

BIOAVAILABILITAS DAN SPESIASI LOGAM BERAT Pb DAN Cd PADA TANAH PERTANIAN BASAH DAN KERING DI DAERAH DENPASAR

I Made Siaka, Emmy Sahara, dan I Gusti Agung Putu Merta Dharmayoga

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Email : igapmertadharmayoga@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai bioavailabilitas dan spesiasi logam berat Pb dan Cd dalam tanah pertanian basah dan kering di beberapa daerah pertanian di Denpasar. Sampel diambil dari tanah pertanian di daerah Peguyangan dan Kesiman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi logam total dan konsentrasi masing-masing spesies logam Pb dan Cd sehingga dapat diketahui tingkat bioavailabilitasnya. Penelitian ini terdiri dari penentuan konsentrasi Pb dan Cd total dalam sampel tanah pertanian serta penentuan bioavailabilitas logam Pb dan Cd melalui serangkaian ekstraksi bertahap dengan beberapa pelarut yang dianalisis dengan alat *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dan Cd total dalam tanah basah dari kedua lokasi pengambilan sampel lebih tinggi dari pada dalam tanah kering yaitu dengan nilai berturut-turut antara 14,0484-16,1072 mg/kg dan 1,5983-1,9885 mg/kg. Hasil spesiasi untuk logam Pb dalam tanah pertanian basah dan kering di kedua lokasi yaitu fraksi bioavailable (fraksi EFLE) dan yang berpotensi bioavailable (terdiri dari fraksi Fe/Mn oksida dan fraksi organik-sulfida) yaitu berturut-turut berkisar 29,81-83,66% dan 2,44-13,96%, dan fraksi resistannya berkisar 28,55-55,11%. Hasil spesiasi untuk logam Cd dalam tanah pertanian basah dan kering di kedua lokasi yaitu fraksi bioavailable dan yang berpotensi bioavailable berturut-turut berkisar 28,62-67,87% dan 7,63-48,39%, dan fraksi resistannya berkisar 10,68-30,92%.

Kata kunci : logam berat, Pb, Cd, bioavailabilitas, tanah

ABSTRACT

A research on the bioavailability and speciation of Pb and Cd in wet and dry soils in some agricultural areas in Denpasar has been carried out. Samples were taken from agricultural land in Peguyangan and Kesiman areas. This study was aimed to determine the total metal concentrations and the fractions of the species of Pb and Cd, as well as the level of the metal bioavailabilities. The study included the determination of the total Pb and Cd concentrations in the samples and extraction of the metal through the application of the sequential extraction technique followed by measurement of the metal with the Atomic Absorption Spectrophotometer. The result showed that generally the concentrations of Pb and Cd total in the wet soil from the two sampling areas were higher than those of the dry soil which were varied between 14,0484-16,1072 mg/kg and 1,5983-1,9885 mg/kg respectively. The results for Pb speciation in wet and dry soils from both locations as follows : the bioavailable fraction (EFLE fraction) and potentially bioavailable (consisting of Fe/Mn oxides and organic-sulfide fractions) were of 29,81%-83,66% and 2,44%-13,96 %, respectively, while the resistant (non-bioavailable) fraction were of 28,55%-55,11%. The results for Cd speciation in wet and dry soils from both locations were as follows : the bioavailable and potentially bioavailable fractions were of 28,62%-67,87% and 7,63%-48,39%, respectively, while the resistant (non-bioavailable) fractions were of 10,68%-30,92%.

Keywords : heavy metal, Pb, Cd, bioavailability, soil

PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor utama atau dapat dikatakan pertanian merupakan sumber utama mata pencaharian penduduk Indonesia. Pentingnya sektor pertanian bagi penduduk Indonesia mendorong petani melakukan segala upaya untuk mendapatkan hasil pertanian yang melimpah. Salah satu contohnya adalah penggunaan pupuk anorganik dan pestisida. Pemupukan dan penggunaan pestisida berlebih akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan terutama pada tanah pertanian. Sumarni dan Rosliani (1996) mengungkapkan bahwa petani bawang merah di daerah Brebes cenderung menggunakan pupuk dan pestisida secara berlebihan.

Tanah untuk pertanian dapat berasal dari beberapa jenis tanah misalkan tanah basah rawa yang dikeringkan. Pengolahan tanah yang berbeda tersebut menyebabkan perubahan sifat tanah baik sifat fisika, kimia, maupun sifat-sifat lainnya sehingga sifat tanah akan dapat sangat berbeda dengan sifat asalnya (Hardjowigeno, 2004). Kondisi tanah pertanian yang terletak di daerah pedesaan tentu juga akan sangat berbeda dengan tanah pertanian di daerah perkotaan. Sumber pencemar terutama logam berat, tidak hanya berasal dari penambahan pupuk dan pestisida saja, namun terdapat sumber lainnya seperti asap kendaraan bermotor dan limbah buangan dari industri di sekitar pertanian tersebut.

Pencemaran logam berat pada tanah dan masuknya logam tersebut ke dalam tanaman sangat dipengaruhi oleh tingkat bioavailabilitasnya. Bioavailabilitas merupakan ketersediaan sejumlah logam yang dapat diserap oleh hayati (organisme dan tumbuhan) yang dapat menimbulkan respon fisiologis atau toksik. Menurut Florence *et al* (1992), analisis spesiasi merupakan landasan yang berguna untuk menduga bioavailabilitas logam terhadap ekosistem pertanian. Spesiasi merupakan suatu proses identifikasi dan kuantifikasi berbagai spesies, fase, dan bentuk yang terdapat pada suatu media (Davidson *et al*, 1998).

Ketersediaan logam berat pada tanah atau terserapnya logam berat ke dalam tanaman sangat dipengaruhi oleh sifat dari tanah tersebut yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, kadar unsur lain dan lain-lain. Jika pH tanah rendah,

ketersediaan beberapa logam berat di tanah akan meningkat. Terserapnya beberapa logam berat ke tanaman juga dipengaruhi oleh pH tanah yang rendah dan kapasitas tukar kation (KTK) tanah yang tinggi. Logam Pb dan Cd cenderung tidak akan larut dalam tanah jika pH tanah tidak rendah (pH tanah basa) (Charlena, 2004).

Denpasar merupakan kota yang padat penduduk dan memiliki tingkat pembangunan yang sangat tinggi dan di beberapa daerahnya masih terdapat lahan pertanian yang produktif. Dengan letak lahan pertanian yang terdapat di kawasan perkotaan yang memiliki tingkat aktivitas yang cukup tinggi, menyebabkan lahan pertanian di Denpasar berpotensi tercemar logam berat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terhadap kandungan total logam, bioavailabilitas dan spesiasi logam Pb dan Cd dalam tanah pertanian basah dan kering tersebut sehingga diketahui tingkat pencemaran logam berat tersebut dalam tanah pertanian di daerah Denpasar.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan antara lain HNO_3 70%, HCl 30-35%, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, CH_3COOH , $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$, H_2O_2 , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, dan aquades. Semua zat kimia yang digunakan memiliki derajat kemurnian proanalisis.

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah labu ukur, pipet volume, pipet mikro, gelas ukur, gelas beaker, botol semprot, kaca arloji, kertas saring, mortar, ayakan 63 μm , sendok polietilen, botol polietilen, termometer, tabung ekstraksi, penggojog listrik, pemanas listrik, oven, neraca analitik, *ultrasonic bath*, dan *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS) merk Shimadzu AA-7000.

Cara Kerja

Persiapan Sampel

Sampel tanah pertanian diambil di dua lokasi berbeda secara acak di daerah Denpasar, yaitu di tanah pertanian basah dan kering masing-masing dilakukan di daerah Peguyangan dan Kesiman dengan kedalaman kira-kira 0-15 cm.

Tanah permukaan diambil secara acak di 3 titik pada 1 petak kebun/sawah yaitu bagian hulu, tengah dan hilir pada sistem pengairan (irigasi). Sampel tanah selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C dan setelah kering digerus serta diayak dengan ayakan 63 µm.

Penentuan Konsentrasi Logam Pb dan Cd Total

Ditimbang teliti 1 gram sampel tanah basah dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Kemudian ditambahkan 10 mL campuran HNO₃ pekat dan HCl pekat (1:3). Campuran sampel kemudian didigesti dengan *ultrasonic bath* pada suhu 60°C selama 45 menit dan dipanaskan pada *hotplate* pada suhu 140°C selama 45 menit. Larutan yang diperoleh disaring, filtratnya ditampung dalam labu ukur 50 mL dan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas (Siaka *et al*, 2006). Larutan ini diukur dengan *Atomic Absorption Spektrofotometer* (AAS) pada panjang gelombang 217,0 nm untuk mengukur logam Pb sedangkan Cd diukur pada panjang gelombang 228,8 nm. Prosedur ini juga dilakukan terhadap sampel tanah kering.

Ekstraksi Bertahap

Prosedur penelitian ekstraksi bertahap didasarkan atas metode yang diusulkan oleh Davidson *et al* (1998), yaitu :

Ekstraksi Tahap I (Fraksi Easy, Freely, Leachable and Exchangeable)

Sebanyak 1 gram sampel tanah dimasukkan ke dalam tabung ekstraksi kemudian ditambahkan 40 mL CH₃COOH 0,1 M. Campuran digojog dengan penggojog listrik selama 2 jam dan disentrifugasi dengan kecepatan 4000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan fraksi padat dan cair. Fraksi cair didekantasi dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Larutan diencerkan dengan aquades sampai tanda batas. Fraksi padat yang diperoleh digunakan pada ekstraksi tahap II.

Ekstraksi Tahap II (Fraksi Mn dan Fe Oksida)

Fraksi padat dari ekstraksi tahap I ditambahkan 40 mL NH₂OH.HCl 0,1 M dan keasaman campuran diatur pada pH 2 dengan menambahkan HNO₃. Campuran kemudian digojog selama 2 jam lalu disentrifugasi. Fraksi cair didekantasi dan diencerkan dengan aquades pada labu ukur 50 mL sampai tanda batas. Fraksi padat digunakan pada ekstraksi tahap III.

Ekstraksi Tahap III (Fraksi Organik dan Sulfida)

Fraksi padat dari ekstraksi tahap II ditambahkan 10 mL H₂O₂ 8,8 M dengan hati-hati kemudian campuran ditutup dengan kaca arloji. Campuran didiamkan selama 1 jam pada suhu ruang dan kadang-kadang dikocok. Selanjutnya campuran dipanaskan pada suhu 85°C selama 1 jam dalam penangas air. Campuran ditambahkan 10 mL larutan H₂O₂ dan dipanaskan kembali pada suhu 85°C selama 1 jam. Campuran didinginkan dan ditambahkan 20 mL CH₃COONH₄ 1 M. HNO₃ ditambahkan ke dalam campuran untuk mengatur tingkat keasaman pada pH 2. Campuran tersebut digojog 2 jam kemudian disentrifugasi. Fraksi cair didekantasi kemudian diencerkan menggunakan aquades pada labu ukur 50 mL. Fraksi padat yang didapat digunakan untuk ekstraksi tahap IV.

Ekstraksi Tahap IV (Fraksi Resistant)

Fraksi *resistant* ditentukan dengan prosedur yang sama dengan penentuan Pb dan Cd total. Larutan dari ekstraksi tahap I – IV selanjutnya diukur dengan AAS pada panjang gelombang 217,0 nm untuk logam Pb dan 228,8 nm untuk logam Cd.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penentuan Konsentrasi Pb dan Cd Total

Hasil penentuan konsentrasi logam Pb dan Cd total disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa konsentrasi Pb total dalam tanah pertanian basah di kedua lokasi pengambilan sampel lebih tinggi dari pada dalam tanah pertanian kering. Adanya logam Pb di dalam tanah pertanian dapat diakibatkan karena dilakukannya pemupukan terus menerus. Hal ini didukung oleh penelitian Charlena (2004) yang menyatakan bahwa petani di Indonesia menggunakan pupuk posfat yang mengandung Pb sekitar 5-156 ppm. Selain pupuk, adanya logam Pb dalam tanah dapat disebabkan oleh tingginya aktivitas transportasi kendaraan bermotor di jalan raya sekitar lokasi pengambilan sampel. Kendaraan bermotor menghasilkan gas buangan yang mengandung bahan pencemar logam Pb. Logam Pb di udara dapat turun hingga akhirnya terakumulasi di tanah.

Tabel 1. Konsentrasi Pb dan Cd Total

Sampe l	Ulanga n	[Pb] mg/kg	[Cd] mg/kg	Sampe l	Ulangan	[Pb] mg/kg	[Cd] mg/kg
TKA	1	12,7459	1,5223	TBA	1	13,4287	1,9787
	2	14,0488	1,2479		2	14,2543	2,2841
	3	14,5475	1,8079		3	14,4632	1,7041
Rata-rata		13,7807	1,5350	Rata-rata		14,0484	1,9889
TKB	1	14,5065	1,5320	TBB	1	15,2915	14599
	2	14,4149	1,7166		2	16,5816	1,6143
	3	15,2353	1,8169		3	16,4485	1,7207
Rata-rata		14,7189	1,6885	Rata-rata		16,1072	1,5983

Keterangan : TKA = Tanah Kering Pertanian di Peguyangan, TBA = Tanah Basah Pertanian di Peguyangan, TKB = Tanah Kering Pertanian di Kesiman, TBB = Tanah Basah Pertanian di Kesiman

Tabel 2. Konsentrasi dan % Pb Terekstraksi

Sampel	Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)	% Terekstraksi	Sampel	Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)	% Terekstraksi
TKA	I	4,1084	29,81	TBA	I	11,7531	83,66
	II	td	td		II	td	Td
	III	1,1813	8,57		III	1,2779	9,09
	IV	7,5948	55,11		IV	1,8904	13,45
TKB	I	8,7695	59,98	TBB	I	13,3394	82,82
	II	td	td		II	td	Td
	III	0,3591	2,44		III	2,2493	13,96
	IV	7,4343	50,51		IV	1,1207	6,96

Keterangan : * TKA = Tanah Kering Pertanian di Peguyangan, TBA = Tanah Basah Pertanian di Peguyangan, TKB = Tanah Kering Pertanian di Kesiman, TBB = Tanah Basah Pertanian di Kesiman

* I = Fraksi EFLE, II = Fraksi Fe/Mn oksida, III = Fraksi organik/sulfida, dan IV = Fraksi Resistant

* td = tidak dideteksi

Konsentrasi logam Cd total tertinggi juga terdapat pada tanah basah pertanian di daerah Kesiman. Pemupukan yang dilakukan secara terus-menerus dengan pupuk fosfat dapat meningkatkan ketersediaan Cd dalam tanah. Karena dalam pupuk fosfat terkandung logam Cd rata-rata sebesar 7 ppm (Charlena, 2004). Dalam daerah yang banyak industrinya, salah satu sumber Cd dalam tanah pertanian adalah lumpur limbah seperti yang dinyatakan oleh Alloway (1995) bahwa lumpur limbah adalah sumber utama cemaran Cd sehingga kandungan Cd dalam tanah relatif tinggi. Lumpur limbah tersebut mengandung senyawa organik

yang menyebabkan kapasitas adsorpsi logam berat dalam tanah meningkat.

Aktivitas pemupukan yang dilakukan secara terus-menerus akan berdampak pada meningkatnya kandungan organik pada tanah basah yang juga meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah tersebut. Meningkatnya KTK pada tanah akan menyebabkan meningkatnya nilai pH dari tanah tersebut. Kenaikan pH tanah akan mengubah logam dari bentuk karbonat menjadi bentuk hidroksi yang membentuk ikatan dengan partikel tanah sehingga logam akan mengendap (Darmono, 1995).

Tabel 3. Konsentrasi dan % Cd Terekstraksi

Sampel	Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)	% Terekstraksi	Sampel	Fraksi	Konsentrasi (mg/kg)	% Terekstraksi
TKA	I	0,7568	49,30	TBA	I	0,9346	46,99
	II	Td	td		II	td	td
	III	0,4832	31,48		III	0,8124	40,85
	IV	0,2434	15,86		IV	0,2125	10,68
TKB	I	0,4833	28,62	TBB	I	1,0848	67,87
	II	Td	td		II	td	td
	III	0,8172	48,39		III	0,1815	11,36
	IV	0,2432	14,42		IV	0,4942	30,92

Keterangan : * TKA = Tanah Kering Pertanian di Peguyangan, TBA = Tanah Basah Pertanian di Peguyangan, TKB = Tanah Kering Pertanian di Kesiman, TBB = Tanah Basah Pertanian di Kesiman

* I = Fraksi EFLE, II = Fraksi Fe/Mn oksida, III = Fraksi organik/sulfida, dan IV = Fraksi Resistant

* td = tidak dideteksi

Hasil Spesiasi dan Penentuan Bioavailabilitas Logam Pb dan Cd

Penentuan konsentrasi berbagai bentuk ikatan (spesies) serta bioavailabilitas suatu logam dalam tanah dapat dilakukan melalui ekstraksi bertahap (*Sequential Extraction*). Ekstraksi bertahap dikembangkan oleh Tessier pada tahun 1979 untuk mempartisi partikulat logam yang terdapat dalam lingkungan. Dengan melakukan ekstraksi bertahap dapat diketahui berbagai fraksi logam dalam berbagai jenis ikatannya diantaranya fraksi yaitu fraksi EFLE (*Easily, Freely, Leachable and Exchangeable*), fraksi Fe/Mn oksida atau fraksi *acid reducible*, fraksi *oxidisable* atau fraksi organik dan sulfida serta fraksi *resistant*. Hasil spesiasi logam Pb dan Cd disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Fraksi-fraksi logam Pb dan Cd dalam tanah pertanian kering maupun basah di kedua lokasi (Peguyangan dan Kesiman) sebagian besar berada sebagai fraksi EFLE. Fraksi EFLE atau *acid soluble* merupakan fraksi yang memiliki ikatan yang labil dalam tanah sehingga langsung bioavailabel dan berbahaya bagi lingkungan. Fraksi EFLE terdiri dari logam yang bersifat mudah lepas (*easily*), bebas/biasanya dalam bentuk ion (*freely*), mudah terkikis (*leachable*), dan dapat dipertukarkan (*exchangeable*). sehingga logam dalam fraksi ini mudah terionisasi (Sarkar *et al.*, 2014).

Fraksi Fe/Mn oksida dan fraksi organik/sulfida merupakan fraksi yang berpotensi bioavailabel dan akan menjadi bioavailabel jika air pada tanah mengandung asam/reduktor, sedangkan fraksi *resistant* atau fraksi residu merupakan fraksi non-bioavailabel. Logam Pb dan Cd pada fraksi bioavailabel memiliki ikatan yang lemah dalam tanah sehingga menyebabkan potensi ketersediaannya dalam tanah mampu diserap oleh hayati (organisme dan tanaman).

Fraksi bioavailabel logam Pb pada tanah kering di kedua lokasi Pengambilan sampel (Peguyangan dan Kesiman) berturut-turut sebesar 29,81% dan 59,58%. Hasil tersebut lebih kecil dibandingkan pada tanah basah berturut-turut sebesar 83,66% dan 82,82%. Fraksi bioavailable untuk logam Cd pada tanah kering di kedua lokasi berturut-turut sebesar 49,30% dan 28,62% sedangkan pada tanah basah berturut-turut sebesar 46,99% dan 67,87%.

Logam Pb yang berpotensi bioavailabel pada tanah kering di kedua lokasi berturut-turut sebesar 8,57% dan 2,44% sedangkan pada tanah basah berturut-turut sebesar 9,09% dan 13,96%. Logam Cd yang berpotensi bioavailabel di kedua lokasi berturut-turut yaitu 31,48% dan 48,39% untuk tanah kering dan 40,85% dan 11,36% untuk tanah basah. Logam yang berpotensi bioavailabel dapat menjadi langsung bioavailabel jika kadar bahan organik, pH tanah, KTK (Kapasitas Tukar Kation), dan keadaan oksidasi-reduksi berubah.

Peningkatan pH tanah menyebabkan menurunnya kation-kation logam dalam tanah, sehingga kation logam tersebut akan berubah menjadi bentuk-bentuk hidroksida atau oksida. Berubahnya potensi bioavailabel menjadi langsung bioavailabel menyebabkan ketersediaan logam Pb dan Cd yang mampu diserap hayati (organisme dan tanaman) menjadi semakin besar.

Dengan mengetahui fraksi bioavailabel Pb dan Cd dalam tanah pertanian kering dan basah di daerah Peguyangan dan Kesiman dapat diperkirakan banyaknya logam berat Pb atau Cd yang dapat terserap ke dalam tanaman yang tumbuh di tanah pertanian tersebut. Bioavailabilitas logam dalam tanah pertanian basah di kedua lokasi lebih tinggi dibandingkan dengan tanah pertanian kering. Fraksi bioavailabel kedua logam Pb dan Cd pada tanah pertanian tersebut di atas 50% yang menunjukkan bahwa tanah pertanian tersebut (kering dan basah) telah tercemar dengan tingkat pencemaran yang relatif tinggi. Hal ini disebabkan akibat tingginya aktivitas disekitar pertanian tersebut. Tingginya aktivitas kendaraan bermotor disekitar pertanian serta pemupukan yang dilakukan terus-menerus menyebabkan tingginya kandungan logam Pb dan Cd dalam tanah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Hasil spesiasi dan bioavailabilitas logam Pb dan Cd dalam tanah basah dan kering di daerah Peguyangan dan Kesiman di Denpasar didominasi oleh fraksi EFLE diikuti fraksi resisten (fraksi nonbioavailabel) serta fraksi Fe/Mn oksida dan fraksi organik-sulfida yang berpotensi bioavailable. Fraksi bioavailable logam Pb dan Cd di kedua lokasi berkisar di atas 50% yang menunjukkan bahwa tanah pertanian di kedua lokasi telah tercemar dengan tingkat pencemaran yang relatif tinggi.

Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap akumulasi logam berat dalam tanah pertanian di daerah Denpasar sehingga diketahui tingkat pencemaran akibat logam berat serta korelasi antara bioavailabilitas logam dalam tanah

dengan konsentrasi logam dalam tanaman di daerah pertanian tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada ibu Dra. Iryanti Eka Suprihatin, M.Sc., Ph.D., bapak Drs. I Wayan Suarsa, M.Si., dan bapak Putu Suarya, S.Si., M.Si., yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J., 1995, *Heavy Metals In Soil*, Univ. of Sidney Library, Sydney
- Charlena, 2004, *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-Sayuran*, Program Pasca Sarjana/S3/IPB, Bogor
- Darmono, 1995, *Logam Dalam Sistem Biologi Mahkluk Hidup*, Universitas Indonesia, Jakarta
- Davidson, C.M., Duncan, A.L., D. Littlejohn, A.M. Ure, and L.M. Garden, 1998, A Critical Evaluation of The Three-Stage BCR Sequential Extraction Procedure to Assess The Potential Mobility and Toxicity of Heavy Metals in Industrially-Contaminated Land, *Analitica Chimica Acta*, 393 : 45-55
- Florence, T.M., G.M. Morrison, and J.L. Stauber, 1992, *Determination of Trace Element Speciation and The Role of Speciation in Aquatic Toxicity*, Elsevier Science publishers B.V., Amsterdam, CSIRO Center for Advanced Analytical Chemistry, Australia
- Hardjowigeno, S., Subagyo, H., dan Rayes, M.L., 2004, *Morfologi Dan Klasifikasi Tanah Sawah*, dalam Tanah Sawah Dan Teknologi Pengelolaannya, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor
- Sarkar, S., K. Paulo, J., C. F. Rakshit, D., and Satpathy, K.K., 2014, *Geochemical Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in Soils and Sediments*,

- <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/46033.pdf>, diakses pada 11 Juli 2014
- Siaka M., C. M. Owens, G. F. Birch, 2006, *Evaluation of some digestion methods for the determination of heavy metals in sediment samples by flame-AAS*, [http://193.146.160.29/gtb/sod/usu/\\$UBUG/respositorio/10321028_siaka.pdf](http://193.146.160.29/gtb/sod/usu/$UBUG/respositorio/10321028_siaka.pdf), diakses pada 6 Desember 2013
- Sumarni, Nani, dan Rini Rosliani, 1995, *Efisiensi Pemupukan NPK Pada Sistem Tanam Bawang Merah Dan Cabai*, Balai Penelitian Tanaman Sayuran, Lembang