

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan proses penelitian kemampuan fitoremediasi tanaman biduri (*Calotropis gigantean* Willd) dalam mereduksi tanah tercemar logam berat tembaga (Cu), maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Tanaman biduri memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat tembaga (Cu) yang ditandai dengan penurunan konsentrasi logam berat Cu dari awal pemaparan hingga akhir pemaparan dan kemampuan menyerap logam berat Cu mencapai angka sebesar 94,92%, walaupun pada konsentrasi logam berat yang rendah.
2. Logam berat tembaga merupakan salah satu unsur hara esensial dalam jumlah mikro yang juga dibutuhkan oleh tanaman dalam proses fisiologi tanaman, sehingga tidak menghambat pertumbuhan akar, batang, dan daun tanaman biduri serta tanaman biduri juga memiliki sifat toleran terhadap logam berat pada konsentrasi tertentu.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, diberikan beberapa saran, yaitu :

1. Perlu dilakukan uji lanjutan menggunakan limbah hasil kegiatan perindustrian, contohnya industri perak di kota gede yogyakarta.

2. Perlu dilakukan uji lanjutan dengan tambahan beberapa variasi pengukuran, seperti analisis kandungan logam berat pada tiap-tiap organ tanaman seperti (akar, batang, dan daun).



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, K. K. M., Rana, A. C. dan Dixit, V. K. 2005. Calotropis Species (Asclepiadaceae)-A Compherensif Review. *Pharmacognosy Magazine*. 1(2):48-52.
- Alkorta I., Hernandez-Allica J., Becerril J. M., Amezaga I., Albizu I., Garbisu C. 2004. Recent Findings on The Phytoremediation of Soils Contaminated with Environmentally Toxic Heavy Metals and Metalloids Such as Zinc,Cadmium, Lead, and Arsenic. *Environmental Science and Biotechnology*.(3) 1: 71- 90
- Alloway B. J., dan Ayres D. C. 1997. *Chemical Principles of Environmental Pollution, 2nd Edition: Blackie Academic and Professional*. Penerbit Chapman & Hall, London.
- Berlindis, B. L. 2015. Potensi *Calotropis gigantea*, Willd Sebagai Fitoremediator Logam Berat Kadmium (Cd). *Skripsi (S-1)*. Fakultas Tehnobiologi Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.
- Chaney, R. L., Malik, M., Li, Y. M., Brown, S. L., Brewer, E. P., Angle, J. S. dan Baker, E. J. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Current Opini Biotechnol*. 8(3):279-284
- Chen H., dan Cutright T. J. 2002. The Interactive Effects of Chelator, Fertilizer, and Rhizobacteria for Enhancing Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soil. *Journal of Soils and Sediments*. 4 (2): 203-210.
- Clemens S., Palmgren M. G., dan Krämer U. 2002. A Long Way Ahead: Understanding and Engineering Plant Metal Accumulation. *Trends Plant Science*. 7: 309-315.
- Darmono, 1995. *Logam dalam Sistem Mahluk Hidup*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2013. *Tanaman Biduri dan Gandarusa*. <http://ditjenbun.deptan.go.id/tanregar/berita-214-tanaman-biduri-gandarusa.html>. Diakses pada tanggal 13 Oktober, 2017
- Ellya, K. 2009. Adsorpsi Logam Berat. *Oceana*. 34 (4): 1-7.
- Fardiaz, S. 2008. *Polusi Air dan Udara*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Fischerova Z., Tlustos P., Szakova J., Sichorova K. 2006. A Comparison of Phytoremediation Capability of Selected Plant Species for Given Trace Elements. *Environmental Pollution*. 144: 93-100.

- Fisher T. R., Peele E. R., Ammerman J. W., dan Harding L. W Jr. 1992. Nutrient Limitation of Phytoplankton in Chesapeake Bay. *Marine Ecology Progress Series*. 82: 51-63.
- Fontes R.L.F., dan Cox F.R. 1995. Effects of Sulfur Supply on Soybean Plants Exposed To Zinc Toxicity. *Journal of Plant Nutrition*. 18: 1893-1906.
- Gallego S. M., Benavides M. P., dan Tomaro M. L. 2005. Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17(1): 21-34.
- Gasperz, V. 1994. *Metode Perancangan Percobaan*. Penerbit Armico, Jakarta.
- Gosh M., S. dan Singh P. 2005. A Review on Phytoremediation of Heavy Metal and Utilization of Its By Product. *Applied Ecology and Environmental Research*. 3 (2) : 1-18.
- Guerinot M. L., dan Salt D. E. 2001. Fortified Foods and Phytoremediation: Two Sides of The Same Coin. *Plant Physiol*. 125: 164-167.
- Guritno dan Sitompul, S. M. 1995. *Analisis Pertumbuhan Tanaman*. UGM Press, Yogyakarta.
- Handayani,I. 2013. Efisiensi Fitoremediasi pada Air Terkontaminasi Cu (Tembaga) Menggunakan *Salvinia molesta* Mitchel. *Naskah Skripsi-S1*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan. Universitas Nusantara PGRI, Kediri.
- Hardiyani, M. 2012, *Buku Keperawatan Medikal Bedah*, DIVA Press, Yogyakarta.
- Hernandez P., Dorado G., Laurie D. A., Martin A., dan Snape J. W. 1996. Microsatellites and RFLP Probes from Maize are Efficient Sources of Molecular Markers for The Biomass Energy. *Miscanthus Theoretical and Applied Genetics*. 102: 616-622.
- Hertstein U., dan Jeger H. J. 1986. Tolerances of Different Populations of Three Grass Species to Cadmium and Other Metals. *Environmental and Experimental Botany*. 26: 309-319.
- Interstate Technology Regulatory Council. 2001. *Technical and Regulatory Guidance Document: Phytotechnology*. Interstate Technology Regulatory Council. USA.
- Kongkow, 2007. *Daftar Tanaman Obat*. <http://.info/index.php.htm>. Diakses pada tanggal 13 Oktober 2017.
- Kozlowski T. T., Kramer P. J., dan Pallardy S. G. 1991. *The Physiological Ecology of Woody Plants*. Academic Press Inc, London.

- Kramer W., Fartmann B., Ringbeck E. C. 1996. Transcription of *mutS* and *mutL*-Homologous Genes in *Saccharomyces cerevisiae* during The Cell Cycle. *Molecular Genetics and Genomic*. 252 (3): 275-83.
- Krolak E. 2003. Dandelion as A Heavy Metal Bioindicator in Eastern Poland. *Ekologija*. 2: 33-37.
- Kumar P.B.A. N., Dushenkov V., Motto H., dan Raskin I. 1995. Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soils. *Environment Science Technology* 29: 1232-1238.
- Kundari, N.A. & Wiyuniati, S.(2008) Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*. 25-26 Agustus 2008. Yogyakarta.
- Lahudin. 2007. Aspek Unsur Mikro dalam Kesuburan Tanah. *Disampaikan pada Pidato Pengukuhan Guru Besar Universitas Sumatera Utara*, Medan.
- McGrath S. P., dan Zhao F. J. 2003. Phytoextraction of Metals and Metalloids from Contaminated Soils. *Curr Opin Biotechnology*. 277-282.
- McGrath S. P., Shen Z. G., dan Zhao F. J. 1997. Heavy Metal Uptake and Chemical Changes in Rhizosphere of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi ochroleucum* Grown in Contaminated Soils. *Plant Soil*. 153-159.
- Mengel, K., dan Kirby A. 1987. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Switzerland.
- Mohamad E. 2011. *Fitoremediasi Logam Berat Kadmium (Cd) Pada Tanah Dengan Menggunakan Bayam Duri (Amaranthus spinosus L)*. Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo.
- Muhammad, A. 2012. *Buku Keperawatan Medikal Bedah*, DIVA Press Yogyakarta.
- Nopriani, Lenny Sri, 2011, *Teknik Uji Cepat Untuk Identifikasi Pencemaran Logam Berat Tanah Di Lahan Apel Batu*. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.
- Nybaken, James W. 1992. *Biologi laut*. Gramedia. Jakarta.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineke Cipta, Jakarta.
- Pratiwi H. 2012. Studi Bioavailabilitas Logam Berat (Cd dan Pb) dalam Tanah dan Penyerapannya pada *Brassica juncea* L. (Sawi Hijau) dengan Teknik Diffusive Gradient in Thin Film (DGT). *Skripsi*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

- Prayitno, J. dan Priyanto, B. 2007. Adsorpsi ion kadmium (II) dari larutannya menggunakan biomassa akar dan batang kangkung air (*Ipomoea aquatic Forks*). *Jurnal Akademika Kimia*. 1(4): 153 – 158.
- Purwani J. 2013. Remediasi Tanah dengan Menggunakan Tanaman Akumulator Logam Berat Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides* L.). Balai Penelitian Tanah.
- Rahardjo M., Rosita S. M. D., Darwati I. 2001. Status Logam Berat Kadmium (Cd) dan Hasil Rimpang Temu Ireng (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) pada Pemupukan Fosfat. *Warta Tumbuhan Obat Indonesia*.
- Rao. 1994. *Mekanisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman*. UI Press, Jakarta.
- Rismawati, S. I. 2012. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat Zn Menggunakan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). *Naskah Skripsi (S1)*. Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Rusmendo dan Hasmar. 2003. *Seri Diktat Kuliah Ekologi Tumbuhan*. Unas Press, Jakarta.
- Salisbury, F. B. dan Ross, C. W. 1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Penerbit ITB, Bandung.
- Sasrawijaya, A. T., (2001), *Pencemaran Lingkungan*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Schanoor J. L., dan Mc Cutcheon S. C. 2003. *Phytoremediation Transformation and Control of Contaminants*. Wiley-Interscience Inc, USA.
- Skoog, D. A., West, D. M. dan Holler, F. J. 1998. *Analytical Chemistry*. Penerbit Saunders College Publishing, Philadelphia.
- Singh S. K. A. A. J., Kumar S., Meshram J., Fan M. 2007. Effect of Amendementon Phytoextraction of Arsenic by *Vetiveria zizanioides* from Soil. *Int. Environmental Science and Technology*. 4(3): 339-344.
- Stenis T. 1992. *Flora*. Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- Subroto, M. A. 1996. Fitoremediasi. Dalam: *Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi Dalam Pengelolaan Lingkungan*. Cibinong, 24-25 Juni 1996.
- Sudirja R., dan Supriatna D. 2000. Remediasi Logam Berat Pb, Cd, dan Cr pada Tanah Tercemar Industri Tekstil Menggunakan Bahan Organik dan Belerang dengan Indikator Tanaman Padi Sawah (*Oryza sativa* Linn). *SoilRens* vol. 1 No. 1 Halaman 29-36.

- Supriyo, Haryono dan Daryono Prehaten. 2014. Kandungan Unsur Hara dalam Daun Jati yang Baru Jatuh pada Tapak yang Berbeda. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 8(2).
- Surahmaida, Mangkoedihardjo, S., Margareth, C. dan Ludang, Y. 2008. Sistem Loop Pemulihan Tanah Tercemar Timbal Menggunakan Proses Bioaugmentasi Kompos dan Fitoremediasi Tanaman Jarak Pagar. *Seminar Masyarakat Peneliti Kaju di Universitas Palangka Raya*. Tanggal 8-10 Agustus 2008.
- Suresh, B and Ravishankar, G.A. 2004. Phytoremediation-A Novel and Promising Approach for Enviromental Clean-up Bull. *Critical reviews in Biotechnology*. 24(2-3): 97-124.
- Susana dan Suswati. 2011. Ketersediaan Cd, Gejala Toksisitas dan Pertumbuhan 3 Spesies Brassicaceae Pada Media Gambut yang Dikontaminasi Kadmium (Cd). *Teknik Perkebunan dan PSDL*. 1(1): 9-16.
- Tjahaja, P. Intan, Suhulman, P. Sukmabuana, dan Ruchijat. 2006. "Fitoremediasi Lingkungan Perairan Tawar: Penyerapan Radiocesium oleh Ki Ambang (*Salvinia molesta*)". *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*. 7 (1): 83-96.
- Tommy, T. dan Palapa, M. 2009. Bioremediasi merkuri (Hg) dengan tumbuhan air sebagai salah satu alternatif penanggulangan limbah tambang emas rakyat. *Agritek*. 17(5):1-14.
- Triastuti, A. 2010. Kajian fitoremediasi sebagai alternatif pemulihan tanah tercemar logam berat. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan dan Pencemaran Industri*. 1(2): 115 – 123.
- United States Environmental Protection Agency. 1999. *Phytoremediation Resource Guide*. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology, USA.
- United States Environmental Protection Agency. 2005. *Use of Field-Scale Phytotechnology for Chlorinated Solvents, Metals, Explosives and Propellants, and Pesticides*. Office of Solid Waste and Emergency Response Technology, USA.
- Weltz, K. 1976. *Organic Spectroscopy*. The Mamilan Press, London.
- Widowati, W. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Yang, X., Y.Feng, Z.He dan P.J.Stofella. 2005. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18(4): 339-353.

Yulianti, L. I. M. 2015. Potensi Calotropis gigantea Sebagai Fitoremediator Logam Berat Pb. e-journal.uajy.ac.id/6891/.

Zhu Y. L., Pilon-Smits E. A. H., Jouanin L., dan Terry N. 1999. Overexpression of Glutathione Synthetase In Indian Mustard Enhances Cadmium Accumulation And Tolerance. Plant Physiology. 119: 73-79.



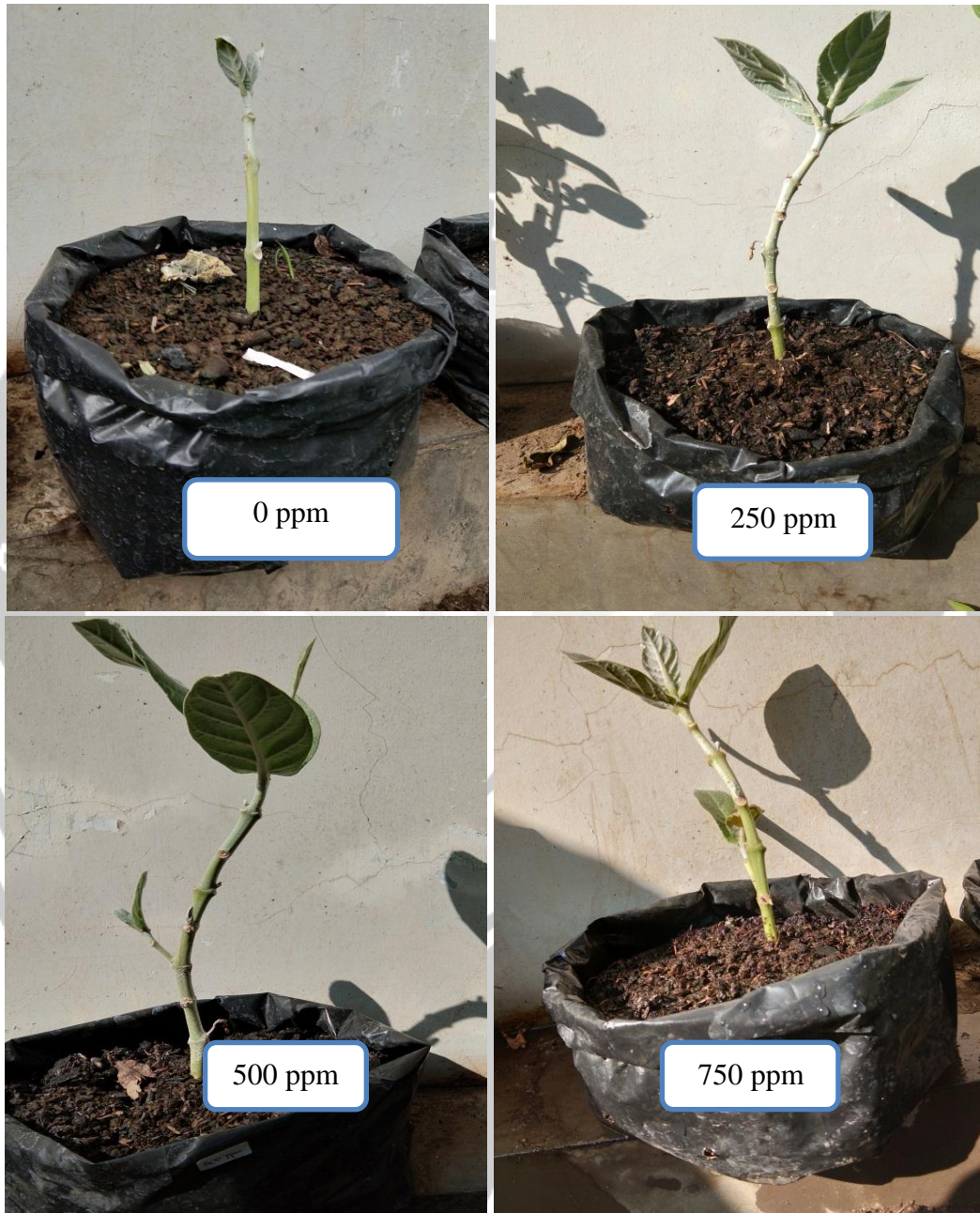
LAMPIRAN

Lampiran 1. Rekapitulasi Data Penelitian

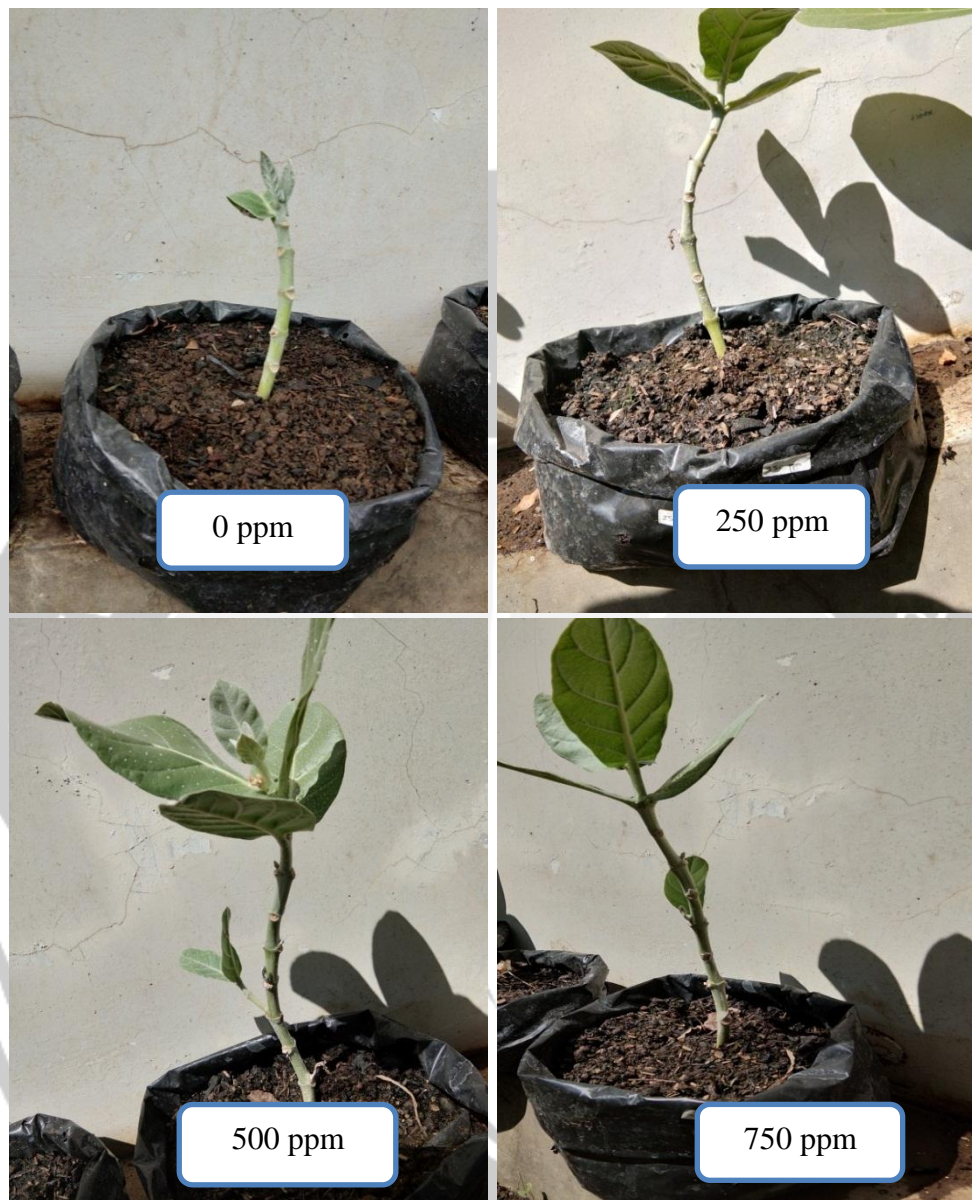
Tabel 13. Rekapitulasi Data Penelitian

Variasi Perlakuan (CuCl ₂)	Konsentrasi Cu dalam tanah (ppm)		IBR (%)	Konsentrasi Cu pada tanaman hari ke-28 (ppm)	Rerata pertambahan tinggi (cm)	Rerata pertambahan luas daun (cm ²)	Rerata panjang akar hari ke-28 (cm)	Berat kering hari ke-28 (gr)	Nilai faktor transfer hari ke-28
	Hari ke-0	Hari ke-28							
0 ppm	63,744	3,233	94,92	43,433	0,75	4,04	11,7	52,51	13,329
250 ppm	66,916	57,663	13,82	8,782	0,35	0,99	11,53	56,34	0,137
500 ppm	79,538	85,81	-7,88	27,788	1,4	6,23	26,07	65,72	0,332
750 ppm	135,734	120,094	11,52	16,175	1,8	5,91	21,73	69,65	0,136

Lampiran 2 . Pengukuran Tinggi dan Pengamatan Morfologi Tanaman Selama Waktu Pemaparan Logam Berat.



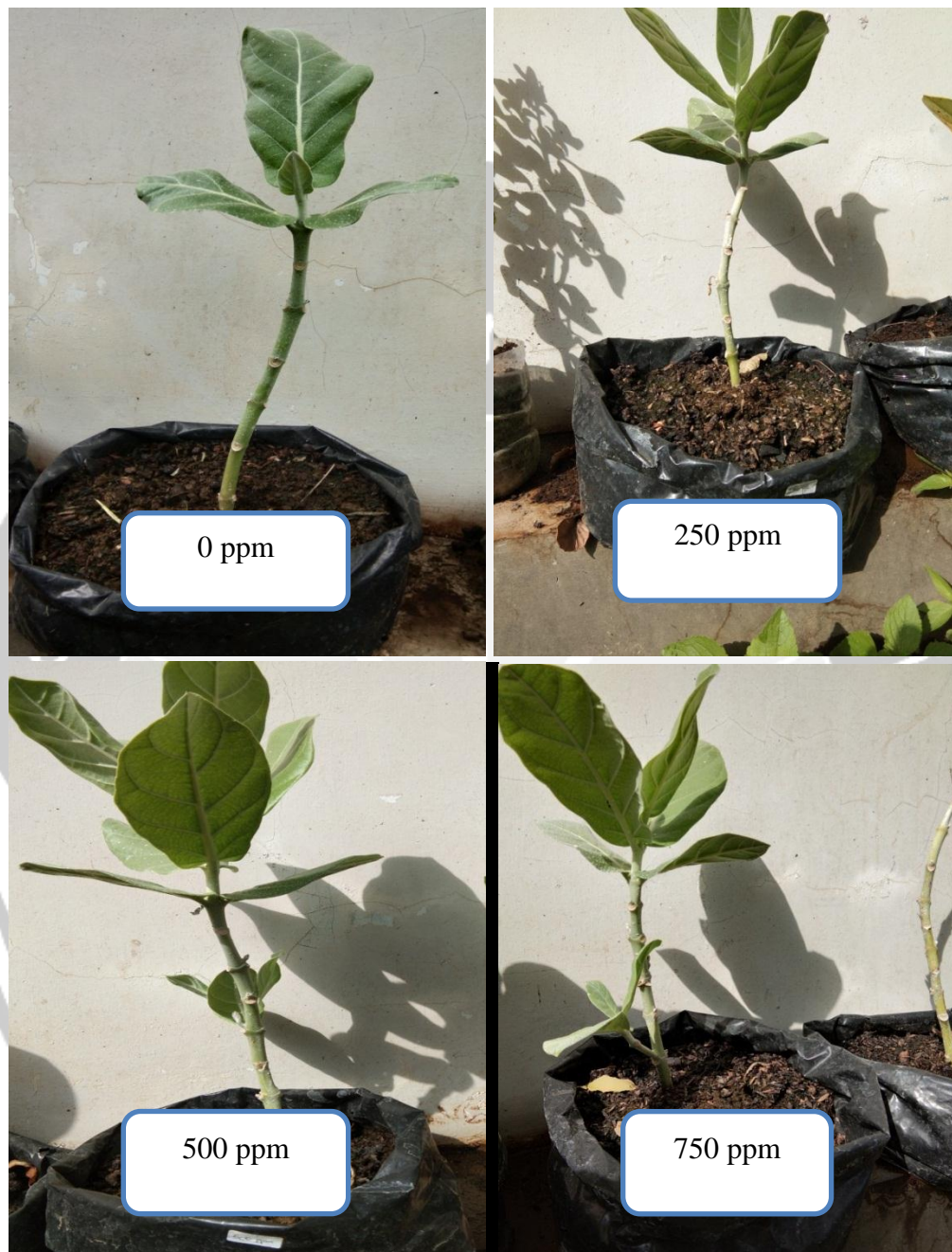
Gambar 6. Tanaman uji pada waktu pemaparan hari ke-0



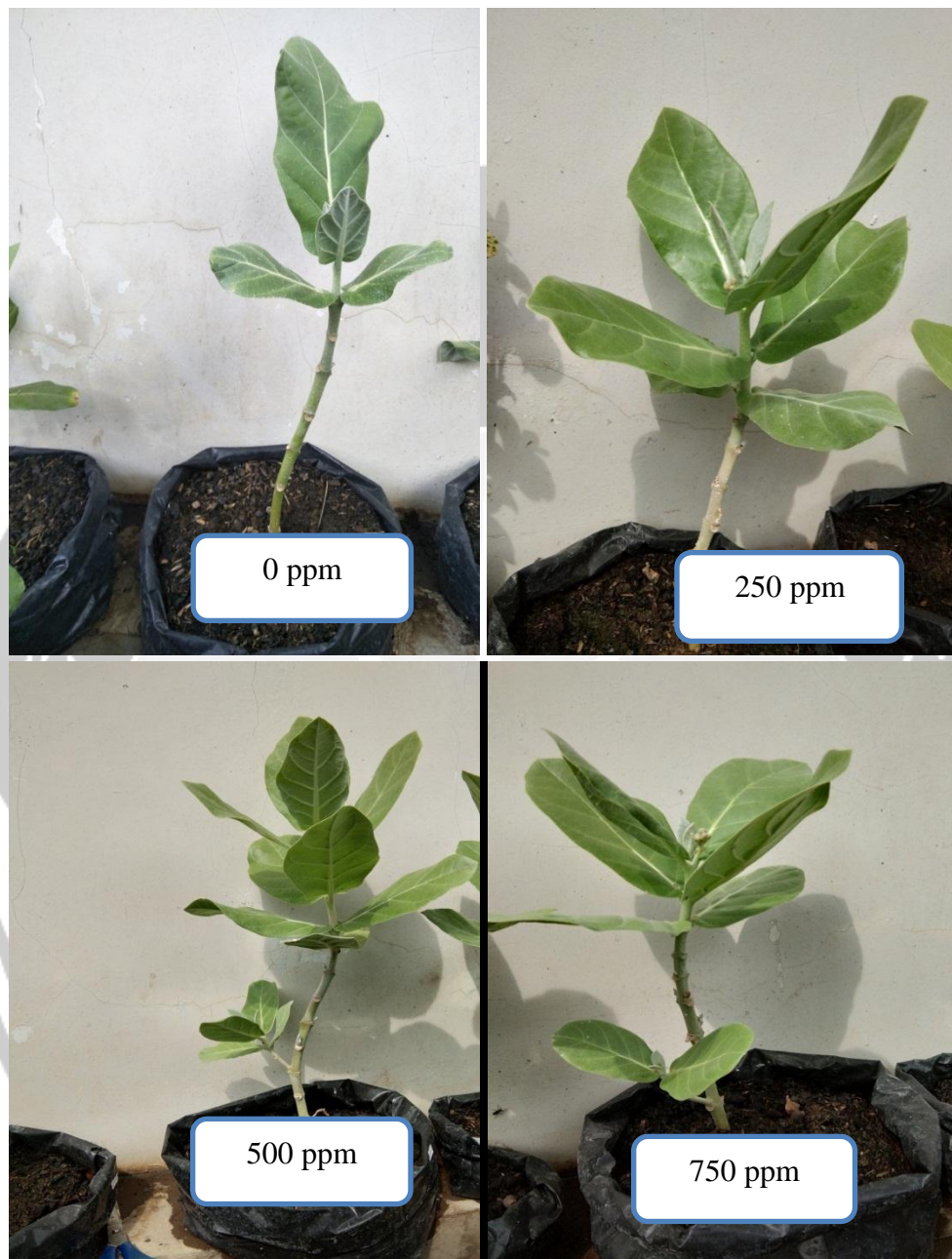
Gambar 7 . Tanaman uji pada waktu pemaparan hari ke-7



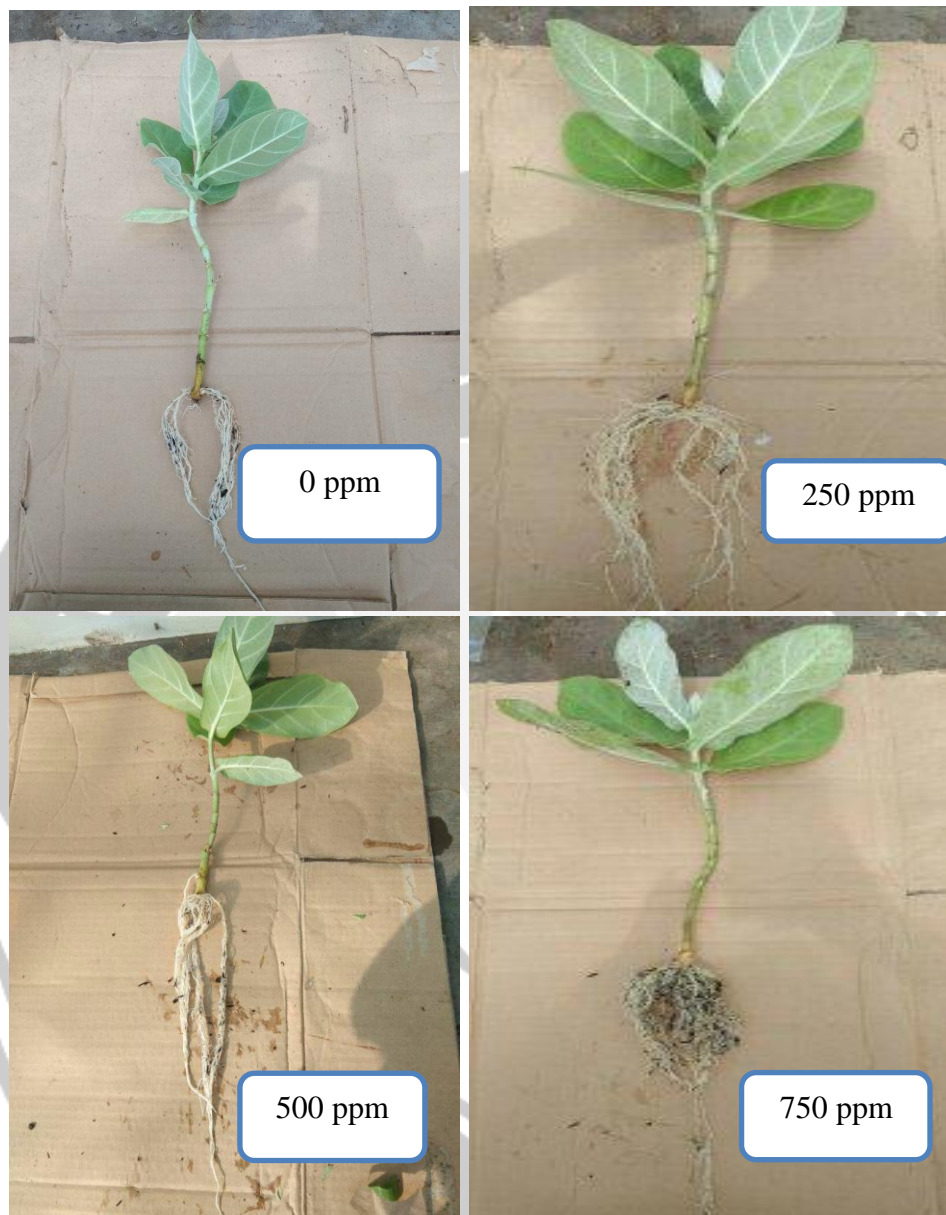
Gambar 8. Tanaman uji pada waktu pemaparan hari ke-14



Gambar 9. Tanaman uji pada waktu pemaparan hari ke-21



Gambar 10. Tanaman uji pada waktu pemaparan hari ke-28



Gambar 11 . Kondisi akar tanaman pada waktu pemaparan hari ke-28

Lampiran 3. Perhitungan IBR (Indeks Bioremediasi) Tanaman Biduri dalam Menyerap

Cu

Rumus Perhitungan IBR :

$$\text{IBR} = \frac{\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi Akhir}}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100 \%$$

$$\text{IBR 0 ppm} = \frac{63,744 - 3,233}{63,744} \times 100 \%$$

$$= 94,92 \%$$

$$\text{IBR 250 ppm} = \frac{66,916 - 57,663}{66,916} \times 100 \%$$

$$= 13,82 \%$$

$$\text{IBR 500 ppm} = \frac{79,538 - 85,81}{79,538} \times 100 \%$$

$$= -7,88 \%$$

$$\text{IBR 750 ppm} = \frac{135,734 - 120,094}{135,734} \times 100 \%$$

$$= 11,52 \%$$

Lampiran 4. Pengukuran Pertambahan Tinggi, Luas Daun, dan Nilai Faktor Transfer

Tanaman Biduri.

Tabel 14. Pengukuran tinggi tanaman dan luas daun

	Tinggi Tanaman (cm)					Luas Daun (cm ²)				
	0	7	14	21	28	0	7	14	21	28
A1	13,2	13,5	13,7	13,9	14,1	4,623	6,478	9,693	11,352	11,912
A2	15,7	16,1	16,4	16,8	16,9	6,427	7,465	10,672	11,024	11,332
A3	12	12,3	12,7	13	13,1	8,058	9,681	11,104	11,848	12,402
B1	15,7	16	16,1	16,2	16,3	2,317	3,224	3,552	3,560	3,684
B2	18,8	19	19	19,1	19,2	2,270	3,061	3,170	3,210	3,545
B3	19	19,2	19,2	19,4	19,5	2,406	2,853	3,230	3,400	3,527
C1	21,4	22,7	22,8	22,9	22,9	8,340	10,642	11,313	13,435	15,045
C2	19,9	21,2	21,4	21,5	21,5	5,745	8,122	11,482	12,849	13,213
C3	24,6	25,8	25,9	26	26,1	11,349	18,879	19,020	20,187	22,436
D1	22,7	23,5	24,6	24,8	25,2	14,523	16,588	18,635	21,118	22,581
D2	25,5	26,2	27,5	28	28,3	14,204	17,324	19,253	22,406	24,120
D3	27,8	28,3	29,6	30	30,2	15,314	17,094	19,234	23,050	25,789

Keterangan :

A= control

B= 250 ppm

C= 500 ppm

D= 750 ppm

Tabel 15. Pengukuran panjang akar hari ke-28

Hari	Panjang Akar (cm)			
	0 ppm	250 ppm	500 ppm	750 ppm
28	10,3	14,2	22,4	22,5
	11,6	15,8	27,8	19,7
	13,2	13,6	28	23

Tabel 16. Nilai faktor transfer tanaman biduri hari ke-28

Konsentrasi Cu (CuCl ₂) yang ditambahkan	Tanah (mg/kg)	Tanaman (mg/kg)	Faktor Transfer
0 ppm	2,6	43,1	16,577
	3,9	68,4	17,538
	3,2	18,8	5,875
Rata-rata			13,33
250 ppm	67,060	11,781	0,176
	52,074	6,172	0,119
	72,902	8,395	0,115
Rata-rata			0,137
500 ppm	84,539	19,504	0,231
	96,080	23,788	0,248
	76,757	39,612	0,516
Rata-rata			0,332
750 ppm	125,408	20,757	0,166
	130,575	13,044	0,100
	104,301	14,725	0,142
Rata-rata			0,136

Lampiran 5. Hasil Pengujian Kadar Tembaga (Cu) menggunakan Alat AAS terhadap Tanah dan Tanaman Biduri di Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian

Tabel 17. Hasil pengujian kadar Tembaga (Cu) dalam tanah.

Hari ke-	Ulangan	Perlakuan			
		0 ppm	250 ppm	500 ppm	750 ppm
0	1	35,791	73,753	70,866	83,016
	2	34,043	54,095	43,930	155,609
	3	121,398	72,902	123,820	168,579
	Rerata	63,744	66,916	79,538	135,734
28	1	2,6	67,060	84,593	125,408
	2	3,9	52,074	96,080	130,575
	3	3,2	53,857	76,757	104,301
	Rerata	3,233	57,663	85,81	120,094

Tabel 18. Hasil pengujian kadar Tembaga (Cu) dalam tanaman.

Hari ke-	Ulangan	Perlakuan			
		0 ppm	250 ppm	500 ppm	750 ppm
28	1	43,1	11,781	19,504	20,757
	2	68,4	6,172	23,788	13,044
	3	18,8	8,395	39,612	14,725
	Rerata	43,433	8,782	27,788	16,175

Lampiran 6. Hasil Statistik

Tabel 19. Hasil Anava pertambahan tinggi tanaman biduri selama waktu pemaparan dengan variasi konsentrasi Cu yang ditambahkan

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rerata Kuadrat	F	Sig.
Perlakuan	5.355	3	1.785	8.527	0.003
Sesatan	2.512	12	0.209		
Total	7.867	15			

Tabel 20. Hasil Anava perubahan luas daun tanaman biduri selama waktu pemaparan dengan variasi konsentrasi Cu yang ditambahkan

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rerata Kuadrat	F	Sig.
Perlakuan	69.377	3	23.126	5.436	0.014
Sesatan	51.050	12	4.254		
Total	120.427	15			

Tabel 21. Hasil Anava panjang akar tanaman biduri selama waktu pemaparan dengan variasi konsentrasi Cu yang ditambahkan

Sumber Variansi	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Rerata Kuadrat	F	Sig.
Perlakuan	389.049	3	129.683	31.136	0.000
Sesatan	33.320	8	4.165		
Total	422.369	11			