

STUDI *BIOLEACHING* BATUAN FOSFAT MENGUNAKAN JAMUR *ASPERGILLUS NIGER*

SRI HANDAYANI, TATANG WAHYUDI dan SURATMAN

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman No. 623, Bandung 40211
Telp. (022) 6030483 Fax. (022) 6003373
e-mail : sri@tekmira.esdm.go.id

S A R I

Endapan fosfat alam Indonesia umumnya berkadar rendah. Berbagai cara pengolahan fosfat kadar jenis ini telah banyak dilakukan, namun umumnya kurang memuaskan. Kendala yang dihadapi adalah mahalnya ongkos produksi dan benturan dengan lingkungan. Bila mengacu kepada kebutuhan fosfat di Indonesia yang selama ini kebanyakan dipenuhi oleh impor, maka perlu dicari suatu proses yang relatif murah dan ramah lingkungan. Teknik *bioleaching* nampaknya memenuhi kedua kriteria di atas.

Teknik *bioleaching* terhadap mineral fosfat kadar rendah Cijulang yang dilakukan pada kegiatan penelitian ini masih berskala laboratorium. Pada percobaan ini kuantitas fosfat terekstraksi yang paling tinggi (82,2%) diperoleh bila menggunakan persen padatan 5% dan menurun secara drastis sejalan dengan meningkatnya persen padatan. Walaupun demikian kadar fosfat yang diperoleh pada percobaan ini mencapai 42 sampai 45%. Kondisi ini sebetulnya sudah memenuhi syarat yang ditetapkan konsumen. Namun, logam-logam pengotor seperti aluminium (Al), besi (Fe) dan kalsium (Ca) ikut terekstraksi dalam kuantitas cukup besar. Masing-masing sekitar 29,4%, 48,2%, 25,6%.

Kata kunci: fosfat, dahlit, kalsit, *bioleaching*, *Aspergillus niger*

ABSTRACT

Indonesian phosphate deposit is normally low grade. Efforts to improve its grade has been conducted; however, the results were not satisfied yet. Expensive production cost and conflicts due to environmental problems are two problems related to processing the phosphate. Referring to the fact that the need of phosphate in Indonesia is mostly fulfilled by import, it requires an alternative process that relatively cheap in cost production as well as environmental friendly. Among alternative processes, bioleaching seems the answer to accomplish both criteria.

Cijulang phosphate deposit had been bioleached at laboratory scale. The result shows that the quantity of extracted phosphate reaches 82.2% using 5% solids. Yet the extracted one decreases when using 10 and 20% solids, performing grade of 42 to 45%. Such a condition actually satisfies specification as determined by customers but the leaching also provides significant impurities such as aluminum (29,4%), iron (48,2%) and calcium (25,6%).

Keywords: phosphate, dahlite, calcite, *bioleaching*, *Aspergillus niger*

PENDAHULUAN

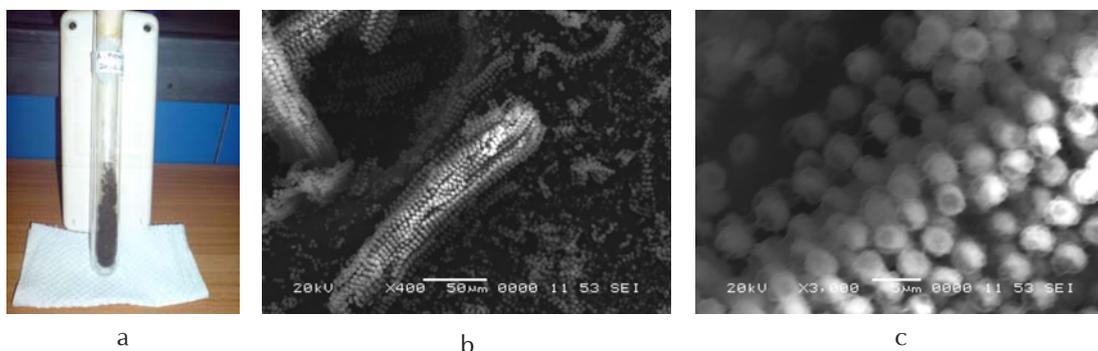
Endapan fosfat alam Indonesia terdapat di beberapa tempat seperti Cijulang, Karangbolong, Rembang, Pati, Tuban, Pacitan dan lain-lain. Tergantung genesisnya, kadar P_2O_5 dalam endapan tersebut beragam tetapi pada umumnya berkadar rendah ($\pm 15\%$). Fosfat kadar tinggi memang ada tapi sebarannya bersifat sporadis dengan cadangan kecil. Keberagaman kadar fosfat alam Indonesia menarik untuk dikaji karakteristiknya, terutama berkaitan dengan pemanfaatannya. Berdasarkan data karakter fosfat yang diperoleh (Ngurah Ardha dan Wahyudi, 2008), dapat ditentukan proses pengolahan bagaimana yang paling efektif dan efisien untuk endapan fosfat tertentu sehingga diperoleh hasil yang optimal.

Salah satu pemanfaatan fosfat adalah untuk pupuk. Kebutuhan pupuk berbahan dasar fosfat di Indonesia sangat besar dan diperkirakan akan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Karena kadar fosfat dalam batuan fosfat di negeri ini umumnya rendah dan mengandung pengotor besi dan aluminium relatif tinggi (± 10 dan 11%), pemenuhan bahan baku fosfat untuk pupuk dipenuhi oleh impor yang harganya relatif mahal. Upaya mencari solusi untuk menghindari ketergantungan terhadap fosfat impor sebenarnya sudah dilakukan oleh beberapa peneliti Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. Komaruddin 1974 (dalam Ngurah Ardha dan Wahyudi, 2008) melakukan serangkaian uji-coba meningkatkan kadar fosfat Jampang pada skala laboratorium. Selain dengan cara kimia, peningkatan kadar dapat dilakukan secara fisik melalui proses *crushing*, *blending*, *drying* dan *grinding*. Peningkatan kadar fosfat dari endapan fosfat kadar rendah daerah Cijulang telah dilakukan oleh Ngurah Ardha dan Trisna Sunara 1992 (dalam Ngurah Ardha dan Wahyudi, 2008) melalui proses pencucian, flotasi,

kalsinasi dan pemisahan secara magnetik. Dari serangkaian uji-coba, cara kalsinasi dan pemisahan magnetik mampu meningkatkan kadar fosfat sampai 30% .

Penelitian-penelitian tersebut ada yang mampu meningkatkan kadar fosfat, tapi tetap belum dapat memenuhi persyaratan yang diajukan oleh produsen pupuk yakni $36\% P_2O_5$ (Kusdarto, 2006; Ngurah Ardha dan Wahyudi, 2008). Kadar pengotor yang terdapat dalam fosfat yang diolah seperti besi dan aluminium belum dapat diturunkan secara signifikan. Di samping itu, beberapa proses – antara lain kalsinasi - terkendala oleh mahalnya biaya pengolahan, sehingga perlu dicari proses lain yang relatif murah dan dapat meningkatkan kadar dan perolehan (fosfat) relatif tinggi. Mengacu kepada hal di atas, metode *bioleaching* (pelindian bio) menggunakan jamur *Aspergillus niger* layak dicoba sebagai proses alternatif dengan tujuan untuk mengekstraksi P_2O_5 sampai mencapai spesifikasi pupuk fosfat, karena relatif murah dan ramah lingkungan (Maochun dkk, 2002). Jamur ini (Gambar 1) termasuk ke dalam kelas *Ascomycetes* dan famili *Aspergillaceae* dan dengan mudah ditemukan pada hampir semua jenis bahan organik (Wolf dan Wolf, 1997).

Dalam pertumbuhannya, jamur ini menghasilkan asam oksalat yang merupakan hasil sampingan yang tidak diharapkan dari proses fermentasi asam sitrat (Ruijter dkk., 1999). Produksinya dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya : (1) adanya sumber karbon (2) tingkat keasaman lingkungan hidupnya (Ruijter dkk., 1999; Castro dkk., 2000). Asam oksalat dapat digunakan sebagai agens pelindian untuk melarutkan logam-logam berat seperti dari bauksit, tanah liat, kaolin, nefelin, pasir kuarsa, lumpur limbah dan spodumen.



Gambar 1. Jamur *Aspergillus niger* yang digunakan untuk *bioleaching* (a) dan kenampakannya pada waktu tumbuh ketika dideteksi dengan *scanning electron microscope* (b dan c)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan langkah-langkah percobaan dan parameter-parameter yang diamati meliputi:

- *optical density* untuk mengamati pertumbuhan jamur, pengukurannya dilakukan menggunakan spektrofotometer. Panjang gelombang yang digunakan adalah 600 nm;
- konsentrasi asam oksalat yang diproduksi oleh jamur *Aspergillus niger*. Pengukurannya dilakukan menggunakan metode Bergemann dan Elliot;
- konsentrasi glukosa untuk menghitung konsumsi glukosa oleh jamur *Aspergillus niger*. Pengukurannya menggunakan metode Wang (dalam Maochun dkk, 2002);
- kadar fosfat dan unsur-unsur pengotor dalam residu dan larutan hasil pelindian.

BAHAN DAN ALAT

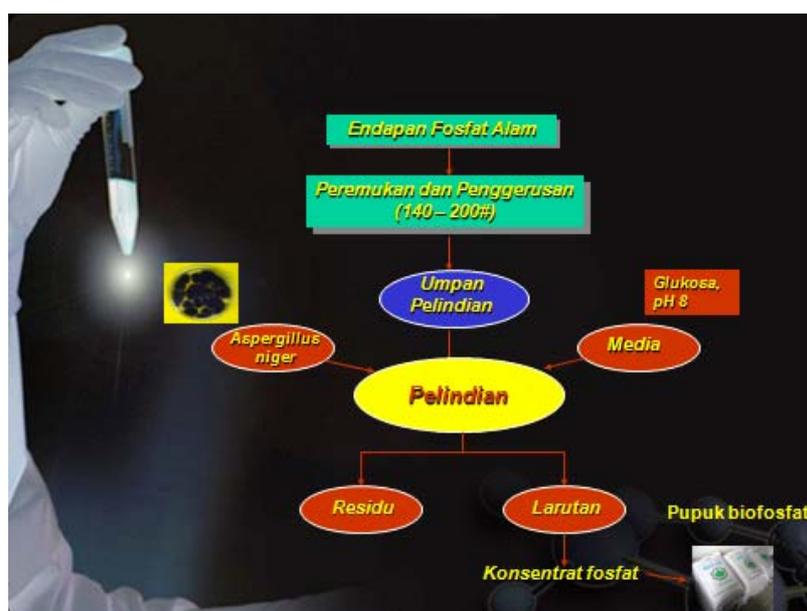
Selain *Aspergillus niger* dan mineral fosfat sebagai bahan utama untuk pelindian, bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah glukosa, sukrosa, *potato dextrose agar*, *nutrient agar*, NaNO_3 , KH_2PO_4 , MgSO_4 , KCl , HCl , KOH , larutan penyangga TRIS, indol, asam oksalat, fenol, natrium sulfit dan kalium natrium tartrat. Bahan-bahan yang disebut belakangan digunakan untuk mempersiapkan

pertumbuhan jamur sebelum digunakan untuk melindi fosfat. Bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah alkohol 70%, spirtus, kapas, kertas lakmus, larutan penyangga dengan pH 4.0, 7.0, dan 10.0, kain kasa steril, aluminium foil, plastik, kertas saring, label, selotip.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian terdiri atas pipet tetes, pipet mikro, bunsen, ose, kompor gas, otoklaf, laminar, inkubator, mikroskop, haemositometer, botol film, kuvet, alat uji AAS (*Atomic Absorption Spectrofotometer*), pH meter, agitator, termometer, oven, lemari es, penangas air, timbangan analitik, kertas timbang, sudip, tissue, gunting serta peralatan gelas yang terdiri dari tabung reaksi, cawan petri, labu takar, labu erlenmeyer, gelas ukur, gelas piala, corong dan kaca arloji.

PROSEDUR PENELITIAN

Proses pelindian dilakukan berdasarkan metode Castro dkk. (2000). Proses ini menggunakan 10, 20 dan 40 gram mineral fosfat steril dengan ukuran -140 + 200 # dan -200 # yang dimasukkan ke dalam 200 ml medium pelindian. Spora *Aspergillus niger* kemudian diinokulasikan dengan jumlah 5×10^6 , 10×10^6 dan 15×10^6 spora per ml. Proses pelindian berlangsung di atas *rotary shaker* selama 10 hari pada temperatur kamar. Secara ringkas, kegiatan penelitian ini terangkum pada Gambar 2.

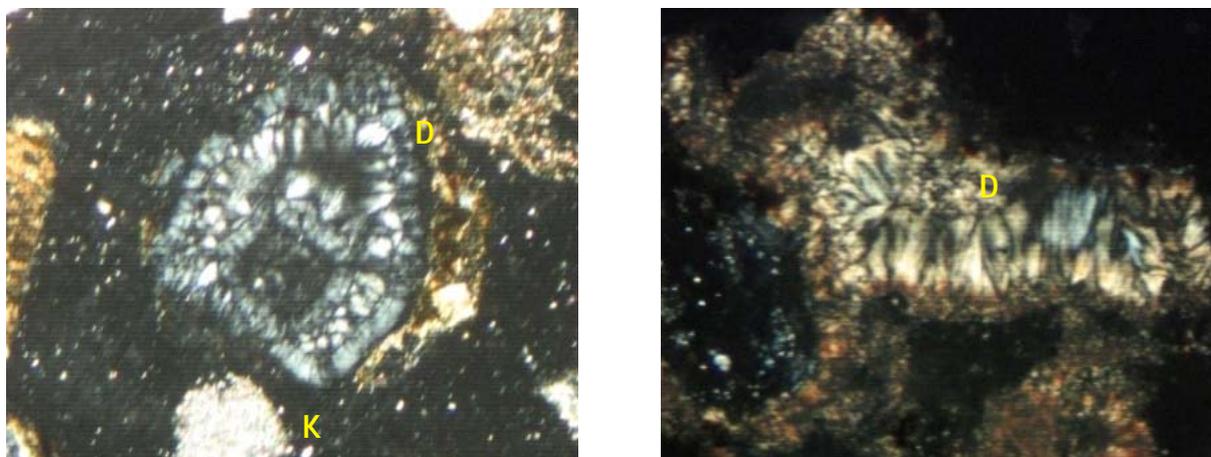


Gambar 2. Bagan alir ekstraksi fosfat dari endapan fosfat alam menggunakan jamur *Aspergillus niger*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Batuan fosfat terutama disusun oleh berbagai jenis mineral apatit yang terdiri dari fluoroapatit, karbonat fluoroapatit (frankolit), karbonat hidroksilapatit (dahlit) and klorapatit. Hasil analisis difraksi sinar-X (XRD) terhadap endapan fosfat Cijulang yang akan digunakan untuk umpan *bioleaching* menunjukkan bahwa dahlit - $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{F}$ adalah mineral fosfat yang terdapat dalam endapan tersebut. Mineral lain yang berasosiasi dengan endapan fosfat Cijulang adalah kalsit - CaCO_3 , monmorilonit - $\text{Na}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan kuarsa (SiO_2). Mineral-mineral tersebut berasosiasi dengan mineral silikat dalam bentuk fragmen batuan. Bukti bahwa mineral fosfat Cijulang adalah dahlit diperkuat oleh hasil analisis mikroskop optik (Gambar 3). Ciri khas mineral ini mempunyai perawakan (*habit*) radial menyerat yang memudahkan larutan pelindi meresap ke bagian tubuh (*body*) dahlit sehingga kadar fosfat dapat ditingkatkan (www.resources.metapres.com). Namun untuk mencapai peningkatan kadar fosfat yang diinginkan tidak semudah yang diperkirakan, masih banyak faktor-faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam mengolah fosfat sampai mencapai kadar yang diinginkan.

Pengujian dengan SEM-EDS metode *x-ray mapping* mendeteksi adanya unsur-unsur yang dikandung oleh mineral fosfat tersebut seperti kalsium (Ca), karbon (C), fosfor (P), sulfur (S), aluminum (Al), silicon (Si) dan besi (Fe). Tiga unsur pertama adalah komponen mineral dahlit; C dan Ca juga pembentuk kalsit sedangkan Al, Si dan Fe merupakan komponen pembentuk mineral silikat. Hasil analisis *x-ray mapping head sample* (HS) pada partikel yang terdeteksi menunjukkan kadar P_2O_5 sebesar 12.04%. Angka tersebut bersifat semi-kuantitatif karena tidak mewakili kadar fosfat yang ada dalam percontoh HS. Pengujian ini hanya sebagai petunjuk kira-kira unsur apa saja yang terdapat dalam percontoh tersebut. Soal kuantitas yang mewakili keseluruhan kadar fosfat dalam percontoh tersebut diuji dengan cara kimia basah. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar P_2O_5 sebesar 17,28% (Tabel 1). Hasil analisis XRF terhadap percontoh fraksinasi juga memberikan angka yang relatif sama dengan angka hasil uji metode kimia basah untuk percontoh fraksinasi (Tabel 2). Jika hasil pengujian XRF menunjukkan angka yang lebih tinggi daripada hasil analisis kimia basah memang wajar. Metode kering ini biasa menghasilkan angka yang relatif berbeda dibandingkan dengan hasil pengujian metode kimia basah, tapi perbedaan angka



Gambar 3. Dua tampilan mineral dahlit (D) yang berasal dari batuan fosfat Cijulang yang memperlihatkan perawakan radial menyerat sebagai ciri khasnya

Tabel 1. Komposisi batuan fosfat Cijulang yang diuji dengan metode kimia basah

Kode	P_2O_5	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	TiO_2	SO_3	SiO_2
	%									
HS	17,28	7,71	5,35	0,31	0,069	26,9	0,62	0,21	nil	14,16

Tabel 2. Komposisi batuan fosfat Cijulang fraksinasi yang diuji dengan metode XRF menunjukkan kadar P_2O_5 sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian dengan metode kimia basah

Kode	P_2O_5	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	TiO_2	SiO_2
HS	19,56	7,71	5,70	0,212	0,069	23,37	0,535	0,437	16,71
-100	18,26	0,15	6,00	0,209	0,091	22,19	0,550	0,467	17,82
-140	19,54	9,52	5,83	0,208	0,068	23,61	0,534	0,457	16,39
-200	19,56	7,71	5,70	0,212	0,069	23,37	0,535	0,437	16,71

tersebut biasanya tidak terlalu signifikan.

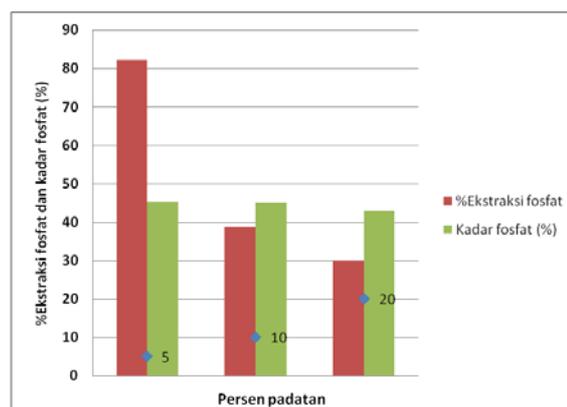
Gambar 4 memperlihatkan larutan hasil pelindian mineral fosfat dengan metode *bioleaching*. Terlihat ada dua jenis larutan, yaitu putih transparan dan kuning kehijauan transparan. Perbedaan kedua warna mungkin disebabkan oleh perbedaan kuantitas dan jenis unsur-unsur yang terkandung di dalamnya.



Gambar 4. Dua jenis filtrat fosfat hasil pelindian metode *bioleaching* menggunakan jamur *Aspergillus niger*, putih dan kuning transparan

Pada pelindian dengan 5% padatan, jumlah fosfat yang dapat diekstraksi sangat besar, yaitu 82,2%. Sayangnya, ketika persen padatan ditingkatkan menjadi 10%, fosfat yang dapat diekstraksi menurun menjadi 38,7%; bahkan dengan menggunakan 20% padatan, jumlah fosfat yang dapat diekstraksi hanya sebesar 28,8%. Hal itu menunjukkan bahwa fraksi fosfat yang dapat terlindi dalam kondisi percobaan ini adalah terbatas. Gambar 5 menunjukkan pengaruh persen padatan terhadap % ekstraksi dan kadar fosfat. Meningkatnya persen padatan mulai dari 5, 10 hingga 20%, proses *bioleaching* menghasilkan persen

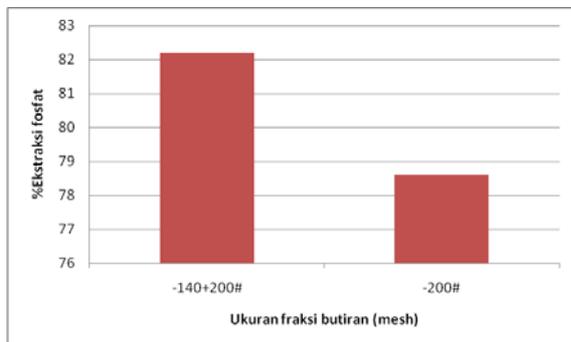
ekstraksi fosfat yang menurun tajam. Ikut terlindinya logam-logam pengotor seperti Al (29,4%), Fe (48,2%) dan Ca (25,6%) menunjukkan bahwa pelindian fosfat oleh *Aspergillus niger* ini tidak bersifat selektif. Walaupun demikian, larutan hasil pelindian ini mempunyai kemurnian fosfat yang tinggi untuk persyaratan pupuk fosfat, yaitu berkisar antara 42 sampai 45% (syarat minimal pupuk adalah 40% fosfat).



Gambar 5. Pengaruh persen padatan terhadap ekstraksi fosfat yang menunjukkan penurunan % ekstraksi sejalan dengan meningkatnya % padatan

Kecilnya persen ekstraksi fosfat pada 20% padatan diduga karena kurangnya kontak antara mineral fosfat yang dilindi dengan jamur *Aspergillus niger*. Cara pengadukan berkecepatan tinggi mungkin dapat diterapkan agar kontak antara bijih dengan jamur meningkat. Adapun untuk memurnikan fosfat yang diperoleh dari logam-logam pengotor dapat diupayakan dengan mengatur besaran pH larutan hasil pelindian sehingga diharapkan logam-logam pengotor dapat mengendap dan dapat dipisahkan dari larutan.

Studi literatur menunjukkan bahwa fraksi ukuran -200 mesh memberikan persen ekstraksi fosfat yang terbaik. Pada kondisi tersebut diperkirakan mineral fosfat sudah banyak yang terliberasi sehingga kontak antara mineral terlindi dengan jamur berlangsung intensif (Chi dkk, 2005). Mengacu kepada hal tersebut, percobaan *bioleaching* ini menggunakan 2 macam ukuran fraksi bijih, yaitu -140 + 200 dan -200 mesh. Berbeda dengan hasil yang diperoleh Chi dkk (2005); fraksi -140 + 200 mesh ternyata memberikan hasil % ekstraksi lebih tinggi (82,2%) dibandingkan dengan % ekstraksi yang menggunakan umpan -200 mesh (78,6%) seperti terlihat pada Gambar 6. Hal ini mungkin karena pada fraksi halus (-200 mesh); selain fosfat, pengotor yang juga berukuran halus ikut terekstraksi sehingga berakibat pada rendahnya persentase ekstraksi. Perbedaan dengan hasil pelindian yang dilakukan oleh Chi dkk. (2005) mungkin disebabkan oleh umpan fosfat yang digunakannya berbeda karakter dengan umpan fosfat dari Cijulang yaitu fosfat yang bersifat rapuh berpengotor keras. Walaupun demikian, penjelasan mengenai hal ini masih harus didalami lagi dengan melakukan uji-coba pelindian menggunakan fosfat dengan berbagai karakter.



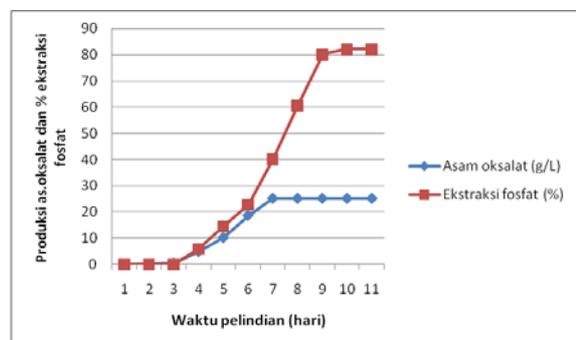
Gambar 6. Persen ekstraksi fosfat pada percobaan *bioleaching* yang menunjukkan penurunan bila menggunakan umpan berukuran lebih halus

Penelitian ini menggunakan 3 macam jumlah spora jamur awal (inokulan) yang berbeda, yaitu 5×10^6 , 10×10^6 dan 15×10^6 spora/mL. Ternyata hasilnya tidak memberikan perbedaan yang nyata seperti diperlihatkan pada Gambar 7. Kemungkinannya karena ada kompetisi di antara spora untuk mendapatkan sumber nutrisi sehingga peningkatan populasi jamur tidak berbanding lurus dengan jumlah populasi spora awal.



Gambar 7. Pengaruh jumlah spora awal terhadap persen ekstraksi fosfat. Tidak ada hasil signifikan dengan meningkatnya inokulan terhadap % fosfat

Gambar 8 memperlihatkan produk asam oksalat yang dihasilkan oleh *Aspergillus niger* dalam g/l dan persen fosfat yang terekstraksi. Asam oksalat diperkirakan merupakan asam organik utama yang memiliki fungsi utama terhadap proses pelindian mineral fosfat. Asam ini mengalami peningkatan volume mulai hari ketiga dan puncaknya terjadi pada hari ke tujuh untuk selanjutnya sampai hari terakhir pelindian, produksinya stabil. Bila produksi asam oksalat mengalami puncaknya pada hari ke tujuh, jumlah fosfat yang terekstraksi mulai meningkat pada hari ke tiga sampai ke sembilan. Pada hari ke sembilan kuantitas fosfat terekstraksi $\pm 80\%$ dan hari-hari berikutnya nampak stabil. Ada kemungkinan kinetik asam oksalat memang lambat dalam melindi fosfat tetapi terlepas dari lambannya kinetik tersebut, baik produksi asam oksalat sebagai agens pelindi maupun kuantitas fosfat terekstraksi meningkat seiring dengan berjalannya waktu pelindian.



Gambar 8. Pengaruh waktu pelindian dan produksi asam oksalat terhadap persen ekstraksi fosfat

KESIMPULAN DAN SARAN

Mineralogi fosfat Cijulang dicirikan oleh mineral dahlit, kalsit, monmorilonit dan kuarsa. Sebagai mineral hidroksil apatit, fosfat Cijulang mempunyai perawakan radial menyerat yang diperkirakan dapat mempermudah larutan pelindi meresap ke bagian dalam (*inner*) tubuh partikel fosfat tersebut

Proses pelindian fosfat dengan metode *bioleaching* menghasilkan persen ekstraksi tertinggi bila menggunakan umpan dengan 5% padatan, yaitu sebesar 82,2%. Persen fosfat terekstraksi menjadi turun drastis dengan adanya peningkatan persen padatan umpan dari 5 menjadi 10 dan 20%, masing-masing sebesar 38,7 dan 29,8%. Penurunan persen fosfat terekstraksi juga terjadi bila ukuran umpan semakin halus (-200 mesh), yaitu sebesar 78,6%. Dalam hal ini umpan yang berukuran lebih kasar (-140 + 200 mesh) memberikan persen ekstraksi fosfat lebih tinggi (82,2%).

Tidak ada pengaruh nyata dari jumlah spora awal sebagai inokulan kepada persen ekstraksi fosfat. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya kompetisi nutrisi di antara spora sehingga jumlah spora awal tidak menyebabkan peningkatan populasi yang signifikan dalam proses pelindian.

Waktu pelindian berpengaruh terhadap persen ekstraksi fosfat. Makin lama waktu kultur/pelindian menyebabkan fraksi fosfat yang terlindi meningkat dengan tajam, khususnya mulai hari kedua sampai hari ke sembilan. Hasil itu sejalan dengan produksi asam oksalat oleh *A. niger* selama pelindian yang mulai meningkat secara nyata mulai hari ke dua sampai puncaknya pada hari ke tujuh. Asam oksalat ini diperkirakan merupakan asam organik utama yang diproduksi oleh *A. niger*, yang bertanggungjawab terhadap proses pelindian bijih fosfat.

Hasil pelindian dalam penelitian ini mempunyai kemurnian fosfat tinggi untuk persyaratan pupuk berbasah dasar fosfat, yaitu berkisar antara 42 sampai 45% (syarat minimum pupuk fosfat adalah 40% P₂O₅), namun tingkat pengotor masih tinggi karena logam-logam lain ikut terekstraksi, yaitu Al (29,4%), Fe (48,2%) dan Ca (25,6%).

Hasil penelitian ini belum mencapai hasil yang diharapkan dengan adanya fakta bahwa persen ekstraksi fosfat pada persen padatan 20% masih rendah, padahal persen padatan 20% merupakan syarat minimal agar proses bisa ekonomis. Di

samping itu, terekstraksinya logam-logam pengotor pun menunjukkan bahwa proses *bioleaching* ini tidak bersifat selektif. Sehubungan dengan hal itu, jumlah fosfat yang diekstraksi masih memungkinkan untuk ditingkatkan pada persen padatan 20% menggunakan metode pelindian dengan pengadukan berkecepatan rendah. Pemisahan logam-logam pengotor dalam larutan/filtrat hasil pelindian masih memungkinkan dipisahkan dengan mengatur pH larutan. Dari proses ini diharapkan dapat diperoleh fosfat dengan kemurnian lebih tinggi lagi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Ngurah Ardha, M.Met.E atas masukan-masukan yang diberikan selama penulisan makalah; Dr. Siti Rochani, M.Sc. yang telah melakukan penyuntingan awal manuskrip. Penelitian ini didanai oleh Proyek Penelitian dan Pengembangan Mineral Tahun Anggaran 2008.

DAFTAR PUSTAKA

- Castro, I.M., J.L.R. Fietto, R.X. Vierra, M.J.M. Tropa, L.M.M. Campos, E.B. Fanigo, dan R.L. Brandao. 2000. Bioleaching of Zinc and Nickel from Silicate Using *Aspergillus Niger* Cultures. *Hydrometallurgy*, v. 57. hlm. 39-49
- Chi, R., Xiao, C., Gao., H. 2005. Bioleaching of Phosphorus from Rock Phosphate Containing Pyrites by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Mineral Engineering*, n.19, hlm. 979-981.
- [Http://www.resources.metapres.com](http://www.resources.metapres.com) diunduh pada 24 November 2008, jam 9.30.
- Kusdarto. 2006. Potensi Agromineral di Indonesia Salah Satu Alternatif Pengganti Pupuk Buatan artikel pada <http://www.dim.esdm.go.id> index.php?view=article&catid=32%3Amakalah-buletin&id=376%3Apotensi-agromineral-di-indonesia&tmpl=component&print=1&page=&option=com_content&Itemid=395 diunduh pada 09/09/09 jam 8.32.
- Ngurah Ardha dan Tatang Wahyudi. 2008. Inventarisi Bahan Galian Fosfat Indonesia dan Penelitian Peningkatan Kadarnya di tekMIRA. *Prosiding Kolokium Pertambangan & Open House 2008*, ISBN 978-979-8641-62-6
- Ruijter, G.J.G., P.J.I. van de Vondervoort dan J. Visser. 1999. Oxalic Acid Production by *Aspergillus niger*:

An Oxalate Non Producing Mutant Produces Citric Acid at pH 5 in the Present of Mangannese. *Microbiology*, v. 145. hlm. 2569-2576.

Maochun, C. dkk. 2002. Growth Kinetics of Thiobacilli Strain HSS and Its Application in Bioleaching Phos-

phate Ore. *Ind. Eng. Chem. Res.* n. 41, hlm. 1329-1334.

Wolf, F.A., and F.T. Wolf., 1997. *The Fungi*. John Wiley&Sons, New York, hlm. 69- 74.