

Perencanaan Pemulihan Logam Tanah Jarang dari Tanah Terkontaminasi dengan Metode *Resin In Leach*¹

Planning for The Recovery of Rare Earth Element from Contaminated Soil by The Resin In Leach Method

Difany Aulia Rahman^{a,2}, Di Ajeng Arum Kusuma^a

^a Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

LTJ (Logam Tanah Jarang) atau *Rare Earth Element* merupakan salah satu bentuk mineral ikutan pada mineral utama seperti emas, perak, timah, tembaga, dan lain-lain (Gunradi dkk, 2019). Penggunaan logam tanah jarang selalu berkaitan dengan produk industri teknologi seperti teknologi industri, telekomunikasi, dan nuklir. LTJ menyebar secara terbatas dan jumlahnya tidak besar. Dalam pengambilannya, LTJ sangat sukar ditambang karena memiliki konsentrasi yang cukup tinggi untuk ditambang secara ekonomis. Hal tersebut dapat menyebabkan tanah disekitar bahan galian terkontaminasi. Tanah yang terkontaminasi dapat memcemari ekosistem tanah, dan perairan sekitar. Metode *resin in leach* (RIL) adalah metode umum dalam industri hidrometalurgi yang bertujuan untuk memulihkan logam dari bahan mentah padat dalam suatu unit operasi. Proses RIL menggunakan H_2SO_4 encer sebagai agen pelindian. Manfaat dari H_2SO_4 adalah penggunaan, sebagai *lixivant* perolehan LTJ yang lebih tinggi melalui reaksi pelindian yang didorong ke arah depan, serta langkah pelindian dan pemulihan secara simultan. Tanah yang terkontaminasi LTJ dapat menjadi sumber potensial agar sumber daya mineral yang berharga tidak hilang dalam rangkaian produksinya. Strategi *resin in leach* diperlukan secara bersamaan untuk membersihkan tanah dan menghasilkan LTJ serta berkontribusi pada lingkaran ekonomi. Kebutuhan LTJ dalam aplikasi industri sangat tinggi, sehingga kegiatan pertambangan LTJ perlu diimbangi dengan teknologi *recovery* yang dapat memaksimalkan LTJ dari kontaminan di tanah.

Kata kunci: logam tanah jarang, resin in leach, H_2SO_4

ABSTRACT

*LTJ (Rare Earth Elements) is a form of accompanying mineral in the main minerals such as gold, silver, tin, copper, and others (Gunradi et al, 2019). The use of rare earth metals is always related to industrial technology products such as industrial technology, telecommunications, and nuclear. LTJ spreads in a limited way and the numbers are not large. In its extraction, LTJ is very difficult to mine because it has a high enough concentration to be mined economically. This can cause the soil around the excavation to be contaminated. Contaminated soil can pollute the soil ecosystem, and the surrounding waters. The resin in leach (RIL) method is a common method in the hydrometallurgical industry which aims to recover metals from solid raw materials in a unit operation. The RIL process uses dilute H_2SO_4 as the leaching agent. The benefit of H_2SO_4 is the use, as a *lixivant* for higher LTJ gain through forward driven leaching reactions, as well as simultaneous leaching and recovery steps. Soil contaminated with LTJ can be a potential source so that valuable mineral resources are not lost in the production chain. The resin in leach strategy is needed simultaneously to clean the soil and produce LTJ and contribute to the economic circle. The need for LTJ in industrial applications is very high, so LTJ mining activities need to be balanced with recovery technology that can maximize LTJ from contaminants in the soil.*

Keywords: rare earth elements, resin in leach, H_2SO_4

¹ Info Artikel: Received: 30 April 2022, Accepted: 4 Juni 2022

² E-mail: difanyaulia08@gmail.com, diajengarumkusuma@gmail.com

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kekayaan alam dan hasil tambang melimpah. Kekayaan sumber daya tersebut dapat dijadikan sumber pendapatan bagi Negara Indonesia. Pertambangan merupakan salah satu industri yang sangat berpengaruh bagi perekonomian Indonesia. Jalur laut juga dapat dijadikan fasilitas untuk melakukan distribusi hasil tambang di Indonesia. Terdapat tiga proses penambangan yang dilakukan, yaitu: eksplorasi, eksploitasi, dan pemrosesan. Eksplorasi merupakan sebuah proses yang dilakukan untuk mencari mineral berharga. Eksploitasi adalah proses penambangan mineral berharga yang telah ditemukan dalam kegiatan eksplorasi. Sedangkan pemrosesan adalah kegiatan memisahkan mineral berharga dari partikel lain yang menyatu atau dapat disebut dengan mineral ikutan.

LTJ (Logam Tanah Jarang) atau *Rare Earth Element* merupakan salah satu bentuk mineral ikutan pada mineral utama seperti emas, perak, timah, tembaga, dan lain-lain. (Gunadi dkk, 2019). LTJ terdiri dari 15 unsur lantanida dan 2 unsur lain yaitu *scandium* (Sc) dan *itrium* (Y). Keberadaan LTJ sangat melimpah melebihi unsur lain yang ada di kerak bumi. Berdasarkan buku “Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia” oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada 2019, sumber daya logam tanah jarang yang berhasil diteliti di beberapa wilayah tercatat setidaknya mencapai 75.579 ton, berasal dari endapan plaser dan endapan lateritik. Mineral yang mengandung LTJ seperti monasit, zirkon, dan xenotim merupakan mineral ikutan dari mineral utama seperti timah, emas, bauksit, dan laterit nikel.

Logam tanah jarang telah digunakan pada berbagai macam produk. Penggunaan logam tanah jarang selalu berkaitan dengan produk industri teknologi seperti teknologi industri, telekomunikasi, dan nuklir. Pemanfaatan LTJ yang sederhana seperti lampu, pelapis gelas, sedangkan untuk teknologi tinggi seperti fosfor, laser, magnet, baterai, dan teknologi masa depan seperti superkonduktor, pengangkut hidrogen. Pemanfaatan logam tanah jarang yang lain yaitu pelat armor, korek gas otomatis, lampu keamanan di pertambangan, perhiasan, cat, lem, dan lain lain.

LTJ menyebar secara terbatas dan jumlahnya tidak besar. LTJ sangat sukar ditambang karena memiliki konsentrasi yang cukup tinggi untuk ditambang secara ekonomis. Hal tersebut dapat menyebabkan tanah disekitar bahan galian terkontaminasi. Tanah yang terkontaminasi dapat membahayakan lingkungan sekitar. Dampak yang mungkin terjadi yaitu pencemaran ekosistem tanah, lahan pertanian, dan perairan sekitar. Salah satu teknologi untuk memulihkan LTJ dari tanah yang terkontaminasi yaitu dengan menggunakan metode *resin in leach*. Metode *resin in leach* adalah metode umum dalam industri hidrometalurgi yang bertujuan untuk memulihkan logam dari bahan mentah padat dalam suatu unit operasi.

PEMBAHASAN

Aplikasi Pemanfaatan Dan Dampak Lingkungan Logam Tanah Jarang

Distribusi, spesiasi kimia, dan bioakumulasi mekanisme LTJ sangat penting untuk mengevaluasi dampak dari LTJ di lingkungan. LTJ dapat hilang dengan sendirinya dari proses manufaktur siklus hidup ke lingkungan dan ada yang dimanfaatkan agar lebih bermanfaat bagi lingkungan dan masyarakat misalnya, pertanian, restorasi ekologi, dan

pengolahan air. Namun, sedikit yang diketahui tentang dampak jangka panjang dan toksisitas. Studi terbaru telah menunjukkan dampak buruk dari aplikasi tanah yang mengandung LTJ pada tanaman dan organisme akuatik dan terestrial, *toksisitas lantanida* untuk *krustasea* air dan uniseluler alga terbukti berdasarkan bioassay. Namun, beberapa penelitian telah menunjukkan efek menguntungkan dari LTJ pada konsentrasi rendah dan efek penghambatan pada tingkat yang lebih tinggi, untuk terestrial tanaman, serta ganggang air dan vegetasi. Sejak tahun 1970-an, LTJ telah banyak digunakan dalam pertanian sebagai pupuk mikro, yang meningkatkan kualitas dan hasil produk pertanian. (Yahorafa dkk, 2016). Aplikasi dalam bidang pertambangan menyebabkan tanahnya mengandung unsur-unsur berbahaya termasuk LTJ dan batuan fosfat alam (Camaselle, 2013)

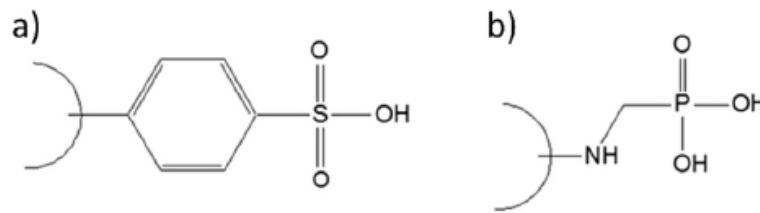
Logam tanah jarang ditambang dari bijih murni. Dari kegiatan pertambangan ini menyebabkan tanah terkontaminasi dengan LTJ. Jika tidak diolah maka akan membahayakan lingkungan. Dampak yang ditimbulkan yaitu pencemaran tanah terhadap ekosistem, lahan pertanian, dan juga kesehatan. Limbah yang dihasilkan saat proses pengolahan sangat berbahaya karena dapat menyebabkan penyakit serius seperti kerusakan otak dan ginjal, keracunan hati, penurunan sistem syaraf pusat, bahkan kanker. Perubahan kimiawi pada tanah yang diakibatkan oleh LTJ menyebabkan perubahan metabolisme dari makroorganisme endemik dan antropoda yang hidup di lingkungan tanah tersebut. Dari perubahan kimiawi tersebut juga bahkan dapat mengakibatkan kematian spesies primer tertentu dari rantai makanan dan tentu juga akan memengaruhi level rantai makanan. Pencemaran tanah oleh LTJ juga berdampak mengurangi tingkat kesuburan dan struktur tanah yang akan berdampak langsung terhadap perkembangan tanaman yang akhirnya akan mengurangi jumlah produksi hasil panen. Dampak lingkungan yang ditimbulkan sangat serius, oleh karena itu kelestarian lingkungan harus dianggap sebagai metrik utama dari model ekonomi sirkular untuk LTJ. (Lima dkk, 2017)

Teknologi pemulihan LTJ dari tanah tercemar menggunakan *resin in leach*

Tanah yang tercemar oleh LTJ harus dilakukan pemulihan (*recovery*) agar tidak membahayakan lingkungan. Teknologi yang digunakan bermacam-macam, misalnya teknologi remediasi seperti amandemen tanah, bioremediasi, dan solusi berbasis ekosistem seperti lahan basah buatan, serta terdapat teknologi *recovery* menggunakan *resin in leach*. Teknologi *recovery* LTJ yang akan dibahas yaitu menggunakan *resin in leach*. Proses *resin in leach* (RIL, juga disebut *resin in pulp*) adalah metode umum dalam industri hidrometalurgi untuk memulihkan logam dari bahan mentah padat dalam satu unit operasi. Dalam proses RIL, resin penukar ion ditambahkan ke pulp dalam reaktor pelindian, dan logam terlindi yang dibebaskan dari bahan mentah padat dipindahkan ke resin. Manfaat dari proses RIL adalah penggunaan H_2SO_4 encer, sebagai *lixivant* perolehan LTJ yang lebih tinggi melalui reaksi pelindian yang didorong ke arah depan, serta langkah pelindian dan pemulihan secara simultan. Oleh karena itu, ini dianggap sebagai opsi yang menjanjikan dari sudut pandang tekno-ekonomi (Yahorava dkk, 2016). Setelah pemuatan REE dan pengotor, resin dapat dielusi dengan $CaCl_2$, $NaCl$, HCl (Yahorava dkk, 2016) atau NH_4NO_3 (Nechaev dkk, 2016; Rchkov dkk, 2018) dan akibatnya, konsentrat LTJ dapat diperoleh dengan pengendapan seperti dijelaskan di atas.

Bahan yang dibutuhkan untuk persiapan *recovery* yaitu sampel tanah yang tercemar kemudian diuji untuk mengetahui banyaknya kandungan LTJ, resin, dan larutan asam H_2SO_4 . Resin yang dipelajari ialah Purolite S940 (dilambangkan sebagai CHEL), Purolite

C150 (SAC1), dan Finex CS16GC (SAC2). Struktur resin diberikan pada Gambar 1, dan sifat-sifatnya tercantum dalam Tabel 2.



Gambar 1 Struktur resin yang digunakan dalam *resin in leach*. a) sebuah Resin asam sulfonat (Purolite C150 dan Finex CS16GC) dan b) aminophosphonic resin (Purolite S940).

Tabel 1 Sifat resin yang digunakan dalam *resin in leach*.

Resin	Struktur fisik	Kelompok Fungsi	Jenis	Kapasitas, equiv/L	Ukuran partikel, μm
Purolite S940	Macroporous	Aminomethyl-phosphonic acid	Chelating	1.11 ^a	425-850
Purolite C150	Macroporous	Sulfonic acid	Strong cation	1.8 ^a	300-1200
Finex CS16GC	Gel	Sulfonic acid	Strong cation	1.93 ^a	275

Pada *recovery* tanah tercemar dengan proses RIL H_2SO_4 adalah agen pelindian yang cocok. Demikian pula, penghilangan Ca dari fase cair menggunakan kation yang kuat tidak diperlukan, dan pengkelat resin dengan selektifitas tinggi yang dapat digunakan. Selektivitas yang tinggi menyebabkan pemuatan LTJ yang lebih tinggi dari resin ketika *batch* resin yang sama digunakan di beberapa RIL lintas arus tahapan. Kinerja resin *chelating* lebih unggul daripada resin penukaran kation dalam langkah RIL karena elusi LTJ lebih sulit. LTJ dengan Ca, Sr, dan sebagian Fe dielus dari penukaran kation kuat dengan NaCl. Selektivitas LTJ yang lebih tinggi untuk pengkelat resin menggunakan HCl dan EDTA. Hasil akhir dari proses RIL ialah LTJ yang akan diolah kembali menjadi berbagai macam produk.

Pertimbangan untuk perbaikan elemen tanah jarang di masa depan

Konsentrasi LTJ dalam batuan atau bijih mencapai 4 kali lipat lebih tinggi daripada yang berada di tanah. Meskipun demikian, tanah yang terkontaminasi LTJ dapat memberikan nilai yang ekonomis dengan urutan yang hampir sama dengan bijih, terutama jika berada di sekitar tambang. Li dkk pada tahun 2010 mengatakan bahwa tanah di sekitar LTJ tambang Cina dengan hingga 12.000 mg Ce/kg, dan Guo dkk pada tahun 2013 menyaakan tanah di sekitar kolam tailing Mongolia dengan sekitar 7000 mg Nd/kg.

Permintaan Logam Tanah Jarang (LTJ) dianggap meningkat hingga 2600% selama 25 tahun kedepan. (Alonso dkk, 2010 ; Seredin dkk, 2010) menganggap Y, Nd, Eu, Tb, Dy, dan Er merupakan logam yang paling kritis dalam produksi industri, dengan Tb dan Ekstraksi Dy menjadi yang paling mahal Tabel 2.

Tabel 2 Ringkasan 17 elemen tanah jarang dan nilai pasarnya saat ini, produksi global, penggunaan utama, dan penggunaan kembali berdasarkan elemen pada tahun 2008.

Unsur	Nomor Atom	Kegunaan utama	%reuse in 2008	Price 2015 (USD/kg)*	Price 2019 (USD/kg) [#]
Sc	²¹ scandium	Optical electronic, aeronautical, automotive and transportation industries		5100	440.02

Y	³⁹ yttrium	Ceramics, phosphors, Aid in biochar amandements	9.0	8	31.5
La	⁵⁷ lanthanum	Catalysts, battery alloys, ceramics, metallurgy, glass industry, phosphors	29.9	3	5.25
Ce	⁵⁸ cerium	Catalysts, metal alloys	32.7	3	5.11
Pr	⁵⁹ praseodymium	Catalysts, ceramics, glass industry, metallurgy, (Neodymium) magnets, battery alloys	6.8	75	92.4
Nd	⁶⁰ neodymium	Magnets, computers, audio systems, cars. Wind turbines, metallurgy, battery alloys, glass, ceramics, catalysts	18.5	48	55.72
Pm	⁶¹ promethium	Long-life atomic batteries (in e.g. satellites-to-to submarine laser communication systems, “cosmic docks” for the measurement of cosmic rays lifetime, monitoring of the changes in water content of citrus leaves caused by wetting and drying cycles in the soil, radiotherapy, prevention of dandruff	n.f.	n.f.	n.f.
Sm	⁶² samarium	Battery alloys	0.4	3	13.81
Eu	⁶³ europium	Phosphors	0.3	339	36.4
Gd	⁶⁴ gadolinium	(Neodymium) magnets, phosphors	0.6	47	110
Tb	⁶⁵ terbium	(Neodymium) magnets, phosphors	0.4	562	542.5
Dy	⁶⁶ dysprosium	(Neodymium) magnets	1.0	278	231.7
Ho	⁶⁷ holmium	Nuclear reactors	n.f.	n.f.	n.f.
Er	⁶⁸ erbium	Used in infrared absorbing glass and fibre optic cables	n.f.	n.f.	15.5
Tm	⁶⁹ thulium	X-ray technologies	n.f.	n.f.	n.f.
Yb	⁷⁰ ytterbium	Laser	n.f.	n.f.	n.f.
Lu	⁷¹ lutetium	Catalyst	n.f.	n.f.	n.f.
Light Rare Earth elements			*	USGS, 2015 (Gambolgi, 2016)	
Heavy Rare Earth elements			#	http://mineralprices.com/rare-earth-metals/ , 2019	
%	Critical REE according to (Seredin, 2010)		n.f.	Information not found	

Saat ini bijih murni penambangan terus digunakan sebagai sumber utama LTJ sementara hanya 2,8% dari semua LTJ yang dibuang saat ini sedang didaur ulang (Jowitt dkk, 2018). Tanah yang terkontaminasi LTJ dapat menjadi sumber potensial agar sumber daya mineral yang berharga tidak hilang dalam rangkaian produksinya. Strategi *resin in leach* diperlukan secara bersamaan untuk membersihkan tanah dan memanen LTJ serta berkontribusi pada lingkaran ekonomi. Teknologi *resin in leach* cocok untuk diterapkan pada permasalahan ini. Teknologi ini mengeksplorasi pemulihan sumber daya harus digaribawahi dalam upaya saat ini untuk keberlanjutan dan ekonomi melingkar (*circular economy*). Pada penelitian sebelumnya memilih metode elektroremediasi dan fitoremediasi sebagai teknologi remediasi yang mampu menghilangkan logam *insitu* dari tanah (Li dkk, 2018; Lima dkk, 2017)

Biaya ekstraksi bijih LTJ dalam USD/kg yang diekstraksi sangat bervariasi tergantung pada LTJ yang akan diolah (Tabel 1). Hal ini merupakan satu-satunya angka yang dapat dibandingkan dengan pemulihan sumber daya yang dicapai melalui metode *resin in leach*. Sumber alternatif LTJ juga akan terus bertambah mengingat banyaknya permintaan LTJ secara global. Sumber LTJ tidak hanya dari tanah tercemar tetapi juga sumber geologis sekunder lainnya yaitu bauksit, tailing batubara dan produk pembakaran batubara mungkin menjadi kandidat yang paling menjanjikan untuk ekstraksi LTJ.

KESIMPULAN

Artikel ini membahas mengenai perencanaan *recovery* LTJ tanah tercemar menggunakan teknologi *resin in leach* yang dapat mengesktrak dan memulihkan LTJ dari tanah tercemar. Aplikasi pemanfaatan LTJ sangat bermanfaat bagi kehidupan masyarakat. Tetapi LTJ juga memiliki dampak bagi lingkungan yaitu pencemaran tanah terhadap ekosistem, lahan pertanian, dan juga kesehatan. Saat ini permintaan LTJ dalam aplikasi industri sangat tinggi, sehingga selain dengan kegiatan pertambangan LTJ juga diperlukan teknologi *recovery* yang dapat memaksimalkan LTJ dari kontaminan di tanah. Teknologi *resin in leach* sepertinya memenuhi kriteria ini dan sesuai dengan keberlanjutan dan ambisi masa depan ekonomi sirkular. Tanah tercemar LTJ ditemukan di lahan pertambangan LTJ, tambang batubara, tanah pertanian, tempat pembuangan sampah, dan jalan. *Recovery* dilakukan tidak hanya bertujuan untuk pemanfaatan ekonomi tetapi juga memulihkan tanah tercemar di lingkungan. Metode *resin in leach* ini dapat memulihkan kondisi tanah dan menghasilkan LTJ.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, E., Sherman, A.M., Wallington, T.J., Everson, M.P., Field, F.R., Roth, R. Kirchain, R.E. (2012). Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3406e3414. <https://doi.org/10.1021/es203518d>.
- Gunradi, dkk. (2019). *Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia*. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Data Mineral.
- Cameselle, C., Chirakkara, R.A. and Reddy, K.R. (2013). Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: status and opportunities. *Chemosphere*, 93(4), pp.626-636. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.029>.
- Fayiga, A.O. and Nwoke, O.C. (2016). Phosphate rock: origin, importance, environmental impacts, and future roles. *Environmental Reviews*, 24(4), pp.403-415. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0003>.
- Gueroult, R., Rax, J.M. and Fisch, N.J. (2018). Opportunities for plasma separation techniques in rare earth elements recycling. *Journal of Cleaner Production*, 182, pp.1060-1069. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.066>
- Guo, W., Fu, R.Y., Zhao, R.X., Zhao, W.J., Guo, J.Y. and Zhang, J. (2013). Distribution characteristic and current situation of soil rare earth contamination in the Bayan Obo mining area and Baotou tailing reservoir in Inner Mongolia. *Huan Jing ke Xue= Huanjing Kexue*, 34(5), pp.1895-1900.
- Jowitt, S.M., Werner, T.T., Weng, Z. and Mudd, G.M. (2018). Recycling of the rare earth elements. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, pp.1-7.
- Li, J., Hong, M., Yin, X., Liu, J. (2010). Effects of the accumulation of the rare earth elements on soil macrofauna community. *Journal of Rare Earths*, 28(6), pp. 957-964. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(09\)60233-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(09)60233-7)
- Lima, A.T., Hofmann, A., Reynolds, D., Ptacek, C.J., Van Cappellen, P., Ottosen, L.M., Pamukcu, S., Alshawabekh, A., O'Carroll, D.M., Riis, C. and Cox, E. (2017). Environmental electrokinetics for a sustainable subsurface. *Chemosphere*, 181, pp.122-133. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.143>.

- Nechaev, A.V., Shestakov, S.V., Sibilev, A.S., Smirnov, A.V. (2018). *Method of extracting rare-earth elements from phosphogypsum*. RU2663512C1.
- Rychkov, V.N., Kirillov, E.V., Kirillov, S.V., Semenishchev, V.S., Bunkov, G.M., Botalov, M.S., Smyshlyaev, D.V. and Malyshev, A.S. (2018). Recovery of rare earth elements from phosphogypsum. *Journal of cleaner Production*, 196, pp.674-681.
- Seredin, V.V., Seredin, V.V. (2010). A new method for primary evaluation of the outlook for rare earth element ores. *Geology of Ore Deposits*, 52(5), pp.428-433.
- Swain, N., Mishra, S., Swain, N. and Mishra, S. (2019). A review on the recovery and separation of rare earths and transition metals from secondary resources. *Journal of cleaner production*, 220, pp.884-898.
- Yahorava, V., Bazhko, V. and Freeman, M. (2016), September. Viability of phosphogypsum as a secondary resource of rare earth elements. *In Proceedings of the XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Quebec City, QC, Canada* (pp. 11-15).