

ANALISIS KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb, Cd, Cu dan Fe) PADA TANAH DI RAWA PENING KABUPATEN SEMARANG JAWA TENGAH

Sarah Winarmadani

15513041

ABSTRACT

Rawa Pening is a natural lake in the District of Ambarawa, Semarang Regency with an area of 2,770 hectares is an ecological system that has a social role for the surrounding community. The decline in water quality of Lake Rawa Pening is caused by activities inside and outside the lake such as agricultural land, animal husbandry and domestic waste of tourism activities by motorboat. From these activities, it can contribute heavy metals to the soil in the Rawa Pening area. This study aims to measure the concentration of heavy metals in the soil and analyze the distribution of heavy metals (Pb, Cd, Cu and Fe) around Rawa Pening. Sampling is done by a purposive method. The method for analyzing heavy metals using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results of the average heavy metal content obtained heavy metal Pb of 8.69 mg/kg and Fe of 3520 mg/kg are still below the EPAA 2012 quality standards, EPMC 2015 and USEPA 2017, Cd of 1.16 mg/kg exceeds the quality standard EPMC 2015 and Cu amounted to 35.71 mg/kg, there were 4 sample points exceeding the 2015 EPMC quality standard. The distribution of Pb, Cd, Cu and Fe heavy metals in all contaminated sample points that could originate from anthropogenic, agricultural activities, were naturally present and comes from surface water and rivers. Engineering solutions to reduce heavy metals in the soil can use phytoremediation and chemical remediation

Keyword: Heavy Metals, Rawa Pening, Soil

ABSTRAK

Rawa Pening merupakan danau alam di Kecamatan Ambarawa, Kabupaten Semarang dengan luas 2.770 hektar merupakan sebuah sistem ekologi yang mempunyai peran sosial bagi masyarakat di sekitarnya. Penurunan kualitas air Danau Rawa Pening diakibatkan oleh kegiatan di dalam maupun di luar danau seperti lahan pertanian, peternakan dan limbah domestik kegiatan pariwisata dengan perahu motor. Dari kegiatan tersebut dapat menyumbang logam berat pada tanah di area Rawa Pening. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur konsentrasi logam berat didalam tanah dan menganalisis persebaran logam berat (Pb, Cd, Cu dan Fe) di sekitar Rawa Pening. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara purposive. Metode untuk menganalisa logam berat menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Hasil rata-rata kandungan logam berat didapatkan

logam berat Pb sebesar 8,69 mg/kg dan Fe sebesar 3520 mg/kg masih berada dibawah baku mutu EPAA 2012, EPMC 2015 dan USEPA 2017, Cd sebesar 1,16 mg/kg melebihi baku mutu EPMC 2015 dan Cu sebesar 35,71 mg/kg, terdapat 4 titik sampel melebihi baku mutu EPMC 2015. Persebaran logam berat Pb, Cd, Cu dan Fe di semua titik sampel terkontaminasi yang dapat berasal dari kegiatan antropogenik, pertanian, terdapat secara alami dan berasal dari air permukaan dan sungai. Solusi teknik untuk mengurangi logam berat pada tanah dapat menggunakan fitoremediasi dan remediasi secara kimia.

Kata kunci : logam berat, Rawa Pening, tanah.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rawapening merupakan danau alam di Kecamatan Ambarawa, Kabupaten Semarang dengan luas 2770 hektar merupakan sebuah sistem ekologi yang mempunyai peran sosial bagi masyarakat di sekitarnya (Endang, 2018). Dengan berbagai peruntukannya, Danau Rawapening ditetapkan sebagai salah satu danau prioritas nasional Indonesia hal tersebut dikarenakan memeberikan nilai manfaat cukup strategis. Danau Rawa Pening terletak di daerah rendah yang dikelilingi pegunungan dan perbukitan sehingga air megnalir dari hulu mengalir melalui aliran sungai ke muara di Rawa Pening.

Dengan berbagai manfaat yang dimiliki Danau Rawapening, terjadi penurunan kualitas air Danau diakibatkan oleh kegiatan di dalam maupun di luar danau. Terjadinya erosi di DAS, sisa-sisa pestisida dan pupuk dari lahan pertanian, peternakan dan limbah domestik dari permukiman sekitar danau masuk melalui inlet merupakan penyebab dari luar danau. Sedangkan dari dalam danau adalah kegiatan perikanan dengan sistem karamba dan kegiatan pariwisata dengan perahu motor (Hidayah, 2012).

Menurut hasil penelitian terbaru Piranti (2019) air Danau Rawa Pening terdapat logam berat Pb, Cd dan Cu melebihi baku mutu. Pertanian merupakan salah satu sumber pemasok logam berat ke dalam lingkungan perairan. Hal tersebut disebabkan limbah pertanian yang berasal dari tanah terbawa oleh limpasan air hujan. Dari keterangan tersebut, jika air Danau sudah terkontaminasi tidak menutup kemungkinan jika tanah disekitar Danau Rawapening dapat mengandung logam berat. Kegiatan geologis dan aktivitas manusia juga dapat meningkatkan konsentrasi logam berat ke jumlah yang tinggi.

Dalam penelitian ini akan melakukan identifikasi dan menganalisis kandungan logam berat pada tanah di sekitar Danau Rawapening. Logam yang akan dianalisis antara lain Pb, Cd, Cu dan Fe. Pemilihan logam tersebut berdasarkan tingkat toksisitas yang dapat membahayakan manusia, hewan dan lingkungan, selain itu air Danau sudah terkontaminasi Cd dan Pb dan pada saat dilakukan survey didapati bahwa masyarakat tidak menggunakan air sumur lagi dikarenakan terdapat ciri-ciri mengandung Fe.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu mengidentifikasi kandungan logam berat (Fe, Pb dan Cd) pada tanah, menganalisis persebaran logam berat di setiap titik pengambilan tanah dan merekomendasikan solusi teknis untuk mengurangi pencemaran logam berat pada tanah di daerah Rawapening.

2. KAJIAN TEORI

2.1 Tanah

Tanah merupakan sistem geosfer yang terdapat banyak aktivitas kimia, biologi maupun fisika. Aktivitas di tanah dipengaruhi oleh kegiatan manusia atau makhluk hidup lainnya, selain itu juga bergantung pada jenis tanah. Logam berat masuk ke dalam tanah melalui penggunaan bahan kimia yang berlangsung mengenai tanah, penimbunan debu, hujan atau pengendapan, pengikisan tanah dan limbah buangan (Suastawan, 2016).

Tanah secara alamiah mengandung logam berat, sebagian logam berat tersebut memiliki peran dalam proses fisiologis tanaman seperti Fe, Cu, Zn dan Ni tetapi dengan jumlah yang relatif sangat sedikit, bila berlebihan akan memberikan efek toksisitas kepada tanaman. Namun Cd dan Pb sangat beracun dan sampai saat ini belum diketahui perannya bagi tanaman, kedua unsur tersebut merupakan pencemar kimia utama dalam lingkungan dan sangat beracun bagi tumbuhan, hewan dan manusia (Mengel, 1987).

Bahan organik tanah adalah akumulasi dari sisa tanaman dan hewan yang telah terdekomposisi dan tercampur ke dalam tanah. Pada tanah pertanian, sumber bahan organik dapat berasal dari penambahan pupuk kandang oleh petani, sisa-sisa serasah tanaman yang dibudidayakan dan sisa-sisa dari gulma. Bahan organik terdiri dari berbagai komponen yang dapat di kelompokkan menjadi tiga jenis utama, yaitu residu tanaman dan

biomassa mikroba hidup, tanah aktif atau detritus dan tanah stabil bahan organik atau sering disebut humus.

Toposekuen adalah pembentukan sifat-sifat tanah yang disebabkan perbedaan sekuen topografi. Dalam satu toposekuen akan didapati perbedaan sifat tanah akibat adanya perbedaan bahan induk, topografi, iklim dan penggunaan lahan. Saat terjadi hujan, bagian atas lahan miring akan terjadi erosi yang mengikis permukaan tanah sehingga terjadi pendangkalan tanah.

2.2 Sumber Pencemar Tanah

Kandungan logam berat pada tanah bukit merupakan indikator yang baik dari ketersediaan logam untuk tumbuhan. Di dalam tanah, logam terdapat dalam berbagai keadaan termasuk ion logam bebas, ion pertukaran logam, logam terikat pada komponen organik, oksida (senyawa tidak larut), karbonat dan hidroksida atau sebagian dari struktur tanah itu sendiri yang terikat pada silikat. Pemupukan dapat mempengaruhi akumulasi logam berat dalam sistem tanah dan tanaman. Tanaman menyerap pupuk melalui tanah, pupuk dapat masuk ke dalam rantai makanan (Savci, 2012). Senyawa yang digunakan untuk menghasilkan pupuk mengandung jumlah logam berat yang berpotensi toksik (misal: Cd, Pb, As, Cu) (Alves, 2016). Pestisida merupakan pencemar yang dapat masuk ke lingkungan baik melalui udara, air maupun tanah dapat berdampak langsung terhadap makhluk hidup maupun lingkungan. Sifat pestisida yang persisten dapat mengalami pengendapan yang lama pada tanah dan menyebabkan terjadinya degradasi tanah. Limbah yang dihasilkan oleh industri kebanyakan terdiri dari zat pewarna, ion logam, padatan tersuspensi dan kandungan COD dan BOD yang relatif rendah. Pembuangan limbah ke udara, air dan tanah melalui berbagai proses industri termasuk penyamakan, pencucian dan pelapisan cat yang mengandung timbal dapat menyebabkan kerusakan pada tubuh manusia (Fatima, 2018). Logam yang terkandung dalam limbah industri umumnya Cu, Cr, Zn, Pb, Co dan Ni.

2.3 Logam Berat

Logam berat adalah logam berat jenis besar dari 5 g/cm³. Unsur yang termasuk logam berat adalah Cd, Cr, Cu, H, Ni, Pb dan Zn (Connell, 2006). Logam berat dapat memasuki tanah melalui sumber berbeda-beda yang dapat menjadi polutan. Pupuk, pestisida,

penambahan bahan organik dan anorganik, residu limbah dan lumpur aktif mengandung sejumlah logam berat (Yulipriyanto, 2010).

➤ Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) merupakan metal berbentuk kristal putih keperakan. Dalam kadar tinggi, kadmium berasal dari emisi industri, peleburan seng dan timbal. Sumber lain merupakan dari sisa penggunaan lumpur kotor sebagai pupuk tanaman (Widowati, 2008). Logam kadmium (Cd) memiliki karakteristik berwarna putih keperakan seperti logam aluminium, tahan panas, tahan terhadap korosi, tidak larut dalam basa dan mudah bereaksi serta menghasilkan kadmium oksida jika dipanaskan. Faktor yang dapat memengaruhi perserapan kadmium dalam tanah yaitu kandungan bahan organik tanah, pH tanah, ukuran partikel tanah, kemampuan pertukaran ion dan temperatur tanah (Setyoningrum, 2014).

Kadmium memiliki efek unik terhadap anak-anak yaitu dapat membantu perkembangan otak pada anak. Namun di sisi lain, kadmium memiliki efek berbahaya untuk manusia dan hewan antara lain menaikkan resiko terjadinya kanker payudara, penyakit paru-paru dan penyakit jantung.

➤ Timbal (Pb)

Timbal (Pb) adalah logam berat yang secara alami terdapat di dalam kerak bumi. Pencemaran Pb berasal dari sumber alami maupun limbah hasil aktivitas manusia dengan jumlah yang terus meningkat, baik di lingkungan, udara dan darat (Widowati et al, 2008). Tanah mengakumulasi kadar timbal umumnya dari pipa, cat timbal dan emisi residu dari kendaraan bermotor (Wani, 2015). Tanaman dapat menyerap timbal pada saat kondisi kesuburan tanah dan kandungan bahan organik serta KTK tanah rendah. (Charlena, 2004). Logam toksik timbal dapat menyebabkan anemia, gangguan ensefalopati dan gejala gangguan saraf perifer, dapat menyebabkan aminoasiduria, fostraturia, glukosuria, nefropati, fibrosis dan atrofi glomerular (Darmono, 2001).

➤ Tembaga (Cu)

Keberadaan Cu dalam lingkungan dapat terakumulasi di perairan maupun mengendap di dalam sedimen. Diantara jenis logam yang banyak ditemukan sebagai buangan adalah logam Cu. Cu merupakan logam berat yang banyak digunakan dalam campuran logam, pembuatan kabel, keramik dan pestisida. Cu bersifat sangat beracun dan sangat bioakumulatif. Tingkat kelarutan Cu sangat rendah dalam cairan namun mudah teradsorpsi dalam partikel yang teralarut dalam air (Jundana, 2016).

➤ Besi (Fe)

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui hampir di setiap tempat bumi, pada semua lapisan geologis dan semua badan air. Konsentrasi Fe yang tinggi ini dapat di rasakan dan dapat menodai kain dan perkakas dapur. Logam Fe merupakan logam esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu yang sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek racun.

3. METODE

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, sedangkan untuk pengambilan sampel yaitu pada tanah di Rawapening Kabupaten Semarang.

3.2 Metode Pengambilan Sampel

Pemilihan lokasi penelitian dilakukan dengan cara *purposive*. *Purposive* merupakan pemilihan lokasi secara sengaja dipilih atau pemilihan lokasi dilakukan atas dasar pertimbangan peneliti yang menganggap unsur-unsur yang dikehendaki telah ada dalam lokasi yang diambil. Jumlah titik pengambilan sampel berjumlah 14 titik dengan lokasi yang berbeda-beda. Kegiatan *presampling* dilakukan berdasarkan informasi sebelumnya atau survey pendahuluan dilaksanakan. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* karena medan yang sulit dan lahan tidak terlalu luas. *Grab Sampling* merupakan sampel yang diambil secara langsung dari badan tanah dan sampel. Berikut cara pengambilan sampel tanah:

1. Menggali tanah dengan cangkul atau sekop dengan kedalaman 20 cm – 30 cm
2. Ambil tanah kemudian masukkan kedalam plastik klip

3. Beri label dan tulis keterangan yang berisi nama sampel, tanggal pengambilan agar tidak tertukar dengan sampel yang lain.
4. Simpan sampel dengan cara memasukan sampel kedalam plastik hitam dan diikat

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Sedangkan untuk bahan yang digunakan adalah sampel tanah, Aquades, HNO₃

3.4 Prosedur Percobaan

- a. Pengambilan sampel dan penyiapan larutan contoh uji
- b. Pembuatan larutan baku dan kurva kalibrasi
- c. Pengukuran dengan alat SSA
- d. Pembuatan kurva kalibrasi dengan rumus $y = bx + a$
- e. Dimana:

y = nilai absorbansi

$x = (y - a) / b$

b = kemiringan lereng

x = konsentrasi larutan sampel

a = intersep

$bx = y - a$

3.5 Pembuatan peta menggunakan ArcGIS

Hasil konsentrasi diplotkan menggunakan *software* ArcGIS untuk mempermudah menganalisa.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Fe Berdasarkan Toposekuen

4.1.1 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen A

Tabel 4.1 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen A

TOPOSEKUEN A						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	T15	6,149	1,050	45,40	2176	6
2	B1	6,435	0,850	11,70	5882	6

3	T12	7,499	1,210	54,70	1597	5
4	T18	3,909	1,070	50,50	1896	5
5	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.1. Pada toposekuen A terdapat 5 titik sampel yaitu sampel T15 terdapat pada zona 1, sampel B1, T12 dan T18 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Pada logam berat Pb memiliki rentang konsentrasi sebesar 3,909 mg/kg sampai 6,651 mg/kg. Sampel T12 mengalami kenaikan konsentrasi lebih besar yaitu sebesar 7,499 mg/kg. Hal tersebut dapat diakibatkan tingkat keasaman (pH) dalam tanah mempengaruhi adanya logam berat yang terkandung dalam tanah. Timbal merupakan logam yang cenderung terakumulasi dan tersedimentasi dalam tanah karena kelarutannya rendah dan relatif bebas dari degradasi mikroorganisme. Lokasi pengambilan sampel T12 berada di persawahan dapat mempengaruhi konsentrasi logam. Dalam toposekuen A logam berat Pb sampel tidak melebihi baku mutu yaitu EPAA 2012; 300mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd pada toposekuen A memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,850 mg/kg sampai 1,210 mg/kg. Sampel T15 memiliki kandungan konsentrasi Cd cukup tinggi sebesar 1,050 mg/kg, pengambilan sampel berada di perkebunan. Sampel T12 mengalami kenaikan konsentrasi cukup tinggi sebesar 1,210 mg/kg dikarenakan pengambilan sampel berada di persawahan yang masih. Faktor erosi tanah dimana kontur tanah pengambilan sampel di daerah gunung mengakibatkan tanah horizon atas tergerus ke dataran yang lebih rendah atau zona 2 yang menyebabkan kandungan unsur-unsur yang terkandung ikut hanyut terbawa air. Sehingga logam Cd akan terakumulasi lebih banyak pada daerah lebih rendah. Semua titik sampel Cd pada toposekuen A telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 3 mg/kg dan EPMC 2015; 0,6 mg/kg.

Logam berat Cu pada toposekuen A memiliki rentang konsentrasi sebesar 11,70 mg/kg sampai 54,70 mg/kg. Terdapat 2 titik sampel yang melebihi baku mutu EPAA 2012

dan EPMC 2015 yaitu sampel T 18 sebesar 50,50 mg/kg dan T12 sebesar 54,70 mg/kg. Kenaikan pH dapat menyebabkan logam berat mengendap.

Logam berat Fe pada toposekuen A memiliki rentang konsentrasi sebesar 1597 mg/kg sampai 5882 mg/kg. Sampel B1 memiliki konsentrasi tinggi yaitu sebesar 5882 mg/kg. Logam Fe terdapat secara alami di dalam tanah, hal tersebut dikarenakan kandungan air tanah yang tinggi akan logam Fe. Konsentrasi di toposekuen A tidak melebihi baku mutu yaitu USEPA 2017, 55000 mg/kg.

4.1.2 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen B

Tabel 4.2 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen B

TOPOSEKUEN B						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	T14	8,253	1,280	58,80	1010	5
2	B2	7,690	0,910	25,00	5684	5
3	T9	11,366	1,320	34,00	1563	6
4	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada grafik 4.2. Pada toposekuen B terdapat 4 titik sampel yaitu sampel T14 terdapat pada zona 1, sampel B2 dan T9 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Pada logam berat Pb memiliki rentang konsentrasi sebesar 3,909 mg/kg sampai 6,651 mg/kg. Dengan pH tanah tinggi yaitu 6 dapat merubah logam Pb menjadi senyawa yang mengendap (Charlena, 2004). Dalam toposekuen B logam berat Pb sampel tidak melebihi baku mutu yaitu EPAA 2012; 300mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,880 mg/kg sampai 1,320 mg/kg. sampel T14 memiliki kandungan logam berat Cd yang tinggi yaitu sebesar 1,280

mg/kg hal tersebut dapat disebabkan pH tanah yang asam dan pengambilan sampel berada tidak jauh dengan jalan dan dekat dengan lahan perkebunan. Semua titik sampel Cd pada toposekuen B telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 3 mg/kg dan EPMC 2015; 0,6 mg/kg.

Logam berat Cu memiliki rentang konsentrasi sebesar 12,70 mg/kg sampai 34,00 mg/kg. Sampel T13 memiliki konsentrasi cukup tinggi di sistem B sebesar 34,00 mg/kg. Tingginya kandungan logam Cu dapat dikarenakan pengambilan sampel yang berada di zona 3 sehingga mengalami pengendapan. Konsentrasi logam Cu pada toposekuen B tidak melebihi baku mutu EPAA 2012; 100 mg/kg dan EPMC 2015; 50 mg/kg.

Logam berat Fe memiliki rentang konsentrasi sebesar 2176 mg/kg sampai 5910 mg/kg namun tidak melebihi baku mutu USEPA 2017; 55000 mg/kg. Tingginya konsentrasi dapat dikarenakan air irigasi persawahan menggunakan air sungai yang mengandung logam Fe tinggi. Selain itu pengaruh pH yang rendah dapat melarutkan besi yang berasal dari pipa saluran air.

4.1.3 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen C

5. Tabel 4.3 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen C

TOPOSEKUEN C						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	A2	9,930	1,060	12,70	5367	5
2	B2	7,690	0,910	25,00	5684	6
3	T9	11,366	1,320	34,00	1563	5
4	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada grafik 4.3. Pada toposekuen C terdapat 4 titik sampel yaitu sampel A2 terdapat pada zona 1, sampel B2 dan

T9 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Pada toposekuen C kandungan logam berat Pb memiliki rentang konsentrasi sebesar 6,651 mg/kg sampai 11,366 mg/kg. Kenaikan pH (6) dapat menyebabkan logam Pb mengendap yang secara tidak langsung pengaruh dari kapasitas pertukaran kation (KPK). Peningkatan pH membawa peningkatan KPK. Logam Pb dapat terjerap lebih banyak atau lebih kuat sehingga mobilitas Pb menurun. Setiap titik sampel logam Pb pada toposekuen C tidak ada yang melebihi baku mutu EPAA 2012; 300 mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd pada toposekuen C memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,880 mg/kg sampai 1,320 mg/kg. Sampel A2 memiliki kandungan logam berat Cd sebesar 1,060 mg/kg. Sampel T9 mengalami kenaikan konsentrasi sebesar 1,320 mg/kg, pengambilan sampel berada di pemukiman warga dekat dengan sungai. Hal tersebut dapat diakibatkan dari kandungan bahan organik pada lokasi pengambilan sampel membentuk senyawa kompleks organologam yang akan terbentuk sehingga kandungan logam Cd didalam tanah semakin tinggi (Suastawan, 2016). Semua titik logam Cd pada toposekuen C telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 3 mg/kg dan EPMC 2015; 0,6 mg/kg. Kandungan logam Cd tersebut diindikasikan berasal dari penggunaan pupuk dan pestisida.

Logam berat Cu pada toposekuen ini memiliki rentang konsentrasi sebesar 12,70 mg/kg sampai 34,00 mg/kg. Sampel T9 mengalami kenaikan konsentrasi yaitu sebesar 34,00 mg/kg. Hal tersebut dapat diakibatkan dari sampah domestik yang mengandung Cu karena pengambilan sampel yang berada di pemukiman warga dekat dengan sungai dan jalan. Konsentrasi logam Cu pada toposekuen C disetiap titik sampel tidak melebihi baku mutu EPAA 2012; 100 mg/kg dan EPMC 2015; 50 mg/kg.

Logam berat Fe pada toposekuen C memiliki rentang konsentrasi sebesar 1563 mg/kg sampai 5684 mg/kg. Pada titik A2 dan B2 memiliki konsentrasi cukup tinggi namun tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu USEPA 2017; 55000 mg/kg.

4.1.4 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen D

Tabel 4.4 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen D

Toposekuen D						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	T11	7,926	1,380	50,30	3430	6
2	B2	7,690	0,910	25,00	5684	5
3	T9	11,366	1,320	34,00	1563	6
4	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada grafik 4.4. Pada toposekuen D terdapat 4 titik sampel yaitu sampel T11 terdapat pada zona 1, sampel B2 dan T9 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Logam berat Pb memiliki kandungan logam berat dengan rentang konsentrasi sebesar 6,651 m/kg sampai 11,366 mg/kg. Di setiap titik sampel Pb pada toposekuen D terkontaminasi logam Pb namun tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 300 mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd pada sistem D memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,880 mg/kg sampai 1,380 mg/kg. Logam berat Cd pada toposekuen ini tidak berasal dari air permukaan yang digunakan untuk irigasi melainkan diindikasikan berasal dari penggunaan pupuk dari para petani. Semua titik logam Cd pada toposekuen C telah melebihi baku mutu yang telah di tetapkan yaitu EPAA 2012; 3 mg/kg dan EPMC 2015; 0,6 mg/kg.

Logam berat Cu pada toposekuen ini memiliki rentang konsentrasi sebesar 24,30 mg/kg sampai 50,30 mg/kg. Pada titik sampel T11 memiliki kandungan yang telah melebihi baku mutu EPAA 2012; 100 mg/kg dan EPMC 2015; 50 mg/kg sebesar 50,30mg/kg.

Logam berat Fe memiliki rentang konsentrasi sebesar 1563 mg/kg sampai 5684 mg/kg. Pada titik B2 memiliki kandungan yang cukup tinggi yaitu sebesar 5684 mg/kg namun tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu USEPA 2017; 55000 mg/kg.

4.1.5 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen E

Tabel 4.5 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen E

Toposekuen E						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	A1	8,790	1,100	14,90	5635	5
2	T9	11,366	1,320	34,00	1563	6
3	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada grafik 4.5. Pada toposekuen E terdapat 3 titik sampel yaitu sampel A1 terdapat pada zona 1, sampel T9 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Logam berat Pb memiliki kandungan dengan rentang konsentrasi sebesar 6,651 mg/kg sampai 11,366 mg/kg. Konsentrasi tersebut tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 300 mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd pada sistem E memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,880 mg/kg sampai 1,320 mg/kg. Setiap titik sampel logam berat Cd pada toposekuen ini telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan EPAA 2012; 3 mg/kg dan EPMC 2015; 0,6 mg/kg.

Logam berat Cu memiliki rentang konsentrasi sebesar 14,90 mg/kg sampai 34,00 mg/kg. Sampel T9 mengalami keniakan konsentrasi yaitu sebesar 34,00 mg/kg. Konsentrasi setiap titik sampel logam Cu tidak ada yang melebihi baku mutu EPAA 2012; 100 mg/kg dan EPMC 2015; 50 mg/kg.

Logam berat Fe memiliki rentang konsentrasi sebesar 1563 mg/kg sampai 5635 mg/kg. Pada titik sampel A1 memiliki konsentrasi cukup tinggi yaitu sebesar 5635 mg/kg namun tidak melebihi baku mutu USEPA 2017; 55000 mg/kg.

4.1.6 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen F

Tabel 4.6 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen F

TOPOSEKUEN F						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	T5	9,438	1,330	42,50	4489	5
2	T9	11,366	1,320	34,00	1563	6
3	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.6. Pada toposekuen F terdapat 3 titik sampel yaitu sampel T5 terdapat pada zona 1, sampel B2 dan T9 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Logam berat Pb memiliki kandungan dengan rentang konsentrasi sebesar 6,651 mg/kg sampai 8,790 mg/kg. Konsentrasi tersebut tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 300 mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd pada toposekuen F memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,880 mg/kg sampai 1,330 mg/kg. Sampel T5 memiliki kandungan logam berat Cd sebesar 1,330

mg/kg. Setiap titik sampel logam Cd pada sistem ini telah melebihi baku mutu USEPAA 2012; 300 mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg. Hal tersebut dapat dikarenakan penggunaan lahan pada setiap titik sampel tersebut merupakan ladang, kebun dan persawahan. Kandungan logam Cd tersebut diindikasikan berasal dari penggunaan pupuk dan pestisida.

Logam berat Cu pada sistem F memiliki rentang konsentrasi sebesar 24,30 mg/kg sampai 42,50 mg/kg. Konsentrasi logam Cu sistem F tidak ada yang melebihi baku mutu EPAA 2012; 100 mg/kg dan EPMC 2015; 50 mg/kg.

Logam berat Fe memiliki rentang konsentrasi sebesar 1563 mg/kg sampai 4489 mg/kg. Konsentrasi tersebut tidak melebihi baku mutu USEPA 2017 sebesar 55000 mg/kg. Kandungan Fe tersebut dapat berasal dari pelapukan batuan mineral dan air hujan yang mengandung Fe terserap oleh tanah dan masuk ke dalam tanah.

4.1.7 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen G

Tabel 4.7 Kandungan Logam Berat Pada Toposekuen G

TOPOSEKUEN G						
No.	Sampel	Pb mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	pH
1	T3	11,622	1,410	31,60	5910	6
2	T6	15,629	1,380	43,50	1385	5
3	T13	6,651	0,880	24,30	3256	6
Baku Mutu	EPAA, 2012 (mg/kg)	300	3	100	-	
	EPMC, 2015 (mg/kg)	80	0,6	50	-	
	USEPA, 2017 (mg/kg)	-	-	-	55000	

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.7. Pada sistem G terdapat 3 titik sampel yaitu sampel T3 terdapat pada zona 1, sampel T9 terdapat pada zona 2 dan T13 berada di zona 3. Logam berat Pb memiliki rentang konsentrasi sebesar 6,651 mg/kg sampai 15,629 mg/kg. Konsentrasi tersebut tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu EPAA 2012; 300 mg/kg dan EPMC 2015; 80 mg/kg.

Logam berat Cd pada toposekuen G memiliki rentang konsentrasi sebesar 0,880 mg/kg 1,410 mg/kg. Sampel T3 memiliki kandungan logam berat Cd yang tinggi dengan konsentrasi sebesar 1,410 mg/kg. Setiap titik sampel telah melebihi baku mutu UPAA 2012; 3 mg/kg dan EPMC 2015; 0,6 mg/kg.

Logam berat Cu pada sistem F memiliki rentang konsentrasi sebesar 24,30 mg/kg sampai 31,60 mg/kg. sampel T6 memiliki kandungan logam Cu cukup tinggi yaitu sebesar 43,50 mg/kg. Konsentrasi setiap titik sampel logam Cu tidak ada yang melebihi baku mutu EPAA 2012; 100 mg/kg dan EPMC 2015; 50 mg/kg.

Logam berat Fe memiliki rentang konsentrasi sebesar 13,85 mg/kg sampai 5910 mg/kg. Konsentrasi tersebut tidak melebihi baku mutu USEPA 2017 yaitu 55000 mg/kg.

4.2 Persebaran Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Fe

4.2.4 Analisis Kandungan Logam Berat Pb

Persebaran konsentrasi logam berat Pb di setiap toposekuen mengalami fluktuatif. Semua titik sampel terkontaminasi logam Pb namun tidak melebihi baku mutu EPAA 2012 dan EPMC 2015. Lokasi pengambilan sampel berada di daerah ladang, kebun, persawahan dan pemukiman. Kandungan logam Pb tertinggi terdapat di zona 2. Zona 2 merupakan daerah persawahan dan pemukiman warga. Timbal di dalam tanah umumnya ditemukan pada lapisan atas tanah. Kandungan konsentrasi logam Pb dapat berasal dari alam sebagai galena (PbS) dan mengalami pelapukan menghasilkan logam Pb dalam kadar yang tinggi didalam tanah. Selain sumber alami, Pb dapat bersumber dari aktivitas manusia seperti bahan bakar motor yang tidak sempurna, cat, limbah lumpur dan penggunaan agrokimia (pupuk, pestisida).

4.2.5 Analisis Kandungan Logam Berat Cd

Logam berat Cd pada setiap toposekuen pengambilan sampel melebihi baku mutu EPAA 2012 dan EPMC 2015. Setiap pengambilan titik sampel berada di daerah perkebunan, ladang dan persawahan. Kandungan logam Cd tidak dipengaruhi oleh kondisi toposekuen melainkan lokasi pengambilan sampel. Pada zona 2 konsentrasi Cd cenderung tinggi, hal tersebut dikarenakan pengambilan sampel berada di persawahan. Pencemaran tanah pertanian oleh Cd bisa terjadi pula akibat penggunaan pupuk fosfat yang berlebihan.

Petani masih banyak menggunakan obat-obatan pertanian seperti pupuk dan pestisida dengan harapan dapat menghasilkan hasil produksi yang maksimal tanpa memikirkan akibat yang ditimbulkan. Selain pupuk peningkatan kandungan logam berat kadmium dapat di peroleh dari asap kendaraan bermotor yang terakumulasi oleh tanah.

4.2.6 Analisis Kandungan Logam Berat Cu

Logam berat Cu ada 4 titik sampel yang melebihi baku mutu EPMC 2015 yaitu T11 sebesar 50,30 mg/kg; T12 sebesar 54,70 mg/kg; T14 sebesar 58,80 mg/kg; dan T18 sebesar 50,50 mg/kg. Tingginya kandungan konsentrasi tersebut dapat disebabkan sumber Cu alamiah yang berasal dari peristiwa pengikisan batuan mineral (erosi), debu-debu dan partikulat Cu dalam lapisan udara, sedangkan dari non alamiah dapat berasal dari kegiatan manusia seperti industri pengolahan kayu serta limbah rumah tangga (Hidayah, 2012). Tembaga terdapat di lingkungan secara alami, namun tembaga juga dapat dijumpai di peristiwa-peristiwa alam seperti erosi dari batuan mineral, debu dan atau partikulat tembaga yang ada dalam lapisan udara yang dibawa turun oleh air hujan.

4.2.7 Analisis Kandungan Logam Berat Fe

Logam Fe didalam tanah disetiap sistem menunjukkan hasil yang bervariasi. Logam berat Fe tersebar merata ke semua titik sampel. Hasil tersebut tidak melebihi baku mutu USEPA 2017 sebesar 55000 mg/kg. Kandungan logam Fe disetiap sistem memiliki rata-rata 3226,77 mg/kg. Ketinggian pengambilan sampel berada di gunung area Rawa Pening dapat mempengaruhi kandungan logam Fe. Logam Fe bisa berasal dari air tanah yang mengandung Fe yang sangat tinggi. Karena pada saat pengambilan sampel, masyarakat enggan memakai air sumur sebagai air kebutuhan sehari-hari. Masyarakat memilih memakai air dari mata air dan sebagian beralih menggunakan PDAM karena air sumurnya berwarna keruh (kecoklatan), berbau karat dan tidak dapat dijadikan air minum.

4.3 Dampak Logam Berat Melebihi Baku Mutu Terhadap Manusia

➤ Timbal (Pb)

Timbal (Pb) akan diakumulasi oleh organ tanaman yaitu pada daun, batang, akar dan akar umbi-umbian (bawang merah). Perpindahan timbal dari tanah ke tanaman bergantung pada komposisi tnaah dan pH tanah. Kebun sayur yang berada di pinggir jalan dapat berbahaya. Jenis bahan pangan lain yang mengandung logam Pb cukup tinggi adalah

sayuran yang ditanam di tepi jalan raya. Kandungan rata-rata sebesar 28,78 ppm, jauh di atas batas aman yang diizinkan Direktorat Jendral Pengawasan Obat dan Makanan yaitu sebesar 2 ppm (Winarno, 2004). Jika tumbuhan dikonsumsi oleh manusia dapat menyebabkan keracunan. Pada manusia maupun pada hewan, logam Pb bersifat akumulatif dalam tubuh dan dapat merusak seluruh sistem organ dalam tubuh. Pada anak-anak, keracunan Pb dapat menyebabkan kemunduran mental yang bersifat permanen.

➤ Kadmium (Cd)

Logam akan masuk ke dalam tubuh bersama makanan yang dikonsumsi telah terkontaminasi oleh logam Cd. Apabila tanah terkontaminasi Cd dan tersapu oleh air hujan dan masuk ke badan air maka akan berdampak pada ekosistem air. Selain biota, tumbuhan dapat menyerap Cd secara berlebihan. Jika tanaman yang terkontaminasi Cd dikonsumsi manusia atau hewan secara terus menerus akan berbahaya (Nur, 2013). Manusia tidak membutuhkan Cd dalam proses metabolisme. Hal ini mengakibatkan Cd dalam jumlah sedikit dapat beracun bagi tubuh. Keracunan yang diakibatkan oleh Cd bersifat akut dan keracunan kronis. Cd merupakan logam asing dalam tubuh dan tidak dibutuhkan dalam proses metabolisme.

➤ Tembaga (Cu)

Kadar Cu ditemukan pada beberapa jaringan spesies hewan air yang mempunyai regulasi sangat buruk terhadap logam. Pada binatang lunak atau moluska, sel leukosit sangat berperan dalam sistem translokasi dan detoksikasi logam. Hal tersebut ditemukan pada kerang kecil (oyster) yang hidup dalam air yang terkontaminasi Cu. Jika hewan air atau kerang yang sudah terkontaminasi Cu dikonsumsi oleh manusia akan berdampak bagi kesehatan. Jika tubuh manusia kelebihan Cu akan mengakibatkan diare, muntah, muntah berwarna hitam atau bercampur darah, nyeri ulu hati hingga kematian.

➤ Besi (Fe)

Didalam tubuh manusia terdapat ion logam yang berperan dalam menunjang fungsi kehidupan. Fe merupakan logam yang normalnya terdapat pada dalam darah tubuh manusia. Gejala yang didapati ketika kelebihan Fe adalah kelelahan, sakit perut, lemah dan lesu, nyeri sendi, kerusakan hati, dll.

4.4 Solusi Teknis Tanah Tercemar Logam Berat Pb, Cd, Cu dan Fe

Kandungan logam berat dalam tanah dapat dikurangi melalui penanaman vegetasi pengikat logam. Contoh dari vegetasi seperti alang-alang maupun membentuk jalinan berupa rumput. Teknologi ini memperbaiki tanaman dengan menggunakan tanaman disebut dengan fitoremediasi. Fitoremediasi adalah perbaikan tanah tercemar logam berat dengan prinsip penanaman tanaman yang mempunyai kemampuan untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan mengimobilisasi bahan pencemar, baik itu logam berat atau bahan organik. Logam berat didalam tanah terjerap oleh akar dan terakumulasi dalam akar, batang, daun, buah dan biji. Eceng gondok dan mendong dapat digunakan untuk merehabilitasi tanah pertanian yang tercemar logam berat. Pemanfaatan tanaman akumulator logam berat sebagai fitoremediasi dapat bermanfaat untuk mengurangi toksisitas konsentrasi kontaminan tinggi.

5 Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kandungan logam berat pada tanah di area Rawapening terkontaminasi logam berat Pb, Cd, Cu dan Fe namun hanya logam Cd dan Cu yang melebihi baku mutu. Logam berat Cd di semua titik sampel telah melebihi baku mutu EPMC 2015 berkisar 0,880 mg/kg – 1,410 mg/kg dan terdapat 4 titik sampel dengan kandungan logam berat Cu melebihi baku mutu EPMC 2015 berkisar 50,30 mg/kg – 58,80 mg/kg,

Persebaran logam berat Pb dan Fe merata di setiap titik sampel. Logam Berat Cd merata yang dapat berasal dari pemakaian pupuk anorganik dan pestisida oleh para petani untuk kebun, ladang dan sawah. Persebaran dari logam berat Cu dapat berasal dari alamaiah yaitu peristiwa pengikisan batuan mineral (erosi), debu-debu dan partikulat Cu dalam lapisan udara, sedangkan dari non alamiah dapat berasal dari kegiatan manusia seperti industri pengolahan kayu serta limbah rumah tangga,

Solusi Teknis yang dapat diterapkan untuk mengurangi pencemaran logam berat pada tanah adalah fitoremediasi dengan tumbuhan Mendong (*Fimbristyllis globulosa*) dan *Brassica juncea*. Remediasi secara kimia dapat memanfaatkan kapur dan bahan organik.

5.2 Saran

Untuk menindaklanjuti hasil dari penelitian ini dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Adanya penelitian selanjutnya tentang kandungan pupuk didalam tanah
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan adanya pengambilan sampel pada musim hujan dan musim kemarau sebagai perbandingan besar kadar logam berat pada musim hujan dan musim kemarau.
3. Adanya pengawasan pemerintah setempat terhadap penggunaan pupuk pada area pertanian agar tidak mencemari tanah.
4. Adanya penyuluhan dari pemerintah mengenai remediasi tanah yang sudah tercemar oleh logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, L. R., Reis, A. R., Gratao, P. L. 2016. *Heavy Metal In Agricultural Soils: From Plants To Our Daily Life (a review)*. Vol. 44. Hal. 346-361.
- Charlena. 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) Pada Sayur-Sayuran*. Program Pascasarjana/S3. FalsafahSain (PSL 207). Institut Pertanian Bogor.
- Connell, M. 2006. *Kimia dan Etoksikologi Pencemaran*. UI Press, Jakarta
- Darmono, 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran (Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam)*. Penerbit : Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Endang, S.M., Stanislaus, S., Fafurida. 2018. *Action Research of Holistic Conservation in Rawa Pening Fertilizer Engineering Technology and Lightweight Concrete By Academic-Business-Government-Community (ABGC) Synergy Approach*. International Conference on Economics, Business and Economic Education 2018. Vol 2018. Hal. 713-718.
- Fatima, H., Ahmed, A. 2018. *Heavy Metal Pollution – A Mini Review*. Journal of Bacteriology and Mycology. Vol. 6. No. 3.

- Hidayah, A. M., Purwanto., Soeprbowati, T. R. 2012. *Kandungan Logam Berat Pada Air, Sedimen dan Ikan Nila (Oreochromis niloticus Linn.) Di Keramba Danau Rawapening*. Seminar Nasional Pengelolaan SumberDaya Alam Dan Lingkungan. Program Pascasarjana UNDIP. Semarang
- Jundana, A. F., Hastuti, E. D., Budihastuti, R. 2016. *Daya Akumulasi Logam Berat Tembaga (Cu) Pada Akar Dan Daun Avicennia marina (Fork.) Berdasarkan Fase Pertumbuhan Yang Berbeda Di Pantai Mangkang Semarang*. Jurnal Biologi. Vol. 5. No. 3. Hal. 36-46.
- Mengel, K and Kirkby. 1987. *Principle of Plant Nutrition. 4 th Edition*. International Potash Institute. Bern
- Nur, F. 2013. *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd)*. Biogenesis Jurnal Ilmiah Biologi. Vol. 1. No. 1. Hal: 74-83.
- Piranti, Agatha. Sih., Rahayu, Diana. Rus., Waluyo, Gentur. 2018. *Evaluasi Status Mutu Air Danu Rawa Pening*. Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Vol. 8. No. 2.
- Savci, S. 2012. *An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizer*. International Journal of Environmental Science and Development. Vol. 3. Hal. 77-80.
- Setyoningrum, H. M., Hadisusanto, S., Yuniyanto, T., 2014. *Kandungan Kadmium (Cd) Pada Tanah Dan Cacing Tanah Di TPAS Piyungan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. J. Manusia Dan Lingkungan. Vol. 21. No. 2. Hal: 149-155.
- Suastawan, G., Satrawidana, I. D., Wiratini, N. M. 2016. *Analisis Logam Pb Dan Cd Pada Tanah Perkebunan Sayur Di Desa Pancasari*. Jurnal Wahana Matematika Dan Sains. Vol. 9. No. 2.
- Wani, A. B. Latif., A. A., Usmani, J. A. 2015. *Lead Toxicity. Interdisciplinary Toxicology*. Vol. 2. Hal. 55-64.
- Widowati, W. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Winarno, F. G. 2004. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

Yulipriyanto, H. 2010. *Biologi Tanah dan Strategi Pengelolaannya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.