

Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Bayam Cabut (*Amaranthus tricolor L.*)

Novandi R¹ ; Rita Hayati² , Titin Anita Zahara³

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura, Pontianak

²Program Studi Ilmu Tanah, Universitas Tanjungpura, Pontianak

³Program Studi Kimia, Universitas Tanjungpura, Pontianak

E-mail: novan_robin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pencemaran tanah oleh logam timbal (Pb) merupakan salah satu bentuk pencemaran yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Jumlah logam timbal (Pb) di dalam tanah yang telah melebihi standar baku mutu menyebabkan lingkungan tidak dapat mengadakan pembersihan sendiri (*self purification*), sehingga diperlukan suatu alternatif pengolahan khusus. Salah satunya adalah dengan metode fitoremediasi menggunakan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*). Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji potensi tanaman bayam cabut dalam meremediasi logam Pb dalam tanah serta proses yang terjadi dalam penyerapan tersebut dan seberapa besar kinetika reaksinya. Penelitian ini dilakukan dengan menanam tanaman bayam cabut yang telah disemai selama 2 minggu di tanah dengan rentang pH 6,2-6,9 dan telah tercemar Pb dengan konsentrasi 100 mg/kg. Selanjutnya diukur kadar Pb di dalam tajuk tanaman yang ditanam di tanah tercemar pada hari ke-7, ke-14 dan ke-21 serta tajuk tanaman yang ditanam di tanah tidak tercemar pada hari ke-21. Selain di tajuk, dilakukan juga pengukuran pada akar tanaman yang ditanam di tanah tercemar pada hari ke-21. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai *bioconcentration factor* (BCF) sebesar 0,071 dan *translocation factor* (TF) sebesar 0,12. Nilai tersebut menunjukan bahwa tanaman bayam cabut termasuk dalam akumulator rendah dan proses yang terjadi dalam remediasi adalah fitostabilisasi. Nilai konstanta laju reaksi (*k*) proses remediasi ini adalah sebesar 0,1613 hari⁻¹ dan mengikuti orde 1 yang menunjukan bahwa laju dari reaksi ini bergantung pada konsentrasi reaktan dipangkatkan dengan satu atau laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi pereaksi. Walaupun penyerapan Pb oleh tanaman bayam cabut tergolong rendah, tetapi kondisi tanaman yang secara visual masih sehat dan baik serta pertumbuhannya yang cepat menjadikan tanaman ini masih dapat dipertimbangkan sebagai agen fitoremediasi pencemaran Pb di tanah.

Kata Kunci : Fitoremediasi, logam timbal (Pb), tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*)

ABSTRACT

*Lead (Pb) is one of the heavy metals which is dangerous for living things because it contaminated soils. High contain of lead in soil, will make soil can not do self purification, so we need a treatment method as alternatives. One of the method is phytoremediation that using plants *Amaranthus tricolor L.* . The purpose of this research was to examined the potential *Amaranthus tricolor L.* to remediate lead in soils, the processes in the absorption and to obtain value of reaction kinetics. This research was conducted experimentally with plant *Amaranthus tricolor L.* that have been sown for 2 weeks in soil with range pH 6.2 to 6.9 and has been contaminated Pb with concentration of 100 mg / kg. Then, lead concentrations was measured in the crown (stem and leaves) plants grown in contaminated soil on day 7th, 14th and 21st, and crown (stem and leaves) grown in uncontaminated soil on day 21st. Beside that, in the crown (stem and leaves) plants, also measure the roots of plants grown in contaminated soil on day 21st. Based on the results, the value of bioconcentration factor (BCF) is 0.071 and translocation factor (TF) is 0.12. It shows that pull spinach plants are included in the low accumulator and processes that occur in the remediation is fitostabilisasi. Value of reaction rate constant (k) of this remediation process is at 0.1613 day⁻¹ and follow the orde of 1 which shows that rate of this reaction depends on concentration of the reactants raised to one or the reaction rate is directly proportional to the concentration of reactants. Although absorption of lead by pull spinach plants is low, but the condition of plants are still healthy and good visual, and rapid growth make this plant can still be considered as agents of phytoremediation in lead pollution of soil.*

Key Words : phytoremediation, lead (Pb), *Amaranthus tricolor L.*

1. Pendahuluan

Meningkatnya aktivitas manusia baik industri maupun rumah tangga menyebabkan semakin besarnya volume limbah yang dihasilkan dari waktu ke waktu. Sebagian besar limbah tersebut dibuang langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan. Konskuensinya adalah terjadinya pencemaran yang banyak menimbulkan kerugian bagi manusia dan lingkungan. Salah satu pencemaran yang dapat terjadi adalah pencemaran tanah, dimana keadaan bahan kimia masuk dan merubah keadaan lingkungan tanah alami. Tanah adalah salah satu faktor pendukung penting dalam kehidupan makhluk hidup di bumi ini. Sebagai dasar keberadaan makhluk hidup termasuk manusia, tanah memiliki peran yang penting untuk siklus materi ataupun ekologi. Oleh sebab itu, menjaga kelestarian tanah agar selalu dapat menjalankan fungsinya dengan baik adalah kewajiban penting bagi setiap makhluk hidup. Akan tetapi, sebagaimana halnya pencemaran air dan udara, pencemaran tanah yang disebabkan oleh faktor alam maupun aktivitas manusia sangat sulit dihindari.

Salah satu bahan pencemar yang menjadi indikator untuk mendeteksi terjadinya pencemaran tanah adalah cemaran logam berat di dalamnya. Faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan mudah diabsorpsi. Salah satu logam berat yang dapat berpotensi menjadi racun jika berada dalam tanah dengan konsentrasi berlebih adalah Pb (Timbal). Unsur Pb merupakan kelompok logam berat yang tidak esensial bagi tumbuhan, bahkan dapat mengganggu siklus hara dalam tanah. Unsur Pb sampai saat ini masih dipandang sebagai bahan pencemar yang dapat menimbulkan pencemaran tanah dan lingkungan (Juhaeti dkk, 2004).

Logam timbal (Pb) yang mencemari tanah dapat berasal dari kegiatan industri pembuatan lempengan baterai, aki, bahan peledak, pateri, pembungkus kabel, pigmen, cat anti karat, pelapisan logam, serta penggunaan pupuk fosfat dalam bidang pertanian. Selain itu penggunaan bahan bakar yang mengandung timbal menyebabkan udara tercemar oleh timbal, sehingga secara tidak langsung dapat mencemari tanah, baik melalui proses sedimentasi maupun presipitasi. Adanya polutan berupa logam Pb dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan lingkungan tidak dapat mengadakan pembersihan sendiri (*self purification*). Oleh sebab itu diperlukan suatu metode untuk mengatasi pencemaran Pb ini. Fitoremediasi merupakan salah satu metode yang dapat menjadi pilihan. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Akhir-akhir ini teknik reklamasi dengan fitoremediasi mengalami perkembangan pesat karena terbukti lebih murah dibandingkan metode lainnya (Juhaeti dkk, 2004).

Beberapa tanaman telah teruji potensinya dalam meremediasi logam berat di tanah, diantaranya adalah dari genus *Amaranthus*. Tanaman ini juga dipilih karena mudah tumbuh, didapatkan dan diperbanyak. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji potensi tanaman bayam cabut dalam meremediasi logam Pb dalam tanah serta proses yang terjadi dalam penyerapan tersebut dan seberapa besar kinetika reaksinya.

2. Metodologi Penelitian

a. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 3 bulan di Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. Analisis Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan logam berat timbal (Pb) dalam tanah serta kadar timbal (Pb) tanaman dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri (BARISTAN) Pontianak. Untuk pH tanah diukur di laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura.

b. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah akuades, lempengan logam Pb, bibit tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.), tanah sebagai media tanam, pupuk organik dan kapur dolomit. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor berupa *polybag*, peralatan pembuat limbah buatan seperti tabung reaksi, labu ukur, gelas ukur, pipet ukur, pipet tetes, batang pengaduk dan timbangan analitik. Selain itu, peralatan analisis parameter seperti oven, tanur (*furnace*), timbangan analitik, labu kjeldahl, corong gelas, kertas saring, tabung reaksi, cawan petri, *plate count*, *autoclave*, inkubator, pH meter dan AAS.

c. Metode Penelitian

1. Pembenihan

Tahap pembenihan ini merupakan tahap awal sebagai media pembibitan dan pertumbuhan awal agar diperoleh tanaman yang memiliki umur dan kondisi yang sama. Bibit tanaman bayam yang digunakan adalah bibit tanaman bayam hijau yang telah siap ditanam. Biji disemai pada tanah yang telah ditempatkan pada media tanam berupa bekas gelas-gelas air mineral. Tanaman disiram setiap sore hari. Pembibitan dilakukan selama 14 hari sampai bibit tumbuh dan memiliki akar cukup kuat untuk dipindahkan ke *polybag* yang telah berisi media tanam.

2. Penyiapan Media Tanam

Tanah gambut diambil dari sekitar kompleks Universitas Tanjungpura kemudian tanah dibersihkan dari sisa-sisa akar dan jaringan tanaman yang berukuran besar lalu digerai selama 2 hari. Tanah kemudian ditimbang sebanyak 5 kg, diberi kapur dan dimasukkan ke *polybag*, kemudian diinkubasi selama 2 minggu. Tanah dikapur untuk menaikkan pH tanah gambut. Dosis kapur yang digunakan 100 gr/5 kg tanah (1 *polybag*). Setelah 1 minggu, tanah kemudian diberi pupuk organik sebanyak 500 gr pada masing-masing *polybag* untuk menambah kesuburan tanah. Tanah kemudian diukur

Tanah yang telah diberi kapur dan pupuk kandang kemudian dicemari oleh pencemar buatan Pb dengan konsentrasi 100 ppm. Konsentrasi ini sesuai dengan percobaan yang telah dilakukan oleh Syarifuddin Liong dkk dari Universitas Hasanuddin Makassar. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa pada konsentrasi 100 ppm terjadi serapan puncak logam Pb pada tanaman kangkung darat. Pemberian dilakukan dengan mencampurkan larutan Pb dengan konsentrasi 500 ppm ke dalam 5 kg tanah. Cara pembuatan pencemar logam Pb buatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Pembuatan larutan induk 5000 ppm

Dilarutkan 5 gram logam Pb dalam 30 ml asam nitrat 2 M pada gelas ukur 100 ml, lalu diencerkan dengan aquades. Selanjutnya dimasukkan dalam labu ukur 1000 ml dan ditepatkan volumenya dengan aquades. Larutan induk ini setara dengan 5000 mg/l atau 5000 ppm kadar Pb.

- Pembuatan Larutan Pb 500 ppm.

Larutan induk 5000 ppm dipipet 100 ml kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 ml lalu ditambahkan dengan aquades sampai batas ukur.

Larutan Pb 500 ppm yang telah dibuat kemudian secara merata disiram ke masing-masing *polybag* selama 24 jam agar limbah homogen di dalam tanah. Untuk mencapai kondisi yang optimal selama penelitian, kondisi *polybag* yang digunakan sebagai reaktor proses dilengkapi dengan plastik agar tidak terjadi kebocoran saat dilakukan penyiraman terhadap tumbuhan.

3. Penanaman, Aklimatisasi dan Analisa Parameter

Bibit tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) yang telah tumbuh dan berumur 14 hari kemudian ditanam di dalam beberapa *polybag* yang sebelumnya telah diisi media tanam. Satu *polybag* masing-masing hanya diisi oleh lima tanaman. Pada penelitian ini terdapat 10 tanaman yang ditanam pada tanah yang tidak dicemari logam Pb dan 105 tanaman (21 *polybag*) yang ditanam pada tanah berisi tanah dicemari Pb. bayam. Setiap sore, tanaman disiram dengan akuades untuk menjaga kondisi tanaman tetap segar.

Pada 7 hari pertama dilakukan juga tahap aklimatisasi. Tahap aklimatisasi merupakan upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari tanaman terhadap lingkungan tempat penelitian. Dari tahap aklimatisasi ini diharapkan tanaman yang dipindahkan dari tempat pembenihan dapat tumbuh pada *polybag* yang menjadi media penelitian.

Tanaman bayam yang telah ditanam di dalam media tanah dicemari Pb kemudian dicabut pada hari yang ke-7, hari ke-14, dan hari ke-21 dihitung dari sejak tanaman dipindahkan ke *polybag*. Pada hari ke-7 pencabutan dilakukan dengan mencabut sebanyak 15 tanaman (3 *polybag*) untuk satu sampel pengukuran. Pada hari ke-7 ukuran tanaman masih cukup kecil, sehingga diperlukan cukup banyak tanaman agar dapat diuji kadar timbalnya. Pada hari ke-14 dan ke-21 pencabutan dilakukan dengan mencabut sebanyak 10 tanaman (2 *polybag*) untuk satu sampel pengukuran. Pada masing-masing waktu pencabutan terdapat 3 sampel, sehingga pada hari ke-7 dilakukan pencabutan

sebanyak 45 tanaman (9 *polybag*) dan pada hari ke-14 dan ke-21 sebanyak 30 tanaman (6 *polybag*). Pengukuran kadar Pb pada tanaman yang ditanam pada media tanah yang tidak dicemari logam Pb dilakukan bersamaan pada pencabutan di hari ke-21.

Sampel tanaman yang telah dicabut dicuci dengan akuades terlebih dahulu sebelum dianalisis untuk menghilangkan debu-debu dan kotoran lainnya yang dapat memberikan kesalahan pada hasil analisis. Sampel tanaman tersebut kemudian dipisahkan antara bagian tajuk dan akarnya. Setelah itu sampel tanaman dikeringkan dengan oven pada suhu 70 °C. Sampel yang telah kering kemudian digerus dan dimasukkan kedalam plastik agar tidak terkontaminasi serta diberi nomor urut sesuai dengan nomor percobaan atau perlakuan. Sampel tanaman yang telah siap diuji kemudian didestruksi dengan destruksi basah dan diukur dengan AAS.

d. Variabel atau Data

Variabel atau data yang dikumpulkan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Variabel atau data yang dikumpulkan dari tanah yang digunakan sebagai media tanam dalam penelitian ini, adalah Kadar Pb, pH dan Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah.
2. Variabel atau data yang dikumpulkan untuk setiap tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) yang dicabut dari *polybag* adalah kadar Pb dalam tajuk tanaman pada hari yang ke-7, hari ke-14, dan hari ke-21 dihitung dari sejak tanaman dipindahkan ke *polybag*. Pada setiap waktu pengukuran terdapat 3 variabel pengukuran. Hasil pengukuran pada ketiga variabel tersebut kemudian dirata-ratakan, sehingga variabel atau data yang diperoleh dari proses pengukuran, yaitu :
 - Rata-rata kadar Pb dalam tajuk pada hari ke-7
 - Rata-rata kadar Pb dalam tajuk pada hari ke-14
 - Rata-rata kadar Pb dalam tajuk pada hari ke-21Untuk kadar Pb dalam akar diukur dari sampel akar tanaman pada hari ke-21.
3. Variabel atau data yang dikumpulkan dari *polybag* berisi tanah tidak dicemari logam Pb yang ditanam tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) adalah kadar timbal dalam tajuk tanaman pada hari ke-21.

e. Analisis Akhir

Data-data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan akan dianalisa melalui hal-hal berikut :

1. Potensi tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) dalam meremediasi tanah tercemar logam timbal (Pb) dianalisa dengan menghitung nilai BCF. Nilai BCF menunjukkan perbandingan antara konsentrasi logam berat pada tanaman dengan logam berat dalam tanah (Wei *et al.* dalam hayati 2010). Nilai BCF yang diharapkan > 1. Nilai BCF 1-10 menunjukkan tumbuhan tergolong akumulator tinggi, 0,1-1 menunjukkan tergolong akumulator sedang, 0,01-0,1 menunjukkan tergolong akumulator rendah, dan < 0,01 tanaman tergolong nonakumulator (Malayeri *et al.*, 2008).
2. Proses yang terjadi pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) dalam mengurangi logam timbal (Pb) dianalisa dengan menghitung nilai TF. Nilai TF menunjukkan perbandingan antara konsentrasi logam di tajuk dengan konsentrasi logam di akar (Wei *et al.* dalam hayati 2010). Nilai TF yang diharapkan > 1. Pada tanaman hiperakumulator atau akumulator, nilai TF>1 digunakan untuk tujuan fitoekstraksi, sebaliknya TF<1 sebagai ekskluder (digunakan untuk tujuan fitostabilisasi) (Haque *et al.*, 2008).
3. Besar kinetika reaksi remediasi logam timbal (Pb) pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) dianalisa dengan mengamati kadar Pb dalam tanaman dan menghitung nilai kinetika reaksi penyerapannya dengan menetapkan kinetika reaksi orde 1 atau 2. Orde reaksi ditentukan dengan melihat kelinieritasan kurva yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi linier.

3. Hasil Dan Pembahasan

a. Analisa Pendahuluan

Analisis pendahuluan dilakukan untuk mengetahui karakteristik tanah yang digunakan pada penelitian ini. Karakteristik tanah yang dianalisa pada penelitian ini adalah pH dan Kapasitas Tukar

Kation (KTK) dan kadar logam Pb. Tanah yang akan dianalisa terdiri dari tanah awal atau tanah gambut yang belum mendapatkan perlakuan, tanah setelah mengalami proses pemupukan dan pengapuran serta tanah setelah diberikan limbah buatan Pb dengan konsentrasi 100 mg/kg. Hasil analisa tanah-tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Hasil Analisa Tanah

Tanah	pH	KTK (Meq/100g)	Kadar Pb (mg/kg)
Tanah awal	3,4	62,6	0,463
Tanah setelah pengapuran dan pemupukan	7,3	31,2	3,56
Tanah sesudah dicemari limbah Pb	6,3	26,0	127

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini memiliki pH yang sangat asam, yaitu 3,4. Berdasarkan kriteria unsur hara tanah dari Laboratorium Sentral Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara (USU), nilai pH tersebut termasuk tanah sangat asam (< 4,5). Tingkat kemasaman tanah gambut yang tinggi dipengaruhi oleh keberadaan asam-asam organik di dalamnya. Ion H⁺ dalam tanah gambut berada dalam bentuk gugus fungsional asam-asam organik terutama dalam bentuk gugus karboksilat (-COOH) dan gugus hidroksil dari fenolat (-OH). Gugus tersebut merupakan asam lemah yang dapat terdissosiasi menghasilkan ion H⁺, dan mampu mempertahankan reaksi tanah terhadap perubahan kemasaman tanah (Riwandi, 2001). Tanah yang memiliki pH terlalu asam seperti tanah yang digunakan pada penelitian ini dapat menyebabkan kemampuan akar tanaman dalam menyerap unsur-unsur hara dalam tanah menjadi berkurang. Pada umumnya unsur hara makro mudah diserap akar tanaman pada pH tanah sekitar netral, karena pada pH tersebut kebanyakan unsur hara mudah larut dalam air. Pengapuran merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan nilai pH. Pada penelitian ini dilakukan pemberian kapur dolomit kedalam tanah yang kemudian tanah diinkubasi selama 2 minggu. Setelah masa inkubasi terjadi peningkatan pH yang cukup signifikan, yaitu sebesar 7,3. Nilai pH tersebut termasuk dalam nilai yang tinggi dan bersifat netral. Hal ini terjadi karena unsur Ca dan Mg yang terdapat dalam dolomit melalui reaksi hidrolisis dapat melepaskan ion OH⁻ yang berpengaruh terhadap peningkatan pH tanah. Selain itu pemberian pupuk organik sebagai penambah unsur-unsur hara yang diperlukan oleh tanaman secara tidak langsung juga dapat meningkatkan nilai pH tanah. Nilai pH pupuk organik yang bersifat netral menyebabkan naiknya tingkat kebasahan tanah.

Berdasarkan hasil analisa yang diperoleh tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini memiliki KTK sebesar 62,6 meq/100 g. Berdasarkan kriteria unsur hara tanah dari Laboratorium Sentral Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara (USU), nilai tersebut termasuk KTK sangat tinggi (> 40 meq/100 g). KTK yang tinggi ini dapat disebabkan oleh banyaknya kandungan asam-asam organik pada tanah gambut. Asam-asam organik dengan gugus karboksil (-COOH) dan gugus fenol (-OH) memberikan kontribusi yang besar bagi tingginya nilai KTK tanah gambut. Pemberian kapur dan pupuk menyebabkan nilai KTK tanah turun menjadi 31,2 meq/100 g. Meskipun mengalami penurunan, nilai KTK tanah masih termasuk KTK tinggi (26 -40 meq/100 g) berdasarkan kriteria unsur hara tanah. Nilai KTK tanah setelah diberi pencemar buatan Pb juga mengalami penurunan menjadi 26,00 meq/100 g, tetapi masih masuk dalam kriteria tanah dengan KTK tinggi.

Berdasarkan hasil analisa kadar Pb yang terdapat pada tanah awal dari penelitian ini adalah sebesar 0,463 mg/kg. Kadar Pb ini masih di bawah batas kritis logam berat Pb di dalam tanah. Setelah diberi kapur dolomit dan pupuk organik terjadi peningkatan kadar Pb menjadi 3,56 mg/kg. Peningkatan kadar Pb ini dapat disebabkan oleh kadar Pb dalam pupuk organik dan kapur dolomit. Berdasarkan Alloway dalam Rumanjar 2010, kandungan Pb di dalam pupuk organik dapat mencapai 1,1 – 27 mg/kg dan di dalam kapur dapat mencapai 20- 1250 mg/kg. Namun tanah dengan kadar Pb sebesar 3,56 mg/kg tersebut masih termasuk dalam kriteria tanah tidak tercemar Pb. Pencemar buatan Pb yang diberikan pada penelitian ini adalah Pb dengan konsentrasi 100 mg/kg. Pencemar diberikan dengan mencampurkan tanah sebanyak 5 kg dan larutan Pb dengan konsentrasi 500

mg/kg. Tanah yang telah dicampur dan dihomogenkan kemudian diukur kadar Pb di dalamnya. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh hasil pengukuran sebesar 127 mg/kg. Kadar timbal yang terdapat di dalam tanah yang dicemari ini telah melebihi batas kritis logam berat Pb dalam tanah yang ditetapkan oleh Ministry of State for Population and Enviromental of Indonesia, and Dalhousie, University Canada (1992), yaitu 100 mg/kg.

b. Hasil Pengukuran Kadar Timbal (Pb) dalam Tanaman

Pada penelitian ini tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) ditanam pada media tanah yang dikontaminasi logam timbal (Pb) dengan konsentrasi 100 mg/kg. Selama penelitian dilakukan pengukuran terhadap kadar timbal dalam tajuk tanaman untuk mengetahui kemampuan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) dalam menyerap logam Pb yang ada di dalam tanah. Pencabutan dan pengukuran kadar Pb dalam tanaman dilakukan sebanyak 3 kali selama 3 minggu, yaitu pada hari ke-7, ke-14 dan ke-21 sejak tanaman dipindahkan ke reaktor berupa *polybag*. Pada setiap waktu pengukuran dilakukan pengukuran pada 3 sampel tajuk tanaman. Pada hari ke-7 masing-masing sampel terdiri dari 15 tajuk tanaman, sedangkan pada hari ke-14 dan ke-21 terdiri dari 10 tajuk tanaman. Hasil pengukuran kadar timbal dalam tajuk tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) ditampilkan dalam Tabel 2 :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kadar Timbal dalam Tajuk Tanaman Bayam Cabut

Tanaman	pH Tanah	Kadar Pb dalam Tajuk	Rata-rata Kadar Pb dalam Tajuk Perwaktu Pencabutan
Hari ke-7 B	6,2	< 0,100	< 0,100
Hari ke-7 C	6,4	< 0,100	
Hari ke-14 A	6,4	0,533	0,435
Hari ke-14 B	6,9	0,672	
Hari ke-14 C	6,2	< 0,100	
Hari ke-21 A	6,8	0,945	0,957
Hari ke-21 C	6,5	0,968	

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa kadar logam timbal (Pb) pada tanaman semakin meningkat seiring dengan meningkatnya waktu penanaman. Pada akhir pengamatan tingkat akumulasi logam timbal lebih besar daripada di awal pengamatan. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan pada waktu pengukuran 7 hari telah terjadi penyerapan logam timbal (Pb), tetapi masih dalam kadar yang sangat kecil. Pada waktu pengukuran selanjutnya terjadi peningkatan penyerapan, yang terjadi pada hari ke-14 dan ke-21 hari. Kadar Pb yang terserap oleh tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) pada hari ke-7 sangat kecil yaitu kurang dari 0,100 mg/kg. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran tanaman pada hari ke-7 masih sangat kecil, sehingga kemampuan tajuk tanaman dalam menyerap logam timbal juga masih sangat kecil. Jaringan tanaman yang masih kecil belum bekerja secara maksimal, salah satunya dalam proses penyerapan logam dalam tanah.

Kadar timbal dalam tanaman menunjukkan peningkatan pada hari ke-14 dan ke-21, yaitu sebesar 0,435 mg/kg dan 0,957 mg/kg. Kenaikan konsentrasi disebabkan tanaman bayam masih berada dalam proses pertumbuhan sehingga proses penyerapan dan akumulasi timbal (Pb) masih berlangsung. Pertumbuhan tanaman yang semakin besar menyebabkan sistem kerja dari proses penyerapan juga meningkat. Dari 3 waktu pengukuran yang dilakukan diketahui bahwa penyerapan maksimal terjadi pada hari ke-21. Pada waktu pengukuran tersebut tanaman tidak menunjukan penurunan fisik atau kondisi jenuh.

Pada bagian akar tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) kadar timbal yang terakumulasi lebih banyak daripada bagian tajuk, yaitu sebesar 8,10 mg/kg. Kadar timbal tersebut diukur pada akar tanaman yang berumur 21 hari. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat diketahui total kadar timbal (Pb) yang terakumulasi pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) yang terdiri dari akar dan tajuk dihari maksimal yaitu hari ke-21 sebesar 9,057 mg/kg.

Salah satu mekanisme tanaman dalam mentoleransi toksisitas logam berat adalah melalui fenomena selektifitas serapan ion dari media tumbuhnya (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Penurunan serapan tanaman terhadap logam berat berkenaan dengan 3 hal, yaitu: (1) akibat penurunan kadar fraksi aktif logam berat dalam media tumbuh, atau (2) peningkatan selektifitas tanaman dalam menyerap unsur dari media tumbuh, atau (3) kombinasi keduanya (Alloway, 1995 dalam Hayati, 2010). Dalam penelitian ini sampai hari ke-21 tidak terjadi penurunan serapan logam Pb oleh tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi aktif logam berat dalam media tumbuh belum mengalami penurunan dan tanaman belum mengalami selektifitas yang tinggi dalam menyerap unsur dari media tumbuh.

Hasil pengukuran terhadap tanaman yang ditanam pada media tanah tidak tercemar logam Pb adalah sebesar 0,436 mg/kg. Meskipun tidak diberikan pencemar buatan, tetapi berdasarkan analisa yang dilakukan diketahui bahwa tanah awal yang digunakan telah mengandung Pb sebesar 3,56 mg/kg. Logam Pb inilah yang kemudian diserap oleh tanaman. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan Liong dkk (2010) yang menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi logam Pb di dalam tanah, maka semakin tinggi tingkat penyerapan Pb pada tanaman kangkung. Selain itu, untuk hasil penurunan kadar timbal dalam tanah akhir atau tanah pada hari ke-21 diperoleh nilai sebesar 7,11 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar logam Pb di dalam tanah telah hilang karena terserap oleh tanaman.

Kadar timbal (Pb) di dalam tajuk pada hari ke-21 sebesar 0,957 mg/kg menunjukan bahwa tanaman bayam ini telah melebihi batas maksimum cemaran timbal dalam sayuran berdasarkan SNI 7387:2009, yaitu sebesar 0,5 mg/kg. Oleh sebab itu masyarakat perlu memperhatikan tanah yang digunakan sebagai media tanam sebelum menanam tanaman bayam. Media tanam yang telah tercemar timbal dapat menyebabkan tanaman bayam tercemar dan tidak layak konsumsi.

c. Perhitungan dan Analisis Nilai Bioconcentration Factor (BCF)

Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) pada penelitian ini dihitung dengan membandingkan kadar logam Pb di dalam tanaman dengan kadar Pb di dalam tanah. Kadar logam Pb pada tanaman yang digunakan merupakan kadar Pb yang tertinggi atau maksimal, yaitu pada hari ke-21. Total kadar Pb dalam tanaman merupakan penjumlahan dari kadar Pb dalam tajuk (0,957 mg/kg) dan kadar Pb dalam akar tanaman (8,10 mg/kg), sehingga total kadar Pb dalam tanaman sebesar 9,057 mg/kg. Kadar Pb dalam tanah yang digunakan adalah kadar Pb yang terukur pada tanah setelah pemberian limbah buatan Pb dengan kadar 100 mg/kg, yaitu sebesar 127 mg/kg. Berdasarkan nilai yang diketahui, maka diperoleh hasil perhitungan nilai BCF sebesar 0,071. Nilai tersebut berada pada rentang 0,01 – 0,1 yang menunjukan bahwa tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) termasuk dalam tanaman bersifat akumulator rendah dalam penyerapan logam Pb. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi serapan dan akumulasi logam berat dalam jaringan tanaman, antara lain logam yang diserap, karakteristik tanah dan jenis tanaman yang digunakan. Ketiga faktor tersebut saling mempengaruhi satu sama lain. Timbal (Pb) merupakan logam yang cenderung terakumulasi dan tersedimentasi dalam tanah karena kelarutannya yang rendah dan relatif bebas dari degradasi mikroorganisme (Devies dalam Adelia, 2004). Nilai pH tanah yang tinggi dapat merubah logam timbal menjadi senyawa yang mengendap. Penyerapan timbal oleh tanaman melalui akar hanya terjadi apabila timbal yang terdapat di dalam tanah berbentuk senyawa yang larut air. Dalam penelitian ini pH tanah yang digunakan cukup tinggi, sehingga menyebabkan logam Pb yang terdapat dalam tanah mengendap dan tidak dapat diserap oleh tanaman. Nilai pH tanah yang mendekati netral selama proses penelitian menyebabkan larutan timbal lebih cenderung mengendap dalam tanah daripada terserap oleh akar tanaman.

Tanaman dapat menyerap logam Pb pada saat kondisi kesuburan, kandungan bahan organik dan KTK yang tanah rendah. Pada keadaan ini logam berat Pb akan terlepas dari ikatan tanah dan berupa ion yang bergerak bebas pada larutan tanah. Jika logam lain tidak mampu menghambat keberadaannya, maka akan terjadi serapan Pb oleh akar tanaman (Charlena, 2004). Timbal yang berada di tanah juga hampir selalu terikat kuat oleh bahan organik atau koloid terpresipitasi (Zimdhall dan Koeppe dalam Adelia, 2004). KTK dan bahan organik yang tinggi dalam tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini juga dapat menyebabkan kurangnya tingkat penyerapan Pb dalam tanaman.

Nilai BCF bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) yang tergolong dalam akumulator rendah memang menunjukan kemampuan tanaman bayam dalam menyerap logam Pb rendah. Namun

kondisi tanaman bayam yang secara visual setelah 21 hari ditanam di tanah yang tercemar Pb tidak menunjukkan penurunan kondisi yang signifikan atau belum menunjukkan gejala keracunan maka tanaman ini masih memiliki potensi untuk dijadikan pertimbangan sebagai salah satu fitoremediator dalam mengolah tanah tercemar Pb. Tanaman bayam memiliki ketahanan yang baik terhadap radiasi atau sifat toksik dari logam Pb. Selain itu proses pertumbuhan tanaman bayam yang relatif cepat menjadi kelebihan lain dari tanaman bayam sebagai fitoremediator logam Pb dalam tanah.

Melihat kondisi tanaman yang tidak dapat lagi dikonsumsi, maka setelah polutan terakumulasi dalam tanaman perlu dilakukan pengelolaan khusus terhadap tanaman yang telah digunakan. Mangkoedihardjo dan Samudro (2010) menjelaskan beberapa teknologi potensial yang dapat diterapkan dalam menangani tumbuhan pascaguna pengolahan lingkungan berdasarkan batasan nilai BCF. Teknologi yang dapat diterapkan pada tanaman yang memiliki nilai BCF < 1 seperti pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) ini antara lain teknologi pengomposan, penguraian anaerobik (*digestion*) atau pembakaran skala kecil. Tanaman dengan nilai BCF < 1 memiliki paparan zat toksik yang cukup kecil sehingga masih dapat dimanfaatkan dalam proses pengomposan dan penguraian anaerobik (*digestion*). Proses pembakaran skala kecil yang dilengkapi dengan pencegahan pencemaran udara juga cukup layak digunakan untuk tumbuhan dengan nilai BCF kecil, yaitu BCF < 1.

d. Perhitungan dan Analisis Nilai Translocation Factor (TF)

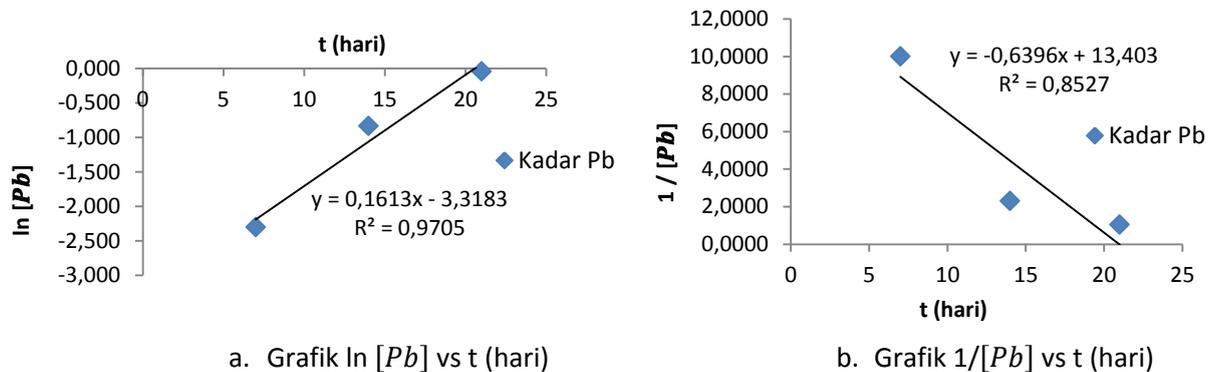
Nilai *translocation factor* (TF) pada penelitian ini dihitung dengan membandingkan kadar logam Pb di dalam tajuk dengan kadar Pb di dalam akar. Kadar logam Pb pada tajuk dan akar yang digunakan merupakan kadar Pb yang tertinggi atau maksimal, yaitu pada hari ke-21. Kadar pada tajuk tanaman pada hari ke-21 adalah sebesar 0,957 mg/kg dan kadar Pb dalam akar pada adalah sebesar 8,10 mg/kg. Berdasarkan nilai yang diketahui, maka diperoleh hasil perhitungan nilai TF sebesar 0,12. Nilai tersebut lebih kecil daripada 1 (<1) sehingga mekanisme atau proses yang terjadi pada penanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) dalam menyerap logam Pb adalah fitostabilisasi. Menurut Pivetz (2001) yang dipublikasikan oleh EPA (Environmental Protection Agency), fitostabilisasi adalah proses penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat (stabil) pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air atau media.

Proses fitostabilisasi yang terjadi dapat disebabkan bagian akar tanaman langsung berhubungan dengan tanah yang tercemar logam Pb. Logam Pb dalam tanah yang diserap oleh tanaman bayam, terlebih dahulu diakumulasi dalam akar sebelum didistribusikan ke batang dan daun. Sel-sel akar tumbuhan umumnya mengandung konsentrasi ion yang lebih tinggi daripada medium disekitarnya (Fitter dan Hay, 1991). Beraneka ragam unsur dapat ditemukan didalam tubuh tumbuhan, tetapi tidak berarti bahwa seluruh unsur-unsur tersebut dibutuhkan tumbuhan untuk kelangsungan hidupnya. Unsur hara dapat kontak dengan permukaan akar melalui 3 cara, yakni : 1) secara difusi dalam larutan tanah; 2) secara pasif oleh aliran tanah, dan 3) akar tumbuh kearah posisi hara dalam matrik tanah. Serapan hara oleh akar dapat bersifat akumulatif, selektif, satu arah (*unit directional*), dan tidak dapat jenuh (Lakitan, 2001).

Pergerakan logam dari akar ke tajuk dipengaruhi oleh sifat logam, artinya setiap logam mempunyai pergerakan berbeda dari akar ke tajuk. Alloway dalam Hayati (2010) mengklasifikasikan unsur Mn, Zn, Cd, B, dan Se sebagai unsur yang cepat pindah atau bergerak ke tajuk tanaman; Ni, Co dan Cu tergolong *intermediate*, Cr, Pb dan Hg tergolong logam yang paling lambat bergerak ke tajuk. Klasifikasi tersebut memperkuat penelitian ini dimana nilai TF tanaman bayam dalam menyerap logam Pb dibawah 1. Selain sifat logam, sifat tanaman turut menentukan pergerakan logam dari akar ke tajuk. Tanaman secara aktif memiliki mekanisme tersendiri untuk mencegah pergerakan unsur dari akar ke tajuk dengan cara mensekuestrasi logam di bagian akar, khususnya di bagian vakuola atau dinding sel (Gupta dan Sinha, 2008). Pernyataan yang sama juga diungkapkan oleh Yoon *et al.*, (2006) yang menyatakan terkadang akar juga mempunyai sistem penghentian transpor logam menuju daun terutama logam non esensial, sehingga ada penumpukkan logam di akar. Logam Pb sebagai salah satu logam non esensial bagi tanaman memiliki kecenderungan ditumpuk oleh akar daripada ditransfer ke bagian tajuk.

e. Kinetika Reaksi Penyerapan Logam Pb Pada Tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*)

Kinetika reaksi adalah cabang ilmu kimia yang mengkaji kecepatan atau laju terjadinya suatu reaksi kimia. Di dalam proses penyerapan logam Pb pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) ini juga terjadi reaksi kimia yang memungkinkan dihitungnya besar kecepatan atau laju dari proses tersebut. Kinetika reaksi orde 1 dapat dihitung dengan memplot nilai $\ln [Pb]$ dan hari pengukuran (t) ke dalam grafik. Kinetika reaksi orde 2 dapat dihitung dengan memplot nilai $\frac{1}{[Pb]}$ dan hari pengukuran (t) ke dalam grafik. Grafik kinetika reaksi orde 1 dan 2 pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 berikut :



Gambar 1. Grafik kinetika reaksi orde 1 (a) dan orde 2 (b)

Berdasarkan Gambar 1 dapat disimpulkan bahwa orde reaksi yang terjadi pada proses penyerapan logam Pb pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) mengikuti kinetika orde 1. Hal ini dapat dilihat dari kelinieritasan kurva yang ditunjukkan oleh koefisien korelasi linier. Nilai koefisien korelasi linier pada kurva orde 1 (0,9705) lebih besar dibandingkan dengan kurva orde 2 (0,8527). Hasil ini juga sesuai dengan pernyataan Mangkoedihardjo dan Samudro (2010) yang menyatakan bahwa waktu remediasi dapat dihitung dengan menetapkan kinetika zat orde 1. Kinetika reaksi yang mengikuti orde 1 menunjukkan bahwa laju dari reaksi ini bergantung pada konsentrasi reaktan dipangkatkan dengan satu atau laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi pereaksi.

Nilai konstanta laju reaksi penyerapan dapat dilihat berdasarkan kemiringan (*slope*) pada persamaan garis lurus yang terbentuk pada orde 1, yaitu sebesar 0,1613 hari⁻¹. Nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh pada penelitian ini merupakan nilai konstanta laju reaksi pada tajuk tanaman. Nilai konstanta laju reaksi (k) ini dapat digunakan untuk menghitung tingkat pencemaran pada waktu tertentu maupun untuk menentukan waktu yang diperlukan untuk menurunkan pencemar pada tingkat tertentu.

c. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Nilai *bioconcentration factor* (BCF) yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebesar 0,071. Nilai tersebut berada pada rentang 0,01 – 0,1 yang menunjukan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) termasuk akumulator rendah dalam meremediasi logam timbal (Pb) yang mencemari tanah yang memiliki pH dengan rentang 6,2 – 6,9. Walaupun penyerapannya tergolong rendah, tetapi kondisi tanaman yang secara visual masih sehat dan baik serta pertumbuhannya yang cepat menjadikan tanaman ini masih dapat dipertimbangkan sebagai agen fitoremediasi pencemaran Pb di tanah. Namun tanaman yang telah digunakan harus diolah lebih lanjut dan tidak disarankan untuk dikonsumsi karena telah melebihi baku mutu yang diizinkan di dalam tanaman pangan.
2. Nilai *translocation factor* (TF) yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebesar 0,12. Nilai tersebut lebih kecil daripada 1 (<1) sehingga mekanisme atau proses yang terjadi pada penyerapan logam Pb pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) adalah fitostabilisasi.

3. Nilai konstanta laju reaksi (k) penyerapan logam timbal (Pb) pada tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor* L.) adalah $0,1613 \text{ hari}^{-1}$ dan mengikuti orde 1. Hal ini menunjukkan bahwa laju dari reaksi ini bergantung pada konsentrasi reaktan dipangkatkan dengan satu atau laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi pereaksi.

d. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini. Kepada ibu Ir. Rita Hayati, M. Si dan ibu Titin Anita Zahara, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing serta kepada ibu Berlian Sitorus, S.Si, M.Si, M.Sc dan ibu Isna Apriani, S.T, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian penelitian ini.

e. Referensi

- Adelia. 2004. *Evaluasi Kadar Ambien Logam Berat Nikel (Ni) Dan Timbal (Pb) Dalam Tanah Sebagai Dasar Penyempurnaan Kriteria Baku Mutu Tanah Di Indonesia*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Charlena. 2004. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) pada Sayur-Sayuran*. http://www.rudyc.com/PPS702_ipb/09145/charlena.pdf. Diakses tanggal 29 November 2011.
- Fitter A.H. dan Hay,R.K.M. 1991. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Gupta, A. K and Sinha, S. 2008. *Decontamination and/or revegetation of fly ash dykes through naturally growing plants, Journal of Hazardous Materials* 153, Page 1078-1084.
- Haque, N., J.R. Peralta-Videa, G.L. Jones, T.E. Gill, and J.L. Gardea-Torresdey. 2008. *Screening the phytoremediation potential of desert broom (Baccharis sarothroides Gray) growing on mine tailings in Arizona, USA. Environmental Pollution* 153:362-368.
- Hayati, Rita. 2010. *Karakterisasi Abu Terbang (Fly Ash) Dan Eksplorasi Vegetasi Fitoremediator di Area Landfill Abu Terbang Untuk Pengelolaan Ramah Lingkungan*. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Juhaeti T, Sharif F, Hidayati N. 2004. *Inventarisasi Tumbuhan Potensial Untuk Fitoremediasi. Jurnal Biodiversitas*. Vol. 6 NO. 1 hal 31-33.
- Lakitan B. 2001. *Dasar –dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Liong, S., Noor, A., Tana, P., Abdullah, A. 2010. *Studi Fitoakumulasi Pb dalam Kangkung Darat (Ipomoea reptans Poir)*. Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Malayeri, B.E., A. Chehregani, N. Yousefi, and B. Lorestani. 2008. *Identification of the hyperaccumulator plants in copper and iron mine in Iran. Pakistan Journal of Biological Sciences* 11: 490-492.
- Mangkoedihardjo, S dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Ministry of State for Population and Enviromental of Indonesia, and Dalhousie, University Canada. 1992. *Environmental Management in Indonesia*. Report of Soil Quality Standars for Indonesia.
- Pivetz, B.E. 2001. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites*. EPA (United States Environmental Protection Agency), Office of Research and Development. pp. 1 – 36.
- Riwandi. 2001. *Kajian Stabilitas Gambut Tropika Indonesia Berdasarkan Analisis Kehilangan Karbon Organik, Sifat Fisiko Kimia dan Komposisi Bahan Gambut*. Tesis. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Rumanjar, Antonius Theodorus, B. 2010. *Penjajakan Kadar Logam Berat Pb Pada Tanaman Kangkung Darat (Ipomea Reptans Poir) Asal Kecamatan Medan Deli dan Kangkung Air (Ipomea Aquatica Forsk) Asal Kecamatan Sunggal Kota Medan*. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- SNI 7387 : 2009 tentang Batasan Maksimum Cemaran Logam Berat Dalam Pangan
- Yoon, J., C. Xinde, Z. Qixing , and L.Q. Ma. 2006. *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. Science of the Total Environment: 456-464*.