

## Potensi Hipertoleransi dan Serapan Logam Beberapa Jenis Tumbuhan pada Limbah Pengolahan Emas

Nuril Hidayati<sup>✉</sup> & Saefudin

Bidang Botani, Pusat Penelitian Biologi-LIPI, Bogor

### ABSTRACT

**Potency of Hypertolerance and Metal Absorption of Some Plant Species Under Gold Mine Waste.** Degraded mined land is characterized by extreme of alkalinity or acidity, high concentration of soluble salt and high concentration of heavy metals. Contamination of mined soil and water affects not only on agriculture system but also on food chains and epidemiological problems. As soil metal can not be biodegraded, remediation of soil heavy metal risk has been a difficult and expensive goal. Remediation of hazardous soil is required to reverse the risk to humans and the environment. Recently there are several different strategies available for the clean up and restoration of contaminated soils i.e conventional which is mainly engineering-base and phytoremediation which is a biological-base method. Phytoremediation is defined as: clean up of pollutants mainly mediated by photosynthetic plants.. In this research four species of plants i.e *Mimosa pigra*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria* sp. and *Ipomoea* sp. were studied their potencies as hypertolerant plants on the waste of PT ANEKA TAMBANG and public mines of Pongkor and Cigaru. The results showed that the plants were able to grow and showing high tolerance to the contaminated media. The most tolerant species was *Ipomoea* followed by *Crotalaria* and *Mimosa*. The results raised some-prospects for phytoremediation technology for rehabilitating contaminated mined lands.

**Keywords:** Phytoremediation, hypertolerance

### PENDAHULUAN

Kontaminasi logam berat banyak terjadi diantaranya pada areal penambangan emas, pembuangan limbah industri, dan pertanian. Limbah industri tekstil yang mengandung logam berat mencapai 296.500 ton per tahun yang mencemari daerah persawahan dan aliran sungai Cikijing, Bandung (Rija, 2000). Logam berat Pb dan Cd dari kendaraan bermotor mencemari persawahan di Pantura hingga luasan 40% dari 105.557

ha di wilayah Kerawang-Bekasi (Kasno *et al.*, 2000). Di wilayah Palimanan, Cirebon, pencemaran Pb pada persawahan mencapai 30,08 ppm sehingga mengakibatkan kandungan Pb pada hasil padi mendekati ambang batas bahaya untuk konsumsi (Miseri *et al.*, 2000).

Khusus pada lahan bekas penambangan emas, degradasi dicirikan oleh kondisi pH yang ekstrim tinggi atau rendah, kandungan logam berat tinggi, kandungan bahan organik rendah, tekstur tanah cenderung liat dan berporositas

<sup>✉</sup> Jl. Ir. H. Juanda 22, Bogor 16122

rendah serta kualitas biologis yang rendah. Pada penambangan rakyat berskala kecil yang banyak tersebar di banyak daerah di Indonesia, pencemaran utamanya disebabkan oleh akumulasi air raksa (Hg) yang biasanya terjadi di daerah aliran sungai dan sekitarnya. Pada penambangan emas berskala besar kontaminasi lebih banyak berupa sianida dan beberapa logam berat seperti Pb, Zn, Cd, Ni dan Fe, tergantung pada proses pengolahan yang digunakan dan kondisi geologis setempat (Hidayati *et al.*, 2004).

Reklamasi lahan terkontaminasi dapat didekati dengan dua strategi yaitu cara konvensional yang bersifat teknik (*engineering base*) dan fitoremediasi yang bersifat biologis (*biological base*). Cara konvensional dapat berupa pemindahan kontaminan dari tanah, pengurangan racun dengan prosedur pencucian (*leaching*) atau dengan menambahkan *amendments* (baik organik maupun kimia) pada tanah untuk mengurangi kadar logam beracun dan memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Fitoremediasi adalah pencucian polutan dengan mediator tumbuhan berfotosintesis. Pencucian dapat berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya (Squires, 2001). Dari perkembangan teknologi remediasi yang ada sekarang, fitoremediasi merupakan metoda yang menawarkan biaya paling rendah. Biaya remediasi konvensional berkisar US \$10.00 - \$3000.00 per m<sup>3</sup> tanah, sementara fitoremediasi hanya US \$0.02 - \$1.00 per m<sup>3</sup> tanah (Ebbs *et al.*, 2000).

Sejumlah tumbuhan terbukti memiliki sifat hipertoleran, yaitu dapat mentolerir logam dengan konsentrasi tinggi. Sifat hiperakumulator, yaitu tanaman dapat mengakumulasi logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada

jaringan akar dan tajuknya (Chaney *et al.*, 1995).

Karakteristik tumbuhan hiperakumulator adalah (1) Dapat mentolerir unsur logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya. (2) Memiliki laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi dibanding tanaman lainnya. (3) Memiliki kemampuan mentranslokasi dan mengakumulasi unsur logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi. Hiperakumulator dapat mengakumulasi logam 10-500 kali lebih tinggi dibandingkan tumbuhan normal. Konsentrasi seng (Zn), kadmium (Cd) dan nikel (Ni) yang normal pada akar adalah 10 kali lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi pada tajuk, tetapi pada tumbuhan hiperakumulator, konsentrasi logam pada tajuk melebihi tingkat konsentrasi pada akar (Brown *et al.*, 1995). Batasan tumbuhan hiperakumulator bila terjadi akumulasi lebih dari 1% nikel dari total berat kering tajuk atau 100 kali lebih besar dari daya akumulasi tumbuhan normal. Secara luas definisi ini dapat diterima dan berlaku pula untuk unsur logam lainnya. Untuk akumulasi nikel minimum 1000 mg kg<sup>-1</sup> berat kering tajuk (atau 0,1%), sedangkan untuk seng dan mangan minimum 1% karena seng biasa terdapat dengan konsentrasi lebih besar di dalam tanah (Chaney *et al.*, 1997; Reeves, 1992). Sebagian besar spesies tumbuhan mengalami penurunan produksi yang signifikan bila pada tajuknya terdapat nikel mencapai 50-100 mg Ni kg<sup>-1</sup> berat kering, sementara Ni-hiperakumulator dapat mentolelir sedikitnya 10-20 kali dari tingkat maksimum yang dapat ditolelir tumbuhan normal. Hiperakumulator Cd harus dapat mentolelir sedikitnya 100 mg Cd kg<sup>-1</sup> berat kering (Baker *et al.*, 1994).

Banyak penelitian yang berhasil

mengidentifikasi tumbuhan yang bersifat sebagai hiperakumulator. *Thlaspi caerulescens* mampu mengakumulasi seng hingga 125 kg ha<sup>-1</sup> atau 20-40% dari berat keringnya (Salt, 2000; Li *et al.*, 2000; Ebbs *et al.*, 2000; Brown *et al.*, 1995; Baker *et al.*, 1994). Potensi hiperakumulator juga ditunjukkan oleh tanaman *Alyssum bertholonii* hiperakumulator untuk nikel (Salt, 2000; Reeves, 1992; Gabbrielli *et al.*, 1991), *Reynoutria sachalinensis* dan mikroalga *Chlamydomonas* sp. untuk remediasi lahan bekas instalasi senjata kimia yang terkontaminasi arsen dengan kemampuan akumulasi > 2 g As kg<sup>-1</sup> (Feller, 2000). Hipertoleran *Atriplex codonocarpa* yang dapat menyerap hingga 12,2% natrium (13,0 g Na per tanaman) dan *A. linleyi* yang dapat menyerap hingga 13,8 % Na atau 44,6 g Na per tanaman untuk fitoremediasi tanah salin (Ishikawa *et al.*, 2001). Tanaman *Lolium multiflorum*, *Holcus lanatus*, *Agrostis castellana* untuk fitostabilisasi bekas penambangan emas yang terkontaminasi arsen dan seng (Vangronsveld *et al.*, 2000). Sedikitnya dilaporkan ada satu taxa tumbuhan yang bersifat hiperakumulator untuk kadmium, 28 taksa untuk koper, 37 taksa untuk kuprum, 9 taksa untuk mangan, 317 taksa untuk nikel dan 11 taksa untuk seng (Baker & Brooks, 1989).

Sebagai langkah awal dari suatu seri percobaan fitoremediasi adalah pemilihan jenis tumbuhan yang toleran terhadap lingkungan yang tercemar. Tumbuhan yang terpilih haruslah merupakan jenis yang dapat tumbuh cepat dan mengakumulasi biomasa yang relatif tinggi serta dapat mengakumulasi substansi toksik dari dalam tanah dengan konsentrasi yang tinggi pula. Percobaan dilakukan untuk mempelajari potensi hiperakumulator beberapa jenis tumbuhan yang

dijumpai dominan di lahan bekas penambangan emas.

## BAHAN DAN CARA KERJA

Percobaan ex-situ ini dilakukan di rumah kaca Laboratorium Treub, Bidang Botani, Pusat Penelitian Biologi-LIPI, Bogor dengan kondisi rata-rata suhu udara  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban  $\pm 88\%$ . Media yang digunakan diambil dari limbah tailing dam dari PT ANEKA TAMBANG dan penambangan emas rakyat dari Pongkor dan Cigaru. Bahan tanaman dikoleksi dari lokasi pembuangan limbah pengolahan emas Pongkor. Dari sekitar 20 jenis tanaman yang dikoleksi dipilih empat jenis yang paling dominan.

Perlakuan media yang diberikan adalah : Limbah tailing dam (L1), limbah pengolahan tambang emas rakyat Pongkor (L2), limbah pengolahan tambang emas rakyat Cigaru (L3) dan tanah non limbah (L4) sebagai pembanding.

Jenis tanaman yang digunakan adalah : *Mimosa pigra* (T1), *Crotalaria juncea* (T2), *Crotalaria* sp. (T3) dan *Ipomoea* sp. (T4).

Percobaan dirancang secara acak kelompok dengan lima ulangan (ulangan sebagai kelompok). Parameter yang diamati adalah pertumbuhan dan keadaan visual yang merupakan gejala defisiensi nutrisi serta kandungan logam berat yang mencerminkan kemampuan penyerapan oleh tanaman dari tanah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lahan bekas penambangan emas di Cigaru dan Pongkor terbukti mengandung unsur logam (Cd, Zn, Pb dan Fe) lebih tinggi dibandingkan dengan tanah non limbah serta mengandung unsur C organik

**Tabel 1.** Kondisi fisik dan kimia tanah limbah penambangan emas Pongkor dan Cigaru dibandingkan dengan tanah non limbah (L4)

Komponen	L4	L1	L2	L3
Tekstur (%)				
Pasir	4	17	40	68
Debu	27	64	50	23
Liat	69	19	10	9
pH				
H <sub>2</sub> O	4,7	7,9	7,9	6,9
KCl	4,1	7,8	7,8	6,6
Bahan Organik (%)				
C	1,52	0,35	0,51	0,39
N	0,22	0,06	0,08	0,07
C/N	7	6	6	6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	4	10	17	9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)	46	52	73	49
K <sub>2</sub> O (ppm)	165	46,3	124,5	30,9
K <sub>2</sub> O (mg/100g)	21	26	29	9
Fe (ppm)	347	16.854	43.035	50.401
Zn (ppm)	392	656	1 612	377
Pb (ppm)	7	128	201	289
Cd (ppm)	0,06	2,62	3,09	0,22

L1: limbah tailing dam PT ANTAM, L2: Limbah penambangan emas rakyat Pongkor, L3: Limbah penambangan emas rakyat Cigaru, L4: tanah non limbah.

dan KTK yang relatif rendah. Kandungan logam berat tanah bekas penambangan ini hingga mencapai 50 kali lebih tinggi sementara kandungan hara penting (N,P,K) lebih rendah hingga seperlima dari tanah bukan penambangan (Tabel 1).

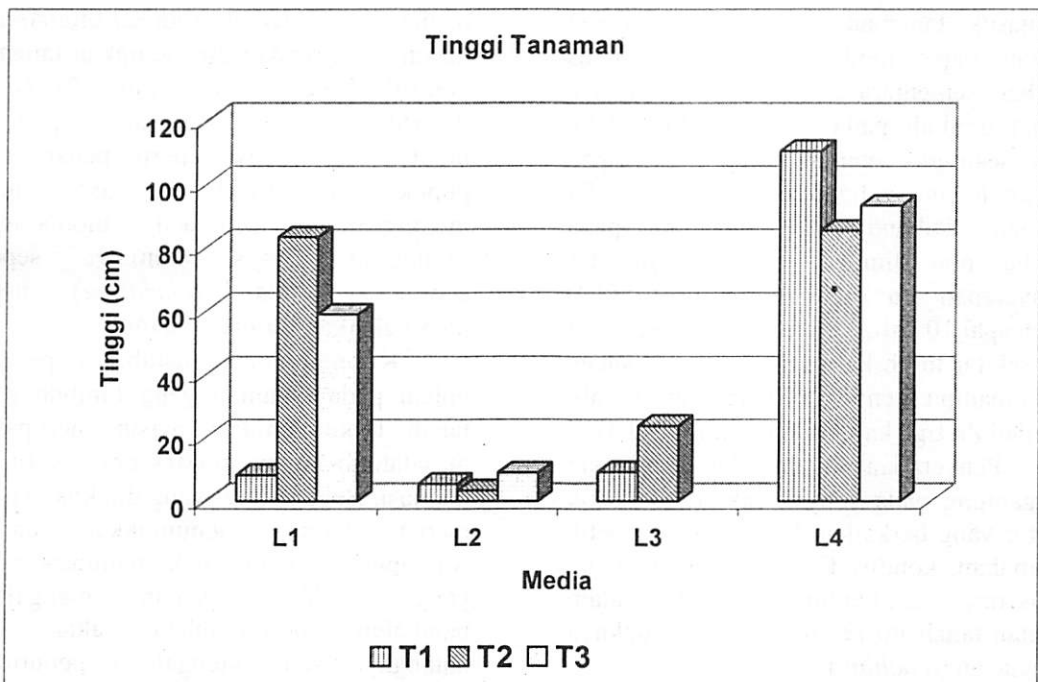
Kondisi fisik dan kimia tanah bekas penambangan yang demikian menyebabkan tidak mudah bagi tanaman untuk dapat tumbuh dengan baik. Hasil percobaan rumah kaca membuktikan sulitnya tanaman tumbuh pada kondisi media limbah tambang ini. Keempat jenis tanaman (T1,T2,T3, dan T4) yang ditanam pada tanah limbah (L1, L2, dan L3) menunjukkan pertumbuhan jauh lebih rendah dibandingkan tanaman pada tanah kontrol (L4) (Tabel 2, Gambar 1).

Pada umur 2 minggu setelah tanam ketiga jenis tanaman mulai berkecambah, terutama untuk *Mimosa pigra* (T1) yang berkecambah lebih awal diikuti oleh *Crotalaria juncea* (T2) dan *Crotalaria* sp. (T3). Walaupun memulai pertumbuhan lebih awal *M. pigra* (T1) hanya memiliki daya tumbuh 40-50% dibandingkan *C. juncea* (T2) yang mencapai 80-100%. Pada umur empat minggu, *M. pigra* menunjukkan pertumbuhan daun 3-5 dan tinggi 1,5-4 cm sementara *Crotalaria* sp. memiliki jumlah daun 2-5 dengan tinggi tanaman 5-12 cm pada media limbah. Pada fase pertumbuhan di atas empat minggu hampir semua tanaman pada media limbah menunjukkan gejala defisiensi unsur hara yang dicirikan oleh warna daun

**Tabel 2.** Tinggi tanaman (cm) pada media limbah penambangan emas dan tanah non limbah

Perlakuan	Umur 3 minggu	Umur 6 minggu	Umur 9 minggu	Umur 12 minggu
L1T1	1,5	1,5	3,7	8,3
L1T2	7,0	9,5	38,3	83,3
L1T3	8,5	9,5	26,0	59,0
L2T1	2,1	2,3	3,8	5,5
L2T2	3,1	3,1	3,5	3,5
L2T3	3,1	4,1	7,0	9,0
L3T1	4,5	4,5	5,5	9,2
L3T2	5,5	6,0	6,5	23,8
L3T3	-	-	-	-
L4T1	20,3	25,0	25,0	110,5
L4T2	21,1	25,1	26,2	85,3
L4T3	31,0	37,0	39,5	93,3

T1: *Mimosa pigra*, T2: *Crotalaria juncea*, T3: *Crotalaria* sp, T4: *Ipomoea* sp. L1: limbah tailing dam PT ANTAM, L2: Limbah penambangan emas rakyat Pongkor, L3: Limbah penambangan emas rakyat Cigaru, L4: tanah non limbah



T1: *Mimosa pigra*, T2: *Crotalaria juncea*, T3: *Crotalaria* sp, T4: *Ipomoea* sp. L1: limbah tailing dam PT ANTAM, L2: Limbah penambangan emas rakyat Pongkor, L3: Limbah penambangan emas rakyat Cigaru, L4: tanah non limbah

**Gambar 1.** Tinggi tanaman pada media limbah pengolahan emas

kekuningan dan ukuran daun yang kecil serta pertumbuhan yang terhambat. Gejala ini lebih terlihat pada *M. pigra*. Pertumbuhan tanaman terhambat pada media limbah, terutama limbah penambangan emas rakyat Pongkor (L2) dan Cigaru (L3).

Kandungan logam pada tanaman yang ditanam pada tanah non limbah (L4) lebih kecil dibandingkan tanaman yang ditanam pada limbah. Ada indikasi sifat-sifat toleransi pada tanaman yang ditanam pada media limbah, terutama *Ipomoea* sp. (T4). Disamping itu ada indikasi akumulasi logam yang tinggi pada tanaman yang ditanam pada media limbah pengolahan emas yang mengandung unsur logam lebih tinggi dibandingkan media bukan limbah. *Ipomoea* sp. dalam hal ini termasuk tanaman yang paling toleran karena dapat tumbuh pada ketiga jenis limbah sementara jenis yang lain hanya dapat tumbuh pada limbah tailing (L1), dan sekaligus menunjukkan penyerapan unsur logam paling tinggi pada media limbah. Dibandingkan tanaman pada media non limbah, pada media L1 penyerapan Pb oleh *Ipomoea* sp. (T4) mencapai 10 kali, Cd mencapai 14 kali dan Zn sekitar tujuh kali, sementara *C. juncea* (T2) mampu menyerap Pb sebesar 10 kali, Cd dan Zn tiga kali lebih besar (Tabel 3).

Penyerapan logam oleh tumbuhan bergantung pada banyak faktor, termasuk faktor yang berkaitan dengan sifat genetik tumbuhan, kondisi fisik dan kimia tanah, konsentrasi dan bentuk logam berat dalam larutan tanah itu sendiri dan ada tidaknya pencucian (*leaching*).

Mobilitas logam berat berbeda tergantung jenis tanah dan lokasi. Akumulasi logam pada tumbuhan dapat dihitung berdasarkan kuantitas unsur logam yang ditransportasi ke organ

tumbuhan, terutama bagian tajuk (*above ground biomass*). *Sambucus* dan *Rumex* dapat menyerap Zn, Pb dan Cd dalam jumlah besar, dilaporkan mencapai 8000 ppm setelah empat bulan. Begitu pula dilaporkan untuk jenis tanaman kubis-kubisan lainnya (Barona & Romero, 1996). Hiperakumulator dapat mengakumulasi logam 10-500 kali lebih tinggi dibandingkan tanaman normal seperti tanaman pertanian (Reeves, 1992). Untuk unsur Zn dan Mn hiperakumulator harus dapat mengakumulasi > 1% (Chaney *et al.*, 1997). Hiperakumulator Cd harus dapat mentolelir sedikitnya 100 mg Cd kg<sup>-1</sup> bobot kering (Baker *et al.*, 1994).

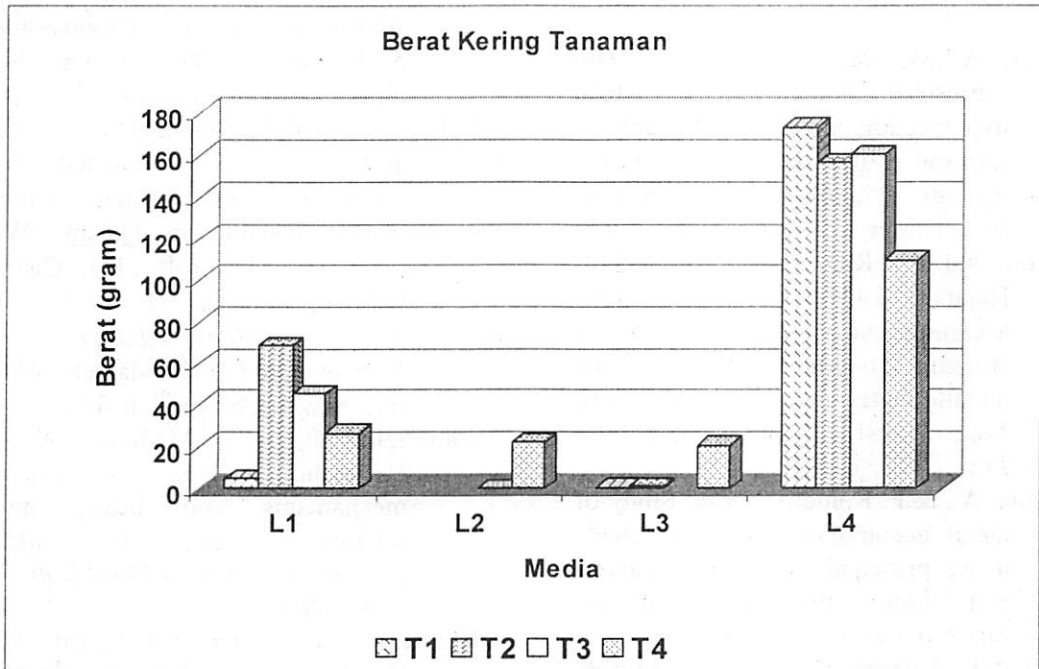
Walaupun didapati konsentrasi logam lebih tinggi pada *Ipomoea* sp. (T4) dan *C. Juncea* (T2) yang ditanam pada media limbah, tetapi produksi biomasanya masih lebih rendah dibandingkan tanaman kontrol (Tabel 3 dan Gambar 2). Disini diperlukan upaya penerapan praktek-praktek agronomis seperti penambahan pupuk, mikroorganisme, dsb. untuk meningkatkan produksi biomasanya, disamping upaya kimiawi seperti pemberian kelat (*chelating*) untuk meningkatkan serapan logam.

Kecenderungan hambatan pertumbuhan pada tanaman yang tumbuh pada tanah terkontaminasi masih merupakan masalah di dalam praktek-praktek fitoremediasi. Beberapa tes yang dilakukan pada marga *Fugus* menunjukkan bahwa walaupun pada tingkat kontaminasi tanah yang rendah tanaman mengalami hambatan pertumbuhan akar dan batangnya serta mengalami penurunan emisi dan laju transpirasi (Kahle, 1992). Bahkan jenis-jenis tumbuh cepat seperti *Populus* dan *Salix* mengalami hambatan pertumbuhan cabang dan penurunan produksi biomasa.

**Tabel 3.** Serapan logam empat jenis tanaman yang ditanam pada media limbah pengolahan emas

Perlakuan		Konsentrasi unsur logam (ppm)			
Tanaman	Limbah	Pb	Cd	Zn	Fe
T1	L1	12,3	0,6	278,0	1578,0
	L4	24,8	0,6	441,0	1354,0
T2	L1	26,7	1,6	799,0	2421,0
	L3	18,0	0,3	858,0	952,0
	L4	2,3	0,5	231,0	3663,0
T3	L1	3,3	0,5	335,0	501,0
	L4	4,4	0,5	232,0	2875,0
T4	L1	33,6	1,4	706,0	4346,0
	L2	5,1	0,2	447,0	1531,0
	L3	22,9	0,1	209,0	3204,0
	L4	3,5	0,1	126,0	739,0

T1: *Mimosa pigra*, T2: *Crotalaria juncea*, T3: *Crotalaria* sp., T4: *Ipomoea* sp., L1: limbah tailing dam PT ANTAM, L2: Limbah penambangan emas rakyat Pongkor, L3: Limbah penambangan emas rakyat Cigaru, L4: tanah non limbah



T1: *Mimosa pigra*, T2: *Crotalaria juncea*, T3: *Crotalaria* sp., T4: *Ipomoea* sp., L1: limbah tailing dam PT ANTAM, L2: Limbah penambangan emas rakyat Pongkor, L3: Limbah penambangan emas rakyat Cigaru, L4: tanah non limbah

**Gambar 2.** Berat kering tanaman pada media limbah pengolahan emas

## KESIMPULAN

Hasil percobaan menunjukkan bahwa beberapa tanaman memiliki kemampuan untuk tumbuh pada media limbah pengolahan emas yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang marjinal. Tumbuhan ini bahkan menunjukkan kemampuan penyerapan logam kontaminansi yang cukup tinggi. Tanaman yang terbukti paling toleran dalam artian dapat tumbuh dan menyerap logam dalam jumlah paling besar dalam penelitian ini adalah *Ipomoea* sp. dan *Crotalaria juncea*. Hal ini memberikan harapan dan prospek yang sangat baik bagi upaya rehabilitasi lahan bekas penambangan emas melalui pendekatan fitoremediasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baker, A.J.M., & R.R. Brooks. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metal elements- a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81-126.
- Baker, A.J.M., R.D. Reeves, & A.S.M. Hajar. 1994. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J.&C. Presl (Brassicaceae). *New Phytol* 127 : 61-68.
- Barona, A., & F. Romero. 1996. Study of metal accumulation in wild plants using principal componen analysis and ionic impulsion. *Toxicol. Environ. Chem.* 54 : 75-86.
- Brown S.L., Chaney, R.L., , J.S. Angle, & J.M. Baker. 1995. Zinc uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. *Soil Sci .Soc. Am. J.* 59 : 125-133.
- Chaney, R.L., S.L. Brown, Y.M. Li, J.S. Angle, F. Homer, & C. Green. 1995. Potential use of metal hyperaccumulators. *Mining Environ Management* 3(3) : 9-11.
- Chaney, R.L., M. Malik, Y.M. Li, S.L. Brown, J.S. Angle, & A.J.M. Baker. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinions. Biotechnol.* 8:279-284.
- Ebbs, S., L. Kochian, M. Lasat, N. Pence, & T. Jiang. 2000. An integrated investigation of the phytoremediation of heavy metal and radionuclide contaminated soils: From laboratory to the field. Dalam : Wise D.L., D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang, & U. Stottmeister (eds.). *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. h. 745-769.
- Feller AK. 2000. Phytoremediation of soils and waters contaminated with arsenicals from former chemical warfare installations. Dalam : Wise D.L., D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang, & U. Stottmeister (eds.). *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. h. 771-786.
- Gabbrielli, R., C. Mattioni, & O. Vergnano. 1991. Accumulation mechanisms and heavy metal tolerance of a nickel hyperaccumulator. *J Plant Nutr.* 14: 1067-1080.
- Hidayati, N., T. Juhaeti, & F. Syarif. 2004. Karakterisasi Limbah dan Vegetasi pada Penambangan Emas Rakyat dan Penambangan Emas PT ANTAM Pongkor. Laporan Teknik



- Pusat Penelitian Biologi-LIPI, Bogor.
- Ishikawa, Y., K. Eguchi, T. Aoki, T. Hoshino, Y. Yamaguchi, M. Kubota, Y. Hiraga, A. Williams, T. Anzai, M. Iahikawa, & S. Matsumoto. 2001. Integrated phytoremediation in salt affected area. Prosiding Workshop Vegetation Recovery in Degraded Land Areas. Kalgoorlie, Western Australia, 27 October – 3 November 200. h. 77-84.
- Kahle, H. 1992. Probleme der Ausfforstung schwermetallkontaminierter standarte. Umwelt-technologieforum February 17-21. Nr 30, Berlin.
- Kasno, A., J. S. Adiningsih, Sulaeman, & Subowo. 2000. Status pencemaran Pb dan Cd pada lahan sawah intensifikasi jalur Pantura Jawa Barat. Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia. Bandung 2 – 4 November 1999. h. 1537-1546.
- Li, Y.M., R.L. Chaney, J.S. Angle, & A.J.M. Baker. 2000. Phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Dalam : Wise D.L., D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang, & U. Stottmeister (eds.). *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. h. 837-857.
- Miseri, R.A., A.Z.P.B. Santoso, & I. Novianto. 2000. Dampak asap kendaraan bermotor terhadap kadar timbal (Pb) dalam tanah dan tanaman di sekitar jalan raya Palimanan Cirebon. Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia. Bandung 2 – 4 November 1999. h. 1457-1466.
- Reeves, R.D. 1992. The hyperaccumulation of nickel by serpentine plants. Dalam : Baker AJM, J. Proctor, & R.D. Reeves (eds.). *The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils*. Intercept Ltd., Andover, Hampshire, UK. h. 253-277.
- Rija, S. 2000. Evaluasi pengaruh tanah terpapar air buangan tekstil terhadap pertumbuhan tanaman padi sawah (*Oryza sativa* Linn.), serta serapan beberapa unsur logam berat. Prosiding Kongres Nasional VII Himpunan Ilmu Tanah Indonesia. Bandung 2 – 4 November 1999. h. 1507 – 1521.
- Salt D.E. 2000. Phytoextraction: Present applications and future promise Dalam : Wise D.L., D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang, & U. Stottmeister (eds.). *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. h. 729-743.
- Squires, V.R. 2001. Soil pollution and remediation: issues, progress and prospects. Prosiding Workshop Vegetation Recovery in Degraded land Areas. Kalgoorlie, Western Australia, 27 October – 3 November 2001. h. 11 – 20.
- Vangronsveld J, Ruttens A, Mench M, Boisson J, Lepp NW, Edwards R, Penny C, & Van der Lelie D. 2000. In situ inactivation and phytoremediation of metal-and metalloid-contaminated soils: Field experiments. Dalam : Wise D.L., D.J. Trantolo, E.J. Cichon, H.I. Inyang, & U. Stottmeister (eds.). *Bioremediation of Contaminated Soils*. Marcek Dekker Inc. New York. Basel. h. 859-884.