

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Fitoremediasi

Konsep fitoremediasi pertama kali diperkenalkan pada tahun 1980an dari kemampuan beberapa jenis tumbuhan dalam menimbun logam berat pada jaringan vegetatif atau organ tumbuhan (Maestri dan Marmioli, 2011). Fitoremediasi merupakan metode yang menggunakan tanaman untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan bahan pencemar baik berupa senyawa organik maupun anorganik. Teknologi ini menggunakan tanaman yang dimodifikasi secara alami dan secara genetik untuk meremediasi kontaminan seperti logam dari tanah, sedimen, atau air (Padmavathiamma dan Li, 2007; Paz-Alberto. 2013). Kontaminan yang dapat remediasi antara lain seperti Ar and Cr (Kalve et al.,2011; Vithanage, 2012), Cd dan Pb (Varun et al., 2015; Liu et al.,2008), Ni and Mn (Dongalar et al., 2012), Cd (Baudhdh and Singh, 2012; Huang, 2011), Hg and Pb (Kumar et al., 2017), Pb (Malar et al., 2014; Mani et al., 2015) dan Cd, As, Pb, Cu dan Zn (Tshewang et al., 2010). Aplikasi fitoremediasi di lapangan memadukan berbagai jenis tumbuhan dengan karakteristik yang berbeda (Hidayati, 2013).

Kemampuan tanaman mengambil nutrisi mineral dari tanah dapat dimanfaatkan dalam mengembangkan teknologi fitoremediasi untuk mengurangi dampak toksistas logam berat di tanah (Tangahu et al., 2011). Tanaman dapat

mengatasi kontaminan melalui beberapa proses seperti adsorpsi, transpor dan translokasi, hiperakumulasi atau transformasi dan mineralisasi (Pandey et al, 2014), dengan demikian, perlindungan sumber daya tanah dari kerusakan lebih lanjut melalui fitoremediasi berkelanjutan dari tanah yang terkontaminasi logam berat sangat diperlukan (Kuppens et al.,2014; Nie at al.,2010).

Kelebihan penggunaan tumbuhan dalam perbaikan lingkungan yang tercemar antara lain dalam hal efektivitas dalam pengurangan kontaminan, dapat diterapkan pada areal yang luas, dan mudah dirawat. Pada proses fotosintesis energi cahaya matahari digunakan untuk aktivitas pembersihan, peningkatan kualitas udara dan air disekitar area fitoremediasi, selain itu dapat meningkatkan estetika lahan yang terkontaminasi serta biaya rendah (Rakhshae, et al., 2009). Kelebihan lainnya adalah pertumbuhan dan perkembangan tanaman mudah dimonitor dan tidak merusak lingkungan (Tangahu et al., 2011), pertumbuhannya cepat dengan produksi biomassa tinggi, ramah lingkungan serta lebih ekonomis (Van Aken, 2009; Ali et al., 2013; Pandey et al, 2012). Efisien (Pandey, 2012; Zhang et al., 2012; Sinha *et al.*, 2013) dan hemat biaya (Santriyana,2013; Kumar, 2013).

Beberapa keterbatasan fitoremediasi yaitu: memerlukan waktu yang lama untuk meremediasi daerah terkontaminasi, keterbatasan lokasi karena hanya daerah yang terjangkau oleh akar tanaman (Karami dan Syamsuddin, 2010; Mukhopadhyay dan Maiti, 2010; Naees et al., 2011; Ramamurthy dan Memarian, (2012). Efisiensi fitoremediasi dibatasi oleh tingkat pertumbuhan yang lambat dan biomassa rendah, masuknya kontaminan ke dalam hewan dari tanaman

melalui rantai makanan (Naess, 2011; Ramamurthy and Memarian, 2012; Pandey et al, 2014). Manfaat tambahan fitoremediasi adalah penyerapan karbon, peningkatan kualitas, konservasi keanekaragaman hayati (Pandey, 2013).

Berbagai tumbuhan memiliki potensi sebagai fitoremediator, tetapi berbeda kemampuannya dalam mengakumulasi dan menyerap logam berat (Nouri et al., 2009). Perbedaan dilihat dari arsitektur akar, penggunaan efisiensi air, bahan kimia di rizosfer, ekspresi dan aktivitas protein transport membran pada permukaan akar, pengangkutan logam oleh xylem dan translokasi dalam tanaman (Elekes, 2014). Umur dan tahap pertumbuhan tanaman dapat mempengaruhi konsentrasi logam pada tanaman (Nouri et al., 2009). Salah satu syarat untuk dapat menjadi fitoremediator adalah memiliki kemampuan menyerap kontaminan, menyimpannya di dalam jaringan organ tanaman dan menstabilisasi kontaminan (Gupta, et al., 2013). Logam berat diakumulasi di dalam organ tanaman seperti daun, batang, bunga, buah dan akar (Sewalem et al., 2014).

1. Mekanisme Fitoremediasi

Mekanisme fitoremediasi logam berat pada tanah yang terkontaminasi (Gambar 2.1) adalah sebagai berikut:

a. Fitoekstraksi

Fitoekstraksi merupakan metode menghilangkan kontaminan dari tanah tanpa mempengaruhi sifat tanah, dimana pada proses tersebut penyerapan atau pengambilan kontaminan dilakukan oleh akar tanaman, kemudian kontaminan di translokasikan ke organ di bagian atas seperti pucuk, bunga dan daun melalui jaringan pembuluh xylem (Rafati et al., 2011). Beberapa penelitian melaporkan

bahwa fitoekstraksi merupakan teknologi pemulihan tanah yang terkontaminasi logam (Sheoran et al.,2011; Liu et al.,2010; Mangkoediharjo dan Surahmaida 2008).

Tanaman untuk fitoekstraksi harus dapat menyerap, menstranslokasikan dan mengakumulasi logam berat dengan konsentrasi tinggi di dalam daun serta tajuk, pertumbuhan tanaman cepat serta mempunyai biomassa tinggi (Zacchini et al.,2009; Tangahu et al., 2011). Fitoremediasi mampu mengurangi kontaminan berupa logam, senyawa anorganik dan radionukleotida di dalam sedimen, lumpur dan tanah (Tangahu et al.,2011). Tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*) bersifat fitoekstraksi karena dapat mengurangi kandungan radionuklida seperti radioaktif Cesium-137 dan strontium 90. Keberhasilan tanaman yang bersifat fitoekstraksi dipengaruhi oleh tanah, logam dan tanaman dan juga tergantung iklim.

b. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi, penggunaan tanaman untuk mengurangi ketersediaan hayati kontaminan di lingkungan dan mentransformasikan kontaminan menjadi senyawa yang tidak berbahaya serta mengurangi resiko degradasi lingkungan yang lebih parah (Singh, 2012). Fitostabilisasi merupakan pendekatan invasif sederhana, hemat biaya untuk menstabilkan dan mengurangi bioavailabilitas kontaminan dengan menggunakan tanaman. Fitostabilisasi menggunakan akar tanaman untuk membatasi mobilitas dan bioavailabilitas kontaminan di dalam tanah (Jadia dan Fulekar, 2009). Transformasi senyawa toksik dari kontaminan

akan tetap berada di dalam tanah (EPA, 2000), menghasilkan senyawa kimia tertentu yang dapat mengimobilisasi kontaminan di daerah perakaran (Tangahu et al., 2011). Fitostabilisasi efektif mengurangi logam seperti Pb, Ar, Cr, Cu dan Zn (Jadia dan Fuleker, 2009 Kumar et al., 2014), meliputi proses penyerapan, persipitasi, kompleksitas serta pengurangan logam (Wuana and Okieimen, 2011). Proses fitostabilisasi tidak menghilangkan kontaminan logam, melainkan untuk menstabilkan dengan akumulasi akar di dalam perakaran, serta mengurangi resiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Tanah yang tercemar oleh logam berat kekurangan penutup vegetasi, karena logam berat terkena oleh "*leaching*" dan erosi tanah (Vangronsveld et al., 2009). Menurut Kumar et al., (2014) bahwa fitostabilisasi bermanfaat sebagai penutup vegetasi yang menggunakan tanaman toleran logam, dimana tanaman dapat mengurangi "*leaching*" logam dengan mereduksi tingkat oksidasi logam yang larut menjadi tidak larut di daerah perakaran. Tanaman yang digunakan untuk fitostabilisasi mampu menyerap kontaminan, pertumbuhan akar cepat serta tidak mentranslokasikan dan mengakumulasi ke organ lain di atas tanah (EPA, 2000). Tanaman *B. juncea* sangat baik untuk fitostabilisasi Cu dan Cr (Stephen et al., 2013), sedangkan tanaman bunga matahari dapat memulihkan tanah Cd terkontaminasi melalui fitostabilisasi (Sewalem Nasser et al., 2014).

c. Fitofiltrasi

Fitofiltrasi adalah penghilangan kontaminan dari kontaminasi air permukaan atau air limbah oleh tanaman (Mukhopadhyay dan Maiti, 2010). Fitofiltrasi dapat berupa rhizofiltrasi dan caulofiltrasi (Padmavathiamma and Li, 2007).

Kontaminan diserap atau teradsorpsi dengan demikian gerakan kontaminan diminimalkan dalam fitofiltrasi, sedangkan *rhizofiltrasi* penyerapan kontaminan logam dari substrat dengan konsentrasi rendah, melalui proses rhizofiltrasi akar akan menyerap kontaminan dalam larutan tanah disekitar perakaran (Fulekar, 2009). Proses tersebut digunakan untuk menyerap logam, hara yang berlebih serta kontaminan radionuklida di dalam air limbah, air permukaan dan air tanah.

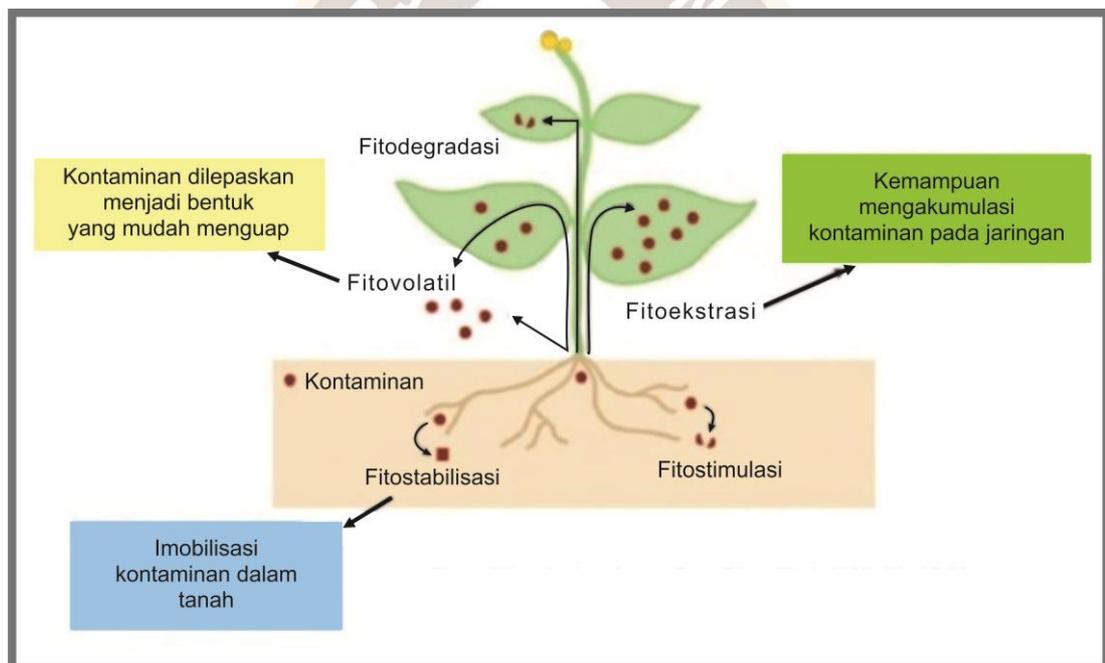
Eksudat akar dan perubahan pH pada daerah perakaran dapat menyebabkan logam menjadi mengendap ke permukaan akar. Tanaman untuk fitofiltrasi harus mengakumulasi logam hanya pada akar, mampu mentolerir sejumlah besar logam target, menghasilkan sejumlah besar biomassa akar atau luas permukaan akar. Translokasi logam ke tunas menurunkan efisiensi rhizofiltrasi (Padmavathiamma and Li, 2007).

d. Fitovolatilisasi

Fitovolatilisasi merupakan kemampuan tanaman untuk menyerap dan kemudian menguapkan kontaminan melalui transpirasi ke atmosfer, kontaminan sebelum dilepas melalui daun terlebih dahulu mengalami degradasi (Mwegola, 2008; Karami dan Shamsuddin, 2010). Fitovolatilisasi berlaku untuk kontaminan logam dalam air tanah, tanah, sedimen, dan air limbah (Tangahu et al., 2011). Logam toksik seperti Hg, As dan Se dapat dibiometilisasi menjadi molekul yang mudah menguap sehingga dapat lepas ke atmosfer (Padmavathiamma and Li, 2007). *Tanaman tembakau mampu menguapkan metal merkuri (Mukhopadhyay dan Maiti 2010).*

2. Kinerja Fitoremediasi

Tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap logam namun, beberapa tanaman dapat mengakumulasi logam 100 kali lebih banyak dari rata-rata tanaman dalam kondisi yang sama, tanpa menunjukkan gejala toksisitas. Kriteria tanaman hiperakumulator adalah (i) kemampuan akumulasi, (ii) kemampuan toleransi, (iii) efisiensi penyisihan (RE) berdasarkan biomassa tanaman, (iv) faktor biokonsentrasi (BCF) dan (v) faktor translokasi (TF).



Gambar 2.1. Fitoremediasi logam berat dalam tumbuhan (Pilon-Smits,2005)

Kemampuan tanaman mengakumulasi logam di atas konsentrasi ambang batas Cd lebih besar dari 100 mg.kg^{-1} , Pb, Cu, Co dan Cr lebih 1000 mg kg^{-1} , Hg sebesar 10 mg.kg^{-1} serta Ni dan Zn sebesar 10000 mg.kg^{-1} berat kering tunas.

Kemampuan toleransi adalah kemampuan tanaman tumbuh di tempat yang terkontaminasi logam berat dan memiliki toleransi yang dapat dikurangi terhadap logam berat tanpa menunjukkan efek balik, seperti klorosis, nekrosis, warna coklat keputihan, atau pengurangan biomassa di atas tanah. Efisiensi pelepasan berdasarkan biomassa tanaman adalah konsentrasi total logam dan biomassa kering tanaman terhadap logam total yang dalam media pertumbuhan (Soleimani et al., 2010). Faktor biokonsentrasi atau bioakumulasi menunjukkan efisiensi tanaman mengakumulasi logam ke dalam jaringan dari lingkungan sekitarnya (Ladislas et al., 2012; Ahmadpour et al., 2012). Faktor translokasi (TF) merupakan kemampuan akar tanaman menyerap logam berat dan mentranslokasikan ke organ bagian atas.

Kinerja fitoremediasi ditentukan berdasarkan kemampuan tanaman mengakumulasi kontaminan dalam organ tanaman apakah termasuk akumulator atau hiperakumulator ditentukan oleh faktor bioakumulasi (BAF) dan faktor translokasi (TF) (Ahmadpour et al., 2012).

$$\text{BAF} = \frac{\text{Konsentrasi logam dalam akar/batang } (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})}{\text{Konsentrasi logam di tanah } (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})} \times 100$$

$$\text{TF} = \frac{\text{Konsentrasi logam di pucuk } (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})}{\text{Konsentrasi logam di akar } (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})} \times 100$$

Nilai faktor translokasi lebih besar dari 1 menunjukkan translokasi logam dari akar ke bagian organ di atas tanah (Jamil et al., 2009). Spesies tanaman dengan nilai BAF dan TF lebih besar dari 1 memiliki potensi untuk digunakan untuk fitoekstraksi akumulator sedangkan BAF lebih dari 10 termasuk tanaman hiperakumulator. Nilai BAF semakin besar, maka kemampuan tanaman mengakumulasi logam semakin tinggi, sehingga fitoremediasi semakin efisien (Branzini and Zubillaga, 2013). BAF dapat juga digunakan untuk mengukur perbedaan relatif dalam bioavailabilitas logam berat ke tanaman (Naseem et al., 2009).

3. Mekanisme penyerapan logam berat oleh Tumbuhan

Mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman (Priyanto dan Prayitno, 2007) sebagai berikut :

a. Penyerapan oleh akar

Akar menyerap logam apabila logam larut dalam larutan di sekitar perakaran. Senyawa yang terlarut akan diserap akar bersama dengan penyerapan air, sedangkan senyawa yang hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Translokasi logam berat dari larutan tanah sampai ke vakuola dikendalikan oleh berbagai molekul (Hazrat et al., 2013). Tanaman membentuk enzim reduktase pada membran akar pada saat menyerap logam berat, enzim reduktase ini berfungsi mereduksi logam berat yang selanjutnya diangkut melalui mekanisme khusus di daerah membran akar.

b. Translokasi logam ke bagian organ di atas tanah

Logam yang diserap akar dan masuk ke dalam sel akar selanjutnya ditranslokasikan ke bagian lain melalui jaringan pembuluh (xylem) baik secara apoplast maupun simplast. Logam yang dapat melalui jaringan endodermis akar selanjutnya menuju bagian atas mengikuti aliran transpirasi melalui jaringan, terutama melalui pembuluh xylem (Jabeen et al, 2009; Saxena and Misra 2010) dan selanjutnya dibawa keseluruh bagian tumbuhan oleh floem di mana logam disimpan di vakuola.

c. Lokalisasi logam pada sel dan jaringan.

Sebagian besar logam berat disimpan dalam vakuola, hal ini menjaga agar logam tidak menghambat proses metabolisme. Tanaman mencegah toksisitas logam terhadap sel dengan mendetoksifikasi logam dan menimbun logam dalam organ tertentu seperti akar. Vakuola adalah organel seluler dengan aktivitas metabolisme rendah, penyerapan logam berat di vakuola merupakan salah satu untuk menghilangkan ion logam berlebih dari sitosol dan dapat mengurangi interaksi mereka dengan proses metabolisme sel (Sheoran et al., 2011). Kompartementalisasi kompleks logam di vakuola merupakan bagian dari mekanisme toleransi logam.

Tanaman akan menyerap timbal di tanah dengan kondisi kandungan bahan organik dan kesuburan tanah rendah (Hidayati, 2013). Hal ini terjadi karena pada keadaan tersebut timbal akan terlepas dari ikatan tanah dan berupa ion yang dapat larut dalam larutan tanah. Timbal mempunyai daya larut dan daya translokasi yang rendah dari akar sampai organ di atas tanah, sehingga timbal

banyak diakumulasi di akar (Arshad et al., 2008; Zaire et al., 2010). Proses penyerapan logam timbal dari akar tanaman menuju bagian atas tanaman membentuk senyawa kompleks sehingga timbal akan terbawa menuju jaringan tumbuhan (Thakur. 2016).

Penyerapan logam timbal oleh akar melalui jalur apoplastik atau saluran permeabel Ca^{2+} . Mekanisme serapan timbal di tanah oleh tanaman dipengaruhi oleh spesies tanaman, pH tanah, ukuran partikel tanah, kapasitas pertukaran kation, daerah permukaan akar, dan eksudat akar. Timbal terakumulasi dalam sel akar, karena penyerapannya di hambat oleh pita caspari yang terdapat dalam endodermis. Akumulasi timbal pada vakuola dan kortek akar dengan pembentukan kompleks (Kopittke et al., 2007), imobilisasi oleh pektin bermuatan negatif dalam dinding sel (Islam et al., 2007; Kopitte et al., 2007). Akumulasi dalam membran plasma (Islam et al., 2007; Jiang dan Liu, 2010), berikatan dengan fitokelatin, glutation, dan asam amino (Yadav, 2010), pengendapan garam timah yang tidak larut dalam ruang antar sel (Kopitte et al., 2007) dan sintesis organik "*osmolytes*" (Islam et al., 2007).

B. Sifat Fisika dan Kimia Tanah

Sifat fisika tanah berpengaruh terhadap bagaimana tanah berperan dan dikelola. Sifat fisik tanah yang menentukan kesuburan tanah antara lain tekstur, permeabilitas serta porositas bobot isi (Laghlimi et al., 2015). Sifat fisik tanah juga berperan dalam pertumbuhan tanaman dan akiran air. Tekstur tanah mencerminkan distribusi ukuran partikel tanah dan isi dari partikel halus seperti

oksida dan tanah liat (Sherene, T. 2010) distribusi ukuran partikel dapat mempengaruhi tingkat kontaminasi logam di tanah. Partikel halus (<100 um) yang lebih reaktif dan memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dari bahan kasar, akibatnya, fraksi halus tanah yang sering berisi kontaminan. Dilaporkan bahwa tanah bertekstur halus mengandung timbal (3889 mg.kg^{-1}) dan tanah bertekstur kasar mengandung timbal sekitar 530 mg.kg^{-1} (Sherene, T. 2010).

Bobot isi dipengaruhi oleh stuktur tanah dan dapat menunjukkan tingkat kepadatan tanah. Bobot tanah rendah maka terjadi stress air kecil karena air tanah dimanfaatkan oleh tanaman (Laghlimi et al., 2015), sedangkan bobot tanah besar maka sulit untuk meneruskan air atau akar akan sulit menembus tanah (Hardjowigewno, 2007). Bobot tanah menentukan kemampuan tanah dalam menunjang struktur tanah, pergerakan larutan dan air tanah, serta aerasi (USDA, 2008). Penambahan bahan organik menurunkan bobot isi karena massa padatan tanah menjadi lebih ringan akibatnya nilai berat isi tanah semakin rendah.

Porositas tanah dipengaruhi oleh struktur, tekstur dan bahan organik. Pori tanah terdiri dari pori makro yang berisi udara atau air gravitasi serta pori mikro yang berisi air kapiler (Hardjowigeno, 2007). Besarnya porositas tanah ditentukan oleh kerapatan massa dan kerapatan partikel tanah sehingga mempengaruhi laju permeabilitas. Semakin besar porositas tanah maka laju permeabilitas juga besar begitu juga sebaliknya (Siregar. 2013).

Permeabilitas tanah dipengaruhi oleh sifat fisik tanah menentukan kecepatan pergerakan air, gas dan akar dalam menembus partikel tanah. Siregar (2013) menyatakan bahwa permeabilitas tanah mempengaruhi penetrasi akar, laju

penetrasi air, laju absorpsi air, drainase serta pencucian unsur hara. Laju permeabilitas yang baik untuk kesuburan tanah berkisar antara 2.0 – 6.4 cm/jam (Balittanah 2015).

Sifat kimia tanah yang menentukan kesuburan tanah antara lain pH tanah, bahan organik, kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, kandungan N, P, K serta rasio C/N. Kapasitas tukar kation (KTK) kemampuan suatu tanah untuk mempertahankan ion logam yang berhubungan erat dengan kesuburan tanah. Tanah liat yang mengandung bahan organik tinggi menyebabkan nilai KTK tinggi daripada tanah berpasir yang mengandung bahan organik rendah (Fijalkowski et al., 2012). Tanah yang mengandung bahan organik tinggi memiliki aktifitas tinggi terhadap logam berat sehingga ketersediaan logam berat berkurang (Olaniran et al., 2013). Nilai KTK tanah semakin tinggi, maka penyerapan dan immobilisasi logam semakin besar. Nilai KTK tanah ditentukan oleh reaksi tanah, tekstur tanah, jenis mineral, bahan organik, pengapuran serta pemupukan (Sherene et al., 2010).

Derajat keasaman (pH) tanah berpengaruh terhadap kesediaan hayati logam dalam tanah. Konsentrasi logam berat dalam tanah dapat ditingkatkan dengan menurunkan pH tanah. Nilai jumlah H^+ meningkat dan kapasitas tukar kation antara logam berat dan tanah H^+ teradsorpsi pada permukaan partikel tanah. Di dalam tanah ion OH^- jumlahnya berbanding terbalik dengan banyaknya H^+ (Fijalkowski et al., 2012). pH tanah dipengaruhi oleh kejenuhan basa, sifat koloid tanah serta jenis kation yang terjerap dalam tanah. Naiknya pH tanah menyebabkan naiknya muatan tanah, sehingga memperbesar muatan negatif

akibatnya banyak kation yang diserap (Elekes et al., 2014). Penurunan pH bisa mematahkan pelarutan-presipitasi keseimbangan antara ion logam berat dan meningkatkan pelepasan logam berat ke larutan tanah (Song et al., 2015).

Ketersediaan hayati logam berat dipengaruhi oleh pH yang berpengaruh terhadap penyerapan kontaminan senyawa anorganik, maupun organik dan logam berat yang terionisasi (Singh dan Kalamdhad, 2013). Konsentrasi logam berat dalam larutan tanah dapat ditingkatkan dengan menurunkan pH tanah, dalam pH rendah logam berat dapat diserap oleh tanaman karena logam berat larut dalam larutan tanah. Penurunan pH mematahkan pelarutan-presipitasi keseimbangan antara ion logam berat dan meningkatkan pelepasan logam berat ke larutan tanah (Song et al., 2015; Wang et al., 2007). Tanah di daerah tropis mengandung liat rendah yang didominasi oleh oksida dan hidroksida Fe dan Al, dimana ciri yang berbeda tersebut mengakibatkan perbedaan ketersediaan hayati logam berat pada tanah.

Bahan organik tanah menentukan interaksi antara komponen abiotik dan biotik ekosistem tanah. Tanah dengan bahan organik memiliki afinitas tinggi untuk kation logam karena adanya ligan atau gugus yang mengkelat logam. pH meningkat gugus karboksil, fenolik, alkohol, dan gugus fungsional karbonil dalam bahan organik akan terurai, sehingga meningkatkan afinitas ion ligan (Sheoran et al., 2016). Keberadaan bahan organik meningkatkan pertukaran kation, mempertahankan unsur hara untuk proses asimilasi oleh tanaman dan meminimalkan penyerapan logam berat oleh tanaman (Fijalkowski et al., 2010).

C. Karakteristik dan Toksisitas Timbal Terhadap Organisme

Sumber alami timbal terdapat dalam kerak bumi dan tersebar di alam melalui letusan gunung berapi dan proses geokimia (Wuana dan Okiemen, 2011; Parizanganeh et al., 2012). Sumber timbal akibat aktivitas manusia di antaranya pembakaran bahan tambahan pada bahan bakar kendaraan bermotor dan industri. Industri yang berpotensi sebagai sumber pencemaran timbal antara lain pengecoran, baterai, bahan bakar, kabel dan industri kimia yang menggunakan pewarnaan (Srivastava et al., 2015). Timbal sangat beracun di lingkungan bagi tanaman, hewan, dan manusia (Zhou et al., 2014; Tamura et al., 2005) yang masuk melalui air, makanan, dan udara. Timbal dapat merusak sistem organ apabila terakumulasi dalam jaringan dan sel dalam tubuh dalam waktu yang lama dan tidak mengalami biodegradasi (Pehlivan et al., 2009).

Timbal secara alami terdapat pada tanah pertanian, namun konsentrasinya meningkat akibat penggunaan pupuk anorganik, pestisida anorganik, polusi udara dan penggunaan kotoran hewan (Nagajyoti et al., 2010; Srivastava et al., 2015). Tanah terkontaminasi dengan timbal dari beberapa sumber yaitu knalpot mobil, debu, dan gas dari berbagai sumber industri, timbal terakumulasi di atas 8 inci dari tanah dan sangat tidak bergerak. Kontaminasi jangka panjang tanpa tindakan perbaikan, tingkat timbal pada tanah yang tinggi tidak akan kembali normal (Tagahu et al., 2011). Timbal dapat terakumulasi dalam rantai makanan melalui penyerapan oleh tanaman sebagai produser kemudian berpindah ke tingkat konsumen (Mangkoediharjo, 2008).

1. Karakteristik Timbal

Timbal dalam sistem periodik merupakan kelompok logam golongan IV dengan nomor atom 82, berat atom 207.19 dengan berat jenis 11.34, titik leleh 327.5°C dan titik didih pada tekanan atmosfer 174°C . Timbal merupakan logam lunak berwarna abu-abu kebiruan serta mudah dimurnikan. Timbal mempunyai titik lebur rendah, mudah dibentuk serta memiliki sifat kimia aktif sehingga dapat digunakan untuk melapisi logam agar tidak berkarat, sebagian besar garam anorganik timbal sukar larut dalam air (Pehlivan et al., 2009; Akeel, 2016).

Senyawa organik seperti timbal tetraetil, dimana toksisitas dan efek lingkungan sangat penting karena penggunaan luas dan distribusi timbal "tetraethyl" sebagai aditif bensin. Secara alami timbal banyak ditemukan dalam batuan dan lapisan kerak bumi. Timbal memiliki 2 valensi yaitu $+2$ dan $+4$ timbal valensi 2 merupakan bentuk dominan dari ion timbal sedangkan timbal valensi 4 cenderung membentuk ikatan kovalen tetraetil Pb. Tetrametil timbal digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan oktan pada bahan bakar (Wuana, 2011).

Timbal memiliki isotop ^{240}Pb (1.4%), ^{206}Pb (24.15%), ^{207}Pb (22.1%), ^{208}Pb (52.4%) yang bersifat radiogenik dimana merupakan hasil akhir dari pemutusan rantai kompleks. Timbal beracun dalam bentuk timbal karbonat, timbal tetraoksida, timbal monoksida, timbal sulfida dan timbal asetat merupakan penyebab keracunan yang sering terjadi.

2. Toksisitas Timbal pada Tanaman

Tanaman menyerap timbal dan mengakumulasi dalam jaringan tanaman karena tidak dimetabolisme (Pezzarossa et al., 2011), menginduksi berbagai efek toksik terhadap kehidupan organisme baik morfologis, fisiologis dan biokimia. Timbal menghambat pertumbuhan tanaman, pemanjangan akar, perkecambahan benih, pengembangan bibit, transpirasi, produksi klorofil, organisasi lamelar di kloroplas dan pembelahan sel (Sharma dan Dubey, 2005; Gupta et al., 2010). Toksisitas menyebabkan klorosis pada daun dan batang kangkung serta nekrosis karena penyerapan unsur Mg dan Fe terhambat dengan adanya Pb (Widowati, 2011).

Keberadaan timbal menyebabkan fitotoksisitas dengan mengubah permeabilitas membran sel yang bereaksi dengan gugus aktif dengan enzim yang terlibat dalam metabolisme dan mereaksikan dengan gugus fosfat ADP atau ATP dengan mengganti ion penting. Toksisitas timbal menyebabkan penghambatan produksi ATP, peroksidasi lipid (kerusakan oksidatif dari minyak dan lemak yang mengandung ikatan karbon rangkap) dan kerusakan DNA dengan produksi reaktif oksigen spesies (ROS) (Yadav, 2010). Respon fisiologis dapat dilihat dari kadar klorofil sedangkan respon enzimatis dilihat dari aktivitas enzim peroksidase (Novita dan Purwanto, 2012).

Sebagian besar timbal diakumulasi oleh organ tanaman, yaitu akar, umbi, daun, batang, buah. Akumulasi timbal di dalam daun bersifat racun terutama pada saat fotosintesis dimana sintesis klorofil terhambat, mitosis, penyerapan air dan sintesis enzim antioksidan (Hidayati, 2013). Umumnya kandungan timbal pada

jaringan tanaman adalah sekitar 10 mg.g^{-1} , tetapi tumbuhan hiperakumulator mengakumulasi timbal pada tajuk sedikitnya 1000 mg.g^{-1} , kisaran logam timbal pada jaringan tanaman normal sekitar $3\text{--}20 \text{ mg/kg}$. Konsentrasi timbal dalam tanaman lebih dari 100 mg.kg^{-1} , berakibat toksik terhadap proses fotosintesis dan pertumbuhan. Batas maksimum timbal pada buah dan sayur serta hasil olahannya sebesar 0.5 mg.kg^{-1} (SNI 2009).

Akumulasi timbal dalam akar ditemukan pada dinding sel dan cekaman timbal menyebabkan menurunnya produktivitas tanaman (Sharma & Dubey 2005; Yadav.2010). Penimbunan timbal menyebabkan penurunan pertumbuhan akar, hilangnya dominansi apikal (Ghelich et al.2013), Petrescu et al., (2011) menyebutkan bahwa banyaknya kandungan timbal dalam media tanam berbanding lurus dengan lambatnya pertumbuhan tanaman *Lycopersicum esculentum* L. Toksisitas Pb pada tanaman adalah penghambatan terhadap pertumbuhan akar, karena penghambatan pembelahan sel terjadi di ujung akar. Pb menyebabkan penghambatan pembelahan sel di akar beberapa spesies tanaman, antara lain *Triticuma estivum* (Kauretal, 2013), Psium sativum (Maleckaetal, 2009), dan *Sedium alfredii* (Gupta et al., 2010), penurunan panjang akar dan biomassa massa. Malar et al. (2014) menyatakan bahwa cekaman timbal dapat menyebabkan gangguan pada tanaman, seperti terhambatnya pertumbuhan dan stres tanaman pada level tertentu. Toksisitas timbal pada sel menyebabkan aberasi kromosom yang dapat menimbulkan mutasi sel pada *Lathyrus sativus* (Kumar dan Tripathi, 2008). Timbal bukan merupakan nutrisi penting untuk tanaman, sebagian besar timbal di translokasikan ke bagian organ lain

3. Toksisitas Timbal pada Manusia

Logam timbal merupakan elemen yang tidak berfungsi dalam metabolisme dalam tubuh manusia, timbal berbahaya setelah penyerapan dari makanan, udara, atau air. Timbal bersifat toksik apabila terhirup dan di dalam tubuh akan beredar melalui aliran darah. Sumber yang paling serius dari paparan timbal melalui konsumsi langsung (makan) dari makanan, minuman, atau debu yang terkontaminasi (Nagajyoti 2010).

Timbal berbahaya pada semua sistem tubuh yang menyebabkan kerusakan dengan menginduksi stres oksidatif. Paparan timbal berdampak negatif pada kecerdasan (Iglesias et al., 2011). Keracunan timah mempengaruhi otak, dengan gejala yang sama seperti penyalahgunaan narkoba (Manto, 2012). Paparan ringan timbal dapat menyebabkan tekanan darah meningkat, penurunan fungsi saraf (Jennings, 2013) bahkan menyebabkan pengaruh neurologis dan perkembangan fisik pada bayi (ATSDR, 2007), paparan timbal tinggi dapat menyebabkan kerusakan ginjal, peningkatan tekanan darah (Zeqiri, 2012) keguguran, kerusakan otak yang parah, dan akhirnya kematian. Bayi dan anak-anak lebih rentan keracunan timbal, sehingga memicu dampak terhadap perkembangan mental. Kelainan fungsi otak terjadi akibat timbal secara kompetitif menggantikan peran mineral utama seperti seng, tembaga, dan besi yang mengatur fungsi sistem saraf pusat (Mason, 2014).

D. Mekanisme dan Toleransi Tanaman Terhadap Timbal

Respon tumbuhan terhadap logam berat dengan cara penghindaran, detoksifikasi dan toleransi biokimia (Sharma dan Dubey 2005). Penghindaran terhadap timbal dengan cara pengeluaran logam melalui absorpsi elemen tertentu, penyimpanan timbal di dalam akar, yang mencegah translokasi logam ke bagian atas dan imobilisasi logam dalam dinding sel. Perlindungan tanaman terhadap toksisitas logam berat dalam sel melibatkan sintesis fikokelatin (PC), peptida dan asam organik, fenol (Kumar et al., 2014). Kelat logam dalam sitosol merupakan mekanisme yang penting dari detoksifikasi dan toleransi logam berat. Toleransi biokimia dalam mempertahankan sel terhadap logam berat dengan pengembangan enzim yang toleran terhadap logam berat, mekanisme homeostatis yang mengatur ion-ion logam di dalam sel, induksi "*heat shock protein*" (Mudipalli, 2008).

Setiap tanaman berbeda menanggapi toksisitas timbal dalam penyerapan selektif, pengikatan Pb di permukaan akar, dan pembentukan antioksidan (prolin, glutathione, sistein, asam askorbat) dan enzim antioksidan (peroksidase, superoksida dismutase, katalase, askorbat peroksidase dan glutathion reduktase (Gupta et al., 2009). Enzim antioksidan sebagai sistem pertahanan penting dari stres oksidatif tanaman yang disebabkan oleh logam (Beladi Mahtab et al., 2011). Antioksidan dan enzim yang melindungi tanaman dari kerusakan oksidatif, aktivitas gabungan dari SOD, POX dan CAT diperlukan untuk perlindungan terhadap efek racun dari spesies oksigen aktif (ROS). ROS adalah senyawa beracun yang dihasilkan dari metabolisme aerob selama transfer elektron yang berlangsung di mitokondria, kloroplas dan peroksisom.

Logam berat menyebabkan stres oksidatif (Mudipalli, 2008) dengan pembentukan radikal bebas. Stres oksidatif meningkatkan reaktif oksigen spesies (ROS), sebagai pertahanan antioksidan sel dan dapat menyebabkan kerusakan membran DNA, membran sel atau kematian (Krystofova et al, 2009; Sánchez et al., 2009). Ketika keseimbangan redoks sel terganggu maka dapat mempengaruhi metabolisme tanaman. Sel tanaman di bawah stress logam berat memiliki sejumlah enzim antioksidan dan metabolit yang mempertahankan kontrol ROS yang didistribusikan dalam sitoplasma dan organel dengan metabolisme oksidatif. Superoksida dismutase (SOD), askorbat peroksidase (APX), katalase (CAT), monodehydroascorbate reduktase (MDHAR), glutathione dehidrogenase (askorbat) dan glutathione reduktase (GR) adalah enzim-enzim yang berperan dalam keseimbangan redoks sel.

Cekaman atau stress logam berat di lingkungan menyebabkan peningkatan radikal, sehingga merusak berbagai enzim yang berakibat menurunnya jumlah protein pada organ tanaman. Tanaman mengembangkan mekanisme pertahanan antioksidan untuk mengurangi dampak berbahaya dari radikal bebas, yang terdiri dari antioksidan enzimatik seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), askorbat peroksidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), dan glutathione reductase (GRX)) dan antioksidan non enzimatik seperti askorbat (AsA), glutathione (GSH), karotenoid, alkaloid, tokoferol, prolin, dan senyawa fenolik yang bertindak sebagai pengikat radikal bebas (Beladi et al., 2011).

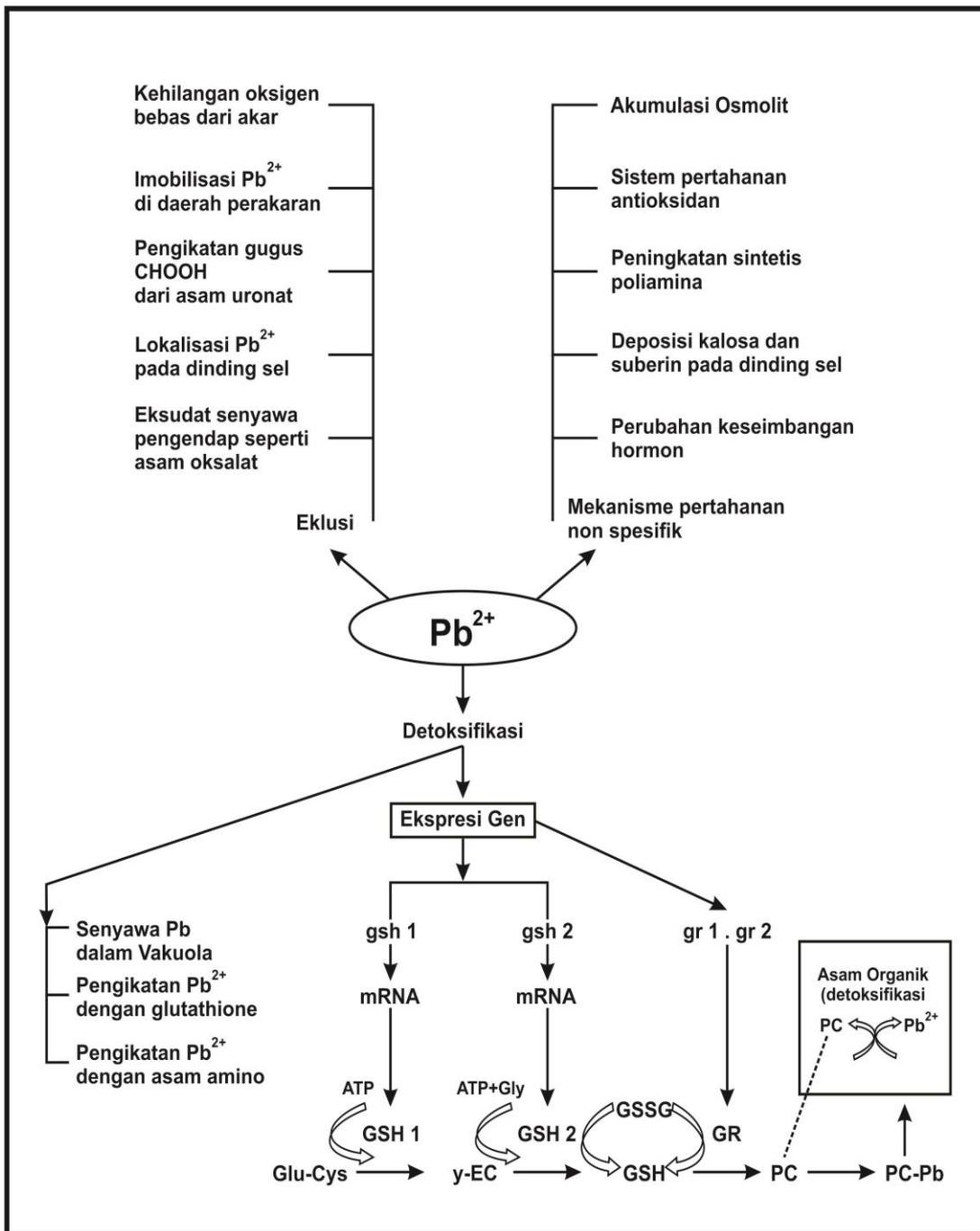
Gambar 2.2. menjelaskan respon tanaman terhadap kadar toksik timbal meliputi eksklusi, detoksifikasi dan sistem pertahanan non-spesifik. Pengeluaran

kapasitas tanaman terkait dengan kehilangan oksigen bebas dari akar, efisiensi imobil logam di daerah perakaran, lokalisasi timbal di dalam dinding sel, mengikat gugus –COOH dari asam uronat dan sintesis dan sekresi oksalat yang mengendapkan pb dengan demikian mengurangi penyerapannya oleh akar.

Toleransi logam dan kemampuan eksklusi logam dari tanaman terkait dengan kemampuan translokasi oksigen dan oksigen bebas dari akar menghasilkan kemampuan modifikasi yang besar di daerah perakaran dan melokalisasi timbal di dalam dinding sel akar. Mekanisme detoksifikasi termasuk seskustrasi Pb dalam vakuola dengan bentuk kompleks, Pb berikatan dengan glutathion, asam amino, fikokelatin. Sintesis fikokelatin (PCs) di dalam vakuola menurunkan glutathion sel dan meningkatkan aktivitas glitamil sistein sintetase (GSH1), glutathion sintetase (GSH 2) serta glutathion reduktase (GR) peningkatan enzim tersebut berkorelasi dengan peningkatan gen gsh 1, gsh 2 dan gr1 dan gr 2.

Sistem pertahanan non spesifik diaktifkan pada saat tanaman terpapar timbal di antaranya sintesis osmolytes seperti prolin dan poliamina, mengubah komposisi kimia dinding sel dengan adanya suberin dan kalose serta perubahan keseimbangan hormon etilen dan ABA. Prolin mengurangi efek toksisitas logam di dalam sel.

SEKOLAH PASCASARJANA



Gambar 2.2. Respon tanaman terhadap toksisitas Pb (Sharma dan Dubey, 2005)

E. Tanaman Hias

Tanaman hias merupakan tanaman yang ditanam untuk tujuan dekoratif dengan berbagai bentuk, ukuran, dan warna yang cocok untuk beragam iklim, lanskap, dan karakteristik berkebun yang diinginkan (bunga, daun, aroma, tekstur dedaunan keseluruhan, buah, batang dan kulit kayu, dan bentuk estetika). Tanaman hias secara luas terdiri dari berbagai jenis tanaman, dari herba hingga berkayu, rendah hingga tinggi, dan tanaman air hingga terestrial (Liu et al. 2007; Dobres 2011). Dibedakan dari jenis lain yang dilaporkan tanaman remediasi, beberapa tanaman hias dapat mempercantik lingkungan sekaligus memperbaiki tanah yang terkontaminasi khususnya di daerah perkotaan (Han et al. 2007; Sun et al. 2011; Wang et al. 2012; Cui et al. 2013; Selamat et al. 2014; Ramana et al., 2015). Manfaat ekonomi dan ekologi secara optimal dapat diharapkan dengan penerapan tanaman hias untuk fitoremediasi tanah tercemar. Kawasan tercemar dapat dikembangkan untuk ekowisata dengan menanam tanaman hias untuk menjaga keindahan estetika lahan. Setelah budidaya buatan, tanaman hias juga bisa dijual sebagai tanaman hias, yang akan menghasilkan manfaat ekonomi dan yang akan menghasilkan manfaat ekonomi dan menghemat sejumlah besar biaya pembuangan akhir (Liu et al. 2006)

Tanaman hias digunakan untuk lansekap dan didistribusikan secara luas di lingkungan perkotaan dan pinggiran kota seperti taman, rumah dan kantor interior, taman umum, lapangan atletik, pinggir jalan. Fungsi ekologis dari tanaman hias, mempunyai kemampuan dalam menyerap CO₂ dan menghasilkan O₂, selain itu beberapa tanaman hias mampu menyerap zat-zat kontaminan baik dari udara,

tanah dan air. Syarat tanaman hias harus memiliki bentuk yang indah, warna dan pola. Hal ini tidak hanya bunga yang bisa digunakan sebagai hiasan, tapi juga daun, buah, batang dan bahkan aroma spesifik yang membuatnya menjadi istimewa.

Berbagai penelitian fitoremediasi dengan tanaman hias daun di antaranya *Cordyline fruticosa* (hanjuang), *Excoecaria cochinchinensis* (Haryanti et al., 2013), *Sansevieria trifasciata* (lidah mertua), (Haryanti et al., 2013; Sidauruk, 2015). Tanaman puring (*Codiaeum variegatum*) (Pangesti, 2012; Sidauruk, 2015; Kurniawati, 2016), *Diffenbachia sp*, *Chrysalidocarpus lutescens*, dan *Dracaena fragrans* (Sidauruk, 2015). Tanaman hias air di antaranya *Nelumbo nucifera* (teratai) (Kumar et al., 2008), *Typha latifolia* (Tiwari et al., 2008).

Tanaman hias bunga meliputi *Helianthus annuus* (bunga matahari (Johnson et al., 2009; Jadia C., 2009; Kumar, 2013), *Hemidesmus indicus*, *Euphorbia cheiradenia* (Chehregani and Ma-laye., 2007). Tanaman *Catharanthus roseus* (tapak dara) (Subhashini, 2013), *Impatiens balsamina* (pacar air), *Calendula officinalis* dan *Althaea rosea* (Liu et al., 2008). *Quamolit pennata*, *Antirrhinum majus* L dan *Celosia cristata pyramidalis* (Cui et al, 2013), *Dahlia pinnata* Shivhare L, 2012; Arisusanti, 2013), *Celosia cristata*, *Tagetes patula* (Chatterjee et al. 2012). *Ixora* bunga merah dan kuning sebagai bioindikator kualitas udara perkotaan (Enete et a., 2012) berdasarkan Indeks Toleransi Polusi Udara (APTI).

Karakter umum tanaman hias di dalam ruangan dan di luar ruangan secara umum serupa dimana tanaman mempunyai tajuk rimbun, daun tidak gugur serta tinggi (Iwan 2011). Karakter khusus tanaman yang mempunyai kemampuan

tinggi dalam menyerap kontaminan memiliki bulu halus pada daun, permukaan daun kasar, daun bersisik, tepi daun bergerigi, daun berbentuk jarum serta permukaan daun yang lengket efektif dalam menyerap kontaminan (Nahed et al., 2015).

1. Tanaman Hanjuang (*Cordyline fruticosa*)

Cordyline fruticosa tersebar luas di Himalaya-Indonesia, di Asia-Perancis Polynesia, Hawaii dan Selendia Baru, merupakan tumbuhan eksotik di Eropa. Tanaman hanjuang biasa di tanam sebagai tanaman hias, di taman, sebagai tanaman pembatas di perkebunan teh. *Cordyline fruticosa* tumbuh di dataran rendah sampai ketinggian 1.900 m dpl (Whistler and Arthur, 2000). Budidaya Hanjuang dengan stek batang dan kultur jaringan (Tui et al., 2006). Biasanya terkait erat dengan pemukiman dan di kebun yang dijadikan pagar. Perbanyak dengan biji dan stek batang atau rimpang. *Cordyline fruticosa* merupakan tumbuhan monokotil dengan penebalan sekunder pada batang dan rimpang (Simpson, 2000). Hal ini memungkinkan tanaman untuk tumbuh setinggi 3-4 m. *Cordyline fruticosa* sering digunakan dalam upacara keagamaan (Kawte et al., 2014).

Hasil penelitian Novi et al.,(2019) menunjukkan bahwa Hanjuang mampu mengakumulasi logam Cd dimana akumulasi Cd di akar lebih besar dibandingkan organ lain,



Gambar 2.3. Hanjuang (*Cordyline fruticosa*)

sedangkan penelitian Ni wayan dan Arifin (2018) menunjukkan bahwa Hanjuang memiliki respon pertumbuhan yang baik terhadap bahan pencemar Pb karena memiliki kemampuan dalam menyerap Pb tanpa mempengaruhi pertumbuhan.

Batang memiliki sekelompok daun berbentuk kipas di ujungnya. Setiap helai daun memiliki panjang sekitar 0,5 m pada tangkai yang agak lebih pendek. Batang terhubung di bawah tanah dengan rimpang berdaging tebal yang tumbuh secara vertikal atau miring ke bawah. Rimpang menyimpan gula dalam bentuk fruktosa (Hinkle, 2005). Bentuk batang bulat, keras, bekas dudukan daun nampak jelas, bercabang dan berwarna kecoklatan. Berdaun tunggal dengan warna hijau, ada juga merah kecoklatan, daun berbentuk lancet dengan panjang 30-50 cm dengan lebar 5-10 cm. Ujung dan pangkal daun berbentuk runcing, tepi daun rata, letak daun terutama di ujung batang dengan susunan seperti spiral (Dalimartha, 2006). Akar berbentuk serabut, berwarna putih kekuningan. Perbungaan terminal terdiri dari malai bercabang sekitar 20-40 cm dengan banyak bunga kecil berwarna putih hingga merah. Bunga banyak, tidak bertangkai pada cabang ramping terkulai, dari kuncup keputihan sempit panjang 0,5 inci (13 mm), enam benang sari kuning menyebar di tenggorokan, dan putik putih dengan ovarium tiga sel dan gaya ramping. Buah *Cordyline fruticosa* termasuk buah beri merah bulat berdiameter sekitar 8 mm, disesuaikan untuk penyebaran burung, dan mengandung banyak biji. Buah (berry) berwarna kuning, berubah menjadi merah cerah dengan biji sedikit hitam mengkilat. Budidaya Hanjuang dengan stek batang dan kultur jaringan (Tui et al., 2006).

2. Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum* L.)

Codiaeum variegatum termasuk anggota famili Euphorbiaceae (El-Quesni et al., 2016), lebih dari 200 kultivar *Codiaeum variegatum* ada di seluruh dunia, dengan ukuran daun, bentuk dan pola warna yang berbeda (Sana et al., 2012).

Parameter daun secara tradisional digunakan untuk identifikasi dan klasifikasi kultivar *Codiaeum variegatum*. Brown (1995)

mengkategorikan kultivar ke dalam sembilan kelompok berdasarkan jenis daun: daun lebar, daun oak, daun semi-oak, daun spiral, daun sempit, daun sangat sempit, daun kecil, daun terputus dan daun recurved (Mollick et al., 2011).

Codiaeum variegatum merupakan semak bercabang banyak atau pohon kecil setinggi 6 m. Panjang daun tangkai daun 1-1,5 cm (Mollick et al., 2011). Helaian daun 10–45 × 1,5–10 cm, bentuknya sangat bervariasi, permukaan daun mengkilap dan ditandai dan berpigmen bervariasi, kusam dan pucat di bawah. Warna dan pola warna pada daun juga merupakan ciri yang menonjol untuk membedakan setiap kultivar. Ada dua jenis warna kultivar: daun hijau beraneka ragam dan daun beraneka warna mulai dari hijau, kuning, merah muda, merah, coklat tua.

Pembungaan *Codiaeum variegatum* adalah racemose. Bunga jantan dan betina ditanggung pada tangkai yang berbeda dan matang pada waktu yang berbeda. Sebagian besar kultivar *Codiaeum variegatum* menghasilkan bunga



Gambar 2.4. Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum*)

jantan dan betina dari batang yang sama, tetapi bunga betina berkembang lebih awal dan buah terbentuk sebelum jantan dihasilkan (Ogunwenmo et al., 2007). Buahnya adalah schizocarp sub-globose, 3-lobed (Sangeetha et al., 2011). Produksi komersial setelah seleksi hibrida dibuat, itu diperbanyak secara aseksual melalui stek batang (Deng et al., 2010). Biji berukuran $6 \times 4 \times 3,5$ mm, bulat telur-elips, halus, sedikit mengkilat, keabu-abuan, belang-belang coklat tua (Radcliffe-Smith, 1996). *Codiaeum variegatum* tumbuh di sebagian teduh, memiliki toleransi untuk asam, basa, pasir, lempung dan tanah liat dan toleransi kekeringan yang tinggi (Black, 2003). *Codiaeum variegatum* memiliki respons yang fleksibel terhadap berbagai tingkat intensitas cahaya. Intensitas cahaya yang berbeda itu menunjukkan warna daun yang berbeda. Daun yang dinaungi lebih hijau dari pada daun yang terkena sinar matahari. Pola mosaik pada daun juga dapat dipengaruhi oleh intensitas cahaya (Jena, 2016).

Codiaeum variegatum merupakan salah satu tanaman perdu tropis hias yang paling populer (Mollick et al., 2011). Tanaman ini dapat digunakan di pagar tanaman atau untuk lanskap perbatasan dan dapat juga ditanam sebagai tanaman rumah di tempat-tempat terang dengan kelembaban sedang (El-Quesni et al., 2016). *Codiaeum variegatum* menyerap kontaminan dengan menetralkan radikal bebas yang ditimbulkan dari gas karbon monoksida yang terdapat dalam lingkungan. *Codiaeum variegatum* jika ditanam dekat sumur atau mata air dapat memperbaiki kualitas air. Penelitian Sulistiana (2016) menunjukkan bahwa daun puring (*Codiaeum variegatum*) paling baik dalam menyerap unsur Pb yang bertebaran di udara terbuka yaitu sebesar 2,05mg/L, selain sebagai tanaman penyerap

polutan Puring yang dikenal dengan naman Croton digunakan sebagai tanaman hias karena keindahan keragaman corak dan warnanya. Warna daun bermacam-macam, seperti kuning, mearh dan ungu dengan corak daun bitnik-bintik atau garis. Penelitian Kusminingrum (2018) menunjukkan bahwa tanaman Puring cukup baik dalam mereduksi polutan NOx, selain itu dari segi estetika jenis Puring cukup menarik dalam warna daunnya.



SEKOLAH PASCASARJANA