

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA
PROSES FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

SKRIPSI

*Diajukan untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Sains*



oleh

Alifiani Azzahra

1704729

PROGRAM STUDI BIOLOGI

DEPARTEMEN PENDIDIKAN BIOLOGI

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2020

Alifiani Azzahra, 2021

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA
PROSES FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Oleh
Alifiani Azzahra

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Alifiani Azzahra 2021
Universitas Pendidikan Indonesia
April 2021

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

Alifiani Azzahra, 2021

*PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

**LEMBAR PENGESAHAN
ALIFIANI AZZAHRA**

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA
PROSES FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing :

Pembimbing I



Dr.H.Saefudin,M.Si

NIP. 196307011988031003

Pembimbing II



Dr.Wahyu Surakusumah,M.T

NIP. 197212031999031001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Dr.Hj.Diah Kusumawaty,M.Si

NIP. 197008112001122001

Alifiani Azzahra, 2021

*PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian mengenai pemodelan sistem dinamis penyisihan logam Cu pada proses fitoremediasi menggunakan software powersim. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Menemukan hubungan variabel-variabel pada model sistem dinamis penyisihan logam Cu pada proses fitoremediasi menggunakan software powersim (2) Menentukan pengaruh biomassa terhadap proses penyerapan logam Cu dan efektivitas fitoremediasi menggunakan software powersim (3) Menguji validasi model penyisihan logam Cu pada proses fitoremediasi (4) Menganalisis strategi peningkatan efisiensi fitoremediasi logam Cu menggunakan software powersim. Metode penelitian ini adalah penelitian deskriptif kuantitatif. Penelitian ini dilakukan melalui empat tahapan utama, yaitu (1) Prosedur penelitian pendahuluan yang terdiri atas penentuan rumusan masalah, penentuan tujuan penelitian, penentuan batasan masalah, dan studi literatur (2) Pengumpulan data dari 15 artikel tahun 2010-2021 (3) Pemodelan sistem dengan pembuatan diagram *causal loop* dan pembuatan diagram *stock flow*. (4) Validasi model menggunakan uji T. Hasil penelitian ini yaitu model penelitian yang telah disusun valid dengan data sistem real. Variabel-variabel faktor translokasi, faktor bioakumulasi, biomassa tanaman, dan waktu kontak berpengaruh secara signifikan terhadap kemampuan penyisihan logam Cu oleh tanaman. *Ipomoea carnea* merupakan tanaman yang paling baik dalam menghilangkan logam berat dimana konsentrasi Cu awal di tanah yaitu 100 ppm menjadi 3,61 ppm pada hari ke-200 karena memiliki faktor translokasi dan faktor bioakumulasi tertinggi dari ke 4 spesies lainnya. Biomassa tanaman berpengaruh terhadap penyerapan logam Cu dengan biomassa optimum pada ke-5 spesies yaitu sebesar 10 kg/m². Kesimpulan penelitian ini adalah model sistem dinamik ini valid dimana variabel-variabel didalamnya saling berhubungan sehingga dapat digunakan dalam meningkatkan efisiensi penyisihan logam Cu.

Kata Kunci: Fitoremediasi, Model Sistem Dinamik, Powersim

ABSTRACT

This is a research on the dynamic system modeling of Cu metal removal in the phytoremediation process using powersim software. The objectives of this study were (1) to find the relationship between variables in the dynamic system model of Cu metal removal in the phytoremediation process using powersim software (2) to determine the effect of biomass on the Cu metal absorption process and the effectiveness of phytoremediation using powersim software (3) to test the validation of the removal model Cu metal in the phytoremediation process (4) to analyze the strategy to increase the efficiency of Cu metal phytoremediation using powersim software. This research method is quantitative descriptive research. This research was conducted through four stages, namely (1) Preliminary research procedures consisting of determining the formulation of the problem, determining research objectives, determining problem boundaries, and studying literature (2) Collecting data from 15 articles in 2010-2021 (3) System modeling with making causal loop diagrams and making stock flow diagrams. (4) Validation of the model using the T test. The results of this study are the research model that has been compiled valid with real system data. The variables of translocation factor, bioaccumulation factor, plant biomass, and contact time had a significant effect on the ability of Cu metal removal by plants. Ipomoea carnea is the best plant in removing heavy metals where the initial Cu concentration in the soil is 100 ppm to 3.61 ppm on day 200 because it has the highest translocation factor and bioaccumulation factor of the other 4 species. Plant biomass has an effect on the absorption of Cu metal with the optimum biomass for the 5 species, which is 10 kg/m². The conclusion of this study is the dynamic system model is valid where the variables in it are interconnected so it can be used to increase the efficiency of Cu metal removal.

.Keywords: Phytoremediation, Dyanamic System Modelling, Powersim

Alifiani Azzahra, 2021

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan Sistem Dinamis Penyisihan Logam Cu pada Proses Fitoremediasi Menggunakan Software Powersim” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini

Bandung, April 2021

Yang Membuat Pernyataan



Alifiani Azzahra
NIM. 1704729

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamiin, penulis ucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak. Peneliti secara khusus mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Bambang Supriatno, M.Si selaku ketua Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA UPI.
2. Ibu Dr. Hj. Diah Kusumawaty, M.Si selaku ketua Program Studi Biologi FPMIPA UPI.
3. Bapak Dr. H. Saefudin, M.Si dan Bapak Dr. Wahyu Surakusumah, M.T selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, dorongan, dan masukan hingga saat ini.
4. Bapak Dr. Didik Priyandoko, M.Si dan Bapak Prof. Topik Hidayat, M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa membantu dan membimbing saya dari awal perkuliahan hingga saat ini.
5. Kedua orang tua tercinta dan saudara yang selalu memberikan semangat, kasih sayang, doa yang tidak henti-hentinya demi kelancaran penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Segenap dosen dan seluruh staf akademik Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA UPI yang selalu membantu dalam memberikan ilmu dan fasilitas yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini.
7. Semua Teman di kelas Biologi C 2017 UPI yang senantiasa membantu dan memberikan dukungan dari awal semester hingga sekarang.

Alifiani Azzahra, 2021

*PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

8. Serta masih banyak pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam kelancaran penyelesaian skripsi.

Akhirnya tiada kata yang lebih baik dari penulis. Semoga Allah SWT senantiasa membalas amal baik yang telah diberikan semua pihak kepada penulis. Penulis mengucapkan terima kasih dan mohon maaf atas segala hal yang kurang berkenan.

Bandung, April 2021

Pembuat Pernyataan



Alifiani Azzahra

Alifiani Azzahra, 2021

*PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah Penelitian.....	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
1.7. Asumsi	5
1.8. Struktur Organisasi Skripsi	5
BAB II.....	7
LANDASAN TEORITIS	7
1.1. Logam Tembaga (Cu).....	7
1.2. Teknologi Fitoremediasi	9
1.2.1. Pengertian Fitoremediasi.....	9
1.2.2. Fitoekstraksi	10
1.2.3. Fitofiltrasi.....	12
1.2.4. Fitostabilisasi.....	12
1.2.5. Mekanisme fitostabilisasi.....	13
1.2.6. Fitovolatilisasi	14
1.2.7. Fitodegradasi	14
1.2.8. Fitodesalinasi.....	15
1.2.9. Rhizodegradasi	15
1.2.10. Faktor yang mempengaruhi proses fitoremediasi.....	16

Alifiani Azzahra, 2021

*PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

1.3.	Penyerapan logam oleh tanaman	18
1.3.1.	Faktor yang Mempengaruhi Penyerapan Logam oleh Tanaman	18
1.3.2.	Penyerapan logam Cu oleh Tanaman.....	20
1.4.	Sistem dan Berpikir Sistem (<i>System dan Systems Thinking</i>).....	22
1.4.1.	Pemodelan Sistem.....	22
1.4.2.	Simulasi Sistem	23
1.4.3.	Sistem Dinamis.....	25
1.4.4.	Model Dinamik Fitoremediasi.....	26
1.4.5.	Software Powersim.....	28
1.4.6.	Penelitian yang Telah Melakukan Pemodelan Dinamik Fitoremediasi	29
BAB III		34
METODE PENELITIAN		34
3.1.	Jenis Penelitian.....	34
3.2.	Desain Penelitian	34
3.3.	Populasi dan Sampel.....	34
3.4.	Waktu dan Tempat Penelitian	35
3.5.	Alat dan Bahan	35
3.6.	Prosedur Penelitian.....	35
3.6.1.	Prosedur Penelitian Pendahuluan	36
3.6.2.	Pengumpulan Data.....	37
3.6.3.	Identifikasi Faktor Berpengaruh dan Pemodelan Sistem	38
3.6.4.	Validasi Model	41
BAB IV		43
TEMUAN DAN PEMBAHASAN		43
4.1.	Data Sistem Nyata	43
4.2.	Pembuatan Diagram Causal Loop (<i>Causal Loop Diagram</i>)	45
4.3.	Pembuatan Diagram Alir (<i>Stock Flow Diagram</i>)	47
4.3.1.	Hubungan antar variabel pada model sistem dinamis penyisihan logam Cu	48
4.4.	Validasi Model	50
4.5.	Data Simulasi Model	51
4.5.1.	Data Model Sistem pada Spesies <i>Avicenna sp.</i>	51
4.5.2.	Data Model Sistem pada Spesies <i>Hordeum vulgare</i>	53
4.5.3.	Data Model Sistem pada Spesies <i>Phaseolus vulgaris</i>	54

Alifiani Azzahra, 2021

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

4.5.4.	Data Model Sistem pada Spesies <i>Sorghum vulgare</i>	55
4.5.5.	Data Model Sistem pada Spesies <i>Ipomoea carnea</i>	56
4.6.	Strategi Peningkatan Efisiensi Fitoremediasi Logam Cu.....	57
4.6.1.	<i>Avicenna sp</i>	57
4.6.2.	<i>Hordeum vulgare</i>	58
4.6.3.	<i>Phaseolus vulgaris</i>	59
4.6.4.	<i>Sorghum vulgare</i>	60
4.6.5.	<i>Ipomoea carnea</i>	61
BAB V	64
PENUTUP	64
5.1.	Simpulan	64
5.2.	Implikasi	64
5.3.	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	77

Alifiani Azzahra, 2021

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

DAFTAR TABEL

Tabel 3.6.2.1. Tabel Jurnal yang digunakan dalam penelitian	37
Tabel 3.6.3.1. Rumus perhitungan variable dalam diagram stock flow	40
Tabel 4.1.1. Faktor Bioakumulasi Logam Cu pada 5 Spesies Tanaman	44
Tabel 4.1.2. Faktor Translokasi Logam Cu pada 5 Spesies Tanaman	44
Tabel 4.1.3. Konsentrasi Maksimal Logam Cu pada tanah	44
Tabel 4.1.4. Pengaruh Ph pada Removal Logam Cu	45
Tabel 4.1.5. Pengaruh Kelembaban Tanah pada Removal Logam Cu	45
Tabel 4.1.4.1. Perbandingan data sistem <i>real</i> dan data model	50
Tabel 4.5.1.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Avicenna sp</i>	52
Tabel 4.5.2.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Hordeum</i>	53
Tabel 4.5.3.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Phaseolus</i>	54
Tabel 4.5.4.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Sorghum</i>	54
Tabel 4.5.5.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Ipomoea</i>	55
Tabel 4.6.1.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 5 kg Pada <i>Avicenna sp</i>	57
Tabel 4.6.1.2. Pengaruh Biomassa Tanaman 10 kg Pada <i>Avicenna sp</i>	58
Tabel 4.6.2.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 5 kg Pada <i>Hordeum</i>	58
Tabel 4.6.2.2. Pengaruh Biomassa Tanaman 10 kg Pada <i>Hordeum</i>	59
Tabel 4.6.3.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 5 kg Pada <i>Phaseolus</i>	59
Tabel 4.6.3.2. Pengaruh Biomassa Tanaman 10 kg Pada <i>Phaseolus</i>	60
Tabel 4.6.4.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 5 kg Pada <i>Sorghum</i>	60
Tabel 4.6.4.2. Pengaruh Biomassa Tanaman 10 kg Pada <i>Sorghum</i>	61
Tabel 4.6.5.1. Pengaruh Biomassa Tanaman 5 kg Pada <i>Ipomoea</i>	61
Tabel 4.6.5.2. Pengaruh Biomassa Tanaman 10 kg Pada <i>Ipomoea</i>	62

Alifiani Azzahra, 2021

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.4.2.1.1 Bagan Alir Tahapan dalam Simulasi Sistem	24
Gambar 2.4.5.1. Contoh Diagram Causal Loop	28
Gambar 2.4.5.2. Ilustrasi Diagram Stock Flow	28
Gambar 2.4.6.1. Diagram <i>Stock Flow</i> Pemodelan Dinamik Fitoremediasi	30
Gambar 3.6.1. Diagram Alir Prosedur Penelitian	36
Gambar 3.6.3.1. Pembuatan Diagram Causal Loop pada Software Powersim	39
Gambar 3.6.3.2. Pembuatan Diagram Stock Flow pada Software Powersim	39
Gambar 3.6.3.1. Simulasi Model pada Software Powersim	41
Gambar 4.2.1. <i>Causal Loop</i> Penyisihan Logam Cu	46
Gambar 4.3.1. Diagram stok flow penyisihan logam Cu	47
Gambar 4.5.1.1. Grafik Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Avicenna sp</i>	52
Gambar 4.5.2.1. Grafik Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Hordeum vulgare</i>	53
Gambar 4.5.3.1. Grafik Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg Pada <i>Phaseolus vulgaris</i>	54
Gambar 4.5.4.1. Grafik Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg	56

Alifiani Azzahra, 2021

**PEMODELAN SISTEM DINAMIS PENYISIHAN LOGAM CU PADA PROSES FITOREMEDIASI
MENGUNAKAN SOFTWARE POWERSIM**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Pada *Sorghum vulgare*

Gambar 4.5.5.1. Grafik Pengaruh Biomassa Tanaman 1 kg

57

Pada *Ipomoea carnea*

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Mahmud. 2008. *Tehnik Simulasi dan Permodelan*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.(online).
http://repository.upi.edu/11779/11/T_PKKH_1104495_Chapter2.pdf.Dia ksespada tanggal 20 Juli 2021
- Adriano, D. C. (2013). *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer Science & Business Media.
- Afrina, A., & Lazulva, L. Reduction of Heavy Metals Level in the Waste Water Using Phytoremediation Technique. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 1(1), 1-8.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals— Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic & Professional. London
- Alloway, B. J., & Davies, B. E. (1971). Trace element content of soils affected by base metal mining in Wales. *Geoderma*, 5(3), 197-208.)
- Apelt, M. (2010). Phytoremediation of copper contaminated waste water using *lemna minor*.
- Arvik, J.H., and R.L. Zimdahl. 1974. Barriers to the foliar uptake of lead. *J. Environ. Qual.* 3:369 373.
- AzeeZ, N. M. (2021). Bioaccumulation and phytoremediation of some heavy metals (Mn, Cu, Zn and Pb) by bladderwort and duckweed. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(5).
- Baker, A.J., 1981. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr.* 3, 643–654.

- Branzini, A.; and M.S. Zubillaga, 2013. Phytostabilization as Soil Remediation Strategy (Chapter 10). Dalam D.K. Gupta (Ed.). Plant-Based Remediation Processes. Soil Biology vol. 35. Springer.Heidelberg pp. 177 - 198
- Brunner, I., Luster, J., Günthardt-Goerg, M.S., Frey, B., 2008. Heavy metal accumulation and phytostabilisation potential of tree fine roots in a contaminated soil. Environ. Pollut. 152, 559–568.
- Bücking, H., Heyser, W., 1999. Elemental composition and function of polyphosphates in *Ectomycorrhizalfungi*—an X-ray microanalytical study. Mycol. Res. 103, 31–39.
- Bücking, H., Heyser, W., 2000. Subcellular compartmentation of elements in non- mycorrhizal andmycorrhizal roots of *Pinus sylvestris*: An X-ray microanalytical study. I. The distribution ofphosphate. New Phytol. 145, 311-320
- Canales-Pastrana, R. R., & Paredes, M. (2013). Phytoremediation dynamic model as an assessment tool in the environmental management.
- Chaney R.L. 1995. Potential use of metal hyperaccumulators. Mining Environ Manag.3: 9-11.
- Clemens, S., Palmgren, M.G., Krämer, U., 2002. A long way ahead: Understanding and engineeringplant metal accumulation. Trends Plant Sci.7,309–315.
- Cobbett, C., Goldsbrough, P., 2002. Phytochelatins and metallothioneins: Roles in heavy metaldetoxification and homeostasis. Annu. Rev. PlantBiol. 53, 159–182.
- Connel, D. W. dan Miller, G. J. 1995. Kimia dan Otoksikologi Pencemaran. Penerbit UI-Press. Jakarta.
- Darmono, 2001, Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam, 139, 142, UI – Press, Jakarta

- De, D., 2000. *Plant Cell Vacuoles: An Introduction*. Csiro Publishing
- Delhaize, E., Ryan, P.R., 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology* 107,315.
- Dietz, K.-J., Baier, M., Krämer, U., 1999. Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants, Heavy metal stress in plants. Springer, 73–97.
- Dixon, D.P., Laphorn, A., Edwards, R., 2002. Plant glutathione transferases. *Genome Biol.* 3, 3004.3001–3004.3010
- Domènech, J., Mir, G., Huguet, G., Capdevila, M., Molinas, M., Atrian, S., 2006. Plant metallothionein domains: Functional insight into physiological metal binding and protein folding. *Biochimie* 88,583–593.
- Edwards, R., Dixon, D.P., 2005. Plant glutathione transferases. *Methods Enzymol.* 401, 169–186
- Egidi E, Wood JL, Mathews E, Fox E, Liu W, Franks AE. (2016).Draft genome sequence of *Bacillus cereus* LCR12, a plant growthpromoting rhizobacterium isolated from a heavy metale contaminated environment. *Genome Announc* ;4.e01041e16).
- Emiliani, J., Llatance Oyarce, W. G., Bergara, C. D., Salvatierra, L. M., Novo, L. A., & Pérez, L. M. (2020). Variations in the Phytoremediation Efficiency of Metal-polluted Water with *Salvinia biloba*: Prospects and Toxicological Impacts. *Water*, 12(6), 1737.
- Evangelou, M.W., Ebel, M., Schaeffer, A., 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metalsfrom soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. *Chemosphere* 68, 989–1003.

- Foyer, C.H., Noctor, G., 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: A metabolic interface between stress perception and physiological responses. *The Plant Cell Online* 17, 1866–1875.
- Gabbrielli R, Mattioni C, dan Vergnano O. 1991. Accumulation mechanisms and heavy metal tolerance of a nickel hyperaccumulator. *J. Plant Nutrition* 14: 1067- 1080.
- Grill, E., Thumann, J., Winnacker, E., Zenk, M., 1988. Induction of heavy-metal binding phytochelatin by inoculation of cell cultures in standard media. *Plant Cell Rep.* 7, 375–378.
- Guo, W.-J., Meenam, M., Goldsbrough, P.B., 2008. Examining the specific contributions of individual *Arabidopsis metallothioneins* to copper distribution and metal tolerance. *Plant Physiol.* 146, 1697–1706.
- Guo, W.J., Bundithya, W., Goldsbrough, P.B., 2003. Characterization of the *Arabidopsis metallothionein* gene family: Tissue-specific expression and induction during senescence and in response to copper. *New Phytol.* 159, 369–381.
- Hall, J., 2002. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *J. Exp. Bot.* 53, 1–11.
- Hardiani, H. 2009. Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *BS*, Vol. 44, No. 1.: 27-40.
- Hidayati, N. (2005). Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator. *Hayati Journal of Biosciences*, 12(1), 35-40
- Huang, X., Zhao, F., Yu, G., Song, C., Geng, Z., & Zhuang, P. (2017). Removal of Cu, Zn, Pb, and Cr from Yangtze Estuary using the *Phragmites australis* artificial floating wetlands. *BioMed research international*, 2017.

- Indrasti, N. S., Suprihatin, B., & Novita, A. (2006). Penyerapan logam Pb dan Cd oleh eceng gondok: pengaruh konsentrasi logam dan lama waktu kontak. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(1).
- Irwanto. (2010). Analisis Vegetasi Parameter Kuantitatif. UI Press. Jakarta.
- Jing YD, He ZL, Yang XE. (2007). Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *J Zhejiang Univ Sci B* ;8:192e207
- Kamalu, C. I. O., Okere, P. C., Egbufor, U. C., Nwandikom, G. I., Obijiaku, J. C., & Asomungha, C. C. (2017). Modeling and optimization of phytoremediation kinetics of metals in soil by a plant hyperaccumulator. *Am. J. Eng. Res*, 6, 196- 207.
- Kandowanko, N. Y., Lamondo, D., & Kiroyan, S. (2019, August). Accumulation of copper metal (Cu) on the plant *Ipomoea carnea*, Jacq in around the Limboto lake. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 308, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Khan, A.G., C. Kuek., Chaudrhry., C.S. Khoo & W.J. Hayes. 2000. Role of Plant, Mycorrhizae and Phytochelator in Heavy Metal Contaminated Land Remediation. *Chemosphere* 41:197 – 207.
- Klein, M., Burla, B., Martinoia, E., 2006. The multidrug resistance-associated protein (MRP / ABCC) subfamily of ATP-binding cassette transporters in plants. *FEBS Lett.* 580, 1112–1122
- Krämer, U., 2010. Metal hyperaccumulation in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 517–534
- Kundari, N.A., dan Wiyuniati, S. 2008. Tinjauan Keseimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. 25-26 Agustus 2008. Yogyakarta.
- Larsen, P.B., Degenhardt, J., Tai, C.-Y., Stenzler, L.M., Howell, S.H., Kochian, L.V., 1998. Aluminum-resistant *Arabidopsis* mutants that exhibit altered

patterns of aluminum accumulation and organic acid release from roots. *Plant Physiology* 117, 9–17.

Lasat MM, Baker AJM, dan Kochian LV. 1996. Physiological characterization of root Zn^{2+} absorption and translocation to shoot in Zn hyperaccumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. *Plant Physiol.* 112: 1715-1722.

Lin, Z.-Q., Schemenauer, R., Cervinka, V., Zayed, A., Lee, A., Terry, N., 2000. Selenium Volatilization from a Soil–Plant System for the Remediation of Contaminated Water and Soil in the San Joaquin Valley. *J. Environ. Qual.* 29, 1048–1056.

Lewis, C. D. (1982). *Industrial and business forecasting methods*. London: Butterworths

Lothenbach, B., Krebs, R., Furrer, G., Gupta, S., Schulin, R., 1998. Immobilization of cadmium and zinc in soil by Al-montmorillonite and gravel sludge. *Eur. J. Soil Sci.* 49, 141–148.

Malik, N., Biswas, A., 2012. Role of higher plants in remediation of metal contaminated sites. *Sci.Rev. Chem. Commun.* 2, 141–146.

Marques, A.P., Rangel, A.O., Castro, P.M., 2009. Remediation of heavy metal contaminated soils: Phytoremediation as a potentially promising clean-up technology. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 39, 622–654

McGrath SP, Shen ZG, dan Zhao FJ. 1997. Heavy metal uptake and chemical changes in rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* grown in contaminated soils. *Plant Soil.* 188: 153-159

McGrath, S.P., Zhao, F.-J., 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14, 277–282.

Meagher, R., Rugh, C., Kandasamy, M., Gragson, G., Wang, N., 2000. Engineered phytoremediation of mercury pollution in soil and water

- using bacterial genes. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 201–219
- Meharg, A.A., 2003. The mechanistic basis of interactions between mycorrhizal associations and toxic metal cations. *Mycol. Res.* 107, 1253–1265
- Mellem, J. J., Baijnath, H., Odhav, B., 2012. Bioaccumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni with the Ability for Hyperaccumulation by *Amaranthus dubius*. *African Journal of Agricultural Research*. 7(4): 591-596
- Mendez, M.O., Maier, R.M., 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments—an emerging remediation technology. *Environ. Health Perspect.* 116, 278.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. 4th ed. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland
- Merian, E. 1994. *Toxic Metal In The Environment*. VCH Verlagsgesellschaft mbH. Weinheim
- Mukhopadhyay S and SK Maiti. 2010. Phytoremediation of metal mine waste. *Applied Eco Environ Res* 8: 207-222
- Mullineaux, P.M., Rausch, T., 2005. Glutathione, photosynthesis and the redox regulation of stressresponsive gene expression. *Photosynth. Res.* 86, 459–474.
- Napoli, M., Cecchi, S., Grassi, C., Baldi, A., Zanchi, C. A., & Orlandini, S. (2019). Phytoextraction of copper from a contaminated soil using arable and vegetable crops. *Chemosphere*, 219, 122-129.
- Notohadiprawiro, T. (1995). Logam berat dalam pertanian. *Jurnal manusia dan lingkungan*, 2(7), 3-11.
- Nurmalasari, D., Hastuti, R. dan Widodo, D. S. 2015. Pengaruh Penambahan Polivilinil Alkohol Pada Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam Sebagai

Adsorben Campuran Ion Logam Tembaga Dan Kromium. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi. Vol. 18. No. 1 : 18-23.

Ogawa, K.i., Iwabuchi, M., 2001. A mechanism for promoting the germination of *Zinnia elegans* seeds by hydrogen peroxide. Plant and cell physiol. 42, 286–291.

Ohtake H, Komori K, Cervantes C, Toda K.(1990). Chromate-resistance in a chromate-reducing strain of *Enterobacter cloacae*. FEMS Microbiol Lett ;67:85e8

Palar, H. 2008. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta. Jakarta.

Panda, S., Chaudhury, I., Khan, M., 2003. Heavy metals induce lipid peroxidation and affect antioxidants in wheat leaves. Biologia Plantarum 46, 289–294.

Pignattelli, S., Colzi, I., Bucciati, A., Cecchi, L., Arnetoli, M., Monnanni, R., Gabbrielli, R., Gonnelli, C., 2012. Exploring element accumulation patterns of a metal excluder plant naturally colonizing a highly contaminated soil. J. Hazard. Mater. 227, 362–369.

Priyanto, B. & Prayitno, J. 2006. Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan

Putranto, T. T. (2011). Pencemaran Logam Berat Merkuri (Hg) pada Airtanah. *Teknik*, 32(1), 62-71

PW, Atkins. 1999. Kimia Fisika Jilid II. Kartohadiprojo II, Penerjemah; Rohhadyan T, editor in, Oxford : Oxford University Press. Terjemahan dari : Physical Chemistry.

Qin, R., Hirano, Y., Brunner, I., 2007. Exudation of organic acid anions from poplar roots after exposure to Al, Cu and Zn. Tree Physiol. 27, 313–320.

- Rahman, M. M., Azirun, S. M., & Boyce, A. N. (2013). Enhanced accumulation of copper and lead in amaranth (*Amaranthus paniculatus*), Indian mustard (*Brassica juncea*) and sunflower (*Helianthus annuus*). *PLoS one*, 8(5), e62941.
- Rausch, T., Gromes, R., Liedschulte, V., Müller, I., Bogs, J., Galovic, V., Wachter, A., 2007. Novel insight into the regulation of GSH biosynthesis in higher plants. *Plant Biol.* 9, 565–572.
- Rengel, Z., Zhang, W.H., 2003. Role of dynamics of intracellular calcium in aluminium-toxicity syndrome. *New Phytol.* 159, 295–314.
- Riza, M., & Hoque, S. (2021). Phytoremediation of Copper and Zinc Contaminated Soil around Textile Industries using *Bryophyllum pinnatum* Plant. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 88-97.
- Riza, Afriza. 2009. Pengaruh Pemberian Kadar Air Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays*), dalam <http://biologicemara.com>. Diakses tanggal 1 Agustus 2021
- Roosens, N.H., Leplae, R., Bernard, C., Verbruggen, N., 2005. Variations in plant metallothioneins: The heavy metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* as a study case. *Planta* 222, 716–729.
- Rosihan, A., & Husaini, H. (2017). Logam berat sekitar manusia
- Said, H., Supwatul, H. dan Yuli, R. 2014. The Effect of Contact Time and pH on Methylene Blue Removal by Volcanic Ash. Kuala Lumpur: Int'l Conference on Chemical, Biological, and Environmental Sciences (ICCBES'14). Vol. 4. No.1 : 11-13.
- Salt, D.E., R.D. Smith & I. Raskin. 1998. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology : Phytoremediation. Annual Reviews. USA. 501–662

- Sharma, S.S., Dietz, K.-J., 2009. The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance. *Trends in plant science* 14, 43–50.
- Shofiyani, A., & Gusrizal, G. (2010). DETERMINATION OF pH EFFECT AND CAPACITY OF HEAVY METALS ADSORPTION BY WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes*) BIOMASS. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(1), 56-60.
- Silva, G., Aini, S. N., Buchari, H., & Salam, A. K. (2021). The Phytoextraction of Copper from Tropical Soil 21 Years after Amendment with Heavy-Metal Containing Waste. *Journal of Tropical Soils*, 26(1), 11-18.
- Sudjiono, Anas. (2010). Pengantar Statistik Pendidikan. Jakarta: Rajawali Press
- Supriharyono. 2000. Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Jakarta: Gramedia
- Sutrisno, Edy. 2010. Manajemen Sumber Daya Manusia. Jakarta: Kencana
- Tam, P.C., 1995. Heavy metal tolerance by ectomycorrhizal fungi and metal amelioration by *Pisolithus tinctorius*. *Mycorrhiza* 5, 181–187.
- Volland, S., Andosch, A., Milla, M., Stöger, B., Lütz, C., Lütz-Meindl, U., 2011. Intracellular metal compartmentalization in the green algal model system *Micrasterias denticulata* (streptophyta) measured by transmission electron microscopy–coupled electron energy loss spectroscopy. *J. Phycol.* 47, 565–579.
- Wei, S., Zhou, Q., Wang, X., 2005. Identification of weed plants excluding the uptake of heavy metals. *Environment International* 31, 829–834.
- Widowati, Wahyu, dkk. 2008. Efek Toksik Logam. Yogyakarta: ANDI
- Wirawan, Y., D. Rosyidi dan E. S. Widyastuti. 2013. Pengaruh Penambahan Pati Biji Durian (*Durio zibethinus* Murr) Terhadap Kualitas Kimia dan Organoleptik Bakso Ayam. Department of Live Stock of Technology, Faculty of Animal Husbandry University of Brawijaya Malang

- Wong, M.H., 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere* 50, 775–780
- Xiyuan, X. I. A. O., Tongbin, C. H. E. N., Zhizhuang, A. N., Mei, L. E. I., Huang, Z., Xiaoyong, L. I. A. O., & Yingru, L. I. U. (2008). Potential of *Pteris vittata* L. for phytoremediation of sites co-contaminated with cadmium and arsenic: The tolerance and accumulation. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 62-67.
- Yadav, S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *S. Afr. J. Bot.* 76, 167–179.
- Yang, X., Feng, Y., He, Z., Stoffella, P.J., 2005. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 18, 339–353.
- Yazaki, K., 2006. ABC transporters involved in the transport of plant secondary metabolites. *FEBS Lett.* 580, 1183–1191
- Yoon, J., Xinde, C., Qixing, Z., L.Q. Ma, L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment* 52: 456-464.
- Zenk, M.H., 1996. Heavy metal detoxification in higher plants—a review. *Gene* 179, 21–30.
- Zhao, F., Lombi, E., McGrath, S., 2003. Assessing the potential for zinc and cadmium phytoremediation with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant and Soil* 249, 37–43.
- Zhou, G.-K., Xu, Y.-F., Liu, J.-Y., 2005. Characterization of a rice class II metallothionein gene: Tissue expression patterns and induction in response to abiotic factors. *J. Plant Physiol.* 162, 686–696.