

SKRIPSI

**FITOAKUMULASI ION LOGAM NIKEL(II) DAN SENG(II) OLEH
TANAMAN BAYAM MERAH (*Amaranthus Tricolor L.*)
PADA TANAH TERCEMAR**

**HASMAWATI ASRI
H311 16 024**



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

**FITOAKUMULASI ION LOGAM NIKEL(II) DAN SENG(II) OLEH
TANAMAN BAYAM MERAH (*Amaranthus Tricolor L.*)
PADA TANAH TERCEMAR**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains*

Oleh:

**HASMAWATI ASRI
H311 16 024**



MAKASSAR

2020

SKRIPSI

**FITOAKUMULASI ION LOGAM NIKEL(II) DAN SENG(II) OLEH
TANAMAN BAYAM MERAH (*Amaranthus Tricolor L.*)
PADA TANAH TERCEMAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**HASMAWATI ASRI
H 311 16 024**

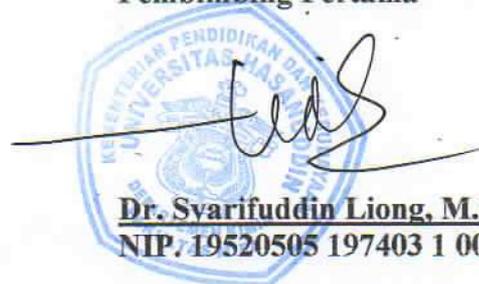
Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing Utama



**Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc
NIP. 19580523 198710 2 001**

Pembimbing Pertama



**Dr. Svarifuddin Liong, M.Si
NIP. 19520505 197403 1 002**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hasmawati Asri

NIM : H31116024

Program Studi : Kimia

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 November 2020



HASMAWATI ASRI

LEMBAR PERSEMBAHAN

الْحَنَّةِ إِلَى طَرِيقًا بِهِ لَهُ اللَّهُ سَهْلَ عِلْمًا فِيهِ يَلْتَمِسُ طَرِيقًا سَلَكَ مَنْ

“Barang siapa yang menempuh suatu jalan dalam rangka menuntut ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.”

(HR. Muslim no. 7028)

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayah serta ilmu pengetahuan yang tak terhingga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Berhasilnya penyusunan skripsi dengan judul “**Fitoakumulasi Ion Logam Nikel(II) dan Seng(II) oleh Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus Tricolor L.*) pada Tanah Tercemar**” menandakan berakhirnya suatu dimensi perjuangan syarat akan makna dan penuh kenangan dalam menggapai ilmu di Strata Satu Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Kampus Universitas Hasanuddin.

Keberhasilan penulis ketahap penulisan skripsi tidak lepas dari bantuan, baik berupa materi maupun spirit dari orang-orang terdekat dan yang berada dilingkungan penulis. Dengan setulus hati, pertama dari yang paling utama, melalui lembaran ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang paling sebesar-besarnya kepada orangtua penulis Ayahanda **Asri** dan Ibunda **Halijah** tercinta untuk perhatian, pengorbanan, kasih sayang, kesabaran, dukungan materi, dan ketulusan doa yang tiada henti bagi penulis. Semoga Allah swt membalas pengorbanan mereka dengan Jannah-Nya. Terima kasih untuk saudara-saudariku **Risal Asri, Hasriani Asri, Riswan Asri** dan kaka iparku **Fitriani** yang selalu sama-sama saling mendukung, menyemangati, memotivasi, menasehati, dan yang tiada henti memberikan doa terbaik. Semoga penulis bisa diberi kesempatan untuk bisa membahagiakan mereka.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Ibu **Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc** selaku pembimbing utama dan bapak **Dr. Syarifuddin Liong, M.Si** selaku pembimbing pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dengan penuh kesabaran dan pengertian dalam memberikan ilmu yang tak ternilai selama penelitian dan penyusunan skripsi sehingga berbagai kendala dapat diatasi serta ucapan maaf atas segala kesalahan selama persiapan penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Dosen penguji, yaitu **Prof. Dr. Nunuk Hariani S., MS** (Ketua), **Erna Mayasari, S.Si, M.Si** (Sekretaris), **Dr. Nursiah La Nafie, M.Sc** (Ex. Officio), **Dr. Syarifuddin Liong, M.Si** (Ex. Officio).
2. Ketua Departemen Kimia bapak **Dr. Abd. Karim, M.Si** dan Sekretaris Departemen Kimia **Dr. St. Fauziah, M.Si** beserta dosen dan staf Departemen Kimia yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia.
3. Seluruh **Analisis Laboratorium kimia** Departemen Kimia, Universitas Hasanuddin, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu, yang telah banyak membantu selama proses penelitian sedang berlangsung.
4. Rekan penelitian **Alpian** dan **Putri Yunita Monique** terima kasih atas kerja sama dan bantuannya.
5. Rekan kerja Lab. atas **Reky Asruddin, Megawati, Dirayanti, Novianti, Fitrihya** dan **A. Ismul Maulana** yang selalu sama-sama menyempatkan untuk saling membantu dan meyemangati.
6. Sahabat terbaikku sepanjang perjalanan kampus yang penuh dramatis **Miftahuddin** yang selalu setia membantu, meluangkan waktu, mengorbankan tenaga, materi dan pikiran.

7. Saudara-saudariku **Kimia 2016**, Terima kasih atas semangat, rasa persaudaraan, penghibur dikala suka dan duka, serta memberikan warna dalam kehidupan kampus.
8. Rekan Spesial teman sekawan **Putri Yunita, Ayu Shafira, Nur Madya, Sriwahyuni Ismail, Sriwahyuni Nasir, dan Darwini**, Terima kasih yang selalu ada disaat suka duka serta kenangan yang tak terlupakan selama berada dikampus.
9. **Semua pihak** yang tidak sempat disebut namanya yang telah memberikan bantuan, dukungan dan doa kepada penulis.

Penulisan skripsi ini tidak luput dari kekhilafan, maka dari itu penulis sangat menghargai apabila ada kritik dan saran demi penyempurnaan skripsi dan perkembangan ilmu pengetahuan serta penelitian kedepannya. Semoga skripsi ini bernilai ibadah di sisi Allah SWT dan dapat memberikan kepada kita semua.
Aamiin Allahumma Aamiin

Makassar, November 2020

Penulis

ABSTRAK

Salah satu metode pemulihan lingkungan tercemar adalah menggunakan teknik fitoremediasi, yaitu pemulihan lingkungan terkontaminasi menggunakan tanaman. Pada penelitian ini dipelajari kemampuan tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor* L.) dalam menyerap dan mengetahui bagian dari tanaman bayam merah yang paling banyak menyerap logam Ni dan Zn. Kegiatan penelitian dilakukan dengan menanam bayam merah pada media tanah yang tidak diberi kontaminan buatan sebagai tanaman 1 (kontrol), tanaman 2 diberikan kontaminasi (logam Ni), tanaman 3 (logam Zn) dan tanaman 4 (campuran logam Ni dan Zn). Tanaman ini dipanen pada hari ke-29 dan dilakukan pengujian dengan metode destruksi kemudian dianalisis bagian akar, batang dan daun menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil analisis menunjukkan konsentrasi Ni rata-rata penyerapan dalam bagian tumbuhan akar, batang dan daun berturut-turut sebanyak 112,90 mg/kg; 72,16 mg/kg dan 55,91 mg/kg. Konsentrasi Zn rata-rata dalam bagian tumbuhan akar, batang dan daun berturut-turut sebanyak 198,72 mg/kg; 194,85 mg/kg dan 121,03 mg/kg. Akumulasi Ni dengan nilai BCF dan TF yaitu 0,4 dan 0,5 sedangkan Zn memiliki nilai BCF dan TF yaitu 0,3 dan 0,6. Kedua logam tersebut mengakumulasi dengan metode fitostabilisasi dan fitoekstraksi.

Kata Kunci: Fitoakumulasi, Bayam Merah (*Amaranthus Tricolor* L.), Logam Ni dan Zn.

ABSTRACT

Fitoremediation is an example of techniques of restoring polluted environment, it is a technique which using plants to restore a polluted environment. This research studies the ability of red spinach plant (*Amaranthus Tricolor L.*) in absorbing Ni and Zn metals and also which parts of the plant takes role in this absorption. This research was carried out by planting red spinach on soil media that contained artificial pollutant in this case is Ni , Zn, Mixture of Ni and Zn metals and control variable that did not contain any pollutant. Red Spinach plant was harvested after 29 days followed by analysis of several parts of the plant (root, stem and leaves) by using destruction method and Atomic Absorption Spectrometer (AAS) Instrument. The result of analysis shows the average concentration of Ni in root, stem and leaves respectively are 112,90 mg/kg; 72,16 mg/kg and 55.91 mg/kg while for Zn respectively is 198,72 mg/kg; 194.85 mg/kg and 121,03 mg/kg. Accumulation of Ni represented in BCF and TF value is 0.4 and 0.5 while for Zn in BCF and TF value is 0,3 and 0,6. Both of Ni dan Zn metals accumulate by phytostabilization and phytoextraction methods.

Keyword: Phytostabilization, Red Spinach (*Amaranthus Tricolor L.*), Ni and Zn Metals.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pencemaran Logam Berat Pada Tanah.....	6
2.2 Logam Berat.....	9
2.2.1 Logam Nikel.....	9
2.2.2 Logam Seng.....	10
	xi

2.3 Fitoremediasi.....	11
2.3.1 Definisi Fitoremediasi.....	11
2.3.2 Kelebihan dan Kelemahan Fitoremediasi.....	14
2.3.2.1 Kelebihan Fitoremediasi.....	14
2.3.2.2 Kelemahan Fitoremediasi.....	15
2.3.3 Karakterisasi Tanaman Sebagai Fitoremediasi.....	15
2.4 Tanaman Bayam Merah.....	17
2.5 Mekanisme Hiperakumulator Logam Nikel dan Seng.....	19

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
3.2 Bahan Penelitian.....	24
3.3 Alat Penelitian.....	24
3.4 Prosedur Penelitian.....	24
3.4.1 Penyiapan Media Tanah.....	24
3.3.2 Penentuan Konsentrasi Ion Logam Ni dan Zn pada Tanah dan Pupuk.....	25
3.4.3 Pembuatan Tanah Terkontaminasi Ion Ni ²⁺ dan Zn ²⁺	25
3.4.4 Penanaman Bayam Merah.....	26
3.4.5 Perlakuan Sampel.....	26
3.4.5.1 Preparasi Sampel.....	26
3.4.5.2 Penentuan Kadar Air.....	26
3.4.5.3 Destruksi dan Analisis Kadar Ion Ni ²⁺ dan Zn ²⁺ pada Akar, Batang dan Daun.....	26
3.4.6 Penentuan Kadar Logam.....	27
3.4.6.1 Pembuatan Larutan Baku Induk Ni 1000 ppm.....	27

3.4.6.2 Pembuatan Larutan Baku Induk Zn1000 ppm.....	27
3.4.6.3 Pembuatan Larutan Baku Intermediate Ni 100 ppm.....	27
3.4.6.4 Pembuatan Larutan Baku Intermediate Zn 100 ppm.....	27
3.4.6.5 Pembuatan Larutan Baku Kerja Ni.....	27
3.4.6.6 Pembuatan Larutan Baku Kerja Zn.....	28
3.4.7 Penentuan Konsetrasi Logam.....	28
3.4.8 Penentuan Mekanisme Fitoakumulasi Logam Berat.....	29
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHSAN	
4.1 Analisis Kandungan Tanah dan Pupuk.....	30
4.2 Analisis Kandungan Logam Ni dan Zn Pada Akar, Batang dan Daun Tanaman Bayam Merah.....	33
4.3 Mekanisme Fitoakumulasi Logam Ni dan Zn pada Tanaman Bayam Merah.....	38
4.3.1 Penentuan Nilai BCF dan TF Pada Tanaman Bayam Merah.....	38
4.3.2 Distribusi Ion Logam Ni dan Zn Pada Tanaman Bayam Merah.....	39
4.4 Potensi Tanaman Bayam Merah Sebagai Fitoremediasi Logam Ni dan Zn	43
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan Logam Berat Dalam Tanah.....	7
2. Kisaran Logam Dalam Tanah	7
3. Jumlah Tumbuhan Berpotensi Sebagai Hiperakumulator	16
4. Kadar Logam Berat pada Pupuk Kandang dan Kompos.....	19
5. Batas Kritis Unsur Logam berat dalam tanaman.....	20
6. Klasifikasi Asam Basa Keras Lunak.....	21
7. Kandungan Logam Ni dan Zn dalam Tanah dan Pupuk Kompos.....	30
8. Sifat Kimia Tanah Untuk Media Tanam	31
9. Kadar Air pada Akar, Batang dan Daun Bayam Merah	32
10. Konsentrasi Logam Ni dan Zn pada Akar, Batang dan Daun Tanaman Bayam Merah	34
11. Nilai BCF dan TF	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pencemaran Tanah	6
2. Logam Nikel.....	9
3. Logam Seng	10
4. Tanaman Bayam Merah	18
5. Reaksi Asam Sitrat dengan Logam Zn.....	23
6. Reaksi Fitokelatin dengan logam Ni.....	23
7. Grafik Distribusi Logam Ni dan Zn pada Akar, Daun dan Batang.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Bagan Kerja.....	52
2. Diagram Alir.....	61
3. Perhitungan	62
4. Dokumentasi Pengamatan	76
5. Hasil Analisis Kimia Tanah.....	82

DAFTAR SIMBOL/SINGKATAN

BCF : *Bioconcentration Factors*

TF : *Translocation Factors*

SSA : Spektrofotometer Serapan Atom

HSAB : *Hard Soft Acid Based*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal dengan kondisi tanah yang subur. Namun saat ini kondisi tanah di Indonesia mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena tanah subur di Indonesia banyak yang dimanfaatkan tanpa memikirkan dampak jangka panjang yang dapat ditimbulkan. Kontaminasi oleh logam berat menjadi perhatian karena dapat menjadi potensi polusi pada permukaan tanah maupun air tanah dan dapat menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, angin, penyerapan oleh tumbuhan yang tersebar melalui rantai makanan dapat menimbulkan gangguan pada manusia, hewan, dan tumbuhan (Hidayati, 2005).

Kerusakan atau pencemaran lingkungan salah satunya adalah pencemaran tanah. Komponen pencemaran tanah berasal dari limbah domestik, limbah pertanian dan limbah industri maupun air limbah dari tempat penimbunan sampah (Juhriah dkk., 2017). Kegiatan industri akan menghasilkan limbah yang mengandung logam berat seperti Pb, Cr, Cu, Zn, Cd, Hg dan logam berat lainnya (Haryanti dkk., 2013).

Salah satu logam berat yang mencemari tanah adalah seng. Di lingkungan logam seng berasal dari kegiatan manusia, aktivitas pertambangan, pembuangan limbah industri. Logam Zn dalam jumlah sedikit dan konsentras rendah dibutuhkan oleh tubuh. Logam seng memiliki sifat akumulatif di lingkungan. Toksisitas logam seng dengan konsentrasi tinggi dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi sintesis klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis (Priambada, 2006).

Sumber pencemaran logam berat lainnya yang dapat membahayakan adalah logam nikel. Nikel banyak dimanfaatkan dalam industri metalurgi, pelapisan logam, industri kimia dan pembakaran limbah (Yudo, 2006). Dalam konsentrasi tinggi Ni di tanah berpasir merusak tanaman dan di permukaan air dapat mengurangi tingkat pertumbuhan alga. Selain itu nikel juga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme (Gerberding, 2005). Tanaman pada tanah yang mengandung Ni^{2+} dengan konsentrasi tinggi menunjukkan penurunan keseimbangan hara dan mengakibatkan gangguan fungsi membran sel. Hal ini mempengaruhi komposisi lipid dan aktivitas H-ATPase membran plasma.

Logam berat yang berada dalam tanah sangat sulit terdegradasi dan untuk memulihkannya diperlukan biaya yang mahal (Juhriah dkk., 2017). Penanganan atau pembersihan logam berat berbahaya dari lingkungan tanah yang tercemar diperlukan suatu metode yang efektif. Metode konvensional yang dapat digunakan seperti pembilasan, dan stabilisasi kimia. Namun, metode-metode tersebut tidak efisien karena akan menimbulkan masalah baru dengan berjalannya waktu. Oleh karena itu metode alternatif yang dapat digunakan adalah teknik remediasi yang mudah, murah dan efisien agar lingkungan tanah yang tercemar logam berat dapat digunakan kembali untuk berbagai kegiatan dengan aman.

Salah satu metode remediasi yang dapat digunakan adalah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan salah satu metode remediasi dengan mengandalkan pada peranan tumbuhan untuk menyerap, mendegradasi, mentransformasi dan mengimobilisasi bahan pencemar logam berat. Teknik fitoremediasi merupakan pengolahan secara in situ, yaitu pengolahan yang langsung dilakukan di area yang terkontaminasi. Teknik ini sangat cocok untuk membersihkan tanah yang

terkontaminasi dengan penggunaan tumbuhan atau tanaman untuk membersihkan lingkungan yang tercemar atau polutan berbahaya dengan cara menanam tanaman yang mampu menyerap logam berat dari dalam tanah (Irsyad dkk., 2014).

Tanaman mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat yang bersifat esensial untuk pertumbuhan dan perkembangan (Hardiani, 2009). Landi (2015) dalam Anania dkk (2017), menyatakan bahwa tumbuhan yang banyak mengandung pigmen antosianin dalam aplikasi bioteknologi dapat digunakan untuk fitoremediasi tanah tercemar logam berat. Beberapa kriteria penting dalam memilih spesies tumbuhan untuk fitoremediasi yaitu tingkat toleransi terhadap logam yang terdapat dalam tanah tempat bertumbuhnya tumbuhan tersebut, tingkat akumulasi, translokasi, dan potensi penyerapan logam yang melebihi ambang batas.

Pusat Penelitian Biologi LIPI, menyatakan beberapa hasil penelitian menunjukkan telah ditemukan 435 jenis tanaman hiperakumulator yang dapat digunakan dalam proses fitoremediasi seperti tanaman paku-pakuan. Menurut Brown (1995) dalam Jurnal Hidayati (2005), mengatakan Seorang ahli geobotani di Caledonia menemukan tumbuhan *Sebertia acuminata* yang dapat mengakumulasi Ni hingga dalam tajuknya, dan tumbuhan *Alyssum bertolonii* dapat digunakan sebagai hiperakumulator Ni. Pada tahun 1980an, beberapa penelitian mengenai akumulasi logam berat oleh tumbuhan sudah mengarah pada realisasi penggunaan tumbuhan untuk membersihkan polutan. Penelitian lain yang membuktikan bahwa tumbuhan hiperakumulator untuk Zn adalah tanaman *Thalspi caerulescens* yang mampu memproduksi biomassa sekitar 5 ton/ha dan mengakumulasi Zn hingga 125 kg/ha atau 20-40 % dari bobot kering.

Tanaman hiperakumulator salah satunya adalah bayam merah. Pada daun bayam merah mengandung senyawa protein, karotenoid, vitamin C, fenolik, vitamin A, flavonoid, mineral dan serat (Khanam dan Oba, 2013). Beberapa senyawa yang terdapat di dalam bayam merah yang nantinya akan bereaksi menyerap logam yang ada didalam tanah, dengan menggunakan konsep *Hard Soft Acid Base*. Asam keras akan lebih mudah berinteraksi dengan basa keras dan asam lunak lebih mudah berinteraksi dengan basa lunak. Ion logam Zn(II) dan Ni(II) digolongkan kedalam *borderline*, maka akan mudah berinteraksi dengan gugus amina(-NH₂), gugus karboksil(-COOH), juga gugus sulfidril (-SH) yang terdapat dalam protein. Protein yang ada pada tanaman adalah merupakan polimer dari asam amino yang dihubungkan dengan ikatan peptida berfungsi sebagai pengikat logam (Robert, 1992 dan Mohammad, 2011).

Pengikatan logam berat pada tanaman diantaranya melalui pembentukan senyawa kompleks. Dengan adanya eksudat akar maka akar tanaman mengeluarkan sejumlah asam organik misalnya asam malat, sitrat, fumarat, fenolat yang menyebabkan pH di sekitar perakaran menurun. Akibatnya banyak senyawa dan ion logam berat menjadi terlarut sehingga terserap oleh akar tanaman. Logam berat yang terserap oleh akar selanjutnya akan ditranslokasi pada batang, daun, buah dan biji (Juhriah dan alam, 2016).

Untuk itu, dianggap sangat perlu adanya pembersihan tanah yang tercemar logam berat. dengan menggunakan tanaman yang dapat mengakumulasi logam berat yang dapat tersebar pada akar, batang dan daun. Maka pada penelitian ini akan dilakukan fitoakumulasi ion logam Ni(II) dan Zn(II) dengan menggunakan tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor L.*) pada tanah tercemar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. berapa besar kemampuan tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor* L.) dalam mengakumulasi ion logam Ni^{2+} dan Zn^{2+} ?
2. bagaimana mekanisme akumulasi tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor* L.) terhadap ion logam Ni^{2+} dan Zn^{2+} ?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fitoakumulasi Ni^{2+} dan Zn^{2+} pada tumbuhan bayam merah (*Amaranthus Tricolor*) serta potensinya sebagai tumbuhan hiperakumulator melalui mekanisme akumulasinya.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan kemampuan tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor* L.) dalam mengakumulasi ion logam Ni^{2+} dan Zn^{2+} .
2. menentukan mekanisme akumulasi dan translokasi tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor* L.) terhadap ion logam Ni^{2+} dan Zn^{2+} .

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi tentang tanaman bayam merah (*Amaranthus Tricolor* L.) yang dapat menyerap logam Ni^{2+} dan Zn^{2+} pada bagian akar, batang dan daun.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Logam Berat Pada Tanah

Pencemaran tanah adalah keadaan bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan alami tanah. Komponen pencemaran tanah berasal dari limbah domestik, limbah pertanian dan limbah industri maupun limbah dari tempat penimbunan sampah (Juhriah dkk., 2017). Salah satu faktor pencemaran tanah yang paling penting adalah limbah yang mengandung logam berat. Logam berat adalah unsur dengan berat molekul tinggi dan merupakan pencemaran lingkungan yang utama. Kegiatan rumah tangga merupakan salah satu sumber pencemar logam berat yang dapat berasal dari kegiatan mencuci.



Gambar 1. Pencemaran Tanah (Sumber: www.wikipedia.com)

Logam berat merupakan polutan bagi tanaman, hewan dan kesehatan manusia antara lain arsenik (As), boron (B), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), molybdenum (Mo), nikel (Ni), timbal (Pb), selenium (Se), dan seng (Zn) (Chairiyah dkk., 2013). Logam berat secara alamiah akan terus menerus berada di alam, karena tidak mengalami transformasi (*persistent*), sehingga menyimpan potensi peracunan yang laten. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah dan spesies tanaman (Hardiani, 2009).

Menurut Peterson & Alloway (1979) dalam Hidayat (2015), Logam berat secara alami pada tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan logam berat dalam tanah secara alamiah ($\mu\text{g/g}$)

Logam	Rerata Kandungan ($\mu\text{g/g}$)	Kisaran Tidak Tercemar
As	100	5-3000
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

Logam berat secara alamiah sudah berada di alam dan tersingkap proses pelapukan, atau dari letusan gunung merapi dapat memberikan kontribusi kepada alam. Tetapi hal ini bila tidak mengalami perubahan yang mendasar pada siklus alamiahnya yaitu berkaitan kepada rantai makan, tidak akan menimbulkan efek toksisitas pada manusia. Tanah secara alamiah mengandung logam berat, sebagian logam berat tersebut berperan dalam proses fisiologis tanaman seperti, Fe, Cu Zn dan Ni, tetapi dengan jumlah yang relatif sangat sedikit, bila berlebihan akan memberikan efek toksisitas kepada tanaman (Hidayat, 2015). Nilai ambang batas dalam tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai ambang batas dalam tanah (Sumber: Pickering, 1980)

Logam Berat	Nilai Ambang Batas Dalam Tanah (ppm)
As	0,1-4,0
B	2-100
F	30-300
Cd	0,1-7,0
Mg	100-4000
Ni	10-1000
Zn	10-300
Cu	2-100
Pb	2-200

Dampak negatif dari logam berat pada tanah adalah keracunan pada proses biologi meliputi berbagai proses yang dikatalisasi oleh mikroorganisme. Kondisi seperti ini akan berdampak buruk terhadap kesehatan konsumen. Sampai saat ini, belum ada nilai ambang batas konsentrasi logam berat didalam tanah yang aman bagi produk pertanian yang dihasilkan. Oleh sebab itu, sekecil apapun konsentrasi logam berat, baik di dalam tanah maupun dalam produk hasil pertanian harus mendapat perhatian yang serius.

Logam berat dapat mempengaruhi kesehatan apabila dibuang tanpa pengolahan, karena logam berat bersifat akumulatif terhadap lingkungan. Pencemaran yang masuk ke dalam tanah kemudian mengendap (terendapkan) sebagai zat kimia yang beracun di tanah. Logam berat memiliki sifat tidak biodegradable dan dapat bertahan untuk waktu yang lama pada tanah yang tercemar. Stabilisasi logam berat secara in situ dapat dilakukan dengan menambahkan baku mutu tanah yang umum digunakan seperti kapur dan kompos dalam upaya untuk mengurangi bioavailabilitas logam dan meminimalkan penyerapannya oleh tanaman (Hidayat, 2015).

Logam berat sebagai pencemar tersebut berdampak langsung pada manusia ketika bersentuhan langsung atau dapat mencemari air, tanah dan udara (Irsyad dkk., 2014). Sehingga logam berat dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi makanan yang berasal dari tanaman yang ditanam di tanah yang tercemar (Chairiyah dkk., 2013). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Jarup (2013), menunjukkan bahaya dari logam berat dapat mengakibatkan susah tidur, gelisah, kesulitan belajar dan gangguan perilaku pada anak, gangguan pada koordinasi saraf, kerusakan paru-paru, kerusakan ginjal, kanker kulit dan kematian (Blesstinov dkk., 2017).

2.2 Logam Berat

2.2.1 Logam Ni (Nikel)

Nikel (Ni) merupakan logam berat yang mencemari air, tanah maupun air permukaan baik perairan laut maupun darat seperti sungai, danau dan waduk. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Logam Nikel (Sumber: www.wikipedia.com)

Nikel ditemukan dalam bentuk ion nikel (II). Beberapa senyawa nikel seperti nikel karbonat, sulfida nikel, dan nikel oksida tidak larut dalam air, sedangkan nikel klorida dan nikel nitrat larut dalam air (Environmental Health Criteria, 1991).

Kadar nikel pada kerak bumi sekitar 75 mg/kg. Pada proses pelapukan nikel, membentuk mineral hidrolisat yang tidak larut. Pada perairan, nikel ditemukan dalam bentuk koloid akan tetapi garam-garam nikel seperti nikel ammonium sulfat, nikel nitrat dan klorida larut dalam air. Kadar nikel pada perairan tawar alami sekitar 0,001 – 0,003 mg/L. Konsentrasi Ni^{2+} dalam tanah tercemar berkisar dari 20 sampai 30 kali lipat (200-26000 mg/kg) lebih tinggi dari kisaran umum (10-1000 mg/kg) di dalam tanah alami (Yudo, 2006).

Dalam konsentrasi tinggi nikel di tanah berpasir merusak tanaman dan di permukaan air dapat mengurangi tingkat pertumbuhan alga. Selain itu nikel juga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Ketoksikan nikel pada kehidupan akuatik bergantung pada spesies, pH dan kesadahan (Gerberding, 2005). Tanaman pada tanah yang mengandung Ni^{2+} dengan konsentrasi tinggi menunjukkan penurunan keseimbangan hara dan mengakibatkan gangguan fungsi membrane sel. Hal ini mempengaruhi komposisi lipid dan aktivitas H-ATPase membrane plasma.

2.2.2 Logam Zn (Seng)



Gambar 3. Logam Seng (Sumber: www.wikipedia.com)

Seng tidak ditemukan pada lingkungan alami dalam bentuk logam Zn, melainkan dalam bentuk ion divalent Zn(II) dan termasuk unsur yang berlimpah di alam. Keberadaan seng dalam kerak bumi sekitar 70 mg/kg. Kadar seng pada perairan alami sekitar $< 0,05$ mg/L, pada perairan yang asam kadarnya mencapai 50 mg/L (Blesstinov dkk., 2017; Yudo, 2006). Logam seng memiliki karakteristik cukup reaktif, berwarna putih kebiruan, dan terbakar bila terkena udara (Blesstinov dkk., 2017). Seng biasa digunakan dalam industri besi baja, cat, karet, tekstil, kertas dan bubur kertas. Seng termasuk unsur esensial bagi makhluk hidup, berperan dalam membantu kerja enzim dan tidak bersifat toksik

pada manusia dalam kadar yang cukup dibutuhkan akan tetapi pada kadar yang tinggi, dapat menimbulkan gangguan kerja metabolisme tubuh yang mengakibatkan pusing.

Sumber pencemaran logam seng di lingkungan berasal dari kegiatan manusia, aktivitas pertambangan, pembuangan limbah industri. Seng merupakan unsur penting untuk pertumbuhan manusia, hewan, maupun tanaman. Dalam jumlah rendah logam Zn dibutuhkan oleh tubuh (manusia, hewan dan tumbuhan) salah satunya dalam proses metabolisme untuk pertumbuhan dan perkembangan sel-sel tubuhnya berfungsi dalam enzim dehidrogenase tetapi dalam jumlah tinggi dapat memberi efek racun tercemar.

Logam seng memiliki sifat akumulatif di lingkungan. Toksisitas logam seng dengan konsentrasi tinggi dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi sintesis klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis (Novi dkk., 2019). Logam diserap oleh akar tanaman dari larutan tanah. Didalam tanah dalam bentuk terlarut atau tertukarkan, bentuk yang mudah diserap oleh akar tanaman (Priambada, 2006). Gejala keracunan Zn pada tumbuhan secara umum berupa klorosis pada daun muda, nekrosis pada daun yang akhirnya menyebabkan kematian daun dan memiliki daun yang lebih kecil dari tanaman kontrol. Pada akar, keracunan Zn menyebabkan pengurangan pertumbuhan akar utama dan lateral.

2.3 Fitoremediasi

2.3.1 Definisi Fitoremediasi

Fitoremediasi berasal dari bahasa Yunani Kuno yaitu tanaman, dan bahasa Latin yaitu *remedium* yang artinya memulihkan keseimbangan atau perbaikan

(menggambarkan pengobatan masalah lingkungan) disebut bioremediasi melalui penggunaan tanaman yang mengurangi masalah lingkungan tanpa perlu menggali bahan kontaminan dan membuangnya di tempat lain (Rondonuwu, 2014).

Fitoremediasi yaitu penggunaan tanaman hijau atau mikroorganisme yang berasosiasi untuk memindahkan, menyerap, serta menurunkan senyawa toksik dalam tanah dengan teknologi yang inovatif, efektif dari aspek biaya, aman dan secara estetika dapat diterapkan untuk jangka panjang (Junyo, 2013; Sidauruk dan Sipayung, 2015). Efektifitas proses sangat dipengaruhi oleh jenis dan konsentrasi kontaminan serta tanaman yang digunakan (Hardiani, 2009).

Tanaman adalah agensia ideal untuk perbaikan tanah dan air, karena sifat genetik tanaman yang unik baik dari aspek biokimia maupun fisiologisnya. Pengikatan logam berat pada tanaman diantaranya melalui pembentukan senyawa kompleks. Dengan adanya eksudat akar maka akar tanaman mengeluarkan sejumlah asam organik yang menyebabkan pH di sekitar perakaran menurun. Akibatnya banyak senyawa dan ion logam berat menjadi terlarut sehingga terserap oleh akar tanaman. Logam berat yang terserap oleh akar selanjutnya akan tertranslokasi dan terakumulasi dalam akar, batang, daun, buah dan biji (Juhriah dan Alam, 2016). Fitoremediasi yang digunakan harus mempunyai sistem perakaran yang kuat dan sebaran perakaran yang baik (Salim dan Suryati, 2014).

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Bahan kimia yang diserap oleh tanaman disimpan dalam akar, batang, dan daun yang nantinya akan diubah menjadi bahan kimia yang kurang berbahaya, diubah dalam bentuk gas dan dilepaskan ke udara dalam proses

transpirasi (Siahaan dkk., 2014). Smith (2010) dalam Susana dan Suswati (2013), menyatakan translocation factor adalah rasio konsentrasi logam pada bagian pucuk terhadap bagian akar, menunjukkan kemampuan transfer logam dari akar ke pucuk tanaman.

Menurut Juhriah dan Alam (2016), dalam proses remediasi tumbuhan dapat bersifat aktif maupun pasif dalam mendegradasi bahan polutan. Secara aktif tumbuhan memiliki kemampuan yang berbeda dalam fitoremediasi, yaitu proses:

1. fitotransformasi adalah pengambilan kontaminan bahan organik dan nutrisi dari tanah atau air tanah yang kemudian ditransformasikan oleh tumbuhan. Proses transformasi polutan dalam tumbuhan dapat berubah menjadi nontoksik atau menjadi lebih toksik. Metabolit hasil transformasi tersebut terakumulasi dalam tubuh tumbuhan.
2. fitoekstraksi mencakup penyerapan kontaminan atau polutan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang. Tanaman tersebut dinamakan hiperakumulator. Setelah polutan terakumulasi, tumbuhan dapat dipanen dan tumbuhan tersebut tidak boleh dikonsumsi tetapi harus dimusnahkan dengan insinerator atau ditimbun dalam landfill.
3. rizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari aliran limbah. Konsep dasar ini berlaku apabila medium yang tercemarnya adalah badan perairan.
4. fitodegradasi adalah proses penyerapan polutan oleh tumbuhan dan kemudian polutan tersebut mengalami metabolisme di dalam tumbuhan. Metabolisme polutan di dalam tumbuhan melibatkan enzim antara lain nitroreduktase, laccase, dehalogenase, oksigenase dan nitrilase.

5. fitovolatilisasi merupakan proses penyerapan polutan/kontaminan oleh tumbuhan, kemudian polutan tersebut diubah menjadi bersifat volatile (mudah menguap), setelah itu ditranspirasikan oleh tumbuhan. Polutan yang dilepaskan oleh tumbuhan ke udara melalui daun dapat memiliki bentuk senyawa awal polutan, atau dapat juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal.
6. fitostabilisasi merupakan proses yang dilakukan oleh tumbuhan untuk mentransformasikan polutan di dalam tanah menjadi senyawa nontoksik tanpa menyerap terlebih dahulu polutan tersebut ke dalam tubuh tumbuhan. Hasil transformasi dari polutan tetap berada di dalam tanah. Fitostabilisasi dapat diartikan sebagai penyimpanan tanah dan sedimen yang terkontaminasi menggunakan vegetasi, dan immobilisasi kontaminan beracun polutan.

2.3.2 Kelebihan dan Kelemahan Fitoremediasi

2.3.2.1 Kelebihan Fitoremediasi

Keuntungan teknik ini adalah biaya lebih murah bila dibandingkan dengan teknik lainnya. Tanaman dapat dengan mudah dimonitor untuk memastikan pertumbuhan, logam dapat direklamasi dan dipakai ulang melalui fitoremediasi, kemampuannya untuk menghasilkan buangan sekunder yang lebih rendah sifat toksiknya (Sidauruk dan Sipayung, 2015). Adapun keuntungan lain dari teknik fitoremediasi antara lain adalah dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, untuk volume pencemar yang besar dan konsentrasi rendah, tidak membutuhkan peralatan yang rumit dan pekerja spesialis, lebih ramah lingkungan serta dapat mereduksi kontaminan dalam jumlah yang besar (Busran dan Rachmatiah, 2010).

2.3.2.2 Kelemahan Fitoremediasi

Fitoremediasi membutuhkan waktu lebih lama dan juga sangat tergantung pada kedalaman akar dan toleransi tanaman terhadap kontaminan, bergantung kepada keadaan iklim, dapat menyebabkan terjadinya akumulasi logam berat pada jaringan dan biomasa tumbuhan dan dapat mempengaruhi keseimbangan rantai makanan pada ekosistem (Caroline dan Moa, 2015). Disamping itu pencemaran dapat masuk ke rantai makanan melalui tumbuhan hiperakumulator yang dikonsumsi oleh binatang sehingga perlu menjadi perhatian bagi lingkungan hidup sebagai hewan herbivora dapat menumpuk mengotori partikel di jaringan mereka yang pada gilirannya dapat mempengaruhi keseluruhan jaringan makanan (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

2.3.3 Karakteristik Tumbuhan Sebagai Fitoremediator

Tumbuhan hiperakumulator adalah tumbuhan yang mempunyai kemampuan untuk mengkonsentrasikan logam di dalam biomasanya dalam kadar yang luar biasa tinggi (Juhriah dan Alam, 2016). Lokasi akumulasi logam berat pada tanaman terdistribusi hampir di seluruh bagian tanaman, yaitu akar, daun, bunga dan buah (Irsyad dkk., 2014).

Menurut Sidauruk dan Sipayung (2015), suatu tumbuhan dapat disebut hiperakumulator apabila memiliki karakter-karakter sebagai berikut:

1. tumbuhan memiliki tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang lebih tinggi dibanding tanaman lainnya.
2. tumbuhan dapat mentoleransi unsur dalam tingkat yang tinggi pada jaringan akar dan tajuknya.
3. tumbuhan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi sehingga akumulasinya pada tajuk lebih tinggi dari pada akar.

Tabel 3. Jumlah tumbuhan berpotensi sebagai hiperakumulator (Sumber: Hidayati, 2005)

Jenis Logam	Kriteria Kandungan % Pada Daun	Jumlah Taksa	Jumlah Famili
Cd	> 0,01	4	1
Co	> 0,10	28	11
Cu	> 0,10	37	15
Pb	> 0,10	14	0
Mg	> 0,10	9	5
Ni	> 0,10	17	17
Zn	> 0,10	11	5

Efisiensi tanaman untuk fitoremediasi salah satunya ditentukan oleh besarnya akumulasi logam dalam biomassa tanaman yang dipanen (Susana dan Suswati, 2013). Tanaman hiperakumulator dapat menimbun konsentrasi logam yang tinggi dalam jaringan tanamannya bahkan melebihi konsentrasi didalam tanah. Tanaman yang mengandung lebih dari 0,1% unsur Ni, Co, Cu, Cr atau Pb atau 1% unsur Zn pada daun atau perberat kering biomassa terlepas dari konsentrasi logam dalam tanah. Sifat hipertoleran terhadap logam berat merupakan karakteristik yang mengindikasikan sifat hiperakumulator suatu tumbuhan (Sidauruk dan Sipayung, 2015).

Tumbuhan yang banyak mengandung pigmen antosianin dalam aplikasi bioteknologi dapat digunakan untuk fitoremediasi tanah tercemar logam berat (Anania dkk., 2017). Beberapa tanaman diketahui pula sebagai fitoakumulator logam berat seperti famili *brassicaceae* (kubis-kubisan), bayam, *ilmarcrtthus oleraceous*, jagung dan *pisum sativum* sering digunakan dalam Fitoekstraksi pada lahan yang tercemar logam berat (Susana dan suswati, 2013).

Reeves (1992) dalam Hidayati (2005), mengajukan batasan hiperakumulator yang dapat diterima secara luas. Tumbuhan hiperakumulator terhadap Ni adalah

suatu tumbuhan yang mengandung unsur nikel dengan konsentrasi sedikitnya 1000 g^{-1} biomassa tajuknya. Definisi ini dapat diberlakukan untuk unsur-unsur lainnya. Sebagian besar spesies tumbuhan mengalami penurunan produksi biomassa yang nyata bila pada tajuknya terdapat Ni mencapai 50-100 mg/kg berat kering sementara tumbuhan hiperakumulator terhadap Ni dapat mentolelir sedikitnya 10-20 kali dari tingkat maksimum yang dapat ditolerir tumbuhan normal dan tetap dapat memproduksi biomassa lebih tinggi. Sebagian mentolerir sedikitnya 1% Ni pada tajuk, beberapa dapat mencapai 5% Ni, atau 500 kali Ni pada tanaman budi daya. Unsur Zn pada tumbuhan hiperakumulator harus dapat mengakumulasi lebih dari 1% (Hidayati, 2005).

2.4 Tumbuhan Bayam Merah

Di Indonesia sendiri bayam dapat tumbuh sepanjang tahun dan ditemukan pada ketinggian 5 – 2.000 meter dari permukaan laut, tumbuh di daerah panas dan dingin, tetapi tumbuh lebih subur di dataran rendah pada lahan terbuka yang udaranya agak panas (Rumimper dkk., 2014). Bayam termasuk tanaman pangan yang serbaguna dimana tahan terhadap perubahan lingkungan baik stress biotik maupun abiotok sehingga sangat mudah dibudidayakan (Khanam dan Oba, 2013). Tanaman bayam merah memiliki ciri berdaun tunggal, ujungnya meruncing, lunak, dan lebar. Batangnya lunak dan berwarna putih kemerahan.



Gambar 4. Tanaman Bayam Merah (Sumber: Tjitrosoepomo, 1985)

Menurut Tjitrosoepomo (1985), dalam sistematika tumbuhan (taksonomi) tanaman bayam diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
Divisi : Spermatophyta
Sub Divisi : Angiospermae
Kelas : Dicotyledonae
Ordo : Caryophyllales
Famili : Amaranthaceae
Genus : *Amaranthus*
Spesies : *Amaranthus Tricolor* L.

Bayam merah akan tumbuh dengan baik bila ditanam pada tanah dengan derajat keasaman (pH tanah) sekitar 6-7. Bila pH kurang dari 6, tanaman bayam merah akan mengalami gangguan pertumbuhan. Sementara itu pada pH di atas 7, tanaman bayam merah akan mengalami klorosis, yaitu timbul warna putih kekuning-kuningan, terutama pada daun yang masih muda (Saparinto, 2013). Suhu udara yang dikehendaki sekitar 20-32 °C. Tanaman ini memerlukan banyak air, sehingga paling tepat ditanam pada awal musim penghujan. Untuk tanaman bayam merah di dalam pot, pemenuhan air dapat dilakukan dengan cara menyiraminya (Saparinto, 2013). Dapat ditanam pada awal musim kemarau pada tanah yang gembur dan subur dan juga dapat tumbuh pada tanah liat asalkan tanah tersebut diberi pupuk yang cukup. Pupuk tersebut bisa berupa pupuk kandang dan pupuk kompos. Pupuk memiliki masing-masing kadar logam berat didalam kandungannya, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kadar logam berat dalam pupuk kandang dan kompos (Sumber: Setyorini et al., 2003)

Logam Berat	Pupuk Kandang (mg/kg)	Pupuk Kompos (mg/kg)
As	3-25	2-52
Cd	0,1-0,8	0,01-100
Co	0,3-24	-
Cr	1,1-55	1,8-4.110
Cu	2-172	13-3.580
Hg	0,01-0,36	0,09-21
Mn	0,05-3	-
Mo	2,1-30	0,9-279
Ni	1,1-27	1,3-2.240
Zn	15-566	82-5.894

2.5 Mekanisme Hiperakumulator Logam Nikel (Ni) dan Seng (Zn)

Tanaman Hiperakumulator memiliki kemampuan mempercepat terlarutnya logam pada rizosfer. Tanaman hiperakumulator menunjukkan respon yang berbeda dengan tanaman normal terhadap stress keracunan logam dengan tanaman normal terhadap stress keracunan logam dengan mengadakan perubahan pada serangkaian proses fisiologis biokimia. Tanaman hiperakumulator yang telah diteliti bahkan sebagian sudah digunakan secara luas dan komersial dalam teknik fitoremediasi. Diantaranya *Thlaspi caerulencens* juga dikenal sebagai hiperakumulator seng (Zn) yang mampu mengakumulasi lebih dari 30.000 mg/kg berat kering tajuk atau mampu mengakumulasi >1% dan mampu mengakumulasi logam berat dengan konsentrasi lebih besar tanpa mengalami gejala keracunan logam berat. Batas kritis unsur logam berat dalam tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Batas kritis unsur logam berat dalam tanaman (Sumber: Alloway, 1995)

Unsur Logam Berat	Tanaman (ppm)
Pb	50
Cd	5-30
Co	15-30
Cr	5-30
Ni	5-30
Cu	20-100
Mn	-
Zn	100-400

Penyerapan logam berat oleh tanaman yang nantinya akan berikatan dengan protein membentuk senyawa kompleks melalui ikatan koordinasi sebagai hasil penggunaan elektron secara bersama-sama. Menurut konsep asam basa lewis bahwa asam adalah spesi yang dapat menerima pasangan elektron dan basa adalah spesi yang dapat mendonorkan pasangan elektron. Suatu kation yang mempunyai daya polarisasi tinggi disenangi oleh ligan karena kerapatan muatan positif tinggi sehingga menghasilkan inetraksi yang kuat. Ion-ion logam yang bermuatan positif besar, bilangan oksidasi tinggi memberikan polarisabilitas kecil yang dikelompokkan dalam asam keras dan sebaliknya ion-ion yang bermuatan kecil atau nol termasuk dalam kelompok asam lunak. Ligan-ligan dengan atom donor yang sangat elektronegatif merupakan basa keras yang akan berikatan dengan ion logam sebagai atom pusatnya membentuk senyawa kompleks dengan ikatan kovalen koordinasi (Meriatna, 2008). Berikut merupakan klasifikasi asam basa keras lunak pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Asam Basa Keras Lunak (Huhey dkk., 1993)

Asam	
Asam Keras	$H^+, Li^+, Na^+, K^+ (Rb^+, Cs^+)$ $Be^{2+}, Be(CH_3)_2, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Sr^{2+} (Ba^{2+})$ $Sc^{3+}, La^{3+}, Ce^{4+}, Gd^{3+}, Lu^{3+}, Th^{4+}, U^{4+}, UO^{2+}, Pu^{4+}$ $Ti^{4+}, Zr^{4+}, Hf^{4+}, VO^{2+}, Cr^{3+}, MoO^{3+}, WO^{4+}, Mn^{2+}, Mn^{7+}, Fe^{3+}$ $BF_3, BCl_3, B(OR)_3, Al^{3+}, Al(CH_3)_3, AlCl_3, AlH_3, Ga^{3+}, In^{3+}$ $CO_2, RCO^+, NC^+, Si^{4+}, Sn^{4+}, CH_3Sn^{3+}, (CH_3)_2Sn^{2+}$ $N^{3+}, RPO_2^+, ROPO_2^+, As^{3+}$ $SO_3, RSO_2^+, ROSO_2^+$ $Cl^{3+}, Cl^{7+}, I^{5+}, I^{7+}$
Asam Menengah	$Fe^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}$ $Rh^{3+}, Ir^{3+}, Ru^{3+}, Os^{2+}$ $B(CH_3)_3, GaH_3$ $R_3C^+, C_6H_5^+, Sn^{2+}, Pb^{2+}$ NO^+, Sb^{3+}, Bi^{3+} SO_2
Asam Lunak	$Co(CN)_5^{3-}, Pd^{2+}, Pt^{2+}$ $Cu^+, Ag^+, Au^+, Cd^{2+}, Hg^{2+}, Hg_2^{2+}, CH_3Hg^+$ $BH_3, Ga(CH_3)_3, GaCl_3, GaBr_3, GaI, Ti^+, Ti(CH_3)_3$ $HO^+, RO^+, RS^+, RSe^+, Te^{4+}, RTe^+$ $Br_2, Br^+, I_2, I^+, ICN, etc$ $O, Cl, Br, I, N, RO, RO_2$
Basa	
Basa Keras	NH_3, RNH_2, N_2H_4 $H_2O, OH^-, O^{2-}, ROH, RO^-, R_2O$ $CH_3COO^-, CO_3^{2-}, NO_3^-, PO_4^{3-}, SO_4^{2-}, ClO_4^-$ $F^-(Cl^-)$
Basa Menengah	$C_6H_5NH_2, C_5H_5N, N_3^-, N_2$ NO_2^-, SO_3^{2-} Br^-
Basa Lunak	H^- $R^-, C_2H_4, C_6H_6, CN^-, RNC, CO$ $SCN^-, R_3P, (RO)_3P, R_3As$ $R_2S, RSH, RS^-, S_2O_3^{2-},$ I^-

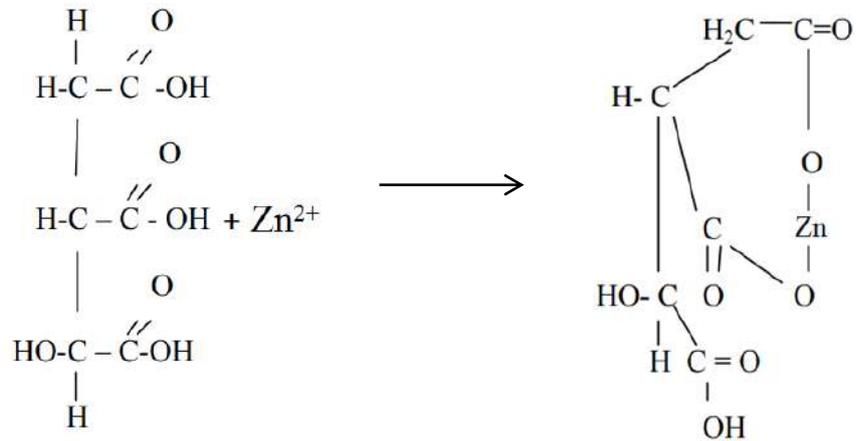
Menurut teori HSAB (*Hard Soft Acid Base*) umumnya dijelaskan dari segi interaksi ionik, sedangkan asam dan basa lunak lebih bersifat kovalen. Ikatan semakin kuat jika polaritas semakin besar. Asam keras akan lebih mudah berinteraksi dengan basa keras dan asam lunak lebih mudah berinteraksi dengan

basa lunak. Sehingga ion logam Zn(II) dan Ni(II) digolongkan ke dalam asam *borderline*. Pada tanaman bayam merah terdapat beberapa gugus aktif seperti gugus amina (-NH) dan gugus hidroksi (-OH) yang merupakan basa keras yang dikatakan sebagai ligand dan bereaksi membentuk kompleks terhadap atom pusat yaitu Logam Ni dan Zn melalui ikatan kovalen kordinasi (Robert, 1992).

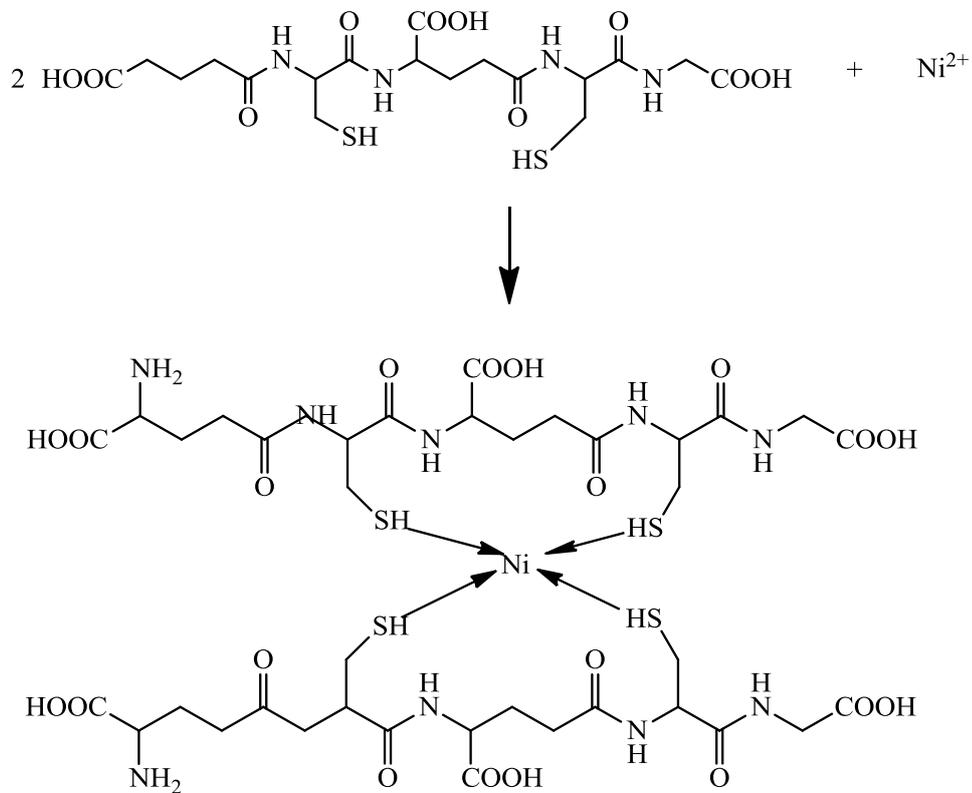
Tanaman yang terpapar logam dengan jumlah yang banyak akan menyebabkan tanaman mengalami stress sehingga membentuk zat fitokhelatin dan methalotionin. Hiperakumulator dapat memacu influx ke dalam simplasma akar. Diperkirakan Zn terakumulasi pada subselular. Logam yang terserap ke dalam akar akan terikat dengan zat pengkhelat yaitu senyawa organik yang berasal dari tanaman bayam merah seperti asam amino dan jenis lainnya yang dapat bertindak sebagai ligandnya. Salah satu asam sitrat untuk Zn (Salisbury dan Ross, 1992). Asam sitrat merupakan ligan terpenting dalam pengangkutan Zn melalui xylem yang kemudian ditranslokasikan ke jaringan lainnya seperti pada daun.

Logam yang terserap ke dalam akar akan terikat dengan zat pengkhelat fitokhelatin dengan logam Ni ketika proses transpirasi terjadi (Arifin, 2019). Fitokhelatin merupakan peptida yang mengandung 2-8 asam amino sistein di pusat molekul serta suatu asam glutamat dan sebuah glisin pada ujung yang berlawanan. Fitokhelatin dibentuk di dalam nukleus yang kemudian melewati retikulum endoplasma (RE), aparatus golgi, vasikula sekretori untuk sampai ke permukaan sel. Bila bertemu dengan ion Ni maka akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks sehingga ion Ni akan terbawa menuju jaringan tumbuhan (Arisusanti dan purwani, 2013).

Reaksi pengikatan ion logam Zn dengan asam sitrat dapat dilihat pada gambar 5. dan reaksi pengikatan ion logam Ni dengan fitokelatin dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 5. Reaksi Antara Asam Sitrat dengan Zn (Salisbury dan Ros, 1995)



Gambar 6. Reaksi Logam Ni dengan Fitokelatin