

STUDI PHYTOMINING EMAS DARI AMPAS PROSES AMALGAMASI MENGGUNAKAN SINGKONG KARET

Study of Gold Phytomining from Tailing of Amalgamation Using Wild-Cassava (Manihot glaziovii L.)

WULANDARI SURONO dan LASMARIA SIBARANI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: wulan@tekmira.esdm.go.id; lasmaria@tekmira.esdm.go.id

SARI

Ampas pengolahan bijih emas masih mengandung unsur logam emas cukup signifikan. Salah satu cara yang dikembangkan untuk memperoleh kembali unsur-unsur logam berharga dalam ampas tersebut adalah dengan metode *phytomining*. Di Indonesia metode yang menggunakan tetumbuhan ini masih relatif baru. Tujuan penelitian ini adalah menguji kemampuan penyerapan ion emas oleh tanaman singkong karet (*Manihot glaziovii L.*) agar ampas bersih dari unsur emas dengan harapan perolehan emas menjadi lebih optimal. Ampas proses amalgamasi pengolahan emas rakyat dari Sukabumi digunakan sebagai bahan penelitian. Kandungan unsur Au dalam ampas sebesar 5,1 ppm dan unsur-unsur logam berat sebesar 51,7 ppm Pb, 5,83 ppm Cu dan 18,42 ppm Zn. Penanaman singkong karet dilakukan pada 3 petak berukuran 2 x 2 m, petak pertama perlakuan dengan pemberian *chelating agent* Na-tiosulfat secara periodik (setiap 2 minggu), petak kedua perlakuan pemberian *chelating agent* menjelang akhir masa tanam (final, 4,5 bulan). Petak ketiga adalah tanpa pemberian *chelating agent* (sebagai kontrol). Untuk meningkatkan kelarutan unsur emas pada ampas ditambahkan kapur sebagai pengatur pH. Analisis serapan ion emas dan ion logam-logam lain dilakukan terhadap percontohan akar, batang dan daun setelah 4,5 bulan penanaman. Hasilnya, tanaman singkong karet dapat menyerap ion Au tertinggi sebesar 2,05 ppm pada bagian akar dengan perlakuan penambahan 1% Na-tiosulfat dan 0,5% CaO secara periodik. Sebaliknya konsentrasi serapan ion-ion logam berat (Pb, Cu, Zn) mencapai 1000 kali lebih besar dibandingkan serapan ion logam emas. Akumulasi ion Au pada akar singkong karet secara teknis relatif tinggi, namun belum didukung oleh jumlah biomassa yang banyak.

Kata kunci : *phytomining*, ampas, singkong karet (*Manihot glaziovii L.*), amalgamasi emas, Na-tiosulfat

ABSTRACT

The tailing of gold ore processing still contain a significant element of gold metal. One method that was developed for recovering the precious metal element from the tailing is namely phytomining. In Indonesia, phytomining method using such vegetation is still relatively new. This study focuses on determining the ability of the gold ion absorbed by wild-cassava plant (Manihot Glaziovii L.) in order to clean the tailing from gold, hence, gold recovery would be optimized. This study used tailing of artisanal amalgamation gold processing from Sukabumi area. Gold (Au) content of the tailing is about 5.1 ppm, while heavy metals content of Pb, Cu, Zn are 51.7, 5.83 and 18.42 ppm, respectively. Wild-cassava plantation performed on 3 plots of 2 x 2 m, the first plot represented an addition of chelating agent of Na-thiosulfate in a periodic basis (every 2 weeks), the second plot represented the chelating agent addition at the end of vegetative stage (final, 4.5 months), the third plot was setup without chelating agent as a control. To improve the gold solubility from the tailing lime was added as pH regulator. Analysis of gold and other metals uptake were performed in root, stem and leaves samples after 4.5 months of planting. The results reveal that wild-cassava could absorb with the highest uptake of 2.05 ppm Au at the roots that is obtained by periodic addition of 1 % Na - thiosulfate and 0.5 % lime. On the other

hand, heavy metals concentration (Pb, Cu, Zn) are 1000 times higher than that of gold uptake. Gold accumulation in the roots is considerably high, but it is not supported by a number of high biomass yet.

Keywords : *phytomining*, *tailing*, *wild-cassava (manihot glaziovii L)*, *gold amalgamation*, *Na-thiosulfate*

PENDAHULUAN

Dalam industri pertambangan, proses untuk memperoleh emas atau logam lain yang diinginkan adalah dengan cara menambang dan mengolah mineral dari bijihnya. Proses pengolahan mineral dari bijih umumnya menghasilkan limbah baik berupa batuan sisa penambangan (*waste rock*) maupun sisa proses (ampas atau *tailing*). Unsur logam emas (Au) masih sering ditemukan pada ampas dan/atau pada penimbunan limbah batuan di beberapa lokasi pertambangan, hal ini mungkin disebabkan karena tidak optimalnya suatu proses dan/atau karena alasan lainnya seperti kurangnya peralatan, masalah keekonomian, dll. Ampas yang dihasilkan umumnya memiliki kuantitas yang besar yaitu kira-kira 90% dari bijih yang diproduksi. Perkiraan secara umum bahwa total volume ampas yang terbentuk mencapai 18 juta m³/tahun dan akan meningkat pada 20 - 30 tahun mendatang (Sheoran dkk., 2013). Ampas pengolahan emas yang dihasilkan umumnya mengandung Au dengan konsentrasi rendah, namun sering ditemukan khususnya pada bantalan proses pelindian ongkok (*heap leach pad*) dan pada kolam limbah (*waste dam*) konsentrasinya bisa menjadi lebih tinggi (Wilson-Corral dkk., 2012). Teknologi konvensional umumnya tidak dapat memperoleh kembali sisa emas tersebut karena keterbatasan peralatan dan memerlukan teknologi tambahan serta membutuhkan biaya yang tidak sedikit, sehingga banyak potensi sumber daya mineral yang terbuang.

Telah lama diketahui bahwa tumbuh-tumbuhan juga memiliki kemampuan untuk mengekstraksi dan menyerap ion-ion logam yang disebut dengan fitoekstraksi (*phytoextraction*). Konsep penyerapan ion logam oleh tanaman pada saat ini telah berkembang dan dibedakan berdasarkan tujuan penyerapannya. Fitoekstraksi dengan tujuan menanggulangi pencemaran logam berat dikenal dengan istilah fitoremediasi (*phytoremediation*). Aplikasi teknologi fitoekstraksi yang memanfaatkan tumbuhan hiperakumulator terbukti cukup efektif dan biayanya rendah (*cost-effective*) (Chaney dkk., 2007). Akhir-akhir ini telah berkembang aplikasi fitoekstraksi lain yang bertujuan untuk menyerap logam berharga untuk dimanfaatkan yang disebut dengan istilah *phytomining*. Teknologi ini khusus-

nya dikembangkan pada area dengan kandungan logam berharga yang rendah atau pada timbunan ampas hasil pengolahan yang tidak ekonomis jika ditambang secara konvensional.

Penelitian dan pengembangan *phytomining* terhadap unsur logam emas di luar negeri telah banyak dilakukan mulai dari skala rumah kaca hingga penerapannya di lapangan. Untuk penelitian skala lapangan dilakukan pertama kali oleh Anderson dkk., 2005, menggunakan tanaman sawi putih (*B. Juncea*) yang ditanam pada lahan ampas berkadar Au sekitar 0,6 mg/kg, pH ampas 8,9-9,5 yang ternyata menghasilkan serapan Au dengan konsentrasi ± 39 mg/kg berat kering sawi. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Wilson-Corral dkk. (2011) menggunakan tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*) yang ditanam pada area ampas pengolahan emas seluas 50 m² dengan penambahan senyawa sianida yang ternyata mampu menghasilkan serapan Au sebesar 16 mg/kg berat kering daun, 21 mg/kg berat kering batang dan 21 mg/kg berat kering akar.

Di Indonesia, teknologi ini masih relatif baru dan penelitian yang dilakukan masih sangat sedikit, sehingga masih perlu dilakukan penelitian prinsip keilmiah yang lebih mendalam. Mengingat adanya perbedaan karakteristik mineral, jenis tumbuhan serta kondisi lingkungan (kesuburan) di setiap lokasi tambang maka diperlukan juga penelitian dari segi teknis maupun ekonomi. Penelitian Nendaryono (2012) menyatakan bahwa perolehan kembali ion emas oleh tanaman singkong karet dapat lebih optimal dengan penambahan *chelating agent* Na-tiosulfat (Na₂S₂O₃). Dari hasil penelitian tersebut diperoleh konsentrasi serapan ion Au pada percontoh daun singkong karet hanya sebesar 51,39 ppb dengan perlakuan penambahan *chelating agent* Na-tiosulfat (Na₂S₂O₃) sebanyak 0,4 g/L. Faktor utama yang mungkin menyebabkan rendahnya penyerapan ion Au oleh tanaman singkong karet pada penelitian tersebut adalah pH ampas yang masih asam (pH 5,7) dan konsentrasi *chelating agent* yang belum sesuai untuk melarutkan Au secara maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji kemampuan penyerapan ion Au oleh tanaman singkong karet, terutama menentukan kondisi pH dan konsentrasi

penambahan *chelating agent* Na-tiosulfat yang lebih tepat. Sehingga ampas dari sisa pengolahan bijih emas tersebut dapat bersih dari unsur emas dengan harapan kelak perolehan kembali (*recovery*) emasnya menjadi lebih optimal.

METODOLOGI

Preparasi dan Karakterisasi Ampas

Percontoh ampas yang digunakan pada penelitian ini adalah sisa proses pengolahan emas cara amalgamsi di tambang rakyat Sukabumi. Ampas yang telah dikering-udarkan dikomposit dan dilakukan pengujian pH, kandungan unsur Au dan unsur logam lainnya (Ag, Pb, Cu dan Zn) menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Selain itu percontoh ampas juga diuji parameter kesuburan tanah khususnya kandungan C-organik dan Nitrogen (N).

Uji Pendahuluan

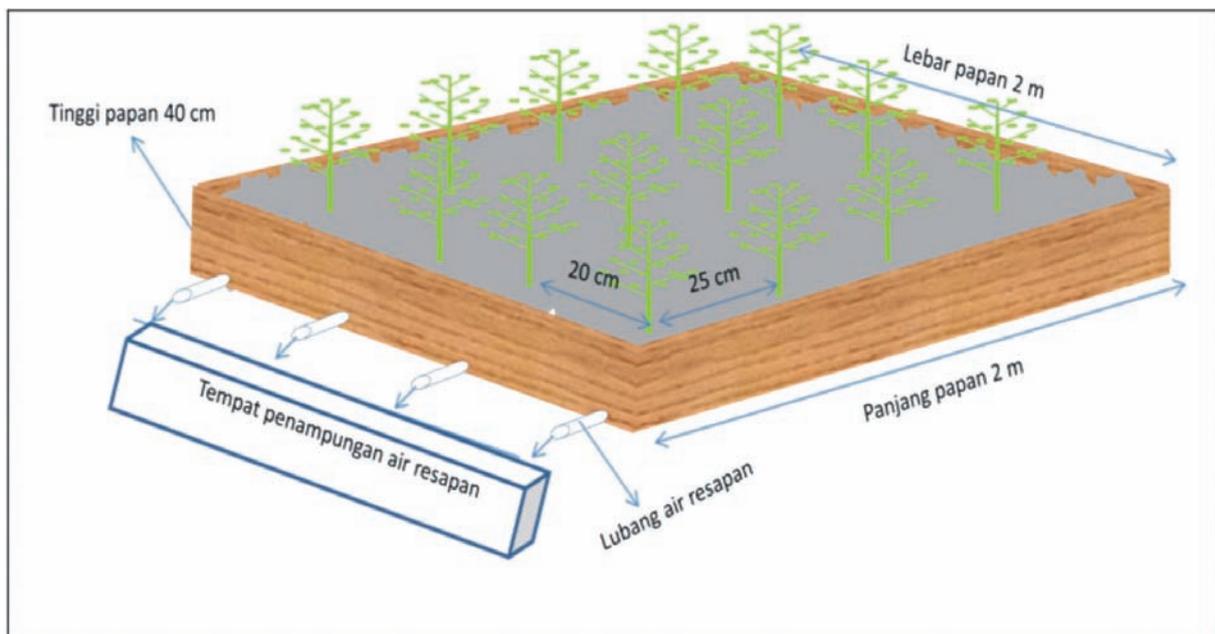
Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui pH dan konsentrasi penambahan *chelating agent* yang akan digunakan di lapangan. Pengaturan pH dilakukan dengan memvariasikan pemberian sejumlah kapur (CaO) yaitu 0,25 hingga 1,5g untuk mencapai pH yang sesuai (antara 8 hingga 10)

yang memberikan kelarutan Au tertinggi. Setelah pH optimum didapat selanjutnya dilakukan penentuan konsentrasi pemberian *chelating agent* secara bervariasi mulai dari 0,05 hingga 100g. *Chelating agent* atau pelarut Au yang digunakan adalah Natrium tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Untuk mendapatkan konsentrasi *chelating agent* yang optimum dilakukan percobaan penambahan Na-tiosulfat pada ampas hingga diperoleh hasil lindi ampas dengan kandungan ion logam Au tertinggi.

Penanaman dan Pemanenan

Penanaman singkong karet di kebun percobaan dilakukan pada petak berukuran 2 x 2 meter dengan kedalaman 40 cm (Gambar 1). Untuk menghindari kontaminasi terhadap tanah dan hilangnya ion emas yang terlarut, maka setiap petak dialasi terpal dan dilengkapi dengan lubang drainase. Bobot ampas yang dimasukkan pada setiap petak sebanyak 1.600 kg.

Total petak penanaman singkong karet sebanyak 3 petak, masing-masing petak berisi tanah ampas dengan perlakuan yaitu petak pertama pemberian Na-tiosulfat secara periodik (setiap 2 minggu sekali); petak kedua pemberian Na-tiosulfat di akhir masa penanaman (final, usia tanam 4,5 bulan); dan petak ketiga tanpa Na-tiosulfat sebagai kontrol (Tabel 1).



Gambar 1. Sketsa petak percobaan

Tabel 1. Perlakuan penambahan chelating agent

Petak (2x2m)	Chelating agent	Periode penyiraman
Periodik	Na-tiosulfat	Setiap 2 minggu
Final	Na-tiosulfat	2 minggu sebelum panen
Kontrol	-	-

Jumlah Na-tiosulfat yang ditambahkan disesuaikan dengan hasil yang akan diperoleh pada uji pendahuluan. Setelah munculnya bunga yang menandakan akhir masa vegetatif dilakukan penambahan *chelating agent* pada petak final. Dua minggu kemudian dilakukan pemanenan bersama dengan petak lain. Selama masa tanam berlangsung, pertumbuhan tanaman diamati dan daun-daun kering dikumpulkan untuk dianalisis bersamaan dengan hasil pemanenan.

Analisis Au dan Pb, Cu, Zn

Setelah mencapai usia tanam 4,5 bulan, singkong karet telah memasuki tahap akhir vegetatif ditandai dengan munculnya bunga. Pada tahap tersebut tanaman dipanen dan dipisahkan menjadi tiga bagian yaitu : akar, batang dan daun, untuk dianalisis besaran serapan unsur logam emasnya serta besaran serapan unsur-unsur logam beratnya yaitu Pb, Cu, dan Zn. Tanaman yang telah dipanen, dikering-udarkan lalu diabukan. Abu (minimal 3 g) didestruksi dengan *aqua regia* dengan perbandingan HCl : HNO₃ = 1: 3. Larutan tersebut kemudian disaring dan filtratnya dimasukkan ke dalam labu 25 ml, selanjutnya diencerkan oleh HNO₃ dengan perbandingan 1: 24 untuk mencegah hidrolisis. Kandungan unsur Au

dalam larutan diukur menggunakan *Graphite Tube Atomizer - Atomic Absorption Spectrophotometer* (GTA-AAS). Sedangkan kandungan unsur-unsur Pb, Cu, Zn dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Ampas dan Kesuburan Substrat Ampas

Hasil analisis kandungan logam dan kesuburan tanah pada ampas disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kandungan logam pada ampas

Unsur logam	Kadar (ppm)
Au	5,1
Ag	16,2
Pb	51,7
Cu	5,83
Zn	18,42

Tabel 3. Hasil analisis kesuburan tanah (ampas)

Parameter	Satuan	Nilai/Kadar	Batas Kesuburan (Hardjowigeno, 2003)
pH	-	5,7	-
C organik	%	0,63	> 1%
N-Total	%	0,83	> 0,1%
K ₂ O	meq/100g tanah	0,03	25
MgO	meq/100g tanah	0,03	-
CaO	meq/100g tanah	0,017	200
P	meq/100g tanah	< 0,0003	25
Na ₂ O	meq/100g tanah	0,004	25

Hasil analisis kandungan logam pada ampas menunjukkan kadar Au pada percontoh ampas cukup tinggi yaitu 5,1 ppm. Wilson-Corral dkk. (2011) menyatakan bahwa kandungan Au minimum yang ekonomis untuk diekstraksi dengan metode *phytomining* sebaiknya > 1 ppm. Berdasarkan pernyataan tersebut, ampas yang digunakan pada penelitian ini mempunyai potensi ekonomis untuk penerapan metode *phytomining*. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa kandungan unsur logam-logam berat Pb, Cu dan Zn lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan Au yaitu berkisar antara 5,83 sampai 51,7 ppm (Tabel 2).

Parameter kesuburan tanah ampas pengolahan emas perlu diperhatikan karena merupakan faktor penentu pertumbuhan tanaman. Dalam proses fitoekstraksi yang mengarah ke *phytomining* sangat bergantung dari kemampuan tanaman menyerap ion-ion logam. Untuk itu diperlukan tanaman yang dapat bertahan hidup pada kondisi substrat yang ekstrim dan mampu menghasilkan biomasa dalam jumlah banyak.

Hasil analisis kesuburan tanah yang dilakukan pada percontoh ampas ditunjukkan pada Tabel 3. Terlihat bahwa ampas memiliki kadar C-organik

sebesar 0,63% dan N-total sebesar 0,83%. Kandungan C-organik dalam percontoh ampas emas ini tergolong rendah menurut Harjowigeno (2003), karena konsentrasinya < 1%; sedangkan kadar N-total sudah cukup tinggi (> 0,10 %). Selain kedua parameter tersebut, parameter kesuburan tanah lainnya adalah kadar Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, dan K^+ . Kadar-kadar oksida Ca, Mg, K dan kadar unsur P secara berturut-turut adalah sebesar 0,017; 0,03; 0,03 dan < 0,0003 meq/100 gr tanah. Harjowigeno (2003), menyatakan bahwa tanah dapat disebut subur jika kadar Ca^{2+} > 200 meq/100g; kadar Mg^{2+} , K^+ dan kadar P harus lebih besar dari 25 meq/100g. Dengan demikian, kondisi substrat ampas sebagai media tanam yang digunakan dalam percobaan memiliki tingkat kesuburan sangat rendah. Hal ini menjelaskan penyebab terhambatnya pertumbuhan singkong karet (Gambar 2).

Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan bertujuan untuk menentukan kondisi percobaan (pH dan penambahan *chelating agent*) yang relatif optimal agar dapat melarutkan ion Au dalam ampas. Berdasarkan data fisik, pH ampas adalah 5,7. *Chelating agent* yang digunakan adalah Na-tiosulfat, pemilihan *chelator* mengacu



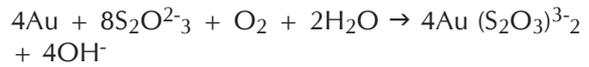
Gambar 2. Pertumbuhan singkong karet pada 3 petak percobaan (petak periodik, petak final dan petak kontrol)

pada penelitian Nendaryono (2012) yang menunjukkan penambahan Na-tiosulfat sebesar 4 g/L memberikan serapan ion Au tertinggi 51,39 ppb pada singkong karet.

Kondisi geokimia ampas sangat menentukan pemilihan *chelating agent* yang akan digunakan. Untuk ampas jenis sulfida teroksidasi dan ber-pH rendah (*low pH oxidized sulphide tailing*) yang memiliki kandungan Au cukup tinggi dapat dilarutkan oleh tiosianat, sedangkan untuk ampas yang tidak teroksidasi dan ber-pH tinggi (*high pH unoxidized tailing*) memiliki kandungan Au rendah yang dapat dilarutkan dengan menggunakan tiosulfat dan/atau sianida (Sheoran, 2013). Baik tiosulfat dan sianida diharapkan dapat meningkatkan penyerapan ion Au dari substrat pada pH netral sampai dengan pH basa, sedangkan tiosianat diharapkan dapat meningkatkan penyerapan ion Au dari substrat pada suasana relatif asam (Anderson dkk., 2005). Penelitian Wilson-Corall dkk. (2011) menunjukkan adanya serapan ion Au yang cukup tinggi oleh penambahan *chelating agent* tiosulfat dan sianida. Kedua bahan tersebut dinilai tidak bersifat racun bagi tumbuhan. Berdasarkan hal tersebut maka penggunaan tiosulfat dapat dijadikan *chelator agent* untuk ampas pengolahan emas Sukabumi, karena bahan kimianya mudah didapat dan penanganannya relatif lebih ramah lingkungan.

Pada penelitian ini tidak menggunakan tiosianat sebagai *chelator agent* karena reaksi antara unsur Au dengan tiosianat hanya akan berlangsung pada pH rendah (2-3). Jika prosesnya berlangsung pada pH rendah, maka sisa-sisa air raksa (Hg) yang mungkin masih ada pada ampas proses amalgamasi cenderung akan menjadi ion-ion Hg^{2+} . Ion Hg^{2+} ini mudah bereaksi dengan senyawa organik dari hasil penguraian mikroorganisme, di antaranya adalah senyawa metil (CH^3). Senyawa metil akan bereaksi dengan Hg^{2+} membentuk metil-merkuri (CH^3-Hg) yang sangat mudah larut di perairan dan dikhawatirkan akan terakumulasi pada ikan. Melalui rantai makanan, senyawa metil-merkuri dapat masuk ke dalam tubuh manusia. Di dalam tubuh manusia senyawa merkuri yang *irreversible* ini akan mengendap pada otak dan plasenta ibu hamil. Hal tersebut dapat mengakibatkan cacat syaraf permanen.

Na-tiosulfat dapat bereaksi dengan baik dan mengikat ion Au pada pH basa (kisaran pH 8-10) dengan reaksi sebagai berikut (SGS mineral Services, 2008):



Oleh karena itu, dalam percobaan ini pH ampas harus disesuaikan dengan cara menambahkan zat basa yaitu kapur (CaO). Berdasarkan hasil uji pendahuluan, pada ampas amalgamasi diperlukan penambahan CaO sebesar 0,5% dari berat substrat ampas sehingga pH ampas menjadi 10. Selain itu kondisi optimum untuk pelarutan Au dalam ampas adalah dengan penambahan 1% Na-tiosulfat dari berat ampas.

Serapan Ion Emas dan Logam Berat pada Tumbuhan

Penelitian dan pengembangan *phytomining* emas di luar negeri telah banyak dilakukan mulai dari skala rumah kaca hingga penerapannya di lapangan seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Terlihat bahwa hasil-hasil penelitian mereka menggunakan beberapa jenis tanaman dengan beberapa jenis *chelating agents* yang berbeda-beda dan mampu memaksimalkan serapan ion Au yang bervariasi dari 21 hingga 326 mg/kg berat kering. Kemampuan penyerapan ion Au tertinggi diperoleh pada tanaman sawi putih dengan penambahan *chelating agents* KCN.

Sebagai perbandingan hasil penelitian di luar negeri, maka hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis saat ini menunjukkan bahwa kemampuan penyerapan ion Au tertinggi pada singkong karet (dengan perlakuan pemberian 1% Na-tiosulfat secara periodik - setiap 2 minggu sekali selama 4,5 bulan penanaman), diperoleh pada bagian akar hanya sebesar 2,05 ppm. Sedangkan serapan pada bagian tanaman lainnya yaitu batang dan daun dengan perlakuan yang sama sangat rendah yaitu hanya 0,001 pada batang dan 0,004 ppm pada daun (Tabel 5.). Walaupun demikian jumlah serapan ion Au sebesar 2,05 ppm oleh akar singkong karet sudah dapat dikatakan cukup tinggi. Wilson-Corrall dkk. (2011), memperoleh hasil serapan ion Au dari ampas sebesar 4 ppm pada tanaman cocor bebek (*K. serrata*) dengan penambahan *chelating agent* ammonium tiosulfat. Sheoran (2013) menyatakan pada kondisi normal (tanpa penambahan *chelating agent*) tanaman hanya mampu menyerap ion Au sebesar 0,001 ppm, sehingga penyerapan ion Au oleh singkong karet pada penelitian ini berpotensi untuk dikembangkan. Meskipun serapan ion Au dinilai cukup tinggi namun percobaan ini belum dapat ditingkatkan ke skala yang lebih besar atau

Tabel 4. Penelitian dan penerapan phytomining skala rumah kaca

Jenis tumbuhan	Substrat	Kandungan Au dalam Substrat (g/t atau mg/kg)	Chelating agent	Perlakuan (g/kg substrat)	Serapan ion Au maksimum (mg/kg berat kering)	Referensi
<i>Brassica juncea</i> (sawi putih)	pasir silika	-	NH ₄ SCN	0,64	57	Anderson dkk., 1998
<i>Raphanussativus</i> (lobak)	pasir silika	3,8	NH ₄ SCN	1,0	220	Msuya, 2000
<i>Brassica juncea</i> (sawi putih)	pasir silika	5	KCN	1,0	326	Lamb, 2001
<i>Chilopsis linearis</i> (willow)	tanah	5	CH ₄ N ₂ S	0,76	296	Rodriguez-Lopez, 2009
<i>Brassica campestris</i> (sawi hijau)	pasir silika	3,8	NH ₄ SCN	1,0	304	Wilson-Corall, 2011
<i>Trifolium repens</i> (semanggi)	mineral	1,75	NaCN	1,0	27	Piccinin dkk., 2007
<i>Sorghum halepense</i> (sejenis rumput)	ampas	2,35	NaCN	1,0	31	Rodriguez-Lopez, 2009
<i>Kalanchoe serrata</i> (sejenis cocor bebek)	ampas	2,35	NaCN	1,0	21	Wilson-Corral dkk., 2011

komersial karena akumulasi unsur Au tertinggi hanya ada pada bagian akar saja. Tanaman singkong karet tidak membentuk umbi namun akarnya dapat mencapai 1-2 meter pada kondisi normal. Dalam percobaan ini pertumbuhan akar tanaman singkong karet sangat terhambat sebagai akibat dari kesuburan media tanam dari ampas pengolahan emas yang kurang bagus karena tidak cukup memiliki kandungan-kandungan unsur tanam utama seperti C-organik, Ca²⁺, Mg²⁺, K dan P (Tabel 3), sehingga meskipun akumulasi Au di bagian akar cukup tinggi namun jumlah biomassa yang didapat masih rendah sehingga belum ekonomis untuk penerapan *phytomining* di lapangan.

Pada petak final (waktu tanam 4,5 bulan) konsentrasi serapan ion Au berturut-turut untuk bagian tanaman akar, batang, dan daun adalah 0,032; 0,001, dan 0,005 ppm. Sedangkan pada petak kontrol (waktu tanam 4,5 bulan) konsentrasi serapan pada bagian tanaman yang sama adalah 0,021; 0,001 dan 0,028 ppm. Pada petak final dan petak periodik terlihat bahwa konsentrasi unsur Au lebih tinggi di bagian akar dibandingkan pada bagian lain. Perbedaan terlihat pada petak kontrol dengan konsentrasi paling tinggi diperoleh pada bagian daun.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian beberapa peneliti luar negeri seperti ditunjukkan pada Tabel 4, terlihat bahwa hasil penyerapan ion Au oleh singkong karet pada ampas amalgamsi emas rakyat Sukabumi terlihat kurang berhasil (dilihat dari kandungan unsur Au pada akar, batang dan daun yang sangat rendah). Hal ini mungkin disebabkan karena jenis substrat atau media tanam (Tabel 4) pada ampas termasuk kategori kurang subur sesuai dengan batas kesuburan tanah oleh Hardjowigeno (2003) pada Tabel 3. Rendahnya serapan Au juga dimungkinkan oleh kurangnya pasokan oksigen pada media tanam yang berpengaruh terhadap rendahnya kelarutan Au. Kurangnya pasokan oksigen dipengaruhi oleh frekuensi pendangiran tanah pada penelitian ini tidak terlalu sering dilakukan.

Selain emas, hasil analisis serapan ion-ion logam berat (Pb, Cu dan Zn) oleh singkong karet menunjukkan bahwa kemampuan penyerapannya nampak jauh lebih besar dari pada kemampuan penyerapan ion Au (Tabel 5).

Secara umum ion-ion logam berat yang terserap diurutkan dari yang terbesar adalah Zn, Pb, Cu dengan akumulasi logam tertinggi adalah pada bagian akar

Tabel 5. Kemampuan serapan ion-ion Au dan Pb, Cu, Zn

Perlakuan	Bagian tanaman	Au (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
Periodik	akar	2,046	1.952,9	1.074,6	1.281,7
	batang	0,001	14,0	11,8	25,7
	daun	0,004	47,3	20,3	150,0
Final	akar	0,032	1.229,9	1.056,9	1.548,9
	batang	0,001	28,0	21,6	51,2
	daun	0,005	15,2	15,7	288,8
Kontrol	akar	0,021	896,4	1.040,4	1.611,9
	batang	0,001	13,0	15,8	46,2
	daun	0,028	28,9	21,9	264,0

kemudian daun dan batang. Konsentrasi serapan logam berat oleh singkong karet mencapai 1.000 kali lebih besar dibandingkan dengan serapan ion Au. Akumulasi ion-ion Au, Cu, Pb dan Zn di bagian akar terjadi karena pada bagian permukaan rhizosfera (akar) kemungkinan banyak terdapat jamur dan bakteri yang dapat berfungsi untuk mempercepat proses infiltrasi bahan ke dalam tanaman. Ion-ion logam yang terserap pada bagian akar selanjutnya akan masuk melalui membran sel pada bagian vakuola menuju ke pembuluh kayu (*xilem*). Dari pembuluh kayu, selanjutnya logam didistribusikan ke bagian atas tanaman (batang, ranting dan daun). Penyerapan ion logam oleh akar kemudian didistribusikan ke dalam organ tanaman lainnya yang menurut Cosio (2004) merupakan suatu mekanisme detoksifikasi dan toleransi tumbuhan terhadap kandungan unsur-unsur logam.

Tingginya akumulasi unsur logam di bagian akar mengindikasikan ketersediaan logam yang mampu diserap oleh tumbuhan namun mobilitasnya terbatas di bagian bawah tanaman; adanya kemampuan tanaman di area yang sangat tercemar untuk menyeimbangkan penyerapan dan translokasi logam (Nouri dkk., 2009); rendahnya mobilitas logam dari akar ke tajuk (*shoot*) sehingga menjadikan unsur-unsur logam tersebut tidak bersifat racun bagi tumbuhan serta terjadi immobilisasi logam di vakuola akar (Nazir dkk., 2011). Hal ini mungkin merupakan mekanisme penetralan toksisitas logam oleh tumbuhan (Badr dkk., 2012).

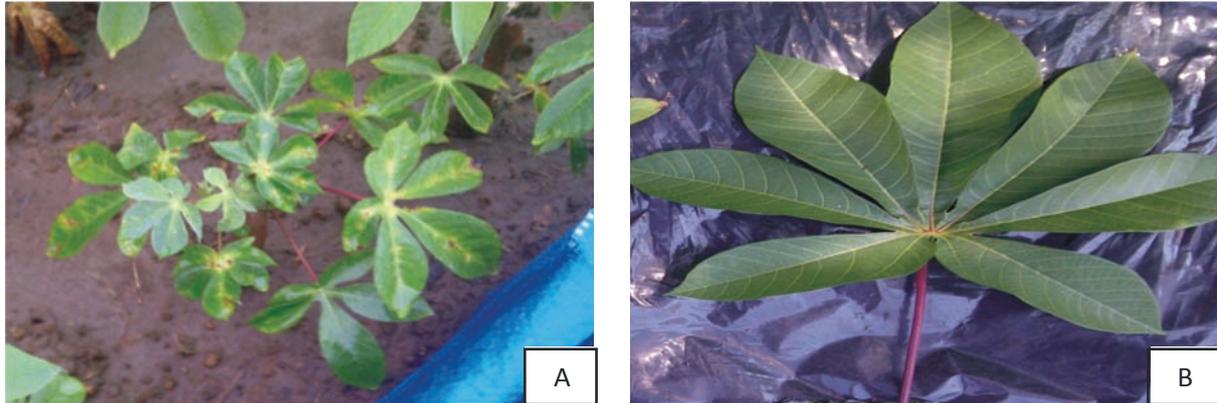
Secara umum kemampuan penyerapan ion Au oleh singkong karet jauh lebih kecil dibandingkan dengan penyerapan logam lainnya. Hal ini dimungkinkan karena massa atom Au = 196 yang

lebih besar dibandingkan dengan logam Ag = 107, Cu = 63 dan Zn = 65. Walaupun massa atom Au lebih kecil bila dibandingkan dengan Pb = 207, namun serapan ion Pb lebih besar dibandingkan dengan ion Au. Ini dimungkinkan oleh senyawa PbS_2O_3 lebih cepat terbentuk dibandingkan dengan senyawa $Au_2(S_2O_3)_3$. Dalam jangka waktu tertentu ion Pb akan lebih dahulu terserap oleh tanaman singkong karet sampai tanaman tersebut akhirnya mati. Keberadaan unsur logam-logam lain dalam ampas yang mungkin terlarut dan terserap merupakan faktor penting yang memengaruhi penyerapan ion logam oleh tanaman. Akumulasi ion logam akan terus terjadi selama tumbuhan mampu menyerap dan terus mengalami transpirasi. Kecepatan evapotranspirasi akan menurun jika konsentrasi ion logam pada akar dan daun mencapai tingkat beracun (*phytotoxic level*) (Wilson-Corall dkk., 2011). Tanda-tanda terjadinya keracunan logam berat pada tanaman ditandai dengan warna daun yang semakin lama menguning dimulai pada tulang daun hingga tanaman layu (Gambar 3).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Tanaman singkong karet (*Manihot glaziovii* L.) pada prinsipnya mampu menyerap ion Au dengan kapasitas penyerapan tertinggi mencapai 2,05 ppm pada bagian akar melalui perlakuan penambahan 1% Na-tiosulfat dari berat substrat ampas secara periodik (setiap 2 minggu) dan penambahan 0,5% CaO (pH 10) selama kurun waktu tanam 4,5 bulan dari percontohan ampas amalgamasi yang berkadar emas 5,1 ppm. Fenomena akumulasi ion Au pada



Gambar 3. Tanda keracunan logam berat pada tanaman (Keterangan : A adalah percontoh daun keracunan logam berat; B adalah percontoh daun normal)

akar singkong karet secara teknis relatif tinggi, namun karena belum didukung oleh jumlah biomassa yang banyak, maka belum seluruh emas dalam ampas dapat terserap. Jumlah biomassa yang rendah disebabkan oleh belum sesuai kondisi lingkungan media tanam antara lain: pH substrat ampas yang terlalu basa, kesuburan substrat ampas yang rendah, jumlah dan pertumbuhan tanaman singkong karet rendah.

Saran

- Perlu dilakukan penentuan parameter fisika-kimia tanah/substrat ampas yang sesuai untuk menunjang kesuburan pertumbuhan singkong karet dan meningkatkan penyerapan ion Au.
- Perlu dilakukan penelitian optimalisasi jumlah tanaman, jenis tanaman, dosis Na-tiosulfat dan kapur yang sesuai kemampuan pertumbuhan tanaman pada pH tidak terlalu basa/asam, dengan/tanpa penambahan oksigen.
- Perlu penelitian lanjutan berupa pengaruh keberadaan kandungan logam berat lain terhadap penyerapan emas oleh tanaman.
- Uji sensitivitas tanaman perlu dilakukan untuk mengetahui batas toleransi tanaman terhadap logam berat lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada DR. Ir. Nunung Sondari, Prof. Eko Handayanto, PhD., Komarudin, Wahyu Agus Setiawan, S.T. serta rekan-

rekan tim penelitian *phytomining* atas bantuan dan saran-saran yang diberikan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson C., Brooks R.R., Stewart R.B., and Simcock R., 1998. Harvesting a crop of gold in plants. *Nature*, 395. p. 553-554.
- Anderson C., Moreno, F. and Meech, J., 2005. A field demonstration of gold phytoextraction technology. *Minerals Engineering*, 18. p. 385-392.
- Badr, N., Fawzy, M. and Al-Qahtani, K.M., 2012. Phytoremediation: An ecological solution to heavy-metal-polluted soil and evaluation of plant removal ability. *World Applied Sciences Journal*, 16 (9). p. 1292-1301.
- Channey, R.L., Angle, J.S., Broadhurst, C.L., Peters, C.A., Tappero, R.B., and Sparks, D.L., 2007. Improved understanding of hyperaccumulating yields commercial phytoextraction and phytomining technologies. *Journal Environmental Quality*, 36. p. 1429-1433.
- Cosio, C., 2004. Phytoextraction of heavy metal by hyperaccumulating and non hyperaccumulating plants: comparison of cadmium uptake and storage mechanisms in the plants. *Thesis PhD at Cell and Molecular Biology*, Université Louis Pasteur Strasbourg.
- Hardjowigeno, S., 2003. *Ilmu tanah*. Akademika Pressindo. 286 halaman. Jakarta.
- Lamb, A.E., Anderson, C.W.N. and Haverkamp, R.G., 2001. The induced accumulation of gold in the plants *Brassica juncea*, *Berkeya coddii* and *Chicory*. *Chemistry in New Zealand*, 9. p. 34 - 36.

- Msuya, F.A., Brooks, R.R., Anderson, C.W.N., 2000. Chemically-induced uptake of gold by root crops: Its significance for phytomining. *Gold Bulletin*, 33. p. 134-137.
- Nazir, A., Malik, R.N., Ajaib, M., Khan, N. and Siddiqui, M.F., 2011. Hyperaccumulators of heavy metals of industrial areas of Islamabad and Rawalpindi. *Pakistan journal of Botany*, 43(4). p. 1925-1933.
- Nendaryono, M. 2012. Studi Eksploitasi emas artisanal dengan metode *phytomining*. *Laporan Kegiatan Penelitian Puslitbang tekMIRA*. Kementerian ESDM, Bandung.
- Nouri, J., Khorasani, N., Lorestani, B., Karami, M., Hasani, A. H. and Youse, N., 2009. Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. *Environmental Earth Science*, 59. p. 315–323.
- Piccinin, R.C.R., Ebbs, S.D., Reichman, S.M., Kolev, S.D., Woodrow, I.E., and Baker A.J.M., 2007. A screen of some native Australian flora and exotic agricultural species for their potential application in cyanide-induced phytoextraction of gold. *Minerals Engineering*, 20. p. 1327-1330.
- Rodriguez-Lopez, M., Wilson-Corral, V., Anderson, C.W.N. and Lopez-Perez, J., 2009. Chemically assisted gold phytoextraction in Sorghum halepense. The 5th International Conference: *Science, Technology and Applications of Gold*. Heidelberg, Germany. (Ed. Heidelberg University). p. 353.
- Sheoran, V., Sheoran, A.S. dan Poonia, P., 2013. Phytomining : a review. *Journal of Geochemical Exploration*, 128. p. 42–50.
- SGS Minerals Services., 2008. *Thiosulphate leaching: an alternative to cyanidation in gold processing*. T3 SGS, 869.
- Wilson-Corral, V., Anderson, C., Rodriguez-Lopez, M., Arenas-Vargas, M. and Lopez-Perez, J., 2011. Phytoextraction of gold and copper from mine ampas with *Helianthus annuus* L. and *Kalanchoe serrata* L. *Minerals Engineering*, 24. p. 488-1494.
- Wilson-Corral, V., Anderson, C., Rodriguez-Lopez, M., 2012. Gold phytomining, a review of the relevance of this technology to mineral extraction in the 21st century, *Journal Environmental Management*, 111. p. 249-257.