampak negatif bagi kesehatan manusia

maupun lingkungan. Secara umum pestisida dapat menyebabkan kanker, gangguan pernafasan, gangguan syaraf, gangguan reproduksi, dan kerusakan imunitas dan hormonal.³ Bagi lingkungan, pestisida dapat menyebabkan pencemaran di air, tanah maupun udara, terbunuhnya organisme non-target, terjadi peningkatan konsentrasi pestisida dalam rantai makanan (biomagnifikasi), menumpuknya pestisida dalam tubuh organisme (bioakumulasi), serta penyederhanaan keragaman hayati dan rantai makanan alami.⁴

Hanya sekitar 0,1% dari penggunaan pestisida yang tepat

mengenai tanaman sasaran, sedangkan sisanya masuk kedalam lingkungan dan mencemari tanah, udara dan air.⁵ Ketika masuk kedalam lingkungan, pestisida juga membawa unsur-unsur yang berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan manusia seperti dimetoat, klorpirifos dan profenofos dari golongan fosfat-organik.⁶ Berdasarkan pemeriksaan yang dilakukan Hartini (2011), petani bawang merah di daerah Brebes banyak menggunakan pestisida dari golongan fungisida yang mengandung logam berat timbal (Pb), seperti Dithane M 45 80 WP yang mengandung 19,37 mg/kg timbal dan Antracol 70 WP mengandung 12,48 mg/kg.⁷

Berdasarkan hasil studi pendahuluan di Kabupaten Brebes sebagai salah satu penghasil bawang merah terbesar di Indonesia, didapatkan bahwa terdapat kontaminasi logam berat timbal (Pb) dalam air irigasi pertanian yang diambil dari 6 titik dengan hasil rata-rata 0,054 mg/l sehingga memenuhi baku mutu yang ditentukan dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yaitu 0,03 mg/l.

Timbal merupakan salah satu bahan pencemar berbahaya yang dapat ditemukan di air, udara dan tanah. Timbal dalam lingkungan akan masuk kedalam tumbuhan dan hewan lalu menyebabkan kematian. Paparan tinggi timbal dapat menyebabkan kerusakan ginjal dan otak, gangguan organ produksi sperma dan keguguran bagi ibu hamil.⁸

Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi kadar logam berat dalam limbah cair adalah dengan koagulasi-flokuasi, pertukaran ion, pengendapan kimia,

filtrasi membran, flotasi, pengolahan elektrokimia dan adsorpsi.^{9,10} Namun, adsorpsi metode yang paling sering digunakan karena lebih ekonomis dan sederhana.¹¹

Berbagai macam media digunakan sebagai adsorben mulai dari tanaman air, maupun bahan adsorben lain seperti zeolit, pasir silika dan *manganese greensand*. *Manganese greensand* baik digunakan sebagai adsorben karena mudah dan murah didapatkan serta memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi. Sehingga perlu diteliti tentang penggunaan *manganese greensand* sebagai media adsorpsi guna menurunkan kadar timbal dalam air.

METODE

Desain Penelitian

Jenis penelitian ini adalah quasi eksperimen dengan rancangan penelitian *non equivalent control group*. Dengan subjek penelitian adalah larutan pestisida buatan, dengan 3 kali pengulangan dengan 9 perlakuan yaitu 3 variasi diameter dan 3 variasi ketebalan.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah ayakan *sieves* (16 mesh, 20 mesh, 30 mesh), *sieves shaker*, pipa PVC 2 inch, ember 15 liter, pipa PVC ½ inch, Kran, *beaker glass*, termometer air dan pH meter.

Bahan

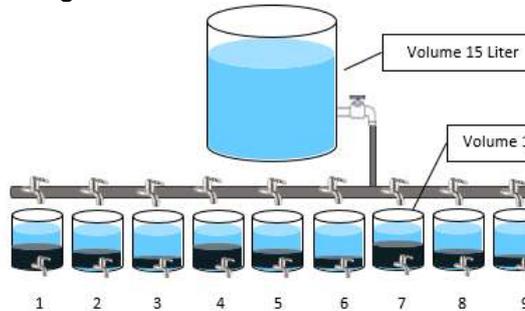
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *manganese greensand*, aquades, Dithane m 45 80 WP, air mineral

Prosedur Penelitian

Pembuatan Alat dan Persiapan Media

Manganese greensand diayak untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan lalu direndam kedalam aquades dengan pH 7 dan dikeringkan. Alat dibuat dengan menghubungkan pipa

PVC ½ inch dengan 9 kontainer yang terbuat dari PVC 2 inci berisi *manganese greensand* serta satu kontainer kosong yang berfungsi sebagai kontrol.



Keterangan :

■ : *Manganese Greensand*
Pemisutan Laju Alir Filtrasi

1. Menghitung Volume Air

$$V_{Air} = V_{bak} - V_{rata-rata\ media}$$

$$V_{Air} = (3,14 \times 0,03^2 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}) - (8,478 \times 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$V_{Air} = 5,658 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 0,56 \text{ liter}$$

2. Menghitung Debit Aliran dengan waktu kontak dalam penelitian ini adalah 20 menit sesuai dengan penelitian Tai.¹²

$$Q = \frac{0,56 \text{ liter}}{20 \text{ menit}} = 0,028 \text{ l/m}$$

$$= 28 \text{ ml/menit atau } 0,4 \text{ ml/detik}$$

$$= 0,03456 \text{ m}^3/\text{hari}$$

3. Luas Media Filtrasi dengan jari-jari media filtrasi 3 cm

$$\text{Luas Media Filtras} = \pi \times r^2$$

$$= 3,14 \times 3^2$$

$$= 28,26 \text{ cm}^2$$

$$= 2,826 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

4. Menghitung Laju Filtrasi

$$V = \frac{Q}{A}$$

Keterangan :

V : Laju Alir Filtrasi (m/hari)
Q : Kapasitas Filtrasi atau Debit (m³/hari)
A : Luas media (m²)

Sehingga dapat ditemukan bahwa Laju Alir Filtrasi dalam penelitian ini adalah :

$$V = \frac{0,03456 \text{ m}^3/\text{hari}}{2,826 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$= \frac{34,56 \text{ liter}/1440 \text{ menit}}{2,826 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$= 8,49 \frac{\text{liter}}{\text{menit}}/\text{m}^2$$

Proses Penelitian

- 1) Air sebanyak 15 liter dicampur dengan 90 gram Dithane M45 80 WP
- 2) Air limbah pertanian buatan dimasukkan kedalam bak penampungan awal diukur pH dan suhunya
- 3) Saringan kain yang telah dibentuk sesuai dengan bak perlakuan dimasukkan kedalam seluruh bak perlakuan dan bak kontrol
- 4) Sembilan paralon bervolume 4 liter berfungsi sebagai bak perlakuan diisi dengan *manganese greensand* berbagai diameter sesuai dengan rancangan penelitian.
- 5) Satu kontainer terakhir tidak diisi dengan media dan berfungsi sebagai kontainer kontrol
- 6) Air limbah pertanian buatan kemudian dialirkan dari bak penampungan awal menuju bak perlakuan dengan kran dan diatur debitnya
- 7) Bak perlakuan dihubungkan dengan botol sampel melalui lubang *outlet* dibagian bawah bak perlakuan hingga volume yang diinginkan
- 8) Air limbah pertanian buatan diukur pH dan suhunya dengan menggunakan pH meter dan termometer

Pemeriksaan Kadar Timbal

Pemeriksaan dilakukan dengan metode AAS (*Atomis Absorbtion Spectrophotometry*) dengan merk

PerkinElmer dengan tipe PinA Acle 900F

Analisis Data

Analisis yang digunakan adalah uji *Two Way Anova* dengan nilai kepercayaan 95% dan uji lanjutan *Post Hoc Test* menggunakan LSD (*Least Signifivanve Difference*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu

Sampel	Suhu pada pengulangan			R
	I	II	III	
Pretest	28,5	28,5	28,5	28,5
K	28,5	28,5	28,5	28,5
16mes h	25c	29,5	28,5	28,5
	30c	29,5	28,5	28,5
	35c	29,5	28,5	28,5
20mes h	25c	29,5	28,5	28,5
	30c	29,5	28,5	28,5
	35c	29,5	28,5	28,5
30mes h	25c	29,5	28,5	28,3
	30c	28,5	28,5	28,1
	35c	28,5	28,5	28,3

Keterangan :

- P : Pretest
- K : Kontrol
- R : Rata-rata

Sebelum diberikan perlakuan mempunyai suhu rata-rata 28,5 °C setelah proses pengolahan filtrasi suhu rata-rata larutan pestisida mengandung timbal mencapai sekitar 28,1 – 28,6 °C. Hal ini sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan pada PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yaitu berjarak deviasi 3 dari keadaan alamiahnya dimana itu berarti berkisar pada suhu 25,5-31,5 °C.

Dengan hasil uji normalitas nilai $p = 0,001$ sehingga diketahui bahwa data tidak normal. Kemudian dilakukan uji beda dengan *kruskal wallis* didapatkan nilai $p = 0,692$ sehingga disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan rata-rata penurunan kadar timbal terhadap variasi suhu.

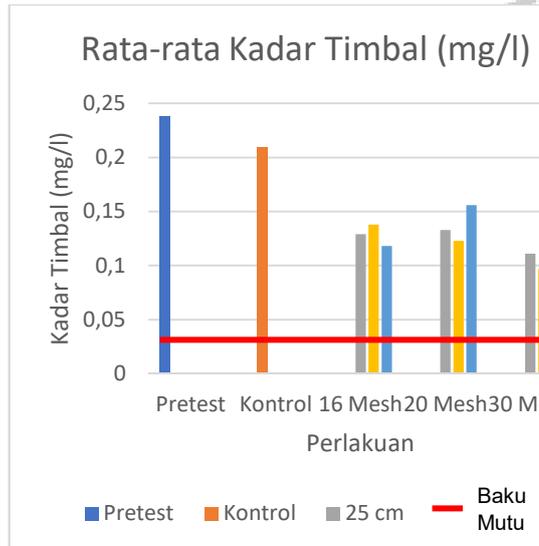
Dengan meningkatkan suhu pada media *manganese greensand* dapat meningkatkan kemampuan adsorbsinya dikarenakan semakin terbukanya pori-pori adsorben. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Zou bahwa semakin ditingkatkannya suhu maka akan meningkatkan kapasitas adsorpsi yang mengindikasikan bahwa proses adsorpsi logam dengan *manganese greensand* dipengaruhi oleh proses endotermik.¹³ Namun, apabila suhu disekitar *manganese greensand* terlalu tinggi akan dapat merusak adsorben itu sendiri, semakin tinggi suhu mendekati titik didih air akan terjadi proses desorpsi.

pH

Derajat keasaman (pH) larutan pestisida mengandung limbah sebelum perlakuan adalah 7 dan setelah proses pengolahan filtrasi menggunakan *manganese greensand*. Proses adsorpsi yang optimal dilakukan pada pH 3-4, dikarenakan pada kondisi basa terbentuk senyawa oksida yang dapat mengotori permukaan

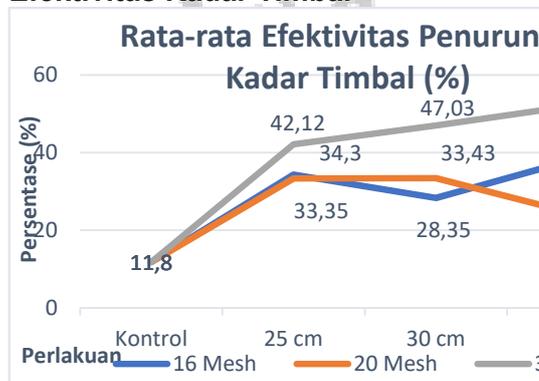
adsorben. pH dalam penelitian ini tidak berubah dikarenakan tidak terjadi kontak larutan pestisida mengandung limbah dengan asam maupun basa yang membuat perubahan derajat keasaman.

Penurunan Kadar Timbal



Rata-rata kadar timbal setelah perlakuan dengan media *manganese greensand* berkisar antara 0,083 mg/l sampai 0,156 mg/l dengan rata-rata total adalah 0,12 mg/l. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai minimum, nilai maksimum dan standart deviasi dari rata-rata kadar timbal setelah perlakuan adalah 0,083 mg/l, 0,156 mg/l dan 0,021.

Efektivitas Kadar Timbal



Rata-rata efektivitas penurunan kadar timbal tertinggi terjadi pada perlakuan dengan *manganese greensand* berdiameter 30 mesh dengan ketinggian media 35 cm yaitu sebesar 52,32%. Rata-rata efektivitas penurunan kadar timbal setelah perlakuan dengan media *manganese greensand* dengan variasi diameter dan ketebalan adalah 37,04% dengan standart deviasi dari rata-rata efektivitas penurunan kadar timbal ini adalah 8,94.

Berdasarkan tabel hasil uji *two way anova* diketahui bahwa variabel diameter memiliki nilai-p = 0,192 dan variabel ketebalan memiliki nilai-p = 0,962. Nilai p pada kedua variabel > 0,05 sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada variasi pada kedua variabel bebas dengan kadar timbal dalam larutan pestisida mengandung timbal sebagai variabel terikat.

Diameter media *manganese greensand* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 16 mesh (setara dengan 1,190 mm), 20 mesh (setara dengan 0,841 mm) dan 30 mesh (setara dengan 0,595 mm). Semakin besar luas permukaan adsorben maka proses adsorpsi akan semakin optimal.¹⁴ Luas adsorben dipengaruhi oleh bentuk adsorben itu sendiri, semakin kecil bentuk adsorben akan membuat luas permukaan adsorben semakin luas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zou, *et al*, dengan menggunakan ukuran *manganese greensand* dengan kisaran ukuran 16-20 mesh, 20-40 mesh, 40-60 mesh dan 100-120 mesh, hasilnya mengindikasikan bahwa kapasitas adsorpsi timbal meningkat secara signifikan bersamaan dengan semakin turunnya ukuran *manganese greensand* dengan tingkat adsorpsi

mencapai 0,143, 0,178, 0,228, 0,243 mmol/g.

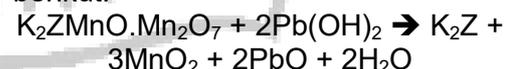
Ketebalan media filtrasi *manganese greensand* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 25 cm, 30 cm, dan 35 cm. Hal ini dikarenakan semakin ketebalan media sebanding dengan konsentrasi adsorben dimana semakin tebal media maka akan semakin tinggi pula konsentrasi adsorben yang dapat menurunkan timbal. Selain itu, ketebalan media juga berpengaruh pada lamanya waktu kontak larutan pestisida didalam bak perlakuan. Pengambilan variasi ketebalan media filtrasi pada penelitian ini didasari pada penelitian yang dilakukan Foroughi yang menggunakan *manganese greensand* dengan ketebalan 20 cm untuk mengurangi kadar timbal pada limbah perkotaan dengan menggunakan bak perlakuan yang terbuat dari *plexi glass* dengan diameter 5 cm, sehingga dapat menurunkan kadar timbal hingga 64%.

Ketebalan media juga berpengaruh pada luas permukaan media, semakin tebal media yang digunakan maka luas permukaan media akan semakin tinggi. Luas permukaan pada *manganese greensand* adalah 28,23 m²/g dengan rata-rata diameter pori-pori sebesar 26,72 Å atau setara dengan 2,272 x 10⁻⁶ mm.¹³ Ketebalan media juga akan menentukan lamanya pengaliran dan daya saring. Semakin tebal media dalam satu bak perlakuan, maka semakin luas permukaan media dan semakin luas bidang adsorpsi dari adsorben. Meskipun semakin tebal media akan meningkatkan daya saring namun membutuhkan waktu pengaliran yang lama sehingga tidak menguntungkan dari segi ekonomi dan efisiensi hasil, namun media yang terlalu tipis akan

membuat daya saring yang dimiliki adsorben menjadi rendah.

Manganese greensand memiliki kemampuan sebagai adsorben, penukar ion, katalis dan *buffer* (penyangga) sehingga sering digunakan sebagai media pengolahan air.^{15,16} *Manganese greensand* adalah bentuk modifikasi dari zeolit dimana zeolit kembali dilapisi oleh mangan oksida sehingga memiliki kadar mangan yang lebih banyak yaitu mencapai 0,85% dibanding zeolit biasa yang memiliki kadar mangan 0,19%.¹⁷ Selain itu *manganese greensand* memiliki struktur berpori-pori pada seluruh permukaannya dengan ukuran pori-pori anatar 0,45 x 10⁻⁶ sampai dengan 2,67 x 10⁻⁶ mm yang dapat menyerap partikel-partikel yang lebih kecil untuk masuk kedalamnya.^{13,18} Timbal memiliki ukuran partikel sekitar 0,2 x 10⁻⁶ sehingga berukuran lebih kecil dari pada pori-pori yang dimiliki *manganese greensand* sehingga timbal dapat masuk kedalam pori-porinya.

Dalam penelitian ini *manganese greensand* berfungsi sebagai media filtrasi dengan sistem adsorpsi yang mengikat partikel timbal dengan menukarnya dengan partikel mangan dimana ion pada *manganese greensand* (Mn²⁺) sebagian akan bertukar ion dengan ion timbal (Pb²⁺) didalam pori-pori yang terdapat dalam permukaan *manganese greensand*. Reaksi dari proses tersebut adalah sebagai berikut:



Proses adsorpsi timbal oleh *manganese greensand* juga dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Zou, tahun 2006 yang melakukan penelitian dengan variasi ukuran, suhu, dan konsentrasi inisial. Hasilnya menunjukkan bahwa

manganese greensand memiliki kapasitas yang lebih tinggi dapat menurunkan kadar timbal dan cadmium daripada zeolite yang belum dilapisi mangan oksida. Dalam penelitian ini juga dikatakan bahwa proses adsorpsi dengan menggunakan *manganese greensand* merupakan proses adsorpsi dengan reaksi kimia karena suhu memiliki pengaruh didalam tingkat adsorpsi.

Selain itu, Foroughi pada tahun 2013 juga melakukan penelitian dengan menggunakan *manganese greensand* dengan ukuran 2,36-0,85 mm (setara dengan 8-20 mesh) dengan ketebalan media 20 cm untuk menurunkan kekeruhan, timbal (Pb), seng (Zn), cadmium (Cd), fosfat (PO_4^-) serta nitrat (NO_3^-) dengan hasil bahwa *manganese greensand* dapat menurunkan kekeruhan, Pb, Zn dan PO_4^- sebanyak 89,6%, 65,9%, 81,1% dan 67%.¹⁹

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rata-rata kadar timbal sebelum perlakuan yaitu sebesar 0,283 mg/l
2. Rata-rata total kadar timbal setelah perlakuan adalah 0,12 mg/l
3. Rata-rata efektivitas penurunan kadar timbal setelah perlakuan dengan *manganese greensand* 16 mesh ketinggian 25 cm, 30 cm dan 35 cm masing-masing adalah 34,20%, 28,35%, dan 38,51%. Rata-rata efektivitas penurunan kadar timbal setelah perlakuan dengan *manganese greensand* 20 mesh ketinggian 25 cm, 30 cm dan 35 cm masing-masing adalah 33,35%, 33,43%, 24,01%. Rata-rata efektivitas penurunan kadar timbal setelah perlakuan dengan *manganese*

greensand 30 mesh ketinggian 25 cm, 30 cm dan 35 cm masing-masing adalah 42,12%, 47,03% dan 52,32%

4. Tidak terdapat perlakuan yang efektif dalam menurunkan kadar timbal dalam larutan pestisida mengandung timbal.
5. Efektivitas penurunan kadar timbal tertinggi terdapat pada perlakuan dengan *manganese greensand* dengan variasi diameter 30 mesh dan ketebalan 35 cm sebesar 52,32% dengan rata-rata penurunan 0,125 mg/l timbal.
6. Pengolahan air dengan cara menggunakan media *manganese greensand* dengan variasi diameter (16 mesh, 20 mesh dan 30 mesh) dan variasi ketebalan media (25 cm, 30 cm dan 35 mesh) belum mampu menurunkan kadar timbal hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

SARAN

Bagi Peneliti Lain

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan *manganese greensand* yang dibuat sendiri dengan kualitas lebih baik
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan *manganese greensand* dengan variasi diameter maupun variasi ketebalan yang efektif untuk menurunkan kadar timbal hingga memenuhi baku mutu
3. Diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi suhu, derajat keasaman atau waktu kontak

DAFTAR RUJUKAN

1. Untung K. 163654-ID-dampak-pengendalian-hama-terpadu-terhada.pdf. J Perlindungan Tanam Indones. 2004;10(1):1-

2. Lo E, Marti E, Arias-este M, Mejuto J, Garcı L. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agric Ecosyst Environ* 123. 2008;123:247–60.
3. Pawukir ES, Mariyono J. Hubungan Antara Penggunaan Pestisida dan Dampak Kesehatan : Studi Kasus di Dataran Tinggi Sumatra Barat. *Mns dan Lingkung.* 2002;9(3):126–36.
4. Djojsumarto P. Pestisida dan Aplikasinya. Armando R, Astutiningsih, editors. Jakarta Selatan: PT. Agromedia Pustaka; 2008.
5. Pimentel D, Levitan L. Pesticides: Amounts Applied and Amounts Reaching Pests reaches Pests. *Bioscience*]. 1986;36(2):86–91.
6. Arif A. Pengaruh Bahan Kimia terhadap Penggunaan Pestisida Lingkungan. *JK FIK UINAM.* 2015;3(4):134–43.
7. Hartini E. Kadar Plumbum (Pb) dalam Umbi Bawang Merah di Kecamatan Kersana kabupaten Brebes. *J Visikes* 2011;10(1):69–75.
8. Department of Health and Human Service. Public Health Statement for Lead. Agency Toxic Subst Dis Regist. 2007;
9. Kurniawan TA, Chan GYS, Lo WH, Babel S. Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chem Eng J.* 2006;118(1–2):83–98.
10. O'Connell DW, Birkinshaw C, O'Dwyer TF. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *Bioresour Technol.* 2008;99(15):6709–24.
11. Tangio JS. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Menggunakan Biomassa Enceng Gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Entropi.* 2012;3(1):500–6.
12. Tai CY, Wu CK, Chang MC. Effects of magnetic field on the crystallization of CaCO₃ using permanent magnets. *Chem Eng Sci.* 2008;63(23):5606–12.
13. Zou W, Han R, Chen Z, Jinghua Z, Shi J. Kinetic study of adsorption of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions using manganese oxide coated zeolite in batch mode. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2006;279(1–3):238–46.
14. Widayatno T, Yuliawati T, Susilo AA, Studi P, Kimia T, Teknik F, et al. Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang. *J Teknol Bahan Alam.* 2017;1(1):17–23.
15. Oesman NM. Penurunan Logam Besi dan Mangan Menggunakan Filtrasi Media Zeolit dan Manganese Greensand. *J Tek WAKTU.* 2017;15(2):57–65.
16. Said NI. Metoda penghilangan zat besi dan mangan di dalam penyediaan air minum domestik. *J Air Indones.* 2005;1(3):239–50.
17. Aprianti K, Destiarti L, Wahyuni N. Adsorpsi Ion Fosfat di dalam Air Menggunakan Zeolit Mangan Komersial. In: *Prosiding SEMIRATA 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat.* 2015. p. 680–9.
18. Lavinia DL, Sulistiyani, Rahardjo M. Adsorpsi Ion Fosfat di dalam Air

- Menggunakan Zeolit Mangan Komersial. *J Kesehat Masy.* 2016;4(4):873–81.
19. Foroughi M, Khiadani M, Amin MM, Pourzamani HR, Dastjerdi MV. Treatment of synthetic urban runoff using manganese oxide-coated sand in the presence of magnetic field. *Int J Environ Health Eng.* 2013;2(2):1–5.

