

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Logam Berat Pencemar Tanah

Kontaminasi logam berat merupakan masalah paling serius dalam pencemaran tanah. Pencemaran logam berat dihasilkan dari kegiatan manusia seperti pertambangan, pabrik, dan penggunaan produk sintetis seperti baterai, pestisida, cat, dan limbah industri. Meskipun logam berat secara alami sudah ada di dalam tanah, kadar alami tersebut tidak pernah mencapai level toksik. Lokasi yang kemungkinan tanahnya akan tercemar oleh logam berat bervariasi, dari lahan yang menjadi tempat pembuangan limbah industri, penggunaan pestisida berlebihan pada lahan pertanian, area pengolahan limbah, area industri yang mana bahan kimiawi dikubur di dalam tanah. Logam berat pencemaran tanah dapat disebabkan oleh dua jenis ion, yaitu kation dan anion. Logam dalam bentuk kation (bermuatan positif) antara lain adalah Timbal, Kadmium, Timah, Merkuri, Tembaga, Nikel, Seng, Kromium, dan Mangan. Logam berat dalam bentuk anion (bermuatan negatif) biasanya dijumpai bergabung dengan senyawa lain seperti oksigen.

Pembuangan limbah ke tanah bila melebihi kemampuan tanah dalam mengakumulasi limbah akan menimbulkan pencemaran tanah. Jenis limbah yang berpotensi merusak lingkungan hidup adalah limbah yang termasuk dalam kategori beracun dan berbahaya (B3) yang mana di dalamnya mengandung logam-logam berat. Menurut American Geological Institute (1976) logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g cm^{-3} , antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Dalam kadar rendah logam berat pada umumnya sudah beracun bagi tumbuhan dan hewan, termasuk manusia. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam yang beracun bagi makhluk hidup. Pada umumnya kandungan logam berat secara alamiah sangat rendah di dalam tanah, kecuali tanah tersebut berada di daerah pertambangan atau tanah tersebut memang sudah tercemar. Kandungan logam berat yang terdapat di dalam tanah sangat rendah bila tanpa adanya campur tangan kegiatan manusia (pertambangan) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah

| Jenis Logam | Kandungan (Rata-rata) ($\mu\text{g g}^{-1}$) | Kisaran Non populasi |
|-------------|--|----------------------|
| As | 100 | 5-300 |
| Co | 8 | 1-40 |
| Cu | 20 | 2-300 |
| Pb | 10 | 2-200 |

| | | |
|----|------|----------|
| Zn | 50 | 10-300 |
| Cd | 0,06 | 0,05-0,7 |
| Hg | 0,03 | 0,01-0,3 |

Sumber: Alloway (1995)

2.2. Pengaruh Pb terhadap Tanaman

Unsur Pb adalah logam berat yang digolongkan ke dalam logam yang mempunyai sifat toksik yang tinggi (Alloway, 2012). Timbal merupakan logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2. Menurut Palar (2004), logam Pb pada suhu 500-600°C dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO). Penggunaan limbah tercemar Timbal, atau pupuk dalam budidaya pertanian juga dapat menyebabkan keracunan pada tanaman (Patra dan Sharma, 2000). Selain menyebabkan keracunan pada tanaman, Pb juga dapat mencemari udara, air, tanah, hewan, bahkan manusia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pencemaran mengakibatkan menurunnya pertumbuhan dan produksi tanaman serta diikuti dengan gejala yang tampak (*visible symptoms*).

Tanaman yang tumbuh di daerah dengan tingkat pencemaran tinggi dapat mengalami berbagai gangguan pertumbuhan serta rawan akan berbagai penyakit, antara lain klorosis, nekrosis, dan bintik hitam. Partikulat yang terdeposisi di permukaan tanaman dapat menghambat proses fotosintesis (Fatoba and Emem, 2008). Menurut Gothberg (2008), tingginya kandungan Pb pada jaringan tumbuhan menyebabkan berkurangnya kadar klorofil daun, sehingga proses fotosintesis terganggu, selanjutnya berakibat pada hasil produksi yang rendah. Tanaman dapat tercemar logam berat melalui penyerapan akar dari tanah atau melalui stomata daun dari udara. Faktor yang dapat mempengaruhi kadar Timbal dalam tumbuhan yaitu jangka waktu kontak tumbuhan dengan Timbal, kadar timbal dalam perairan, morfologi dan fisiologi serta jenis tumbuhan. Dua jalan masuknya Timbal ke dalam tumbuhan yaitu melalui akar dan daun. Timbal setelah masuk ke dalam tumbuhan akan diikat oleh membran sel, mitokondria, dan kloroplas, sehingga menyebabkan kerusakan fisik. Kerusakan dalam pada tumbuhan dapat berupa penurunan penyerapan air, pertumbuhan yang lambat, atau pembukaan stomata yang tidak sempurna.

Menurut Raymond *et al* (2011), Timbal (Pb) yang diserap oleh tanaman akan memberikan efek buruk apabila kepekatannya berlebihan. Pengaruh yang ditimbulkan antara lain dengan adanya penurunan pertumbuhan dan produktivitas tanaman serta kematian. Penurunan pertumbuhan dan produktivitas pada kebanyakan kasus menyebabkan tanaman menjadi kerdil dan klorosis. Kepekaan logam berat pada daun memperlihatkan batas

toksisitas terhadap tanaman yang berbeda-beda. Toksisitas Timbal menyebabkan suatu mekanisme yang melibatkan klorofil.

Penelitian Sembiring dan Sulistyawati (2006), menunjukkan terjadi penurunan kadar klorofil pada daun *Swietenia macrophylla* yang terjadi bersamaan dengan peningkatan kadar Pb. Perubahan kandungan klorofil akibat meningkatnya konsentrasi Pb terkait dengan rusaknya struktur kloroplas. Pembentukan struktur kloroplas sangat dipengaruhi oleh nutrisi mineral Mg dan Fe. Masuknya logam berat secara berlebihan dalam tumbuhan, misalnya logam berat Pb akan mengurangi asupan Mg dan Fe sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah kloroplas (Alloway, 2012).

Pencemaran logam berat pada tanah dapat diminimalisir dengan proses fitoremediasi, yaitu proses biologis yang menggunakan tumbuhan dan organisme untuk mengurangi polutan logam berat di tanah yang terkontaminasi (Alloway, 2012). Menurut Raymond (2011), Timbal memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Memiliki titik leleh sebesar 1740°C dan memiliki massa jenis $11,34\text{ g/cm}^3$
2. Timbal (Pb) mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal
3. Timbal (Pb) merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk
4. Dapat membentuk alloy dengan logam lainnya, dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat berbeda dengan Timbal (Pb) yang murni
5. Densitas Timbal (Pb) lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri

2.3. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat

Berbagai teknologi remediasi yang sering digunakan mulai dari vitrifikasi insitu dan penimbunan tanah, pencucian tanah, penggelontoran tanah dengan air, dan solidifikasi serta stabilisasi dengan elektrokinetik (Glass, 2000). Teknologi tersebut lebih cocok untuk daerah yang sudah tercemar. Metode konvensional tersebut juga dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan sangat mahal bila diterapkan pada wilayah yang luas (Raskin dan Ensley, 2000). Biaya yang tinggi dalam penggunaan teknologi tersebut akan sulit terpenuhi oleh negara-negara berkembang seperti Indonesia.

Dengan memperhatikan kondisi alam dan meluasnya kontaminasi logam berat, serta mahalnya biaya yang diperlukan untuk remediasi, beberapa tahun terakhir ini telah dikembangkan teknologi bioremediasi (melibatkan mikroorganisme) dan fitoremediasi (melibatkan tanaman) untuk digunakan sebagai upaya remediasi tanah dan air yang tercemar

limbah organik dan anorganik dengan biaya yang relatif murah dan ramah lingkungan (Pilon-Smits, 2005). Fitoremediasi juga merupakan teknologi penambah penghasilan, terutama jika unsur logam yang diserap dari tanah dapat digunakan sebagai “bio-ore” diekstrak sebagai logam berharga, yakni phytomining (Angle *et al.*, 2000), dan energi dapat dihasilkan dari pembakaran biomassa tanaman (Li *et al.*, 2003). Fitoremediasi terdiri atas empat jenis teknologi berbasis tanaman, yakni :

1. Rhizofiltrasi; melibatkan penggunaan tanaman, terutama tanaman perairan, untuk menyerap logam dan bahan pencemar lain dalam lingkungan perairan (Kumar and Chandra, 2004; Liao dan Chang, 2004);
2. Fitostabilisasi; melibatkan penggunaan tanaman untuk stabilisasi dan reklamasi wilayah daratan yang tercemar (Berti dan Cunningham, 2000);
3. Fitovolatilisasi; melibatkan penggunaan tanaman untuk menyerap unsur beracun dan kemudian mengkonversi dan melepaskannya dalam bentuk kurang beracun ke atmosfer (Meagher *et al.*, 2000; Rugh, 2004);
4. Fitoekstraksi; penggunaan tanaman untuk menyerap unsur logam dan bahan pencemar lain dari tanah (Chandra *et al.*, 2005). Fitoekstraksi merupakan metode yang paling banyak digunakan jika tanaman yang digunakan dapat mentranslokasi unsur logam ke dalam tajuk tanaman dan unsur logam tersebut dapat dipanen melalui teknologi phytomining.

Semua teknik fitoremediasi paling baik diterapkan pada wilayah yang tingkat pencemarannya rendah sampai dengan sedang (Glass, 2000). Selain itu kedalaman tanah yang harus dibersihkan ditentukan oleh kemampuan dan penyebaran akar tanaman, yang berkisar dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter. Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi sebaiknya tanaman lokal di sekitar lokasi yang tercemar, karena jenis tanaman tersebut telah teradaptasi dengan kondisi tercemar (Wolfe and Bjornstad, 2002). Keberhasilan fitoekstraksi bergantung pada berbagai karakteristik tanaman, diantaranya adalah kemampuan tanaman dalam menyerap sejumlah besar unsur logam dalam waktu yang cepat (Pilon-Smits, 2005). Tanaman untuk fitoekstraksi harus mampu tumbuh di luar area asalnya, mempunyai sistem perakaran yang stabil, dan mampu mengangkut unsur logam ke dalam tajuknya (Thangavel dan Subhram, 2004).

2.4. Tanaman Akumulator Pb

Beberapa spesies tanaman memiliki potensi toleran terhadap Timbal (Pb), baik tanaman darat ataupun tanaman akuatik (air) diyakini mampu mengakumulasi Pb. Tanaman akuatik (air) seperti *Azolla pinnata*, genjer, dan *Mikania cordata* dikatakan mampu menyerap logam berat Timbal (Pb) dari lingkungan tercemar, kemampuan ini sekarang digunakan

dalam beberapa konstruksi lahan basah dan mungkin menjadi efektif dalam menghilangkan beberapa logam berat dari air. Sedangkan beberapa tanaman darat juga mampu menurunkan (detoksifikasi) atau akumulasi Pb seperti tanaman bayam (*Amaranthus sp.*) yang mampu menyerap Pb dengan konsentrasi di akar $137,18 \text{ mg kg}^{-1}$, di batang $88,61 \text{ mg kg}^{-1}$ dan di daun $35,52 \text{ mg kg}^{-1}$ (Irwan, 2008). Menurut Henny (2013), kandungan logam berat Timbal (Pb) pada tanaman hortikultura di Sentra Hortikultura daerah Bedugul yaitu tanaman kol dan seledri masing-masing sebesar $1,9244 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $13,4905 \text{ mg kg}^{-1}$. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Henny (2013), pada tanaman wortel yang dapat menyerap Pb sebesar $14,7970 \text{ mg kg}^{-1}$.

Tanaman yang termasuk kedalam famili *Brassicaceae* (kubis-kubisan) juga sering digunakan sebagai tanaman akumulator Pb, seperti tanaman *B. juncea*, *B. oleraceae*, dan *B. rapa*. Hasil penelitian yang dilakukan oleh kumar (2006), menyatakan bahwa Pb dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman *Brassica juncea* dalam hal panjang akar, tinggi tunas, dan jumlah biomassa, *B. juncea* dapat mengakumulasi Pb sebesar $9,01 \text{ mg kg}^{-1}$ pada bagian akar dan $93,64 \text{ mg kg}^{-1}$ di bagian tunas pada saat tanah tercemar Pb sebesar 500 mg kg^{-1} . Lain halnya dengan tanaman *B. oleraceae*, dalam penelitian yang dilakukan Sekara (2005) menyatakan bahwa, *B. oleraceae* dapat mengakumulasi Pb di daun sebesar $11,60 \text{ mg kg}^{-1}$. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan Deni *et al* (2013), tanaman *B. rapa* ditemukan mengandung Pb sebesar $51,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

2.5. Karakteristik Tanaman

2.5.1. *Brassica oleracea*



Gambar 1. *Brassica oleracea*

Tanaman *Brassica oleraceae* Var. *acephala* atau tanaman Kailan termasuk tanaman yang masuk dalam famili *Brassicaceae*. Tanaman Kailan yang dibudidayakan umumnya tumbuh semusim (annual) ataupun dwimusim (biennial) yang berbentuk perdu. Sistem perakaran relatif dangkal, yakni menembus kedalaman tanah antara 20-30 cm. Batang tanaman Kailan umumnya pendek dan banyak mengandung air (herbaceous). Disekeliling batang hingga titik tumbuh terdapat tangkai daun yang bertangkai pendek (Rukmana, 2007).

Umumnya bunga berwarna kuning namun ada pula yang berwarna putih. Bunganya terdapat dalam tandan yang muncul dari ujung batang atau tunas. Kailan berbunga sempurna dengan enam benang sari yang terdapat dalam dua lingkaran. Empat benang sari dalam lingkaran dalam, sisanya dalam lingkaran luar (Sunarjono, 2003).

2.5.2. *Brassica juncea* L.



Gambar 2. Tanaman *Brassica juncea* L.

Sawi Hijau atau mustar India (*Brassica juncea* (L.)) banyak dibudidayakan di India dan wilayah Asia lainnya. Jenis sawi ini relatif lebih tahan kekeringan daripada jenis-jenis *Brassica* lainnya. Sawi Hijau adalah hasil persilangan alami dua spesies antara *Brassica rapa* dan *Brassica nigra*. Tanaman Sawi Hijau berakar serabut yang tumbuh dan berkembang secara menyebar ke semua arah di sekitar permukaan tanah, perakarannya sangat dangkal pada kedalaman sekitar 5 cm. Tanaman ini tidak memiliki akar tunggang. Perakaran tanaman Sawi Hijau. dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada tanah yang gembur, subur, tanah mudah menyerap air, dan kedalaman tanah cukup dalam (Cahyono, 2003). Batang sawi pendek dan beruas-ruas, sehingga hampir tidak terlihat. Batang ini berfungsi sebagai alat pembentuk dan penopang daun (Rukmana, 2007).

2.5.3. *Brassica rapa* L.



Gambar 3. *Brassica rapa* L.

Brassica rapa L. atau Sawi Pak Coy merupakan salah satu jenis kelompok sayuran sawi yang telah dibudidayakan sejak abad ke-5. Tanaman ini merupakan salah satu sayuran penting Asia, khususnya di Cina. Tanaman ini memiliki daun yang bertangkai, daun berbentuk agak oval berwarna hijau tua dan mengkilap, tidak membentuk kepala, tumbuh agak tegak atau setengah mendatar. Tangkai daun berwarna putih atau hijau muda, gemuk, dan tinggi tanaman dapat mencapai 15-30 cm. Pada kelompok ini terdapat keragaman morfologis dan periode kematangan pada berbagai kultivar. Salah satunya adalah kultivar tipe kerdil dengan ciri-ciri bentuk daun warna hijau pudar dan ungu yang berbeda-beda.

Brassica rapa L. kurang peka terhadap suhu dibandingkan dengan sawi putih sehingga tanaman ini memiliki adaptasi yang lebih luas. Tanaman ini ditanam dengan benih langsung atau dipindah-tanam dengan kerapatan tinggi umumnya berkisar antara 20-25 tanaman/m², sedangkan kultivar kerdil ditanam dua kali lebih rapat. Kultivar umur genjah matang pada umur 40 hari dan kultivar lainnya memerlukan waktu hingga 80 hari setelah tanam. Kualitas dari tanaman ini akan cepat menurun jika tanaman dibiarkan lewat umur matangnya. *Brassica rapa* L memiliki umur pasca panen yang singkat, tetapi kualitas produknya dapat dipertahankan selama sekitar 10 hari pada suhu 0°C dan RH 95% (Rukmana, 2007).